

Construcción y estudio de las características de un irradiador neutrónico múltiple

L. Pérez T., P.A. Mariño C., R. García M., N. Peña G. y J.L. Bonzon E.
Facultad de Física-Matemática, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba

RESUMEN

Se describe la construcción de un irradiador neutrónico que permite la irradiación simultánea de 16 muestras y utiliza agua como moderador y blindaje. Además se detalla el estudio de algunas características de los flujos neutrónicos, tanto de neutrones rápidos como térmicos, en el mismo: su magnitud y distribución por los canales de irradiación, la relación aproximada de neutrones rápidos a térmicos, etcétera, determinadas a partir de la medición de la radiación beta en régimen de capas saturadas de compuestos en polvo previamente irradiados, tomando como patrón una sal de potasio.

I. INTRODUCCIÓN

El análisis por activación con neutrones constituye uno de los métodos físicos de análisis más extendidos. Su mayor ventaja radica en su alta sensibilidad, lograda con flujos de partículas relativamente altos, como los obtenidos en los reactores nucleares, generadores de neutrones, microtrones, etcétera. Otras ventajas del método son: su carácter no destructivo, su limpieza (en muchos casos es puramente instrumental) y rapidez, por lo que es uno de los preferidos para innumerables aplicaciones.

En el caso del uso de fuentes isotópicas, debido a su salida relativamente baja, no se pueden alcanzar grandes sensibilidades, pero se mantiene el

resto de las ventajas enumeradas anteriormente, con una ventaja adicional: la alta estabilidad del flujo obtenido.

En nuestro país las fuentes isotópicas se han utilizado en la determinación de elementos tales como el As /1/, el Cu /2/, el Si, Al y Fe /3/ con posibilidades de extender su uso a la determinación de otros macrocomponentes.

Una de las tareas principales en la extensión y uso de dichas fuentes consiste en disminuir el tiempo de duración de cada análisis a partir del aumento del número de muestras a irradiar simultáneamente.

Con este objetivo se diseñó y construyó una instalación que permite la irradiación simultánea de 16 muestras con una sola fuente de neutrones.

Es el propósito del presente trabajo describir la construcción de dicho irradiador neutrónico, construido con gran economía de recursos y presentar algunas de las características del flujo de neutrones térmicos ϕ_T y rápidos ϕ_R en el mismo.

II. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

La instalación, que se muestra en la figura 1, consiste en un sistema de 16 cilindros huecos de plástico con un diámetro interior de 4 cm, a los que llamaremos canales de irradiación, situados concéntricamente alrededor de otro cilindro hueco, plástico, al que llamaremos canal central, dentro del cual se sitúa una fuente de neutrones de Am-Be con una actividad de cinco curios y una salida de aproximadamente 10^7 neutrones/s.

Los canales de irradiación, donde se sitúan las muestras a analizar, se distribuyen, como se muestra en la figura 1, en dos circunferencias de radios de 8 y 12 cm respectivamente (8 en cada una) situados simétricamente (uno cada 45°) montados, junto con el canal central, sobre dos discos de plexiglás de 18 cms de radio.

Para facilitar su comprensión, en la figura 1 no están representados todos los canales de irradiación.

El canal central tiene un diámetro interior de 7,7 cms y un espesor de cinco mm (figura 2a) y dentro de él se coloca otro cilindro en cuyo interior (debajo) se sitúa la fuente, que a su vez va colocada dentro de un recipiente donde se mantiene en una posición vertical sin posibilidad de movimiento. La fuente tiene forma cilíndrica.

Todo el sistema está construido de modo tal que puede rotar sobre un punto central por la acción de un motor.

El canal central, al igual que los demás, está relleno con piezas de parafina que permiten que pueda ser montado y desmontado fácilmente (figura 2b). Dentro de los canales de irradiación se colocan unos recipientes cilíndricos.

dricos (figura 3), de unos 3,7 cm de diámetro, con un corte transversal en la parte inferior que forma una cavidad de unos 50 cm³, donde se colocan los recipientes contenedores de las muestras a irradiar, que no son más que pequeños cilindros huecos de 27 cm³ de capacidad.

