

Algunos aspectos sobre el incremento de tareas y habilidades en el laboratorio de Física Cuántica

R. Soto, E. Marín y M. Hernández, Dpto. Física General. Facultad de Física, Universidad de La Habana

RESUMEN

En este trabajo se analiza cómo lograr el mejoramiento del proceso de enseñanza en el laboratorio docente mediante la introducción de tareas concernientes a la adquisición y procesamiento de espectros de radiación gamma, usando un analizador multicanal diseñado y construido con fines docentes.

ABSTRACT

The analysis of improving the accomplishment of the educational process at the laboratory, by means of the introduction of tasks which involve data acquisition and processing of gamma radiation spectrum, using a multi channel analyzer, designed and constructed for teaching purposes, has been done in this paper.

INTRODUCCIÓN

La concepción con carácter de sistema, inherente a la formación experimental del egresado de la especialidad de Física, exige que aspectos tales como el uso rutinario de la teoría de errores, la manipulación de instrumentos de medición, el trabajo con las unidades internacionales y el tratamiento estadístico de los datos, entre otros, /1/ constituyan elementos consustanciales a esta forma de enseñanza.

El presente trabajo tiene por objeto discutir los aspectos concernientes al incremento de habilidades y tareas en el laboratorio docente mediante la optimización de recursos experimentales y la activación del conocimiento, en el marco de la asignatura Física Cuántica, la cual, por su diseño y organización, contiene elementos de la Física Atómica y Nuclear respectivamente.

DESARROLLO

Considerando por una parte la importancia de familiarizar al estudiante con el uso de sistemas analizadores multicanales, cuyo marco de utilización no es exclusivo de los experimentos nucleares, y por la otra, el hecho de que tal instrumentación es privativa para la mayoría de los laboratorios docentes por su alto costo, fue desarrollada una interfaz /2/, así como los programas de adquisición y procesamiento de espectros, /3/, /4/, que permite profundizar en el estudio de la radiación gamma y sus interacciones con la sustancia.

Análisis de la contribución a la formación del estudiante:

1. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

Si bien, uno de los objetivos del laboratorio docente es el de posibilitar las habilidades en el uso de instrumentos de medición, que en la generalidad de los casos, por su diseño y construcción, se convierten en *cajas negras* de las que se sirve el estudiante, sin reparar en su estructura y concepción electrónica, la interfaz descrita /2/, por el contrario, permite la caracterización de la altura de los pulsos, su ancho mínimo, los tiempos de subida y bajada así como la duración de estos, antes y después de ser procesados por el convertidor análogo-digital tipo Wilkinson incorporado.

Importantes magnitudes tales como el tiempo de conversión, la no-linealidad integral y la diferencial también pueden ser determinadas por el estudiante, en suma al estudio pormenorizado del comportamiento de los sistemas detectores, como se recomienda en /5/, /6/.

2. ESTADÍSTICA, FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN Y SUAVIZAMIENTO ESPECTRAL

Debido a la naturaleza estadística de la desintegración nuclear y de los procesos de detección, se hace necesario utilizar la función de distribución de Poisson para la descripción de los mismos, como caso límite de las distribuciones multinomial y binomial; si a esto añadimos el conocimiento previo de los usos y aplicaciones de la función de Gauss, puede comprenderse la utilidad de aplicación de un sistema espectrométrico que con rapidez y reproducibilidad facilite la validación de estas categorías puramente estadísticas.

Tan significativo como lo anterior resulta para el estudiante la asimilación de la esencia matemática y particularidades de uso del suavizamiento espectral como técnica de procesamiento que correctamente aplicada, elimina la mayoría de las fluctuaciones estadísticas, reteniendo los elementos más importantes de los datos originales /7/.

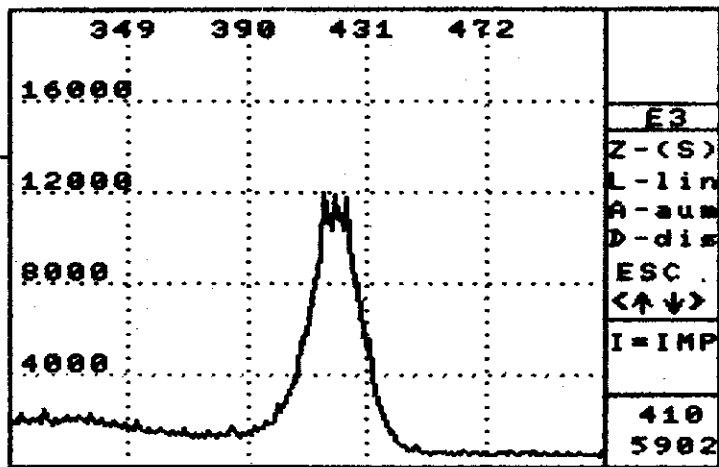
Con el propósito de ampliar estos tópicos se incorpora la discusión de los efectos del suavizamiento utilizando las expresiones:

$$Y_i = \left[\frac{Y_{i-1} + 2Y_i + Y_{i+1}}{4} \right] \dots\dots\dots (1)$$

$$Y_i = \left[\frac{Y_{i-2} + 4Y_{i-1} + 6Y_i + 4Y_{i+1} + Y_{i+2}}{16} \right] \dots\dots\dots (2)$$

para 3 ó 5 puntos respectivamente y en el caso de adoptarse el suavizamiento con cantidad variable de puntos hasta un máximo de 21, en lugar de utilizarse métodos complicados de filtrado por medio de integrales de convolución, /7/ se aproxima la zona de interés en el espectro por un polinomio ajustado por mínimos cuadrados. En las expresiones (1) y (2), Y_i , representa los conteos por unidad de tiempo en el canal i -ésimo.

