

Sm 142 72 m K β^- 1,03	Sm 143 309 $\alpha < 2$	Sm 145 340 d K 0,66 kein β^- γ 0,06, ...	Sm 146 5·10 ⁷ a α 2,55	Sm 147 14,97 1,2·10 ¹¹ a α 2,23 α 87	Sm 148 11,24	Sm 149 13,83 α 4000	Sm 150 7,44	Sm 151 ~ 93 a β^- 0,076 γ 0,02 α 12400	Sm 152 26,72 α 140	Sm 153 47 h β^- 0,70; 0,64; 0,80; γ 0,10; 0,07, ...	Sm 154 22,7 α 5,3
Pm 141 ~ 20 m β^- ~ 2,6 γ	Pm 142 34 s β^- 3,78; ... γ ...	Pm 143 265 d K γ 0,74	Pm 144 ~ 400 d K kein β^- γ 0,62; 0,70; 0,48, ...	Pm 145 18 a K 0,14 γ 0,072; 0,067	Pm 146 710 d K β^- 0,78 γ 0,75; 0,45	Pm 147 2,65 a β^- 0,73 γ ... α 2·60	Pm 148 42 d 5,3 d β^- 0,13 γ 0,55 α 130,73 γ 0,15; 0,11	Pm 149 53 h β^- 1,05; 0,78 γ 0,29, ...	Pm 150 2,7 h β^- 2,3; 3,16 γ 0,33, ...	Pm 151 28,4 h β^- 1,1 γ 0,34; 0,17	Pm 152 6 m β^- 2,2 γ 0,12; 0,24; ~ 1
Nd 140 3,3 d K γ 0,11; 0,5	Nd 141 64 s 2,5 h β^- 0,76 γ 0,04; 0,42; 1,14	Nd 142 27,11 α 18	Nd 143 12,17 α 240	Nd 144 23,85 2,4·10 ¹⁵ a α 1,83 α 50	Nd 145 8,30 α 60	Nd 146 17,22 α 1,8	Nd 147 11,1 d β^- 0,81; 0,37 γ 0,09; 0,53 α ...	Nd 148 5,73 α 3,7	Nd 149 1,8 h β^- 1,1; 1,5; 0,95 γ 0,03; 0,65	Nd 150 5,62 α 1,5	Nd 151 12 m β^- 2,06; 1,19; 1,82; 1,65 γ 0,09; 2,17
Pr 139 4,5 h K β^- 1,0 γ 1,3; 1,6, ...	Pr 140 3,4 m K β^- 2,37; ... γ 1,60; 0,90, ...	Pr 141 100 α 10,8	Pr 142 19,1 h β^- 2,15; 0,58 γ 1,57 α 18	Pr 143 13,7 d β^- 0,93 kein γ α 89	Pr 144 17,3 m β^- 2,98; 2,29 γ 0,69, ...	Pr 145 5,9 h β^- 1,80 γ 0,07; 1,15	Pr 146 25 m β^- 3,7; 2,3 γ 0,46; 1,49; 0,75	Pr 147 12 m β^- 0,32; 1,7 γ ...	Pr 148 2 m β^- 0,30	Pr 149 7 β^- ...	Pr 150 92 β^- ...
Ce 138 9,2 ms 0,250 0,80 1,04 α 0,007 0,6	Ce 139 60 s 140 d K β^- 0,75 γ 0,10 kein β^- γ 0,17	Ce 140 88,48 α 0,31	Ce 141 32,5 d β^- 0,44; 0,58 γ 0,15	Ce 142 11,07 α 0,94	Ce 143 33,4 h β^- 1,09; 1,38; 0,50; γ 0,06; 0,29; 0,67, ... α 6,0	Ce 144 284 d β^- 0,32; 0,19; 0,24 γ 0,13; 0,08, ...	Ce 145 3,0 m β^- 2,0 γ ...	Ce 146 14 m β^- 0,70 γ 0,32; 0,22; 0,14, ...	Ce 147 1,2 m β^- ...	Ce 148 0,7 m β^- ...	Ce 149 0,7 β^- ...
La 137 6·10 ⁴ a K kein γ	La 138 0,089 1,1·10 ¹¹ a K β^- 0,21 γ 1,43; 0,81	La 139 99,911 α 8,2	La 140 40,2 h β^- 1,38; 1,10; 0,83 γ 1,60; 0,49; 0,32; 0,82, ...	La 141 3,9 h β^- 2,43; 0,91 γ 1,37	La 142 92 m β^- ~ 4,0 γ 0,63; 2,40; 0,90; 2,08, ...	La 143 14,0 m β^- 3,30 γ 0,63; 1,17; 0,80; 1,98, ...	La 144 kurzt β^- ...	07.65.02			
Ba 136 7,81 α 0,016 + 7	Ba 137 2,6 m 11,32 β^- 0,66 α 5,1	Ba 138 71,66 α 0,5	Ba 139 85 m β^- 2,30; 2,14; 1,40; γ 0,17; 0,78, ... α 4	Ba 140 12,8 d β^- 1,01; 0,48; 0,6; 0,9 γ 0,54; 0,03; 0,44; 0,16, ...	Ba 141 18 m β^- 2,8 γ 0,19; 0,29; 0,46, ...	Ba 142 11 m β^- ~ 4 γ 0,26; 0,89; 1,20, ...	Ba 143 13 s β^- ...	Ba 144 kurzt β^- ...	Ba 145 kurzt β^- ...	Ba 146 kurzt β^- ...	Ba 147 kurzt β^- ...
Cs 135 2,0·10 ⁶ a β^- 0,21 kein γ α 8,7	Cs 136 13 d β^- 0,34; 0,66 γ 0,83; 1,07; 0,34, ...	Cs 137 30 a β^- 0,51; 1,18 α < 2	Cs 138 32 m β^- 3,40 γ 1,43; 1,01; 0,46; 2,21, ...	Cs 139 9,5 m β^- 4,3 γ ...	Cs 140 66 s β^- 0,59 γ ...	Cs 141 kurzt β^- ...	Cs 142 ~ 1 m β^- ...	Cs 143 kurzt β^- ...	Cs 144 kurzt β^- ...	Cs 145 kurzt β^- ...	Cs 146 kurzt β^- ...
Xe 134 10,44 α ~ 0,2	Xe 135 15,7 m 9,2 h β^- 0,53 γ 0,91 α 2,7·10 ⁵	Xe 136 8,87 α 0,15	Xe 137 3,9 m β^- 3,5 γ 0,27; 0,45	Xe 138 17 m β^- 2,4 γ 0,42; 0,51; 1,78; 2,0	Xe 139 41 s β^- 0,90; 0,52 γ ...	Xe 140 16 s β^- ...	Xe 141 1,7 s β^- ...	Xe 142 ~ 1,5 s β^- ...	Xe 143 1 s β^- ...	Xe 144 ~ 1 s β^- ...	Xe 145 ~ 1 s β^- ...
I 133 21 h β^- 1,23; 0,59 γ 0,53; 0,87, ...	I 134 53 m β^- 2,41; 1,25; 1,49 γ 0,85; 0,89; 0,61; 1,07, ...	I 135 6,7 h β^- 1,0; 0,47; 1,4 γ 1,14; 1,28 1,72, ...	I 136 83 s β^- 4,2; 7,0; 5,6; 2,7 γ 1,32; 0,40; 0,27, ...	I 137 24 s β^- ...	I 138 6 s β^- ...	I 139 2,7 s β^- ...	I 140 5,8	I 141 6,4	I 142 6,4	I 143 5,8	I 144 5,6
Te 132 78 h β^- 0,22 γ 0,05; 0,23 α ...	Te 133 50 m ~ 2 m β^- 1,3; 2,4 γ 0,75 α ...	Te 134 42 m β^- 0,20; 0,26 γ 0,17, ...	86				88				90
Sb 131 23 m β^- ...	Sb 132 2,1 m β^- ...	Sb 133 4,1 m β^- ...	Sb 134 0,8 m β^- ...	6,0				5,9			

