

DETERMINACION DE ESPESORES DE Ag, Cd y Sn  
UTILIZANDO RAYOS X  $K_{\alpha}$  FLUORESCENTES  
INDUCIDOS POR  $^{170}\text{Tm}$

Augusto Moreno y Moreno\*, Fernando Iturbe Hermann

Augusto Nava Jaimes\*

Comisión Nacional de Energía Nuclear

(Recibido: octubre 10, 1966)

RESUMEN

*Espesores de plata, cadmio y estaño, depositados electrolíticamente, han sido medidos usando rayos X fluorescentes producidos por la excitación de diversos blancos mediante la radiación  $\gamma$  del tulio 170.*

ABSTRACT

*The thickness of electrolytically deposited layers of silver, cadmium and tin has been measured using fluorescent X rays produced by the excitation of different targets by the  $\gamma$  rays of thulium 170.*

---

\* Instituto de Física, Universidad Nacional de México.

## INTRODUCCION

Ha sido reportado por J.F. Cameron y J.R. Rhodes<sup>1</sup>, que una fuente de radiación gama o de fotones bremsstrahlung puede reemplazar el tubo de rayos X, cuando se trata de medir pequeños espesores de diversos metales depositados sobre otro metal.

En 1964, J.S. Watt<sup>2</sup> presentó un estudio sobre la eficiencia, pureza y otros aspectos teóricos y experimentales de la producción de rayos X  $K_{\gamma}$  inducidos por la radiación  $\gamma$ .

En 1965, J.A. Hope y J.S. Watt<sup>3</sup> reportaron una serie de resultados en relación con el análisis de aleaciones y determinación de espesores usando los rayos X fluorescentes producidos al incidir la radiación  $\gamma$  del  $^{153}\text{Gd}$  sobre un blanco de Z adecuada.

Considerando la posibilidad de utilizar dicho método en la industria metalúrgica en México, hemos obtenido en este trabajo la información necesaria, reemplazando la fuente de radiación gama de  $^{153}\text{Gd}$ , por una de  $^{170}\text{Tm}$ .

### EFICIENCIA DE CONVERSION DE RADIACION $\gamma$ A RAYOS X.

Si una fuente puntiforme emisora de radiación  $\gamma$  se coloca en el eje de un vaso cónico (blanco) recubierto interiormente con un material de Z adecuada a espesor infinito, es posible determinar la relación del número de rayos X fluorescentes inducidos en dicho material, al número de rayos  $\gamma$  incidentes<sup>2</sup> suponiendo:

- a) que la probabilidad de absorción fotoeléctrica es grande con relación a la probabilidad de dispersión de rayos  $\gamma$ ;
- b) que las dimensiones del vaso cónico son pequeñas con respecto a la distancia entre la fuente radioactiva y al detector.

En estas condiciones es posible excitar la capa electrónica K del material depositado en la pared interior del cono (blanco), por los  $n$  diferentes rayos  $\gamma$  emitidos por la fuente radioactiva.

La relación del número de rayos X K al número de rayos es<sup>2</sup>

$$\frac{N_k}{N_\gamma} = \sum_{i=1}^m f_i \frac{N_{ki}}{N_{\gamma i}}$$

Aquí  $f_i$  es la fracción de la emisión total gama que resulta en la contribución del rayo de energía  $E_i$ . Los elementos que se utilizaron en este trabajo, para recubrir la pared interior del cono (blanco), se escogieron con números atómicos  $53 < Z < 56$ ; y considerando la energía de 84 keV del  $^{170}\text{Tm}$ , se obtienen eficiencias de conversión de rayos  $\gamma$  a rayos X K, de  $\sim 10\%$ , de acuerdo con las curvas de eficiencias  $N_k/N_\gamma$  en función del número atómico del material del blanco para diversas energías<sup>2</sup> (ver Fig. 1).

Si se tiene en cuenta que la actividad de la fuente de  $^{170}\text{Tm}$  es de 4 Ci, con una contribución de 3% de la transición de 84 keV, y con una eficiencia en el proceso de conversión de 10%, la actividad neta de la fuente equivalente de rayos X resulta ser de  $\sim 12$  mCi.

## DESCRIPCION DEL ARREGLO EXPERIMENTAL

Un diagrama de bloques puede verse en la figura 2.

La radiación  $\gamma$  del  $^{170}\text{Tm}$ , al incidir sobre el material del cono-blanco, produce la radiación X K característica, que excita a su vez al elemento del material muestra, produciendo rayos X fluorescentes que se identificaron con un analizador de 400 canales, TMC modelo 401.

La linealidad del equipo para bajas y altas energías puede verse en las figuras 3 y 4 respectivamente.

Los espectros de rayos X característicos, emitidos por blancos de Ba, I, y Ag pueden observarse en las figuras 5, 6, 7.

## RESULTADOS

Teniendo en cuenta que el número atómico del material con el cual se recubrió el cono (blanco) se selecciona de manera que su radiación  $X K_{\alpha}$  sea de una energía un poco mayor que la correspondiente a la arista de absorción crítica de la capa electrónica  $K$  del elemento a excitar, se escogieron para la determinación de espesores de plata los parámetros siguientes<sup>4,5</sup>:

blanco cónico de KI: Arista de absorción crítica: 33.164 keV

blanco cónico de KI: Emisión de rayos  $X K_{\alpha}$ : 28.610 keV

material muestra (Ag): Arista de absorción crítica: 25.517 keV

material muestra (Ag): Emisión de rayos  $X K_{\alpha}$ : 22.162 keV

La figura 8 muestra los resultados en la determinación de espesores de plata sobre una lámina de cobre, depositados y medidos electrolíticamente y comprobados posteriormente por métodos gravimétricos.