Figura 1.
Espectro (conteos contra canal) de ^{137}Cs sin suavizar. Obsérvese la presencia de fluctuaciones estadísticas inherentes a los procesos desintegrativos y a los de detección propiamente dichos.



La Figura 1 muestra el espectro original (sin suavizar) del isótopo ^{137}Cs y las Figuras 2, 3, 4 y 5 permiten discutir el efecto del suavizamiento con 3, 5, 13 y 21 puntos respectivamente. Nótese que se ha hecho uso de la opción ZOOM /2/ para facilitar la discusión del problema.

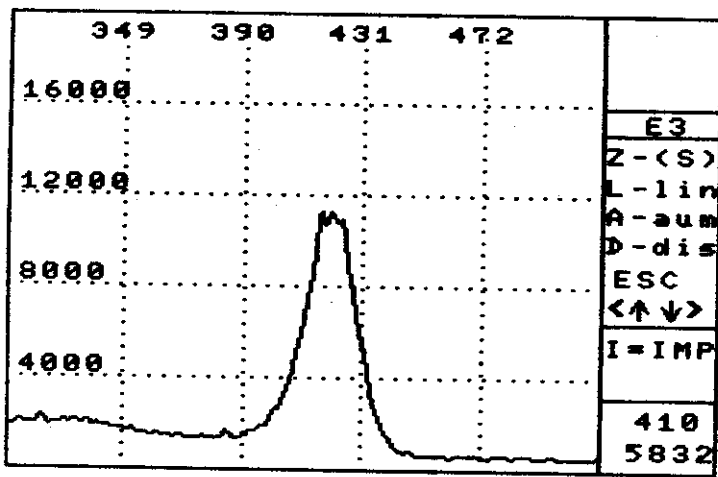


Figura 2.

Espectro (conteos contra canal) de ^{137}Cs suavizado con 3 puntos mediante la expresión (1).

Figura 3.

Espectro (conteos contra canal) de ^{137}Cs suavizado con 5 puntos mediante la expresión (2).

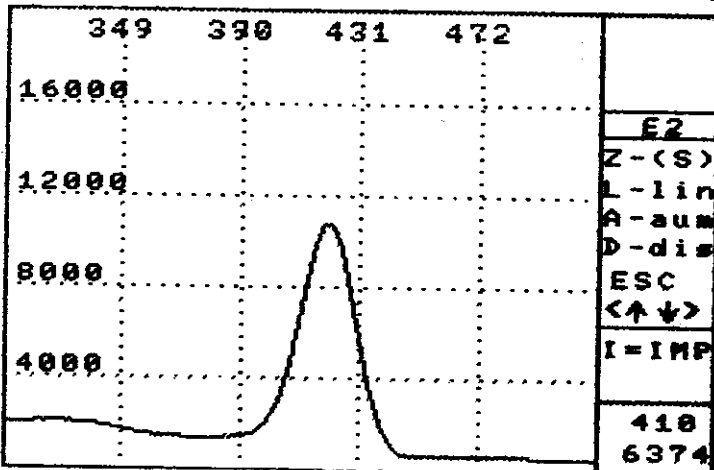
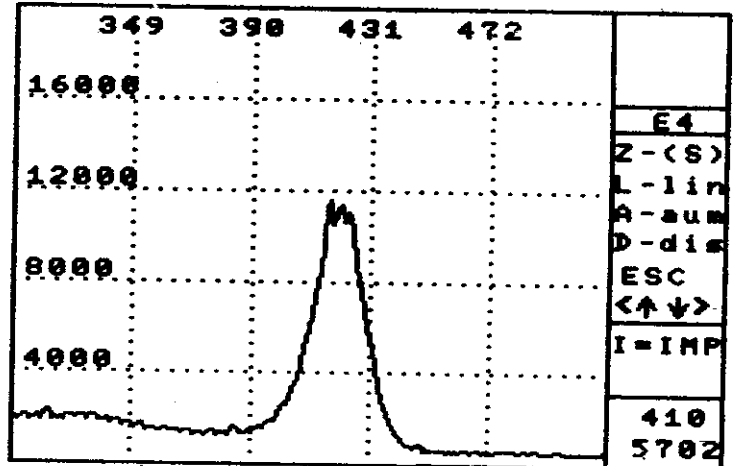
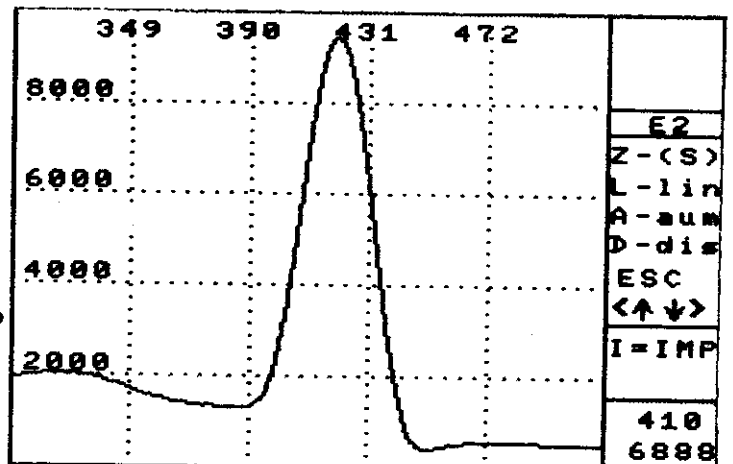


Figura 4.

Espectro (conteos contra canal) de ^{137}Cs suavizado con cantidad variable de puntos hasta un máximo de 13.

Figura 5.

Espectro (conteos contra canal) de ^{137}Cs suavizado con cantidad variable de puntos hasta un máximo de 21.