Todo el sistema se introduce en un tanque lleno de agua de 55 galones de capacidad, protegido por láminas de plomo de aproximadamente 1 cm de espesor que actúan como blindaje contra la radiación gamma suave emitida por la fuente.

III. DETERMINACIÓN DE LOS FLUJOS TÉRMICOS Y RÁPIDOS EN EL IRRADIADOR

Los flujos neutrónicos (su componente térmica y su componente rápida), se determinaron a partir de la activación de compuestos en polvo de Al₂O₃, CuO, Fe₂O₃ y SiO₂ y su posterior medición en régimen de capas saturadas, según el método propuesto de /1,2/. En las mediciones cuantitativas se tomó como patrón de comparación la sal ClK, cuya actividad específica, debida al isótopo ⁴⁰K (0,018 % de abundancia natural) puede calcularse.

Luego de irradiadas, las muestras se midieron en una instalación de bajo fondo donde trabaja un sistema de cinco detectores de alta eficiencia a la radiación beta y baja sensibilidad a la radiación gamma (~0,6 %) con una geometría de aproximadamente 2π. Los detectores empleados son del tipo CTC-6 cuyas características aparecen en /4/.

En la irradiación de los óxidos arriba mencionados ocurren con alta preferencia las reacciones Al²⁷(n,γ)Al²⁸, Cu⁶⁵(n,γ)Cu⁶⁶, Si²⁸(n,p)Al²⁸ (con una energía umbral E_n > 4 MeV) y Fe⁵⁶(n,p)Mn⁵⁶ (con una E_n > 3 MeV).

Se excluye la interferencia del O¹⁶ y de la posible ocurrencia de otras reacciones debido al tiempo de irradiación empleado y a otras características de este método que se explican en /2/.

Las consideraciones anteriores fueron comprobadas experimentalmente determinando el T_{1/2} para cada uno de los óxidos irradiados, los que coinciden con los reportados en la literatura dentro del error experimental con que fueron medidos.

Para el cálculo del flujo en el régimen de capas saturadas se usó la expresión /2/;

$$\phi = I_p C_p \frac{K_p}{V_p} \frac{1}{(\mu/p)_p N_{av}} \frac{V_x (\mu/p)_x A_x}{K_x C_x \theta_x \sigma_x} \quad (1)$$

donde:

I_p - actividad específica del potasio natural (26 des./s.g)

- C_p, C_x - concentraciones del K en el patrón y del isótopo x en el indicador
- K_p, K_x - eficiencia de registro para la radiación beta del patrón y del indicador respectivamente
- V_p, V_x - velocidades de conteo para el patrón y el indicador respectivamente.
- $(\mu/p)_p, (\mu/p)_x$ - coeficientes másicos de absorción beta en el patrón y el indicador respectivamente suponiendo Al como absorbente.
- N_{av} - Número de Avogadro.
- σ - sección eficaz para la reacción dada

El error para el cálculo de flujo por la Ec. (1) es de alrededor de un 25 % /2/. Además, se comprobó que una serie de factores que pueden afectar la Ec. (1), tales como: corrección por blanco grueso, contribución de los neutrones epitérmicos, efecto de temperatura para la reacción (n,) y otros resultan despreciables si se tiene en cuenta el error del método.

IV. DISTRIBUCIÓN DE FLUJOS NEUTRÓNICOS EN EL IRRADIADOR

IV a). Distribución angular de Φ_T .

De acuerdo con (1) la velocidad de conteo V_x es directamente proporcional al flujo neutrónico, por lo que se procedió a irradiar muestras de Al_2O_3 en cada uno de los canales de irradiación de ambos anillos.

Los resultados de los valores promedio de las velocidades de conteo por canal obtenidos en mediciones integrales de 1 minuto, luego de un tiempo de enfriamiento de 45 segundos se muestran en la figura 4, donde se indica la posición relativa de los canales en el irradiador.