Para la determinación de espesores de estaño se utilizaron los siguientes parámetros:

blanco cónico de  $BaCl_2$ : Arista de absorción crítica: 37.410 keV

blanco cónico de  $BaCl_2$ : Emisión de rayos  $X K_{\alpha}$ : 32.191 keV

material muestra (Sn): Arista de absorción crítica: 29.190 keV

material muestra (Sn): Emisión de rayos  $X K_{\alpha}$ : 25.270 keV

En la figura 9 puede verse la determinación de espesores de estaño sobre una lámina de hierro, depositados y medidos en las condiciones mencionadas.

Por último, para la determinación de espesores de cadmio utilizamos la siguiente información:

blanco cónico de KI: Arista de absorción crítica: 33.164 keV

blanco cónico de KI: Energía de rayos  $X K_{\alpha}$ : 28.610 keV

material muestra (Cd): Arista de absorción crítica: 26.712 keV

material muestra (Cd): Emisión de rayos  $X K_{\alpha}$ : 23.172 keV

En la figura 10 pueden observarse los resultados en la determinación de espesores de Cd, depositado sobre una lámina de hierro. Es interesante notar en esta gráfica que para valores mayores de  $1.7 \text{ mg/cm}^2$ , el factor de autoabsorción tiene que ser considerado.

Los errores involucrados en las medidas de espesores ilustradas en las figuras 8 a 10 son el error estadístico de conteo, y el de la determinación gravimétrica ( $\pm 10^{-5} \text{ g}$ ).

La estabilidad del equipo electrónico durante las medidas fué excelente y, habiéndose conservado constante la geometría del arreglo al realizar las diferentes determinaciones de espesores, no es necesario verificar corrección por dicho parámetro.

### CONCLUSIONES

Este método prueba ser de fácil adaptación para la industria metalúrgica en la determinación de pequeños espesores de metales depositados electrolíticamente.

Deseamos agradecer al Dr. E. Ley Koo sus consejos y sugerencias en este trabajo, así como al Programa de Aplicaciones Industriales de la C.N.E.N., el préstamo del analizador multicanal.

### BIBLIOGRAFIA

1. J.F. Cameron y J.R. Rhodes. *Nucleonics* **19**, 53 (1961).
2. J.S. Watt. *Int. J. of Appl. Rad.* **15**, 617 (1964).
3. J.A. Hope y J.S. Watt. *Ibidem*, **16**, 9 (1964).
4. C.E. Moore. *Atomic Energy Levels*, N.B.S., 1947, p. 467.
5. S. Fine y C.F. Hendel, "X - Ray Critical Absorption and Emission Energies in keV", *Nucleonics* **13**, 36 (1955).