3. AJUSTES POLINÓMICOS Y CRITERIOS ESTADÍSTICOS

Debido a la necesidad de establecer la línea base al considerar el fondo superpuesto al pico de interés, como se muestra en la Figura 6, cuando se ejercitan los conceptos fundamentales de la espectrometría

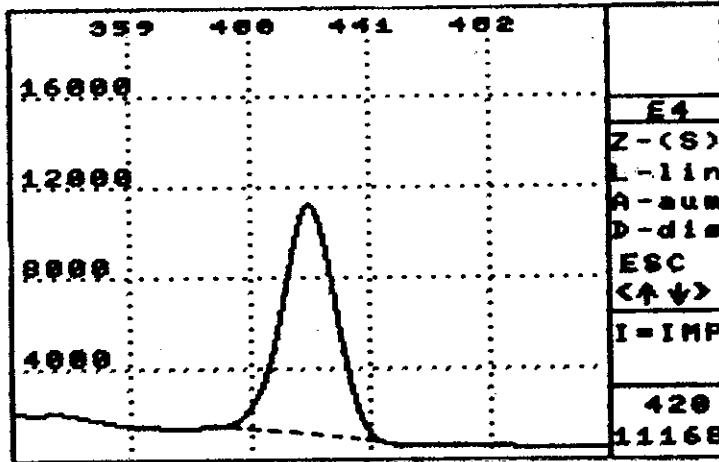


Figura 6. Ajuste de la línea base en el espectro (conteos contra canal) de ^{137}Cs mediante un polinomio de grado 1, con cantidad seleccionable de puntos.

gamma, el estudiante se familiariza con desarrollos polinómicos de orden superior y con el uso de pruebas de bondad para el ajuste; sin embargo, resulta muy útil la opción *RESTA*, /2/, para sustraer por la vía instrumental el fondo radiactivo (Figura 7) y comparar los resultados a través de magnitudes tales como la integral, el área neta, el fondo calculado y los errores implícitos en el procesamiento.

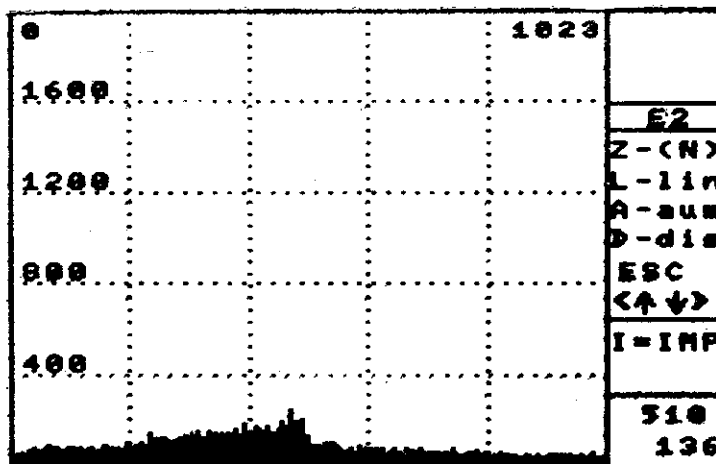


Figura 7. Espectro (conteos contra canal) correspondiente al fondo en el laboratorio, para ser sustraído mediante la opción "RESTA".

4. USO DE PROCEDIMIENTOS ESPECIALES

La determinación cuantitativa de las magnitudes características del espectro como son la integral de conteos, el área neta, el fondo, la posición del pico y sus extremos involucra diversos procedimientos entre los que se encuentran el cálculo de la transformada del espectro, /8/, la evaluación de áreas por el método de los trapecios, la linealización de gaussianas y ajuste por mínimos cuadrados así como la incorporación del promedio ponderado. Todos estos aspectos son desde el punto de vista práctico, necesarios en diferentes ramas de la física aplicada, pero no se encuentran recogidos en el sistema de conocimientos y habilidades que debe adquirir el estudiante durante los primeros años de la especialidad; de allí su importancia y utilidad.

Es conveniente recalcar que el montaje de prácticas docentes cuya fundamentación se derive de posibilidades concretas de utilización en la investigación o la industria, conlleva a una mayor apropiación de los conocimientos. Este es el caso de la espectrometría gamma, la que en conjunción con otras técnicas de análisis como la fluorescencia y difracción de Rayos X, la activación neutrónica, la retrodispersión de Rutherford, y otros, permite el estudio composicional de muestras de muy variado origen.

La concreción de los aspectos de orden metodológico y cognoscitivo discutidos en el presente trabajo pueden encontrarse en /9/.

CONCLUSIONES

El desarrollo de un espectrómetro multicanal con fines docentes posibilita la introducción en el laboratorio de numerosos e importantes conceptos de la espectrometría gamma, lo cual además, lleva aparejada la concreción de métodos de análisis de profunda vinculación con el aparato matemático que el estudiante adquiere durante los primeros cursos de la especialidad de Física. Sus ventajas, más que económicas están dadas por el incremento de las habilidades experimentales de los estudiantes, lo cual redundará en la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Por su diseño y posibilidades favorece la enseñanza tanto en el nivel superior como el técnico y el medio, siempre que se adecuen los objetivos pertinentemente.

BIBLIOGRAFÍA

- /1/ Portuondo, R. (1988). *Procesamiento de Datos Experimentales*. Universidad de La Habana.
- /2/ Hernández, M.; E. Marín y R. Soto. *Diseño y Caracterización de una Interfase para la Adquisición de Espectros de Radiación Gamma*. (Por publicar).