Manual del

Curso de Metodología y Aplicación de Radioisótopos

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

BUENOS AIRES — REPUBLICA ARGENTINA



REPUBLICA ARGENTINA

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

CURSO DE APLICACION DE RADIOISOTOPOS

BLINDAJE PARA RADIACION GAMMA

Dan Beninson, Horacio Etcheverry,
Hugo Mugliaroli y Alejandro Placer

BLINDAJE PARA RADIACION GAMMA

La permanencia en la vecindad de fuentes de radiación gamma requiere que éstas estén blindadas de modo tal que la exposición semanal no sobrepase la máxima permisible, fijada actualmente en 100 mr. Esto implica que, en el caso de 40 horas de trabajo por semana, la exposición no debe sobrepasar los 2,5 mr/h.

En el caso de depósitos de material radiactivo, el blindaje es generalmente la pared del depósito y el criterio a seguir es entonces, que la exposición contra la cara externa de la pared no supere la máxima permisible.

La exposición contra la cara interior de la pared puede determinarse por medición directa o por cálculo a partir de la actividad y la geometría de la fuente. La exposición en la cara externa resulta:

$$E = E_0 \cdot \left(\frac{d}{d + x} \right)^2 \cdot e^{-\mu x}$$

donde E_0 es la exposición en la cara interior del blindaje, d la distancia entre la fuente y el blindaje, μ el coeficiente de absorción total del blindaje y x el espesor del mismo. Los gráficos 1a, 1b y 1c representan el coeficiente de absorción de diversos materiales en función de la energía del fotón. (1)

La fórmula anterior puede considerarse exacta para valores de x tales que $\mu x < 1$. Para espesores mayores, la energía del haz colimado desviada por alguna interacción puede llegar a la cara externa luego de sufrir dispersión múltiple, y la exposición resulta mayor que la calculada con la fórmula anterior. Esta puede generalizarse para blindajes gruesos introduciendo un factor "de multiplicación" (B), que es función de la energía de la radiación, del material del blindaje y del espesor del mismo. Resulta entonces:

$$E = E_0 \cdot B \cdot \left(\frac{d}{d+x} \right)^2 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

donde $B = f(\mu \cdot x, E_0, \text{etc.})$

Los gráficos 2a, 2b y 2c dan los valores del factor B para diferentes energías y materiales y espesores de blindaje (2). Si se toma como exposición máxima 2,5 mr/h la fórmula anterior determina el espesor del blindaje para diferentes materiales del mismo, una vez fijada la energía de la radiación y la exposición debida a la fuente descubierta. La ecuación resultante en cada caso es una ecuación trascendente que puede resolverse aproximadamente por diversos métodos. Por ejemplo, puede representarse en un mismo gráfico las funciones:

$$f_1(x) = \frac{2,5 \text{ mr/h}}{E_0 \cdot B \cdot e^{-\mu \cdot x}}$$

$$f_2(x) = \left(\frac{d}{d+x} \right)^2$$

siendo la solución de la ecuación

$$2,5 \text{ mr/h} = E_0 \cdot B \cdot \left(\frac{d}{d+x} \right)^2 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

la abscisa del punto donde ambas funciones se cortan.

En el caso de fuentes puntuales de actividad conocida, la exposición E puede calcularse en la siguiente forma:

$$E = \frac{A \cdot \epsilon \cdot \left(\frac{\mu_a}{\rho} \right)_{\text{aire}} \cdot B}{4 \cdot \pi \cdot (d+x)^2 \cdot 84 \frac{\text{erg}}{\text{g} \cdot \text{R}}} \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

donde A es la actividad de la fuente (des/seg), E_γ es la energía γ emitida por desintegración y μ_a/δ es el coeficiente másico de absorción real del aire.