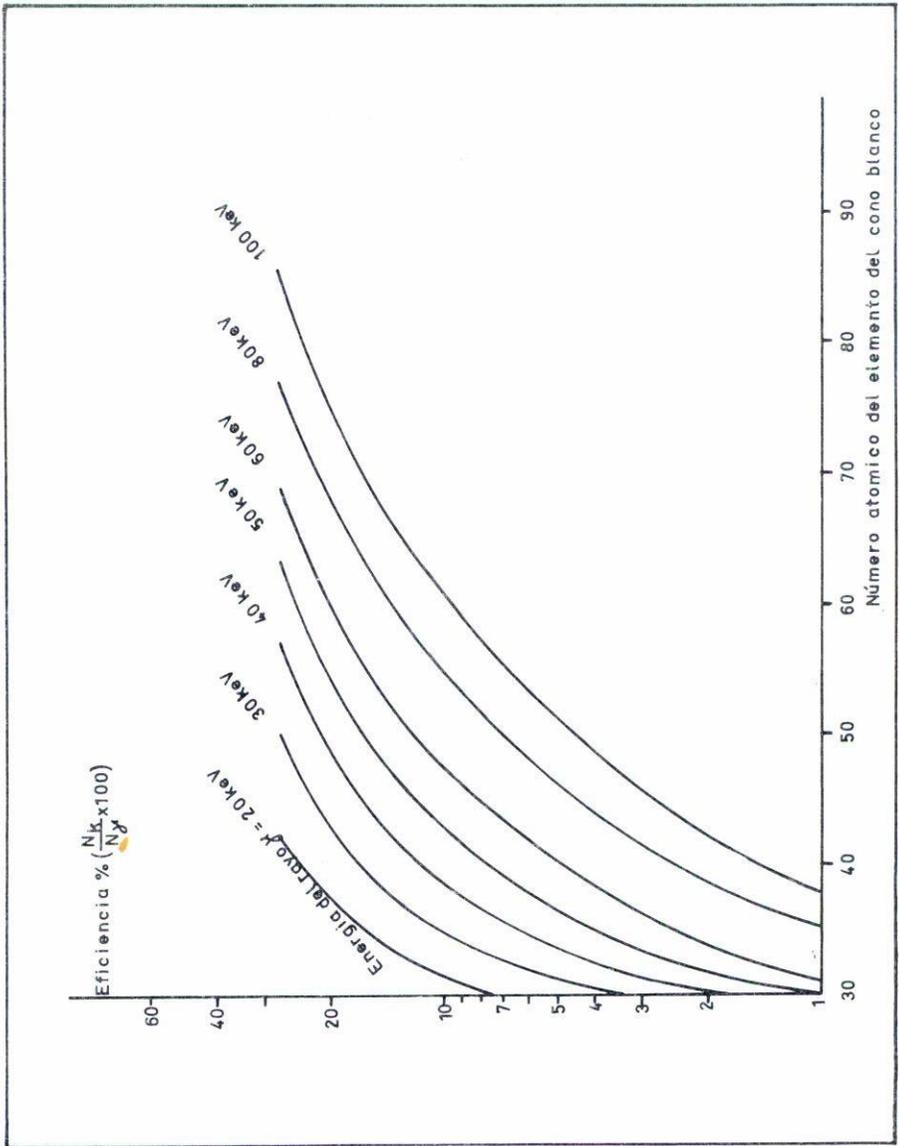


Fig. 1. Eficiencia de conversión de rayos  $\gamma$  en rayos X fluorescentes en función del número atómico.

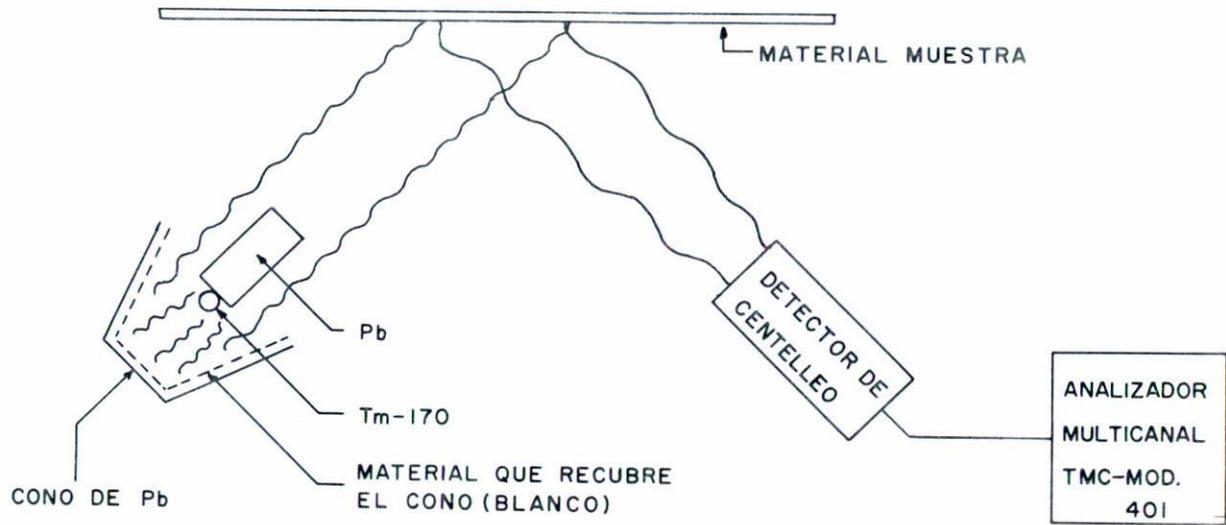


Fig. 2. Diagrama del dispositivo experimental.