- /3/ Marín, E.; R. Soto y M. Hernández. *Programa MSX-Basic para el procesamiento de Espectros de Radiación*. (Por publicar).
- /4/ Soto, R.; E. Marín; M. Hernández. *Programa MSX-Basic para el Procesamiento Analítico Automático de Espectros de Radiación Gamma*. (Por publicar).
- /5/ Canberra. (1988). *Laboratory Manual for Nuclear Science*.
- /6/ Diefenderfer, A. (1972). *Basic Techniques in Electronic Instrumentation*. Philadelphia.
- /7/ Quittner, P. (1972). *Gamma-Ray Spectroscopy*. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- /8/ Fite, L.; E. Steele and R. Wainerdi (1962). *Investigations in Automated Activation Analysis*. TEES-2671 -2. Cat. No. UC-23.
- /9/ Marín, E.; P. González y R. Soto. *Manual de Prácticas de Laboratorio de Física Cuántica*. (En preparación).

Diseño y caracterización de una interfaz para la adquisición de espectros de radiación gamma

M. Hernández, E. Marín y R. Soto, Dpto. Física General, Facultad de Física, Universidad de La Habana

RESUMEN

Se describe y caracteriza una interfaz para computadora TOSHIBA. Las características evaluadas demuestran su posibilidad de utilización como convertidor análogo-digital en un sistema espectrométrico de uso docente. Se presenta, además, un programa desarrollado en lenguaje MSX-Basic para el registro y operaciones fundamentales durante la adquisición de espectros de radiación gamma.

ABSTRACT

An interface for TOSHIBA personal computer is described. The evaluation of its characteristics shows the possibility of using it as analog-digital converter in spectrometer systems for educational purposes. It is also presented a MSX-Basic program which provides a very flexible data acquisition facility during gamma spectrum analysis applications.

INTRODUCCIÓN

Los analizadores multicanales constituyen el centro instrumental de la mayoría de las determinaciones experimentales en las que la adquisición y evaluación de espectros provee de importantes magnitudes que caracterizan la desintegración radiactiva de los elementos así como las peculiaridades de la interacción de la radiación con la sustancia.

/1/,/2/,/3/.

Las técnicas de medición de radiaciones nucleares se utilizan, en la actualidad, no sólo en las investigaciones sino como medio auxiliar en otros campos (Medicina, Biología, Química, Arqueología, Geología, etc.), /4/. En el presente trabajo se describe un sistema, que supone el montaje experimental integrado por el detector de radiaciones, una fuente de alto voltaje, la interfaz que actúa como convertidor análogo-digital, el software y la computadora, para la adquisición de espectros de radiación gamma con fines docentes y amplias posibilidades de uso en la práctica investigativa, (cambiando algunos parámetros característicos), en el estudio de otros tipos de radiación o de las técnicas asociadas, entre ellas, la espectroscopía infra-roja, Mössbauer, Rayos X, etc.

DESARROLLO

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques del sistema. En el mismo se emplea una computadora TOSHIBA (PC) y un detector de centelleo que incluye el fotomultiplicador electrónico para la amplificación de la señal de salida así como la fuente de alto voltaje para su alimentación. La interfaz construida y el software elaborado completan el sistema que puede realizar las funciones de un analizador multicanal con múltiples facilidades de uso.

SISTEMA PARA ADQUISICION Y PROCESAMIENTO ANALITICO DE ESPECTROS DE RADIACIONES NUCLEARES

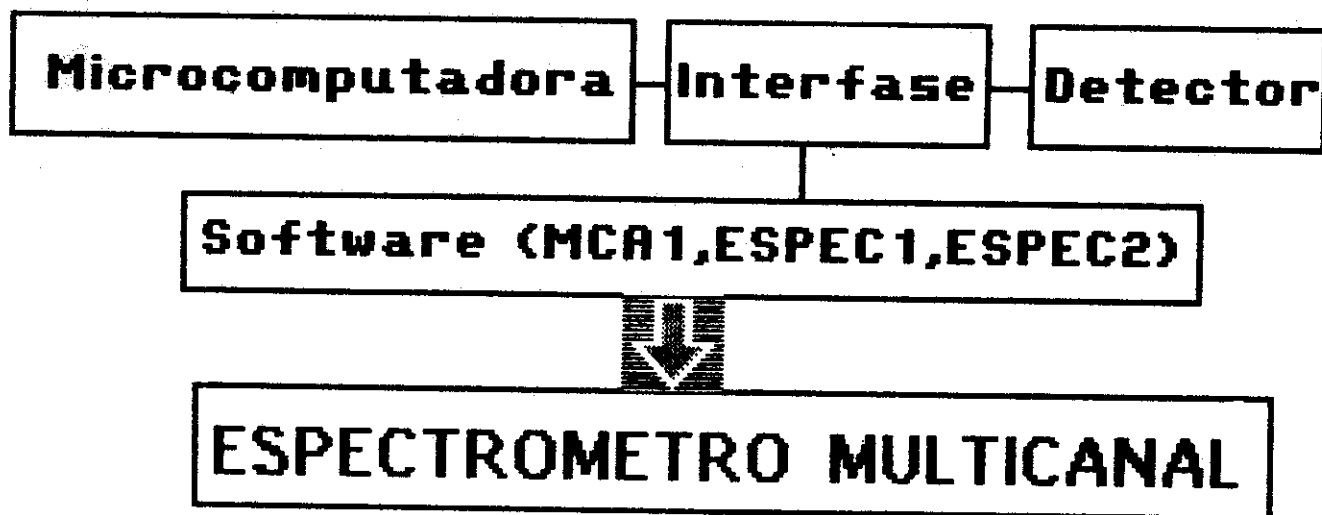


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema para la adquisición, operaciones fundamentales y procesamiento analítico de espectros de radiación gamma.

En la Física Nuclear, los analizadores multicanales se usan mayormente en el modo de trabajo PHA (análisis de alturas de pulsos) y/o MCS (conteo múltiple),/4/. El sistema diseñado permite ambos modos en dos variantes cada uno y un tercero de conteo simple, lo que conlleva a disponer de cinco modos diferentes de adquisición de espectros, que pueden ser seleccionados a voluntad por el usuario.