La ecuación anterior aplicada a diversos radionucleidos con blindaje nulo, permite calcular la exposición por curie a un metro de la fuente (E_γ). Los valores para los isótopos más usuales en la tabla 3a.

El gráfico 3b representa el valor E_γ para un curie de actividad en función de la energía de los fotones emitidos. Si el nucleido emite varios fotones, el valor E_γ se obtiene sumando los valores correspondientes, ponderados porcentualmente.

Reemplazando dicho valor en la fórmula anterior resulta:

$$E = E_\gamma \cdot A \cdot \left(\frac{1 \text{ metro}}{d + x} \right)^2 \cdot B \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

Si el blindaje se hace "hacia adentro" (es decir, sin aumentar la distancia d), o si $d \gg x$, el espesor del blindaje depende solamente de la exposición que hubiera habido en el punto si no existiese el blindaje, y no de la distancia entre éste y la fuente.

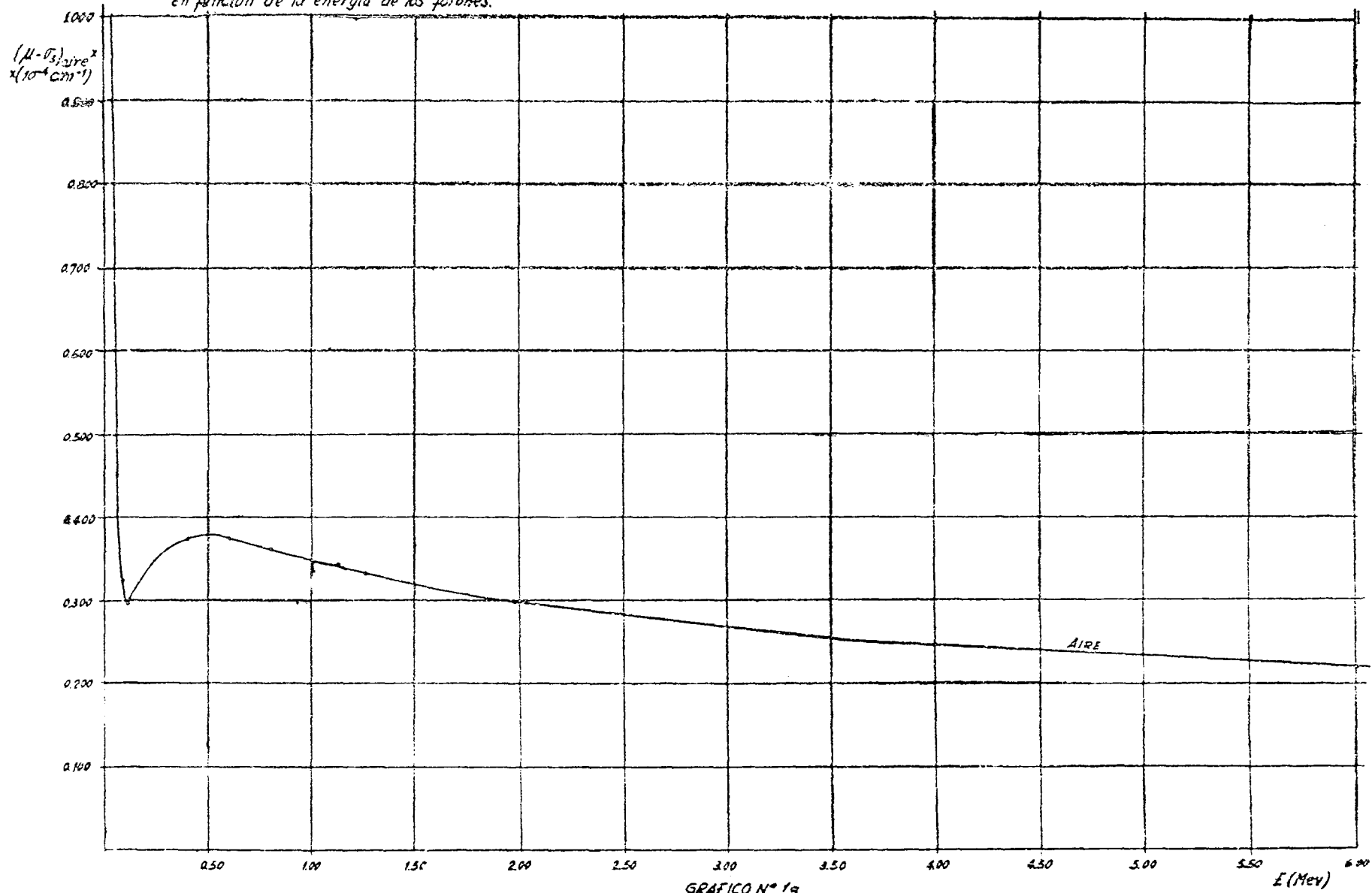
Los gráficos 4a, 4b, ..., 4f dan los blindajes necesarios a un metro de distancia para algunas fuentes de diversa actividad. Estos mismos gráficos pueden ser usados para calcular el blindaje necesario a otras distancias. En efecto, de la fórmula anterior resulta que blindar una actividad A a una distancia d , es equivalente a blindar una actividad $A \cdot \left(\frac{1 \text{ metro}}{d} \right)^2$ a un metro de distancia.

Varios de los gráficos dan los blindajes necesarios de plomo; conocidos éstos pueden calcularse los equivalentes en cemento para cada determinada energía del fotón, haciendo uso del gráfico 5.