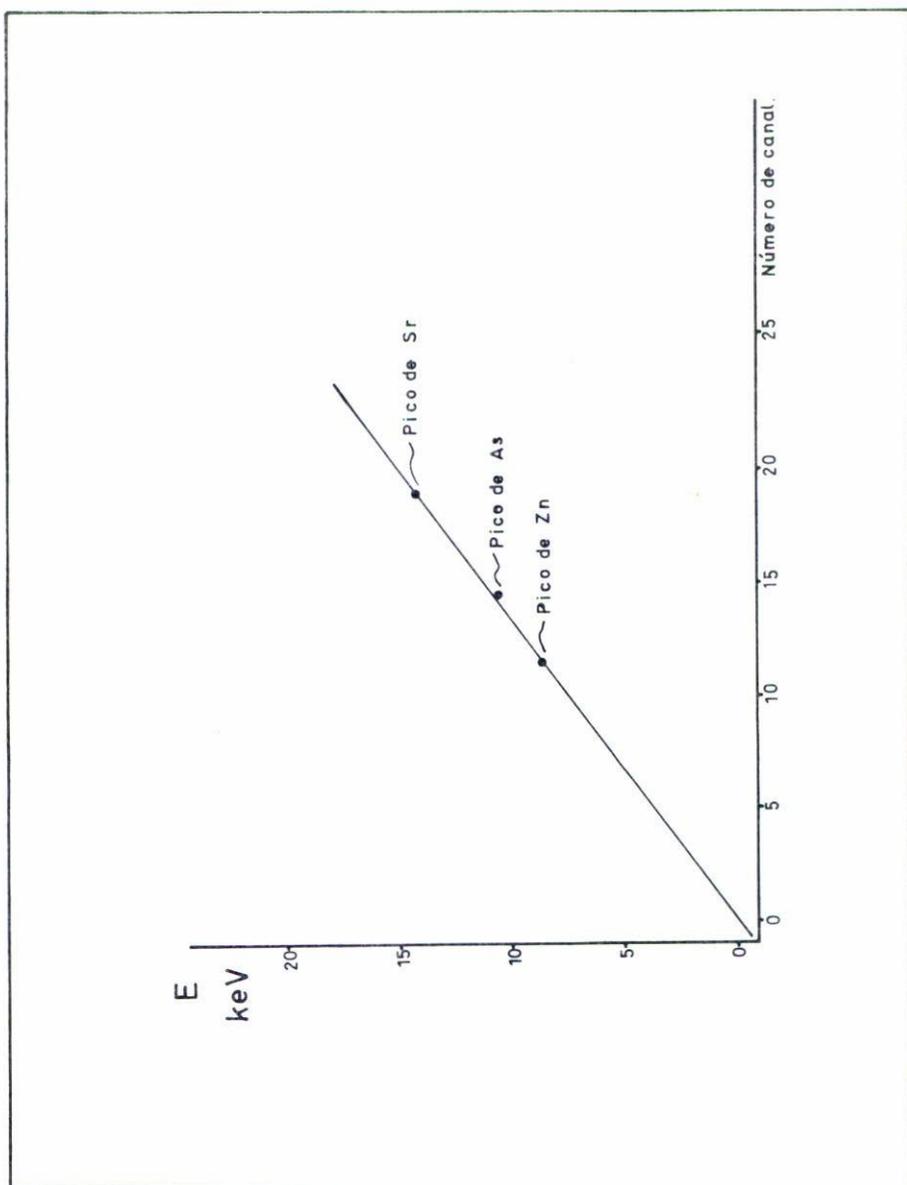


Fig. 3. Determinación de la linealidad del analizador de 400 canales para energías hasta 20 keV.

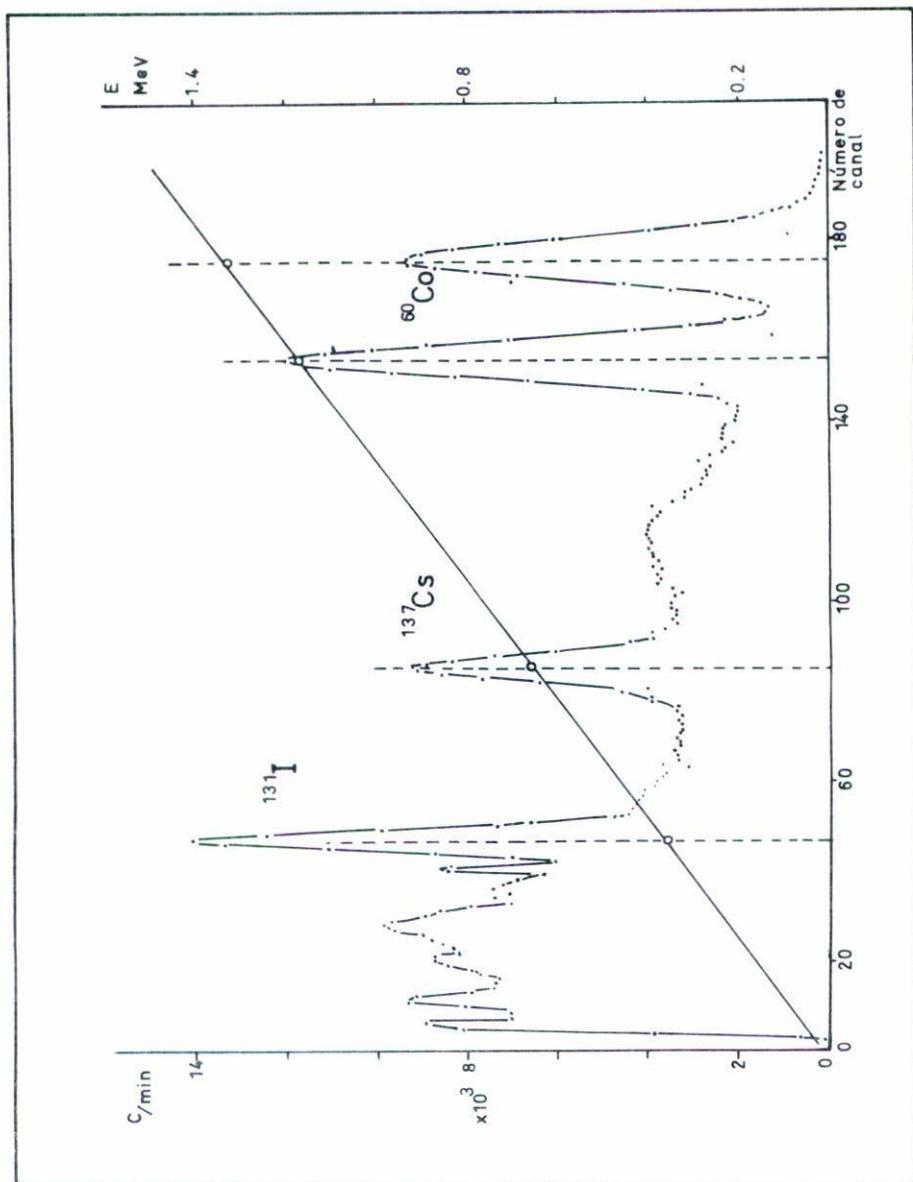


Fig. 4. Determinación de la linealidad del analizador de 400 canales para energías hasta de 1.3 MeV.