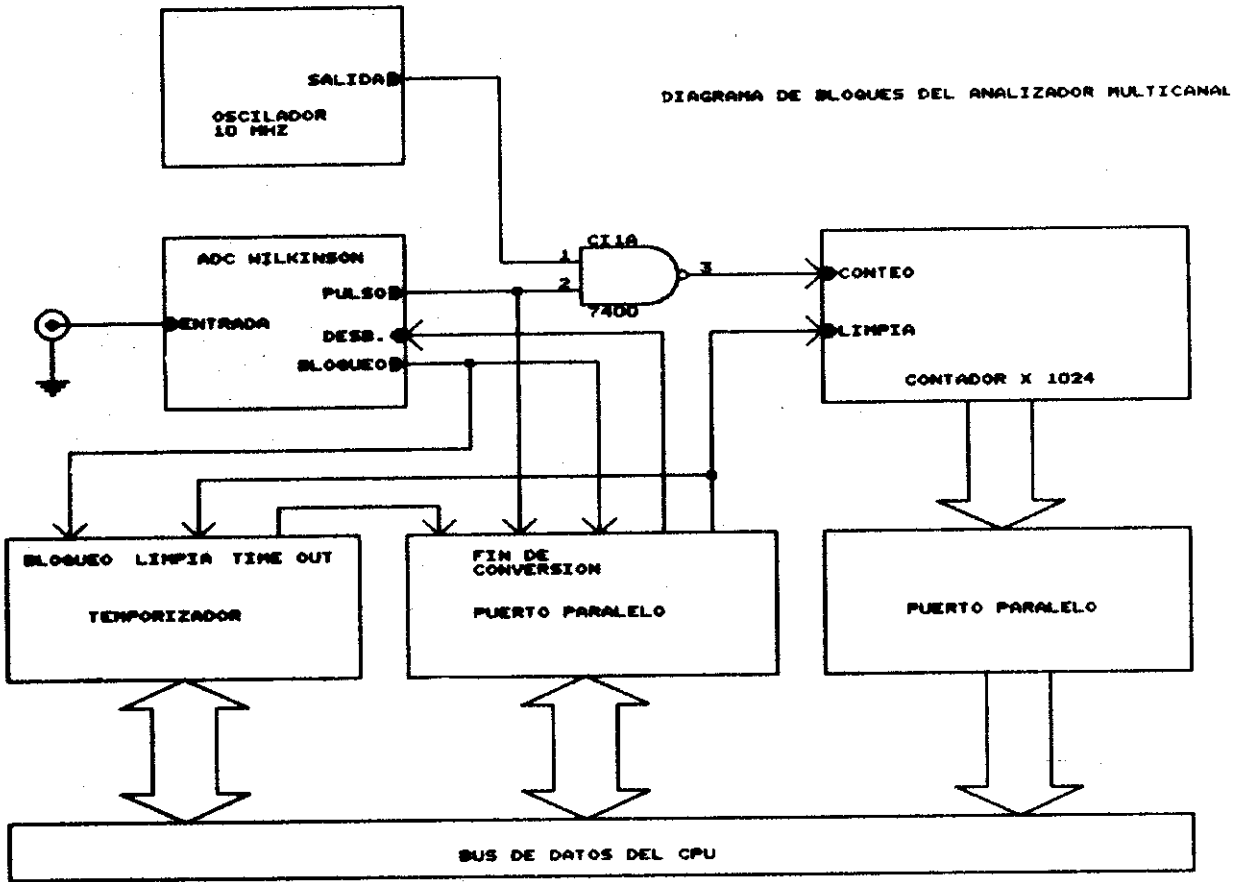


Figura 2. Diagrama de bloques de la interfaz de conversión analógico-digital.

En la Figura 2 se muestra el diagrama de bloques de la interfaz, cuya función fundamental la realiza el convertidor análogo-digital (ADC) y que consiste en digitalizar los pulsos que provienen del fotomultiplicador para su posterior procesamiento en la computadora. En la espectroscopia de alta resolución se usa el conversor tipo Wilkinson que se muestra en la Figura 3 y que se utiliza en la interfaz construida.

El método de conversión consiste en cargar un capacitor hasta el valor de pico del pulso de entrada y descargarlo a través de una fuente de corriente constante. El tiempo transcurrido para que el capacitor se descargue es proporcional a la altura de los pulsos de entrada.

2. CARACTERIZACIÓN:

Las características del conversor que hacen posible su aplicación en el sistema espectrométrico descrito, son las siguientes:

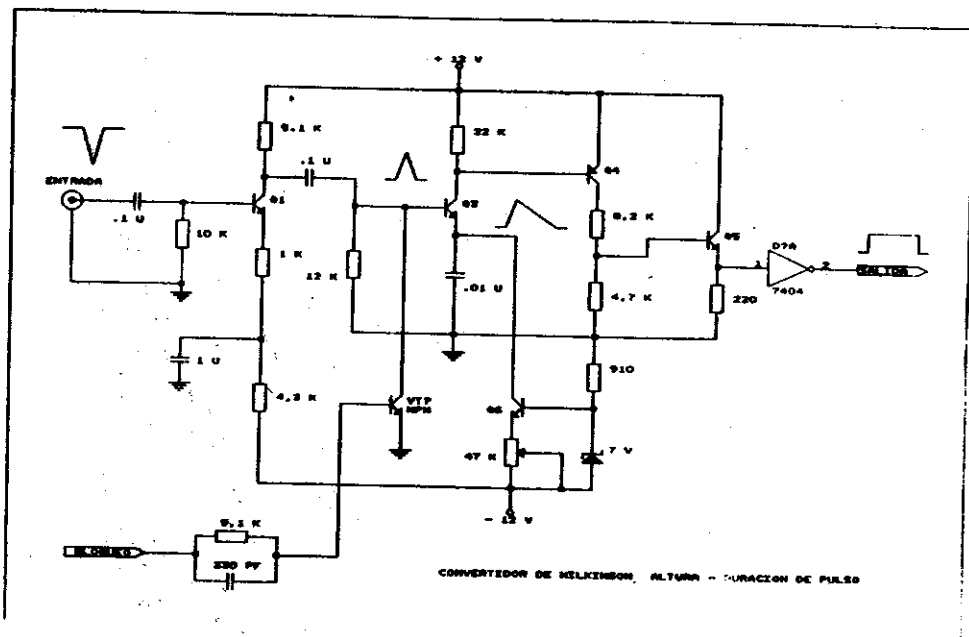


Figura 3. Esquema del convertidor tipo Wilkinson utilizado en el diseño de la interfaz.