Como se observa, la distribución de Φ_T puede considerarse simétrica, lo que se confirmó a partir de las pruebas estadísticas correspondientes.

IV b). Determinación de Φ_T y Φ_R en cada anillo.

En la tabla no. 1 se muestran los valores medidos o calculados de las magnitudes que aparecen en la ecuación (1) correspondientes a los indicadores.

Los parámetros correspondientes al patrón de CLK son los siguientes:

$$C_p = 0,53, K_p = 0,57, (\mu/p)_p = 12,4 \text{ cm}^2/\text{g} \text{ y } v_p = 184 \pm 6 \text{ cont./30 s.}$$

TABLA N° 1

Reacción	V _{int} cont/30s	V _{ext} cont/30s	C	K	(μ/p) cm ² /g	θ	A	σ cm ² x10 ⁻²⁴
Cu ⁶⁵ (n, γ)Cu ⁶⁶	1234 ± 74	436 ± 26	0.80	0.78	5.40	0.31	65	2.170
Al ²⁷ (n, γ)Al ²⁸	854 ± 26	-	0.54	0.96	4.72	1.00	27	0.232
Si ²⁸ (n,p)Al ²⁸	130 ± 23	66 ± 15	0.78	0.96	4.72	0.92	28	0.013*
Fe ⁵⁶ (n,p)Mn ⁵⁶	15 ± 2	-	0.70	0.70	7.89	0.92	56	0.005*

* De toda la bibliografía consultada /3,6 - 9/ se desprende una gran incertidumbre para el valor de las secciones eficaces de la reacción (n,p). Las que aparecen en la tabla no. 1 se obtuvieron del valor medio del rango de valores más probables de acuerdo con los gráficos de σ vs E_n que aparecen en /7/ para la energía promedio del espectro neutrónico de la fuente de Am-Be calculado a partir de /11-13/, que resulta ser de 5,5 MeV.

En la tabla no. 2 se presentan los valores de φ_T y φ_R obtenidos, comparados con los valores calculados para φ_T a partir de la teoría de los tres grupos a distancias de 8 y 12 cm de la fuente, suponiendo un medio infinito y homogéneo y sin hacer correcciones por la absorción en los cilindros plásticos.

Los valores de φ_R obtenidos usando como indicador el SiO₂ y el Fe₂O₃ suponen diferentes umbrales.

Los parámetros correspondientes a la longitud de difusión, coeficiente de difusión y longitud de moderación del agua fueron tomados de /10/.

En la tabla no. 2 sólo aparece el valor medio de los φ_T determinados utilizando como indicadores el CuO y el Al₂O₃, los que resultaron bastante cercanos dentro del orden del error en que fueron medidos.

TABLA N° 2

Distancia (cm)	φ _T TEO. (n/s.cm ²)	φ _T EXP. (n/s.cm ²)	$\frac{\phi_T(\text{TEO})}{\phi_T(\text{EXP})}$	E _n > 4MeV φ _R (n/s.cm ²)	E _n > 3MeV φ _R (n/s.cm ²)
8	3.4.10 ⁴	(5.8 ± 1) .10 ³	5.8 ± 1	(1.1 ± 0.2) .10 ⁴	(1.7 ± 0.3) .10 ⁴
12	1.6.10	(1.8 ± 1) .10 ³	8.9 ± 2	(5.6 ± 1.0) .10 ³	

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Pudo comprobarse que el flujo de neutrones térmicos se encuentra distribuido simétricamente en los canales de los anillos interiores y exteriores y que el ϕ_T teórico es de 6-9 veces mayor que el ϕ_T experimental, lo cual con toda seguridad se debe al efecto de absorción de neutrones en el canal central y en los canales de irradiación, además del hecho de que la fuente no es puntual y el medio no puede considerarse infinito como se supuso en los cálculos teóricos.