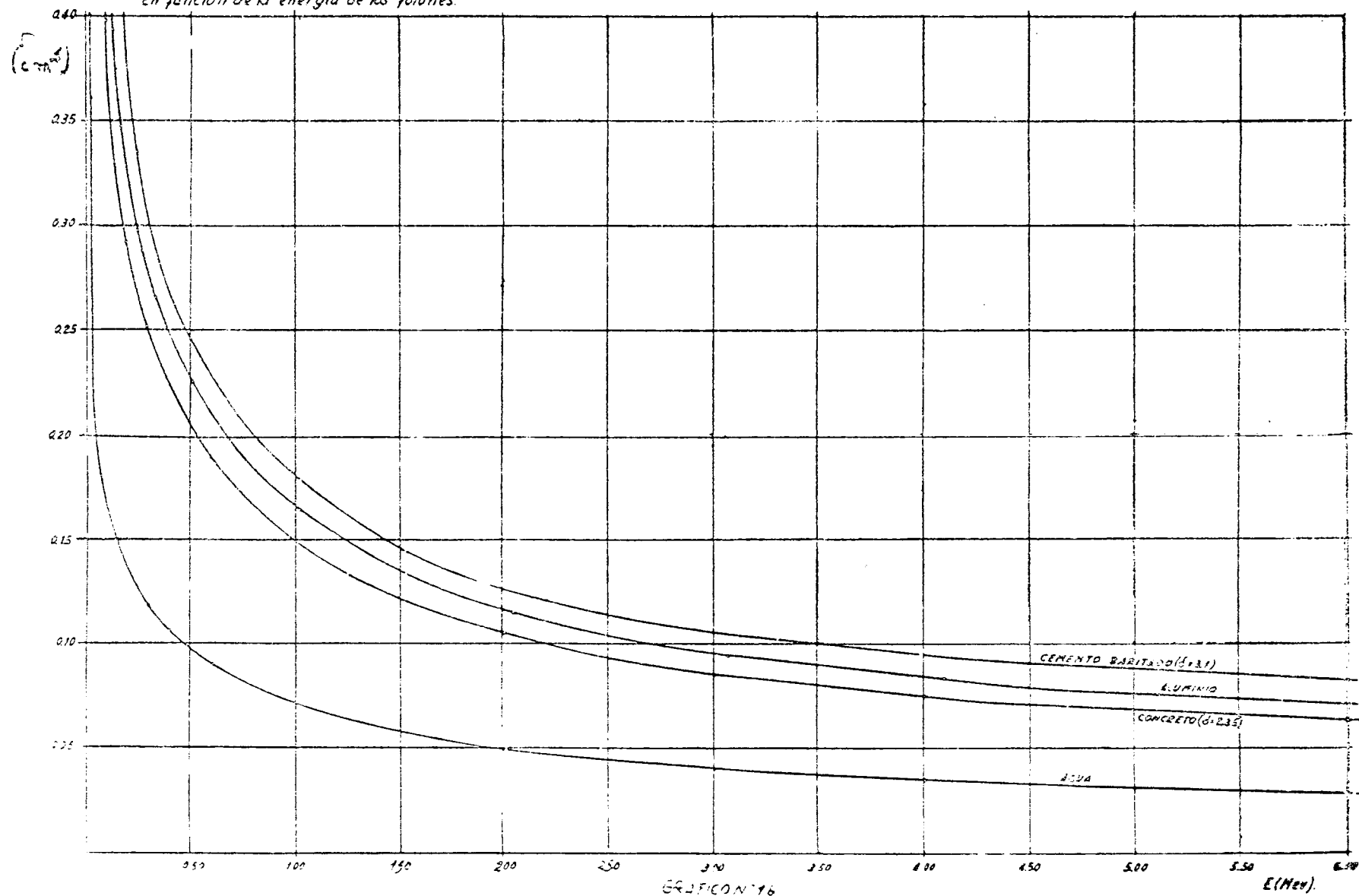
Bibliografía:

- (1) DAVISSON, C.M.- EVANS, R.D.- Gamma ray absorption coefficients. Rev. Mod. Phys. 24, 79, (1952).
- (2) GOLDSTEIN, H.- WILKINS, J.- PREISER, S.- Interim report of the NDA-NBS. Calculations of gamma rays penetration ; NDA Memo 15C-20.