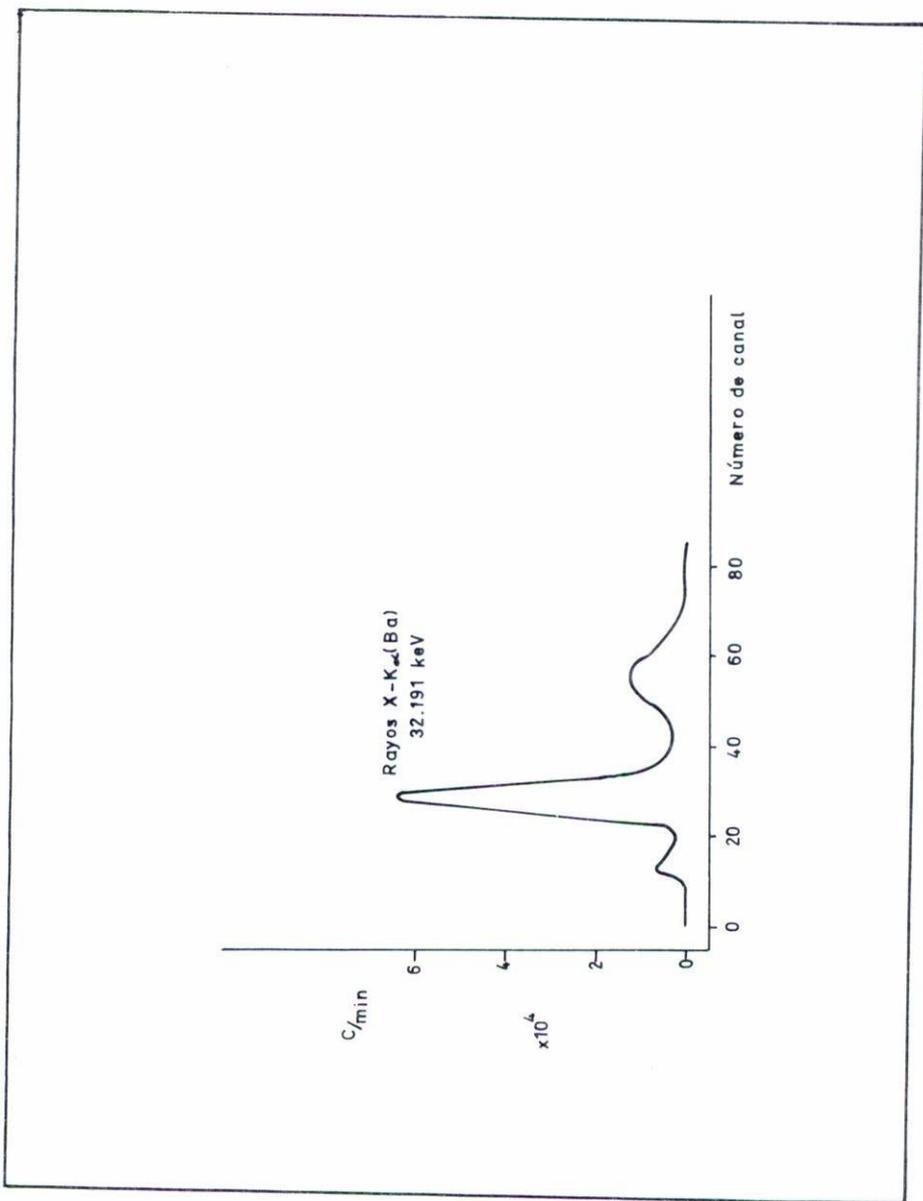


Fig. 5. Espectro de rayos X emitidos por un blanco cónico de  $\text{BaCl}_2$  excitado con los rayos  $\gamma$  del  $^{170}\text{Tm}$ .