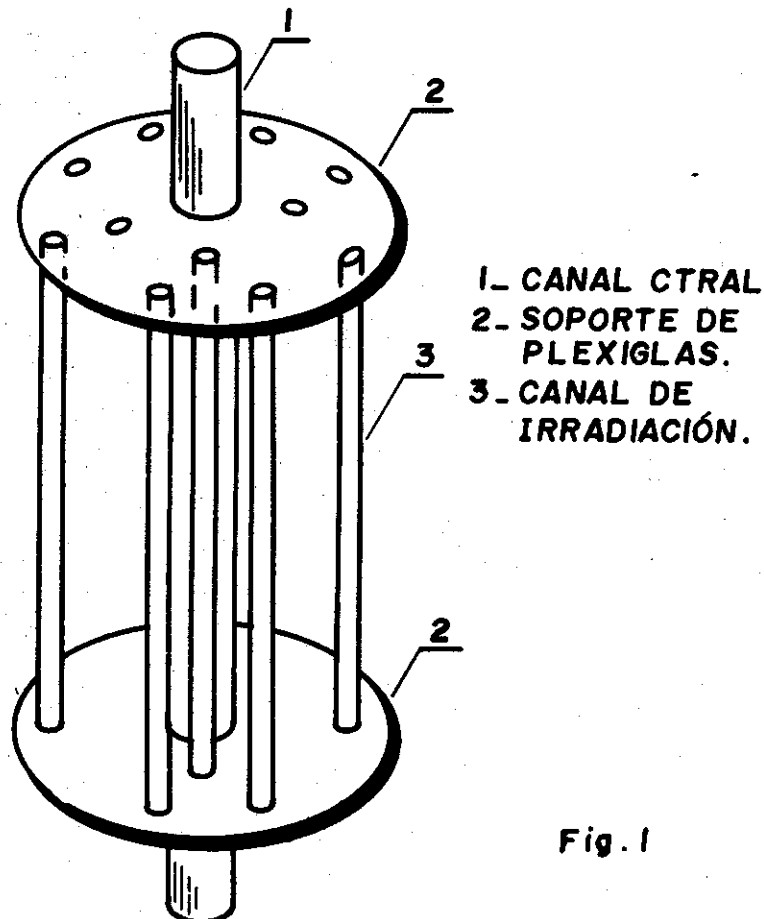
El valor de ϕ_R para $E_n > 3$ MeV resultó mayor que el obtenido para $E_n > 4$ MeV en una magnitud de aproximadamente un 30 % como era de esperar del análisis de los espectros energéticos de la fuente de Am-Be /11-13/.

VI. CONCLUSIONES

El irradiador construido permite la irradiación simultánea de hasta 16 muestras con flujos de neutrones térmicos del orden de 10^3 n/s.cm² y un flujo de neutrones rápidos para $E_n > 3$ MeV aproximadamente 2-3 veces mayor en los canales de irradiación.

Se observa un efecto de absorción de neutrones no despreciable en las paredes de los cilindros plásticos.

El método empleado para la medición de los flujos neutrónicos resulta sencillo y de fácil ejecución, lo que compensa el error con que se miden dichos parámetros.