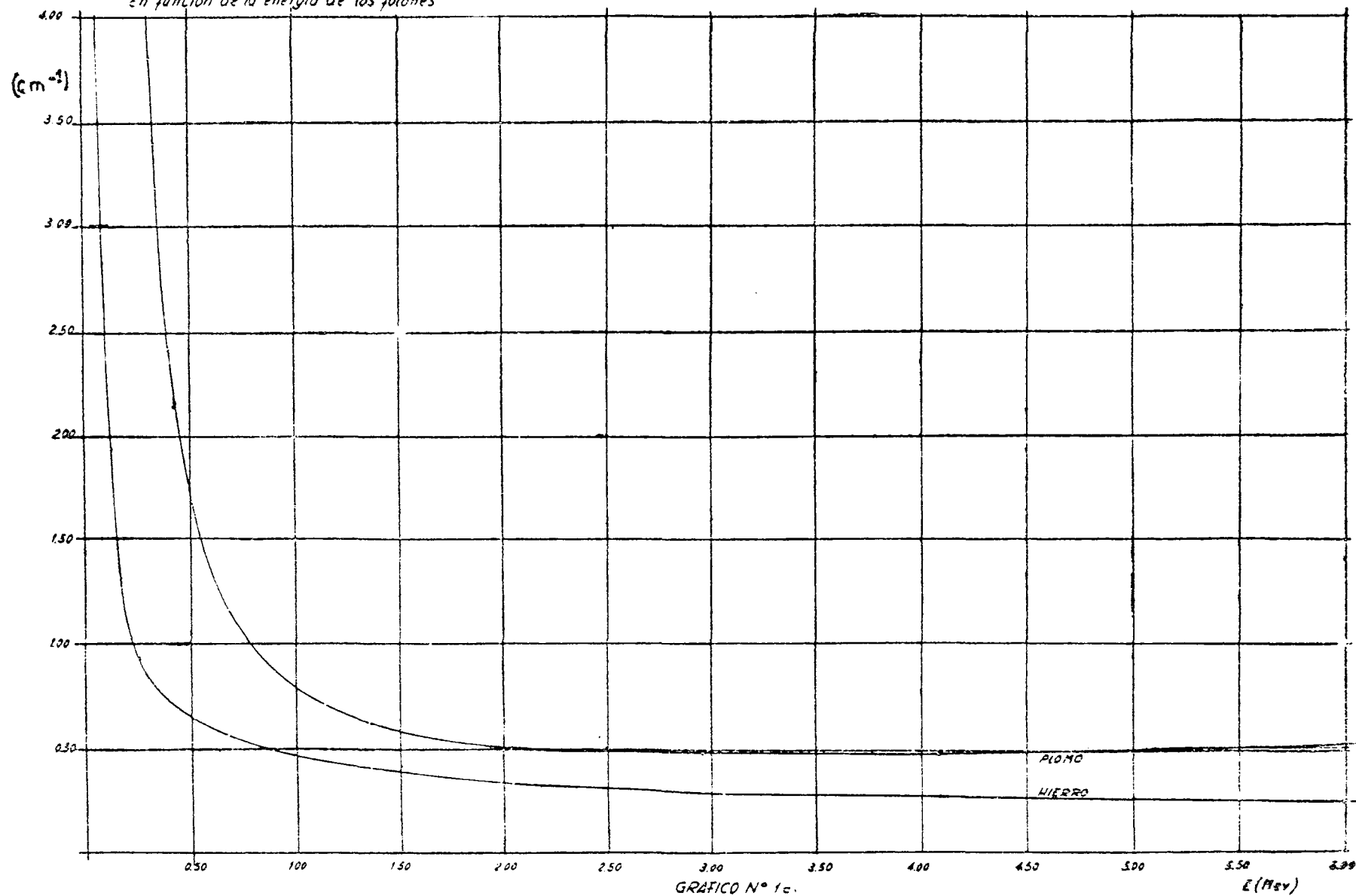
COEFICIENTES DE ABSORCION En función de la energía de los fotones.



COEFICIENTES DE ABSORCION En función de la energía de los fotones.



COEFICIENTES DE ABSORCION
En función de la energía de los fotones



Factor de Multiplicación "B" para blindajes de plomo.