Altura de los pulsos de entrada	0.....2 volts
Ancho mínimo del pulso	2 μ s
Tiempo de subida	1.2 μ s
Tiempo de bajada	0.3 μ s
Duración del pulso	2.....3 μ s
Impedancia de entrada	10K omhs
Tiempo de conversión	102.4 μ s

Otras especificaciones importantes del analizador multicanal son la no-linealidad integral y diferencial /4/.

La no-linealidad integral se define como la mayor desviación de la función de conversión (altura de pulsos VS canal), como se muestra en la Figura 4. Su valor es de 0.083 % mientras que los valores típicos reportados se encuentran entre 0.05 0.1 % /1/.

La no-linealidad diferencial describe la desviación máxima de la anchura del canal respecto del ancho promedio del mismo (el número de pulsos que llegan a un canal es proporcional a su anchura), como se muestra en la Figura 5. Su valor medido es de \pm 0.35 % para un 99 % de la escala.

El modo de trabajo PHA se caracteriza por una frecuencia del cristal de 10 MHz.

El modo MCS se caracteriza por un tiempo mínimo de búsqueda en cada canal de 1S, y la cantidad de ciclos a realizar en cada búsqueda puede ser seleccionada a voluntad por el usuario.

NO-LINEALIDAD INTEGRAL

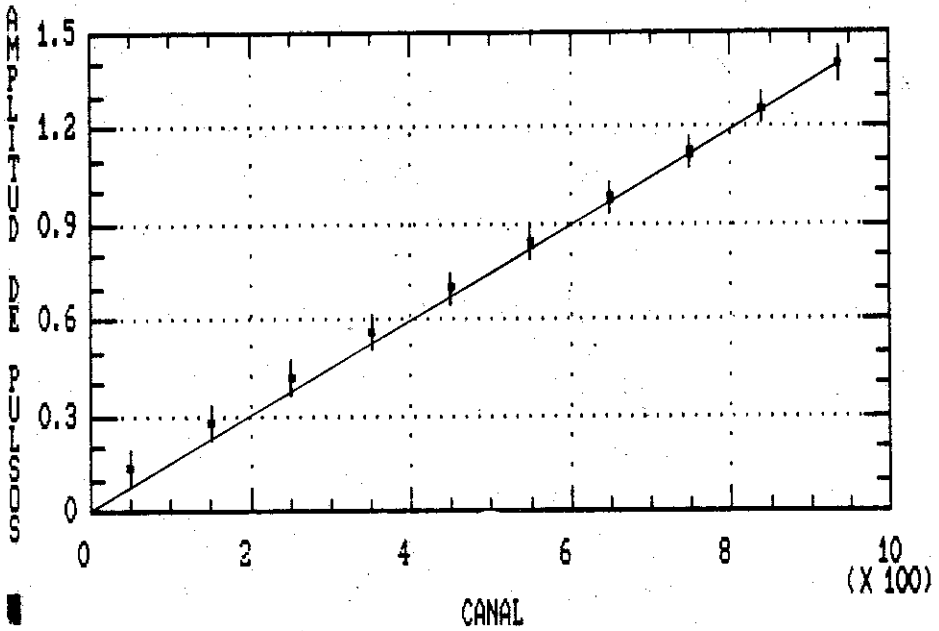


Figura 4. Comportamiento de la No-Linealidad Integral para la interfaz construida.

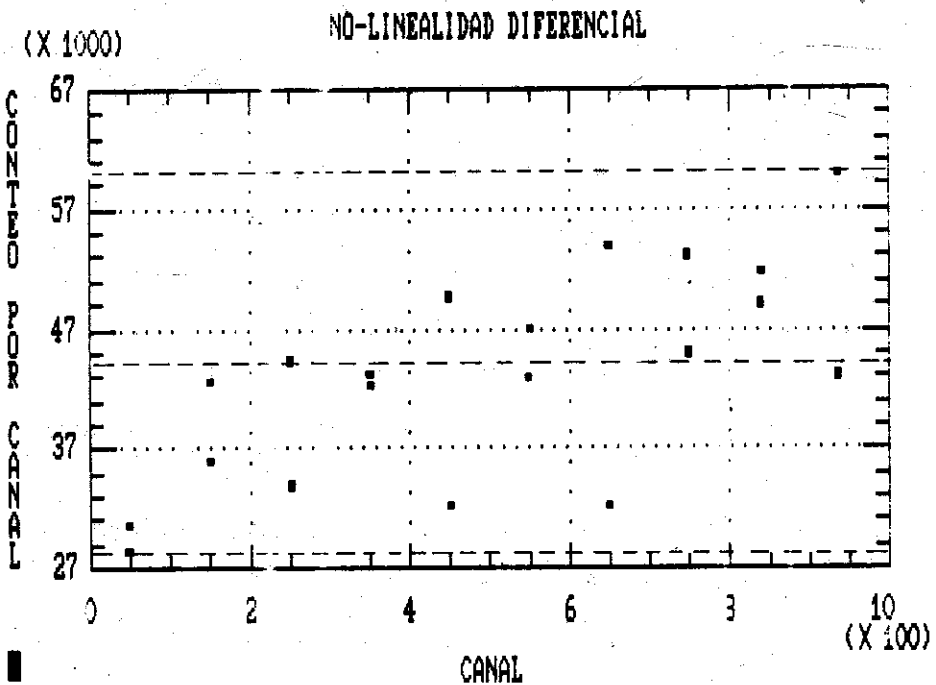


Figura 5. Comportamiento de la No-Linealidad Diferencial para la interfaz construida.