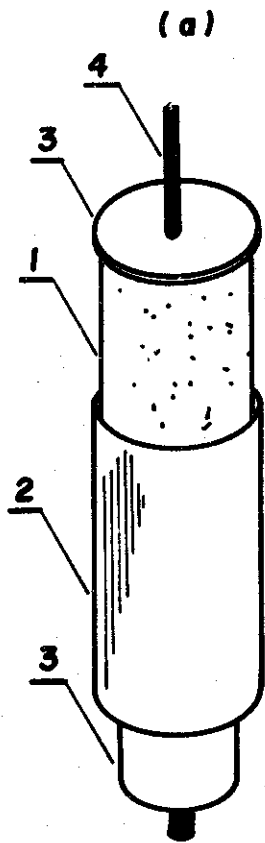


Fig.2

- 1- PARAFINA
- 2- CILINDRO HUECO DE PLÁSTICO.
- 3- SOPORTES
- 4- VARILLA METÁLICA.
- 5- FUENTE DE Am-Be

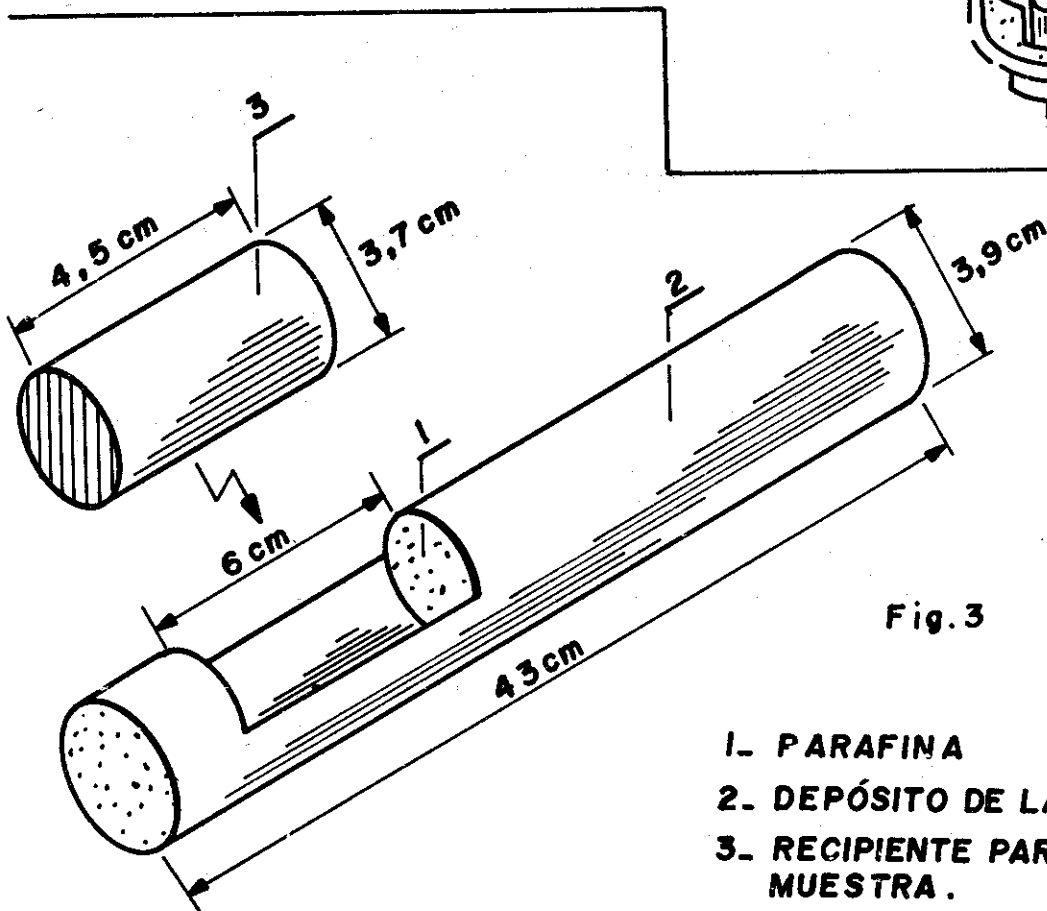