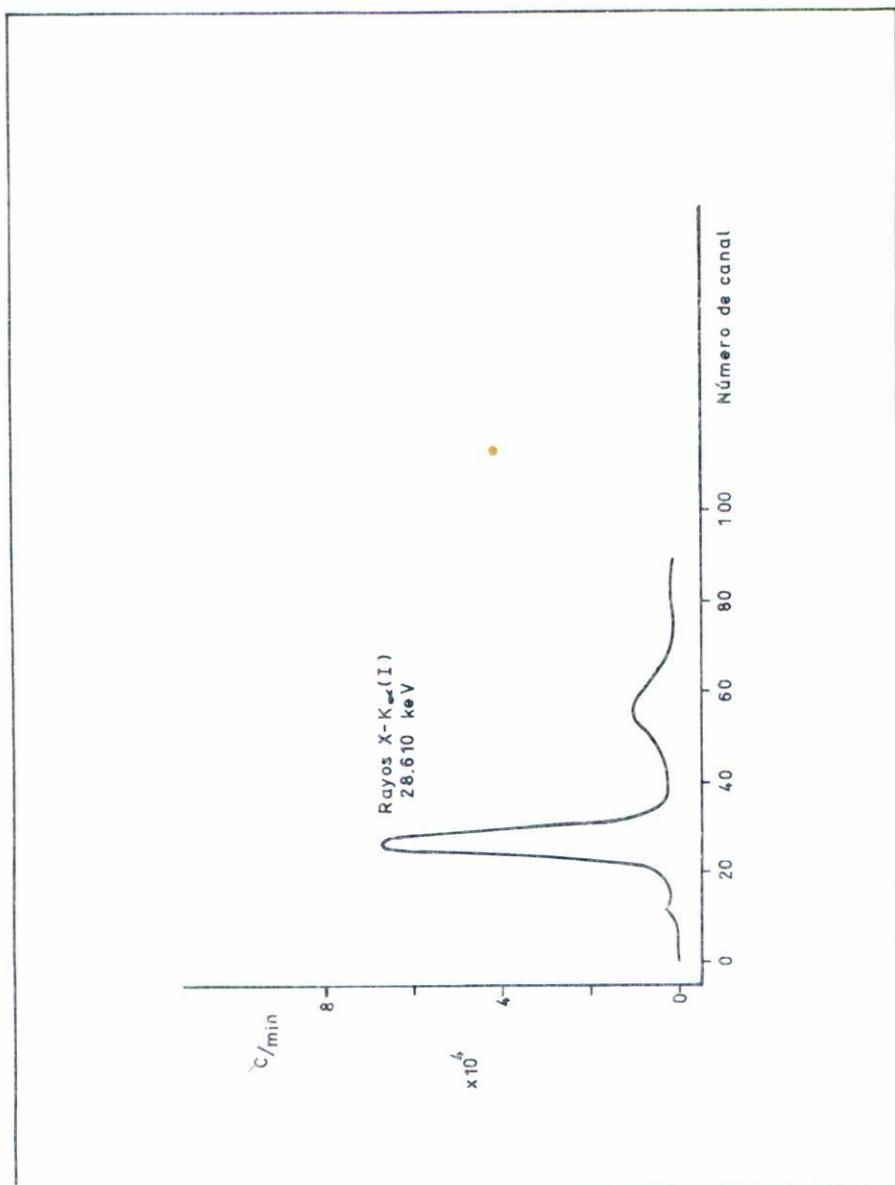


Fig. 6. Espectro de rayos X emitidos por un blanco cónico de KI excitado con los rayos  $\gamma$  del  $^{170}\text{Tm}$ .

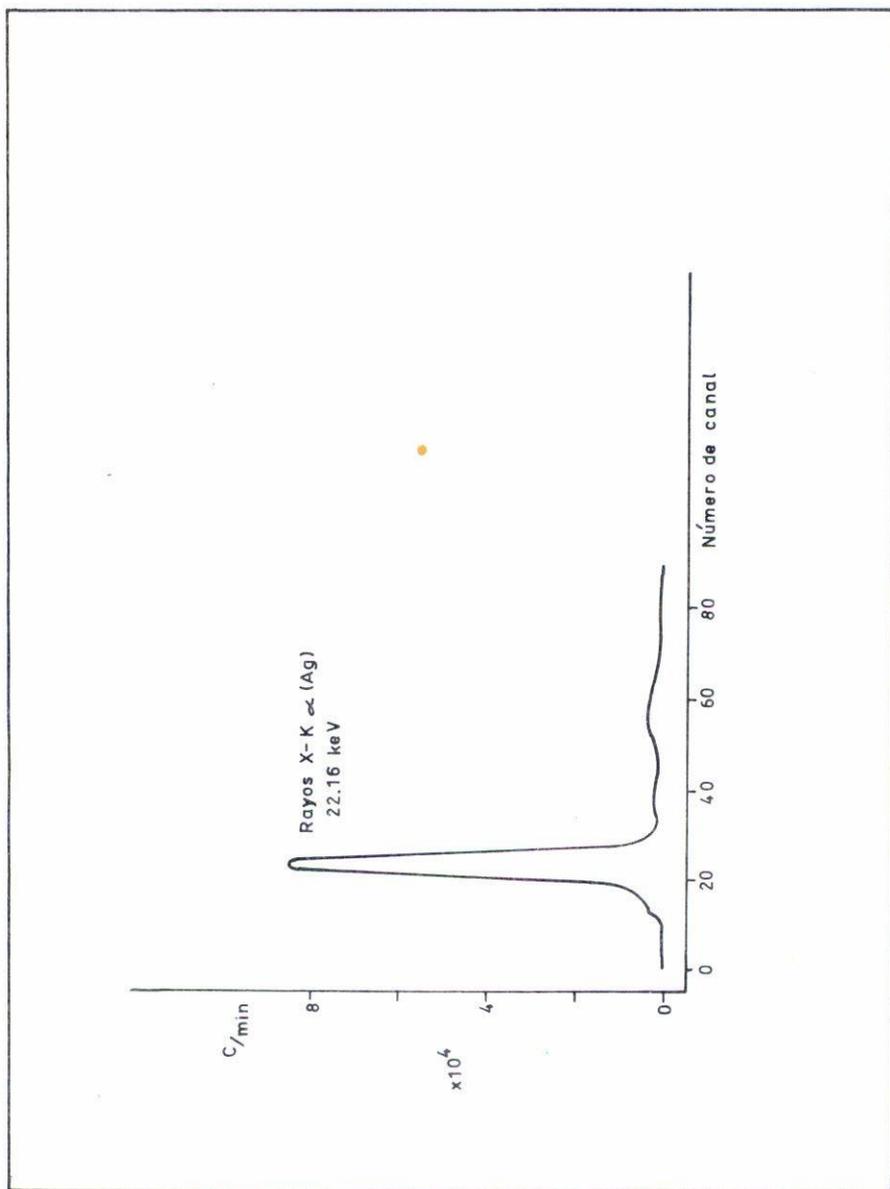


Fig. 7. Espectro de rayos X emitidos por un blanco cónico de Ag excitado con los rayos  $\gamma$  del  $^{170}\text{Tm}$ .