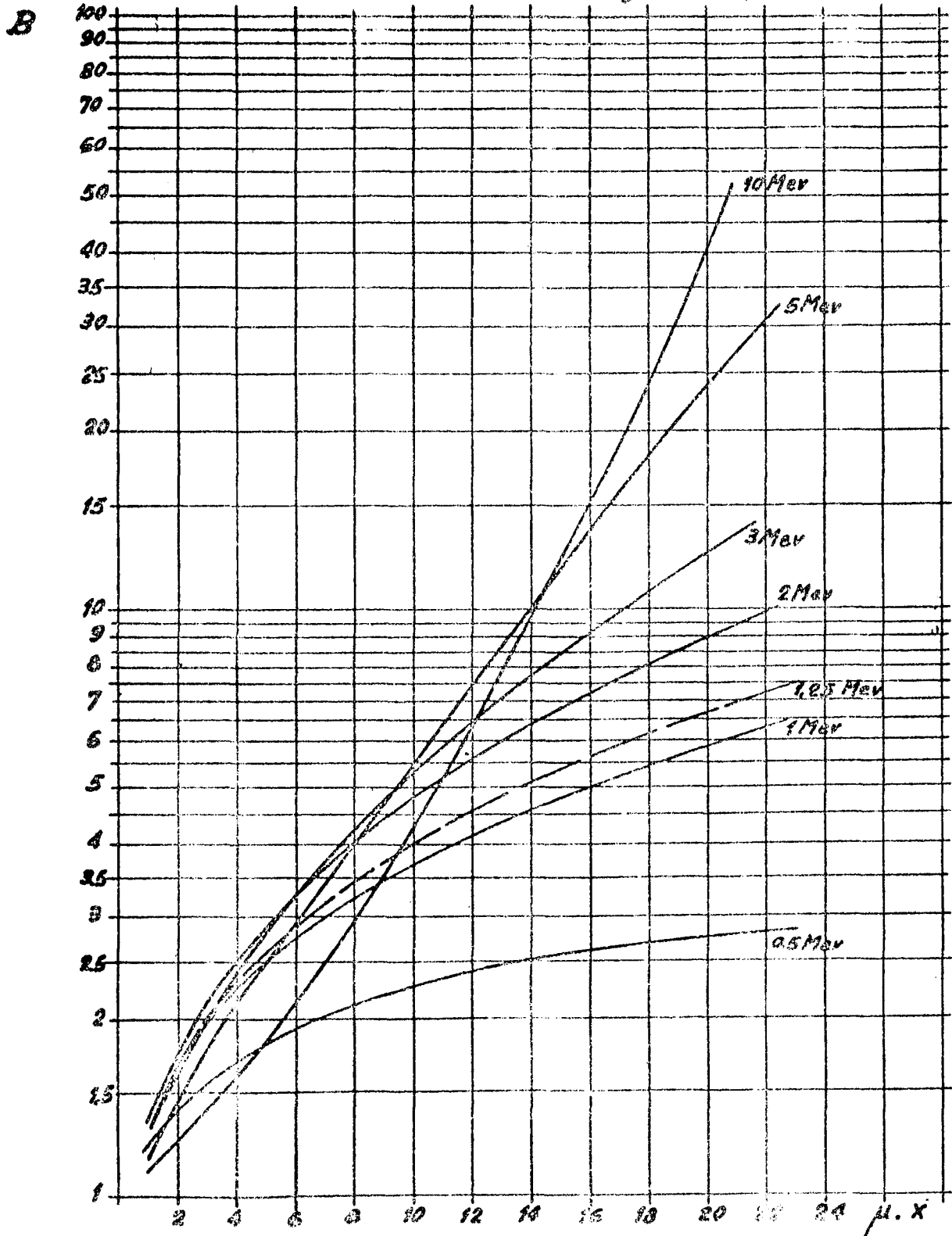
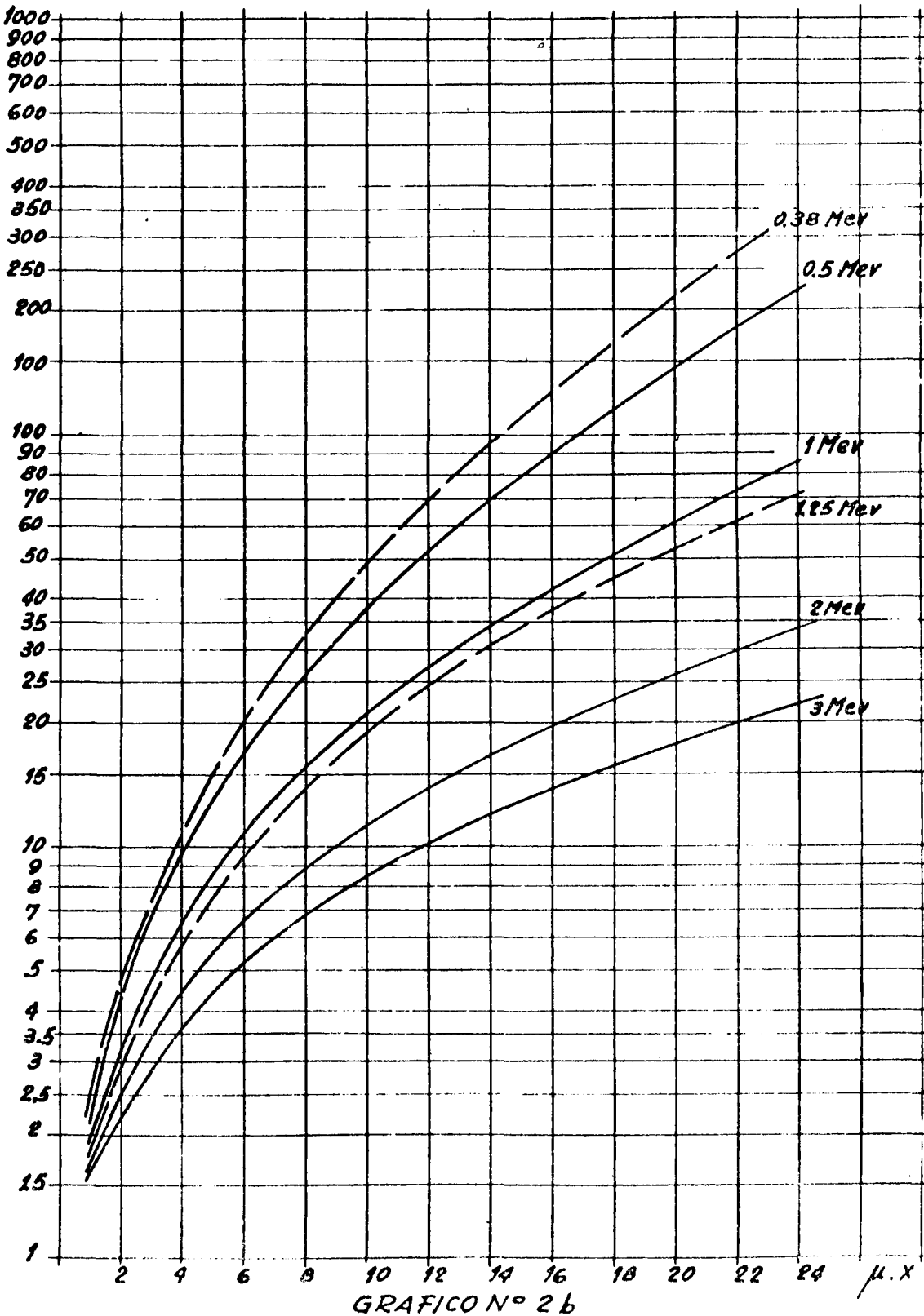


GRAFICO N° 2a

Factor de Multiplicación "B" para blindajes
de cemento o aluminio.

B



Factor de Multiplicación "B" para blindajes de hierro.