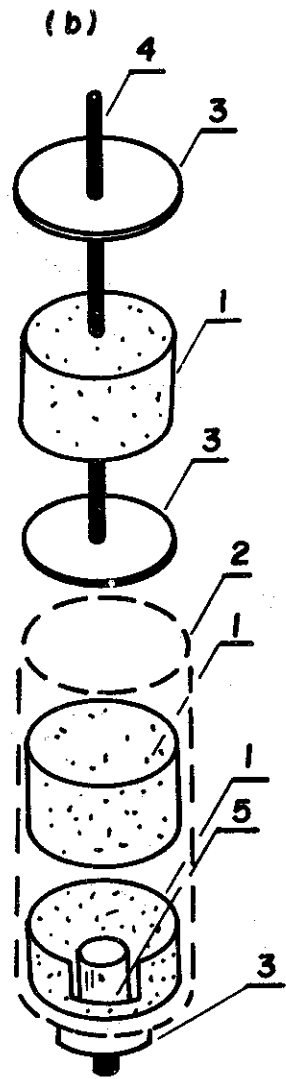
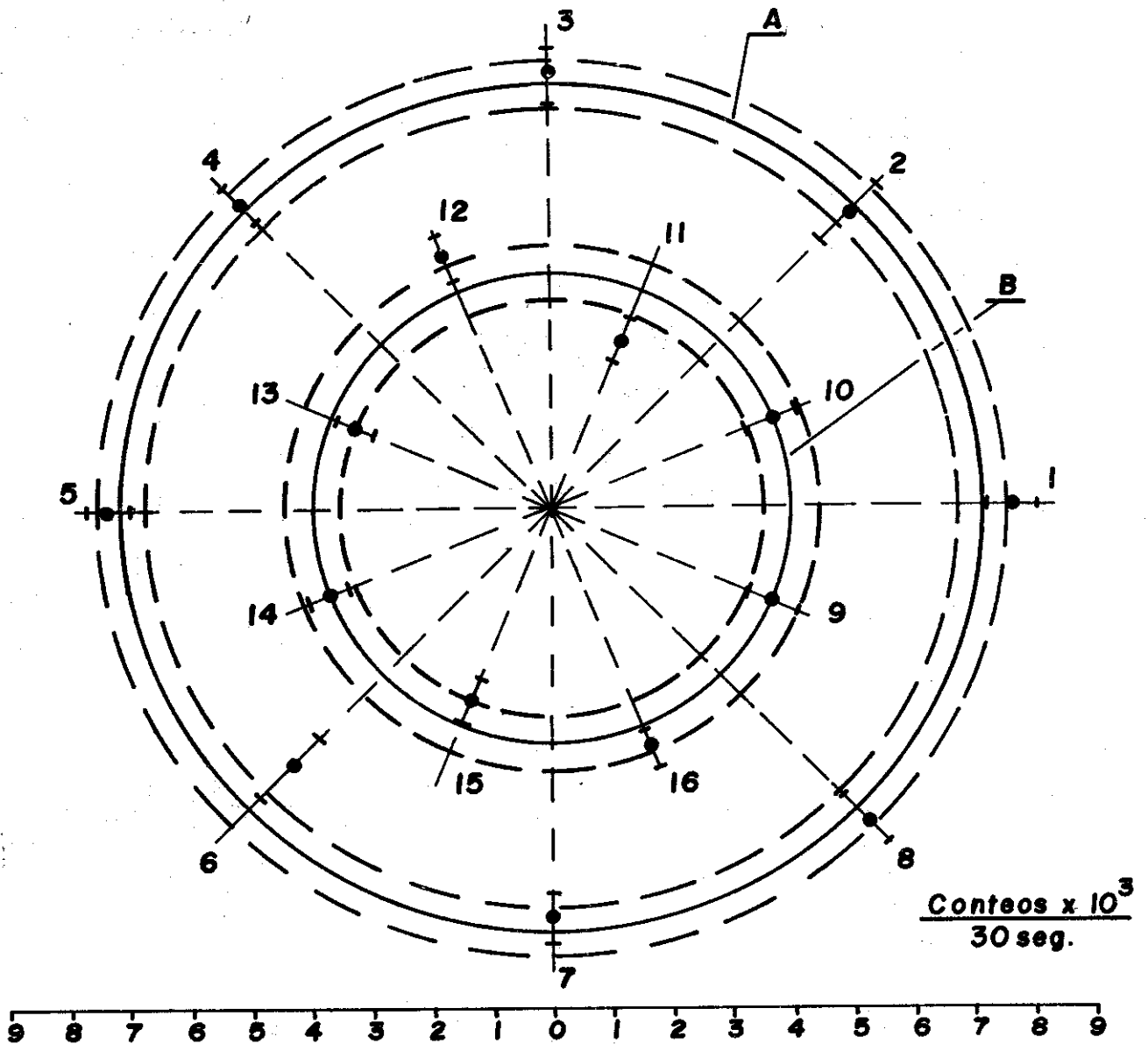


Fig.3

- 1- PARAFINA
- 2- DEPÓSITO DE LA MUESTRA
- 3- RECIENTE PARA LA MUESTRA.