La interfaz construida presenta además, las siguientes características:

Bajo costo (menos de 100 dólares USA)

Estructura compacta y pequeñas dimensiones:

longitud: 20 cm

anchura: 14 cm

Altura: 11 cm

Indicador analógico de tiempo muerto.

Diseño abierto que permite el acceso directo a la electrónica.

3. SOFTWARE:

3.1. Facilidades de adquisición:

El programa permite la adquisición de espectros en modo PHA (análisis de alturas de pulsos), prefijando conteos entre 0 y 65535 para cualquier canal entre 0 y 1023 o tiempos de medición en el intervalo 1 a 65536 segundos, con la posibilidad, en este caso, de hacer la corrección por tiempo muerto del sistema.

El segundo modo incorporado es el de conteo múltiple para intervalo de canales prefijado por el usuario, MCS, con tiempo de búsqueda en cada canal entre 1 y 65536 segundos, así como la posibilidad automática de repetir el proceso de medición para una cantidad de ciclos también seleccionable. Como última opción de adquisición, el programa brinda la posibilidad de efectuar el conteo simple en el intervalo 1-65536 segundos, repetible o no a voluntad y con las facilidades de corrección por tiempo muerto del sistema, también incorporadas.

3.2. Operaciones con espectros:

El programa prevee el registro permanente de cuatro espectros en la memoria de la PC, por ello, se incorporan totalmente protegidas contra cualquier error de manipulación de los datos las siguientes operaciones:

- a) *Operaciones de entrada y salida de información* (almacenamiento y/o lectura) en cassette.
- b) *Transferencia de espectros desde el primer cuarto de la memoria a cualesquiera otras porciones.*
- c) *Suma y resta de espectros así como la multiplicación de estos por una constante positiva entre 0 y 255.* Se aclara que las operaciones mencionadas son posibles para cualesquiera cuatro espectros almacenados en la memoria, si han sido obtenidos mediante el mismo modo de adquisición, lo cual queda automáticamente registrado en el canal cero del espectro, desde el instante en que comienza la obtención del mismo.

d) *Representación gráfica del espectro.* Esta operación está prevista para salida por pantalla y cuenta con selección automática de escala, representación lineal o logarítmica, cambios manuales del factor de escala, información continua de la posición del cursor y de los conteos para la misma, facilidades de expansión de zonas escogidas del espectro (ZOOM), que quedan definidas a voluntad por la posición del cursor, modo de adquisición y zona de la memoria en la que se encuentra almacenado el espectro.

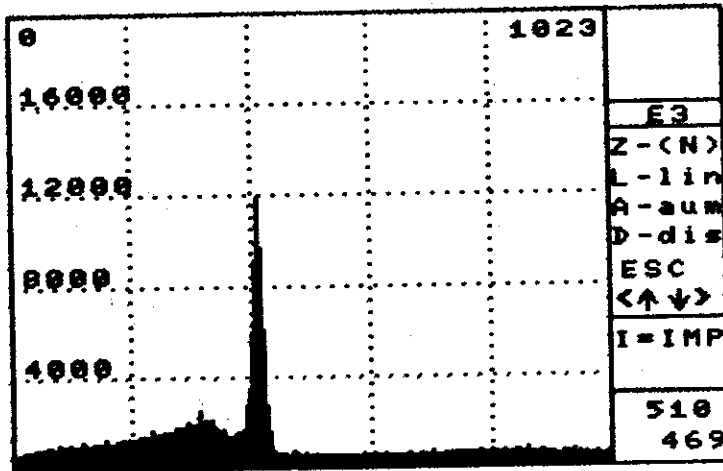


Figura 6. Espectro (conteo contra canal) de ^{137}Cs adquirido en el modo PHA.

La Figura 6 muestra un espectro de ^{137}Cs , adquirido en el modo PHA con un tiempo de conteo corregido de 1200 s. En el extremo inferior derecho se reportan la posición del cursor en canales y la cantidad de conteos para la misma. También se aprecian las diferentes opciones de trabajo destinadas a facilitar la visualización gráfica del espectro.

En la Figura 7 se observa el espectro anterior expandido en la zona alrededor del fotopico, la cual se escoge a voluntad mediante la opción ZOOM.

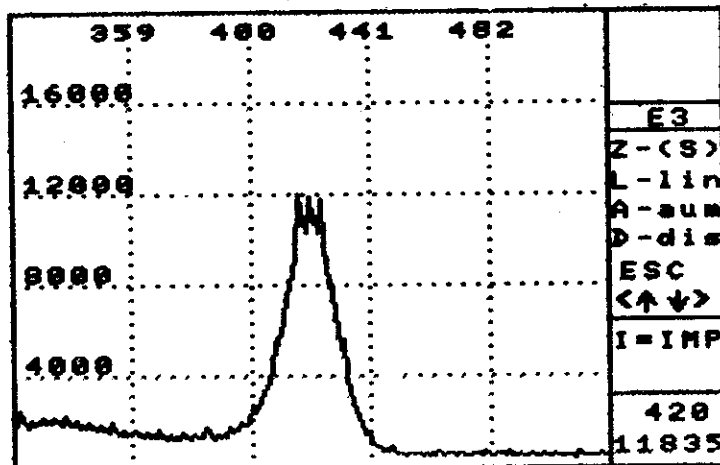


Figura 7. Espectro (conteo contra canal) de ^{137}Cs expandido en la zona alrededor del fotopico utilizando la opción (ZOOM).

e) *Comparar espectros*: Permite la salida por pantalla de dos cualesquiera espectros con la misma escala vertical, lo que facilita la labor de comparación, y además, con las mismas facilidades descritas en lo que respecta a la graficación ya discutida. Se aclara que el movimiento vertical del cursor sirve para explorar la cantidad de conteos por canal, en uno u otro espectro, según se sitúe.