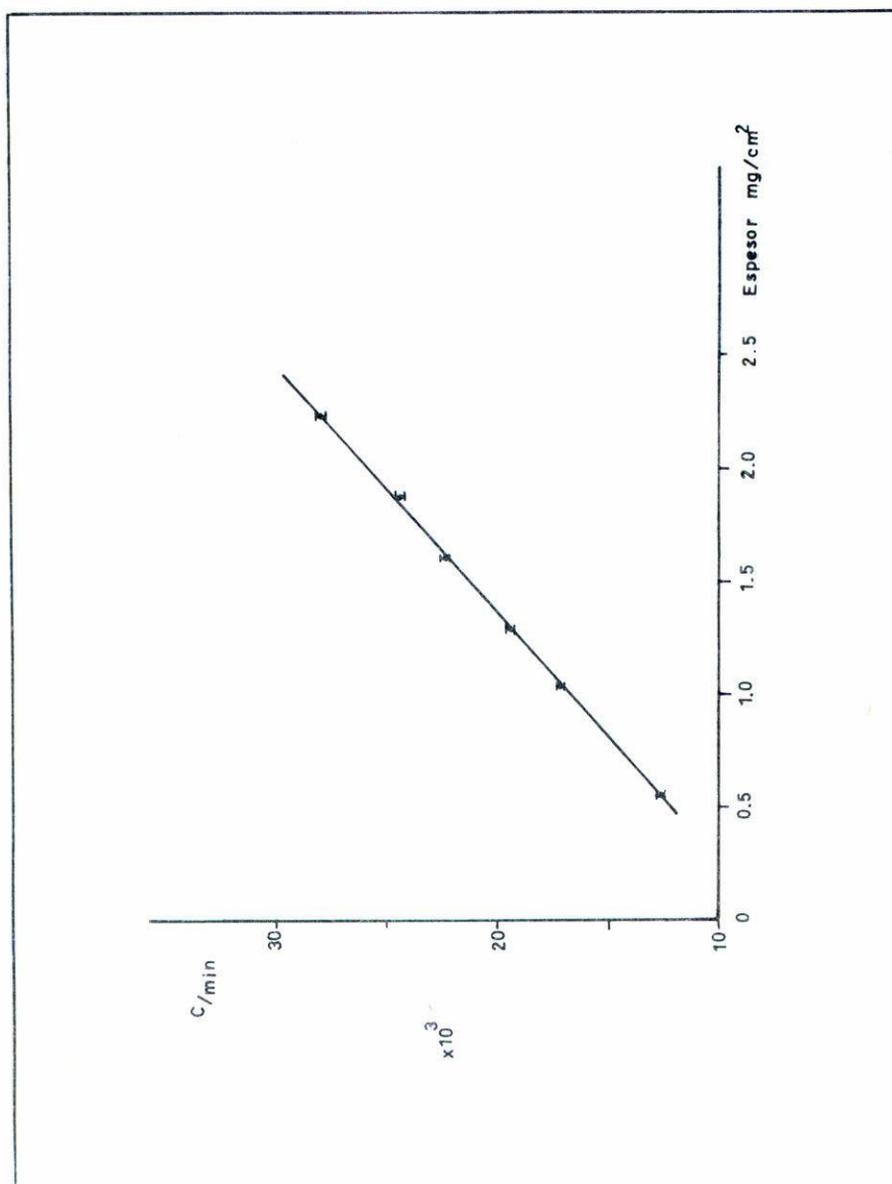


Fig. 8. Determinación de espesores de plata depositada sobre lámina de cobre (blanco cónico de KI).