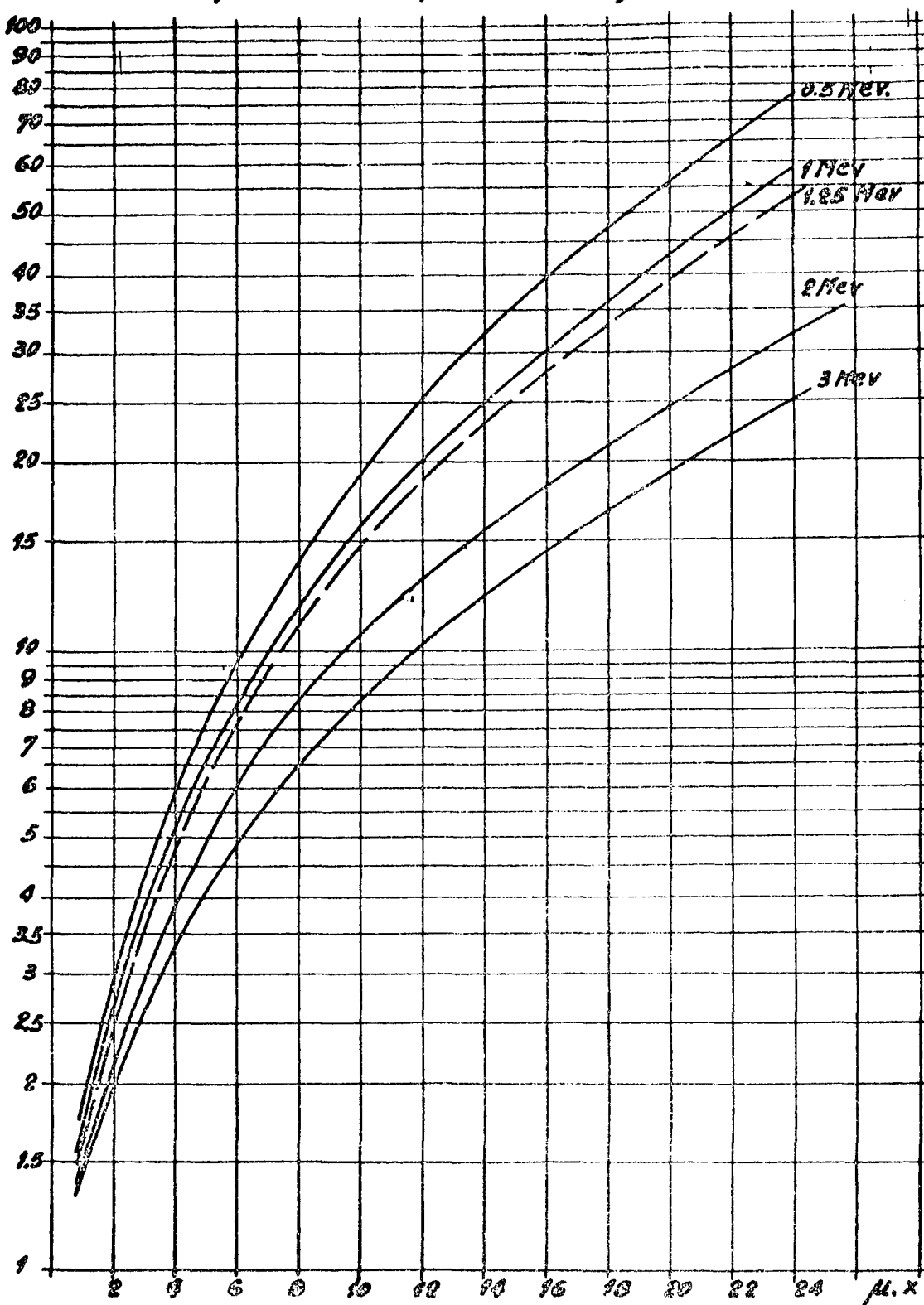


GRAFICO N° 2 c.

Emisor	Exposiciones por curie a 1 metro (R/h.C)
Na ²⁴	1.93
Fe ⁵⁹	0.645
Co ⁶⁰	1.34
I ¹³¹	0.292
Cs ¹³⁷	0.324
Au ¹⁹⁸	0.236
Ra ²²⁶ (en equilibrio con sus hijas)	0.97
Ra ²²⁶ (con filtración de 0.5 mm. de Pt)	0.84
Tm ¹⁷⁰	0.034
Ir ¹⁹²	0.475

Tabla 3a

$E_{\gamma} [-Rhm]$ para un curie de actividad en función de la energía de los fotones.