A - \bar{V}_0 en el anillo delantero
B - \bar{V}_0 " " trasero

Fig. 4.

BIBLIOGRAFÍA

- /1/. Marisy F., J.; P. Mariño C.; B. Rodríguez C.; L. Pérez T.
 Análisis de As por activación neutrónica en muestras minerales en régimen de capas saturadas. (Enviado para su publicación a la Revista Cubana de Física).
- /2/. Mariño C., P.A. y L. Pérez T.
 Acerca del método de análisis por activación neutrónica en régimen de capas saturadas. (Publicado en este número).

- /3/. Díaz, R.A.; V. Sierra y A. Vera
Determinación de macrocomponentes en suelos por activación con fuentes isotópicas de neutrones. Revista Cubana de Física, Vol. 1, No. 2, 1981, pp. 29-39.
- /4/. Novikov, G.F. y N. Napkov
"Radioaktivnie Metodi Razviedki", Editorial "Nedra", 1965, p. 171.
- /5/. Levin, B.E. y L.P. Jariananov
"Registratsia Ioniziruiushix izluchenii" Editorial Atomizdat", 1973, p. 184.
- /6/. Vlasov, N.A.
"Neutroni" Editorial Nauka", 1971, p. 90-93.
- /7/. Bormann, M; H. Neuert and W. Scabel
Tables and graphs of cross sections for (n,p), (n, α) and (n,2n) reactions in the neutron energy region 1-37 MeV. Technical Report Series No. 156, Handbook on Nuclear Activation Cross Sections, IAEA, Vienna 1974, pp. 139-270.
- /8/. Pishinichnii, G.A.
"Vzaimodiestbie izluchenii c veshestvom" Editorial "Energoizdat", 1982, p. 129.
- /9/. Artsibashev, V.A.
"Iaderno geofizicheskaia pazviedka" Editorial "Atomizdat" 1972, pp. 243-245.
- /10/. Olgaard, P.L.
On the Theory of Neutron Method in Research Water Content in soil. Risö Report No. 97. 1965.
- /11/. Kartashaev, E.P. and A.C. Christanv
"Neutronnie metodi nieprerivnovo analiza sostava vieshestva" Edit. "Atomizdat", 1978, p. 29.
- /12/. Notarrigo, S.; F. Porta; A. Rubbino, and S. Sombatero
Experimental and calculated energy spectra of Am-Be and Pu-Be neutron sources. Nuclear Physics. Vol. A 25, 1969, No. 1, p. 28-32.
- /13/. Deguarrini, F. and R. Majaroda
Two different techniques measurements of the neutron spectrum of an Am-Be source. Nuclear Instruments and Methods. Vol. 92, 1971, No. 2, p. 279.

LOS NUEVOS ADELANTOS DE LA ELECTRONICA EN LA EDUCACION SUPERIOR

1. El Ministerio de Educación Superior convoca a un Concurso cuyo propósito es estimular la utilización de las técnicas de avanzada de la electrónica y promover su uso y métodos en la enseñanza universitaria, mediante la realización de investigaciones científicas al más alto nivel en este campo, la generalización de las experiencias y la incidencia de los resultados en la vida del país y en la modernización de la formación de especialistas.

2. El concurso tendrá como tema central: LA INFLUENCIA DE LAS TECNICAS DE AVANZADA DE LA ELECTRONICA EN EL DESARROLLO CONTEMPORANEO DE LA EDUCACION SUPERIOR

3. Pueden participar todos los investigadores, profesores y profesionales del país, cuyos trabajos contribuyan al desarrollo actual y prospectivo del tema central del concurso.