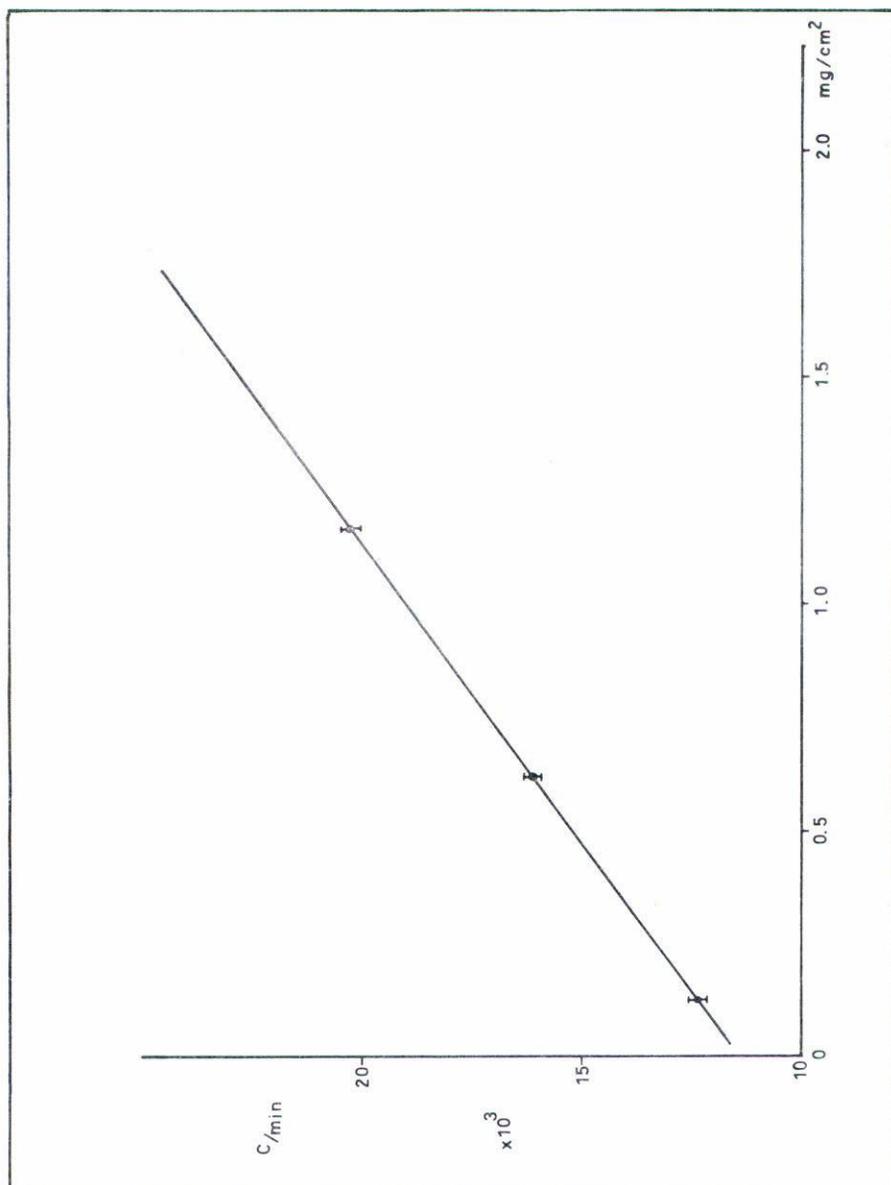


Fig. 9. Determinación de espesores de estaño depositado sobre lámina de fierro (blanco cónico de  $BaCl_2$ ).

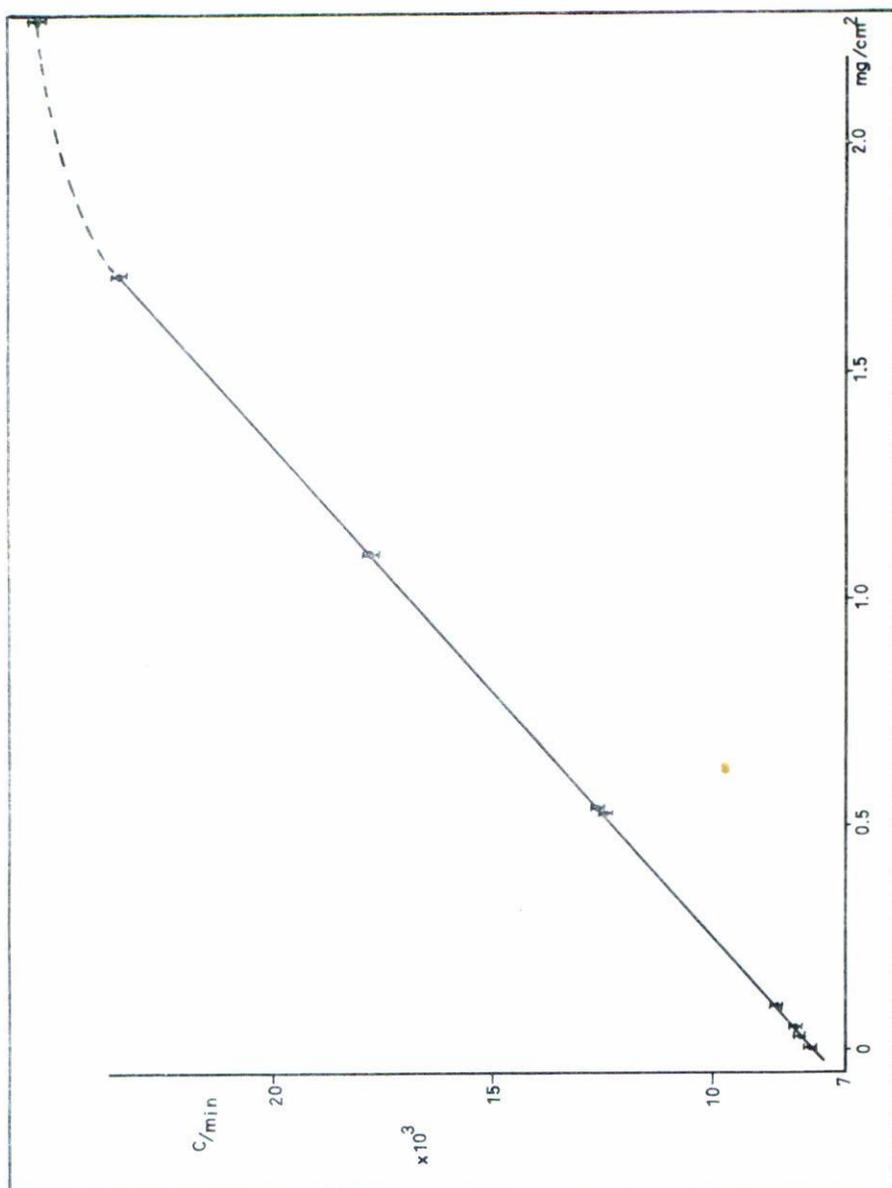


Fig. 10. Determinación de espesores de cadmio depositado sobre lámina de hierro (blanco cónico de KI).