En la Figura 8 aparecen comparados el espectro del ^{137}Cs mostrado en la Figura 6 y el de ^{22}Na , adquirido bajo las mismas condiciones. Nótese que para utilizar esta facilidad, el espectro correspondiente al ^{137}Cs fue previamente transferido a la tercera porción de la memoria (E3) para dejar libre la primera (E1) donde se efectúa la adquisición del otro espectro el cual también se transfirió hacia E4.

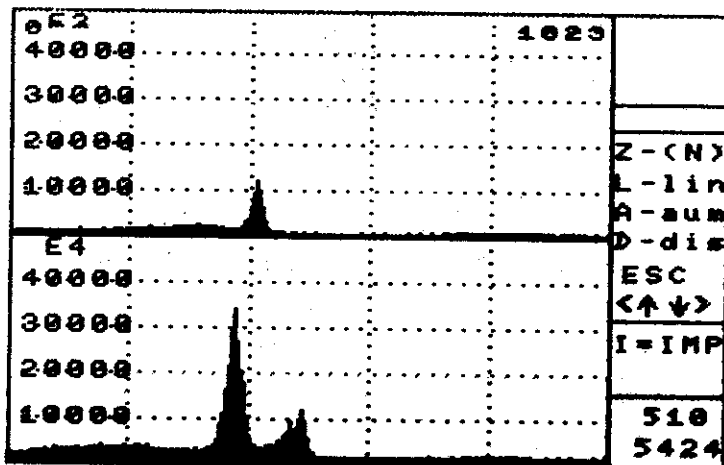


Figura 8. Comparación de los espectros (conteos contra canal) de ^{137}Cs y ^{22}Na adquiridos bajo las mismas condiciones experimentales.

f) *Estado del sistema*: Visualiza en pantalla la información sobre número del espectro, modo de adquisición, tiempo en segundos, e identificación física real del mismo si esta opción ya se ha utilizado dentro del programa.

g) *Identificación de espectros*: Permite la identificación de los espectros a partir de un listado actualizable de radioisótopos.

3.3. Concepción general del programa

La organización parte de un programa principal que contiene los menús correspondientes y las subrutinas PHA a tiempo fijo, PHA a conteo fijo, MCS, Limpia memoria, Transfiere, Suma, Resta, Multiplica, Conteo simple y Máximo, todas escritas en código de máquina con el consiguiente incremento de la velocidad de corrida, /5/.

Por otra parte, como el programa está orientado hacia las aplicaciones docentes, hace continua previsión de los posibles errores de manipulación del estudiante evitando así la necesidad de abortar el trabajo.

4. APLICACIONES

Las características mencionadas permiten un amplio espectro de utilización en la docencia, lo cual puede beneficiar a diferentes niveles educacionales como el medio-superior (en la orientación vocacional y pre-profesional), el superior (en asignaturas de pre y postgrado) y el técnico, (en la calificación de especialistas de los institutos de medicina nuclear).

También puede utilizarse en el estudio de la instrumentación electrónica por la posibilidad de acceso a diferentes secciones del circuito para la medición de parámetros característicos y del comportamiento dinámico de la interfaz.

CONCLUSIONES

Se describe una interfaz y un programa MSX-Basic compatible que permiten el uso de la PC TOSHIBA en un sistema de adquisición y operaciones básicas con espectros de radiación gamma, previas al procesamiento analítico de los mismos.

Las características del sistema y principalmente su bajo costo de producción junto al hecho de la existencia de este tipo de computadora en la mayoría de los centros educacionales del país, hacen posible la familiarización del estudiante de diferentes niveles, con técnicas experimentales de gran importancia y versatilidad, aspecto difícil de lograr con los escasos equipos comerciales existentes, los cuales son muy costosos y están destinados fundamentalmente a las tareas investigativas.

El uso del software descrito posibilita que no sea necesario realizar grandes inversiones para dotar los laboratorios docentes de facilidades similares a las que encuentra el investigador en su trabajo cotidiano; permite concretar el empleo de las PC en el proceso de enseñanza, al igual que en otros campos, lo cual se sustenta en la favorable tendencia prestaciones/precio de las mismas. Por otra parte, es notable la elevación de la calidad del aprendizaje en tanto se utilicen medios y procedimientos en concordancia con el desarrollo científico técnico presente.

Por su versatilidad y concepción interactiva, se hace útil no sólo en el laboratorio docente, sino también en usos demostrativos que propician la motivación vocacional y profesional de los estudiantes.

BIBLIOGRAFÍA

- /1/ Canberra. Catálogo sobre Instrumentación Nuclear. 7ma. Edición.
- /2/ Knoll, G. (1978). *Radiation Detection and Measurement*. John Wiley & Sons. N. Y.

- /3/ De Soete, D.; R. Gijbels and J. Hoste (1972). *Neutron activation Analysis*. Volume 34 on Chemical Analysis: A Series of Monographs on Analytical Chemistry and its Applications. John Wiley & Sons. N. Y.
- /4/ Friese, T. (1981). *Nuclear Electronics*. Hahn-Meitner-Institut f. Kernforschung. Berlin-Wannsee.
- /5/ Sato, T.; P. Mapstone e I. Muriel (1989). *MSX Guía del programador y manual de referencia*. Editora Revolucionaria.