4. Los trabajos que se presenten deben ser resultados de la investigación científica útiles al país y que influyan al mismo tiempo en la elevación de la calidad de profesores, científicos y estudiantes; experiencias novedosas en la educación de posgrado y en la formación de especialistas; instalaciones que amplíen la base material de la educación superior y otros similares.

5. Los trabajos e ideas que contribuyan al objetivo central convocado por esta ocasión se centrarán en el láser y la robótica y deben tratar sobre las siguientes temáticas:

5.1. uso del láser en transmisión de información y de datos, así como distintos tópicos de interfaces necesarias para estos sistemas.

5.2. enlaces ópticos entre computadores. Redes de computadoras.

5.3. desarrollo de equipos de uso en medicina.

5.4. usos del láser en medicina.

5.5. procesamiento de imágenes. Organos de visión de robots.

5.6. sistemas de protección y vigilancia

5.7. uso de la robótica.

5.8. creación de pase material en láser y robótica que contribuya al desarrollo de estas técnicas para la educación superior.

6. Se otorgará un premio por temática a los mejores trabajos presentados y a las menciones que el jurado considere conveniente en función de la calidad de los mismos. El jurado se reserva el derecho de dejar vacante alguno de los premios cuando los trabajos no cumplan con los requisitos establecidos. El fallo del jurado es inapelable.

7. Los premios se entregarán en acto público solemne y consistirán en:

- obsequio que simbolice el quehacer científico y la vida universitaria
- divulgación de las razones del premio
- diploma acreditativo
- publicación del trabajo

8. Los premios se entregarán al mejor de los trabajos que cumplan los requisitos siguientes:

- tener significación social y/o económica
- constituir ideas, conceptos o experiencias concretas cuyo conocimiento y extensión contribuyan al desarrollo de las aplicaciones del láser y de la robótica, y a la actualización de la educación superior en estas técnicas.
- adjuntar un aval del usuario en caso de haber sido introducidos los resultados del trabajo o del Consejo Científico de su área en caso de ser de otro carácter.

9. La organización del concurso, evaluación y selección de los trabajos se realizará por el Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" en consideración al papel desempeñado por esta institución en el desarrollo de la aplicación de la técnica del láser en el país.

10. El Insuuto superior Politécnico José Antonio Echeverría" conservará en su centro de Información Científico Técnica los originales de los trabajos presentados a concurso. Y establecerá con ellos un servicio informativo.

11. Los trabajos se presentarán atendiendo al siguiente formato:

- extensión de 5 a 30 cuartillas mecanografiadas a 2 espacios.
- papel de tamaño 210 y 280 cms con dos márgenes laterales de 2,5 a 3,75 cm y sangría.
- original y dos copias presilladas y debidamente enumeradas.
- gráficos y tablas deben estar presentados con suficiente claridad.
- la ficha de autores debe presentarse en anexos.
- pueden presentarse medios auxiliares si son imprescindibles.

12. El trabajo debe constar de:

- portada en la que aparezca: título y autor o autores, consignando cargo, categoría y centro
- índice
- introducción
- desarrollo
- conclusiones y recomendaciones
- bibliografía utilizada
- aval del Consejo Científico o del usuario.

13. El plazo de presentación de los trabajos se extenderá hasta el 30 de diciembre de 1987 y los premios, se darán a conocer el 28 de febrero de 1988.

14. Los trabajos deben enviarse en sobres dirigidos a:

**Concurso sobre Electrónica
Vicerrectoría de Investigaciones
y Posgrado
Instituto Superior Politécnico
"José Antonio Echeverría"
ISPJAE, Marianao
Ciudad de la Habana**



CONCURSO CIENTIFICO TECNICO

LOS NUEVOS ADELANTOS DE LA ELECTRONICA EN LA EDUCACION SUPERIOR