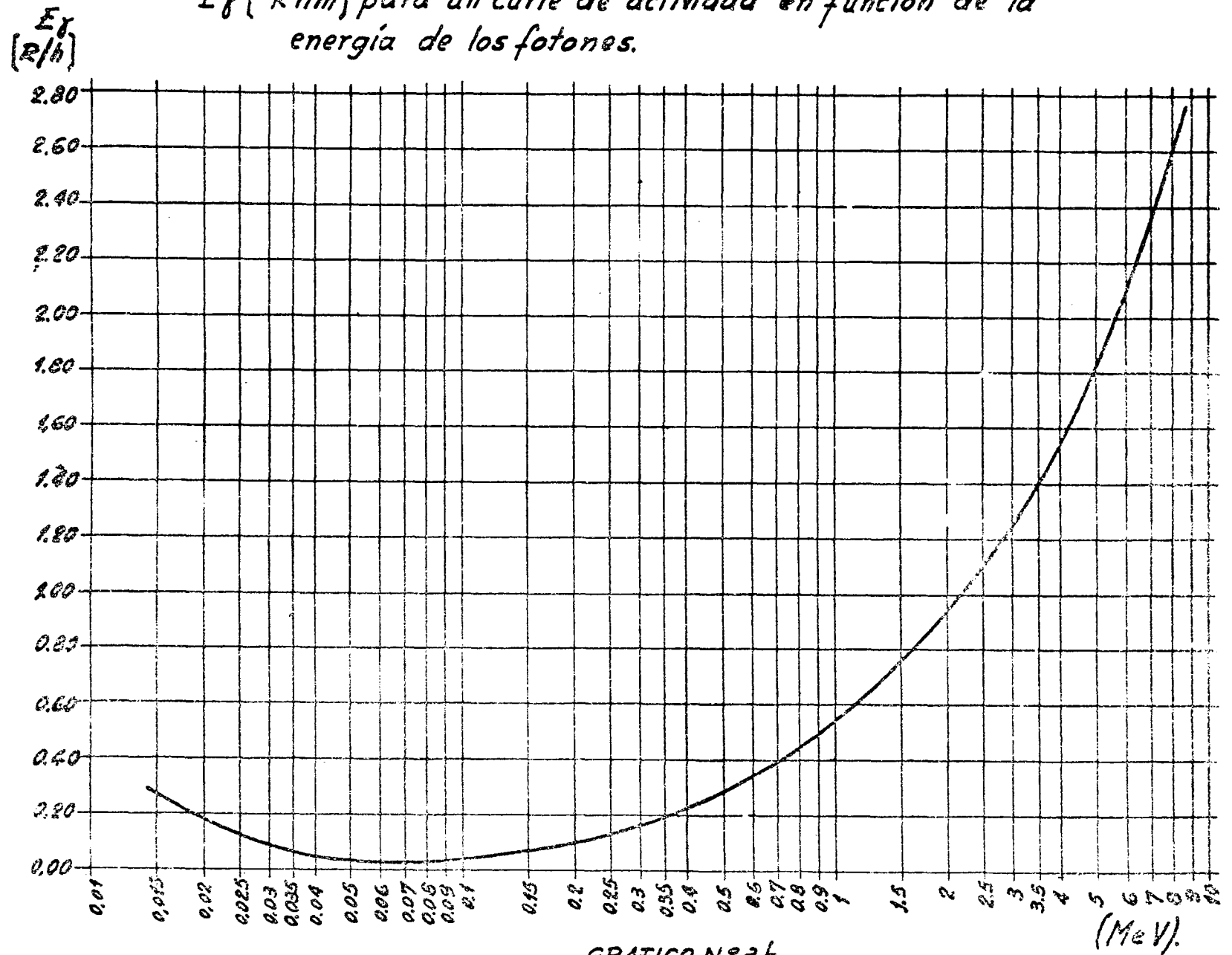


GRAFICO N° 3b.

COBALTO 60

Blindaje en plomo necesario para que a un metro de la fuente la exposición sea de 2.5 mr/h. (Plomo).

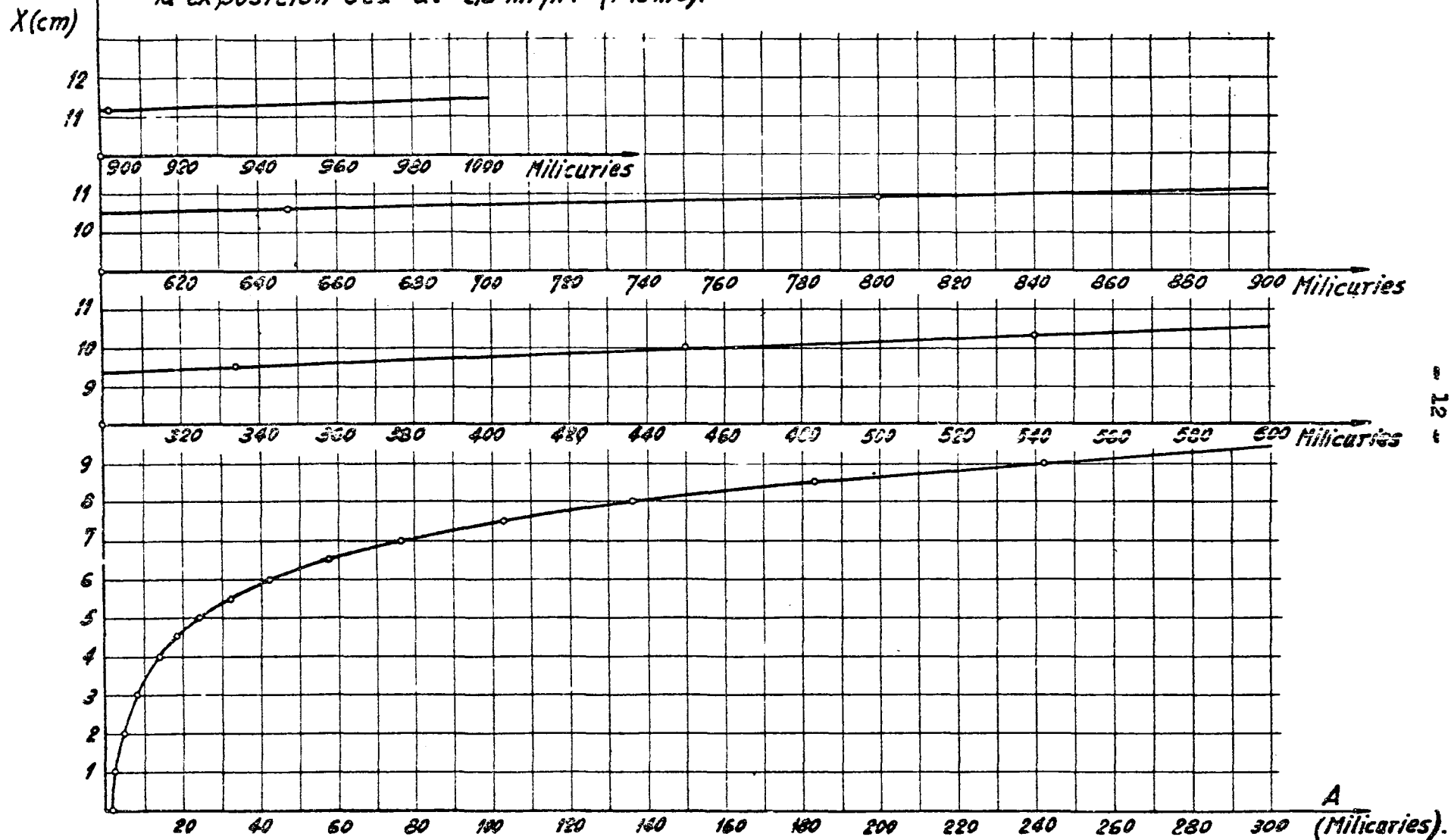


GRAFICO Nº 4 a

COBALTO 60

Blindaje necesario para que a un metro de la fuente la exposición sea de 2.5 mr/h. (Plomo).

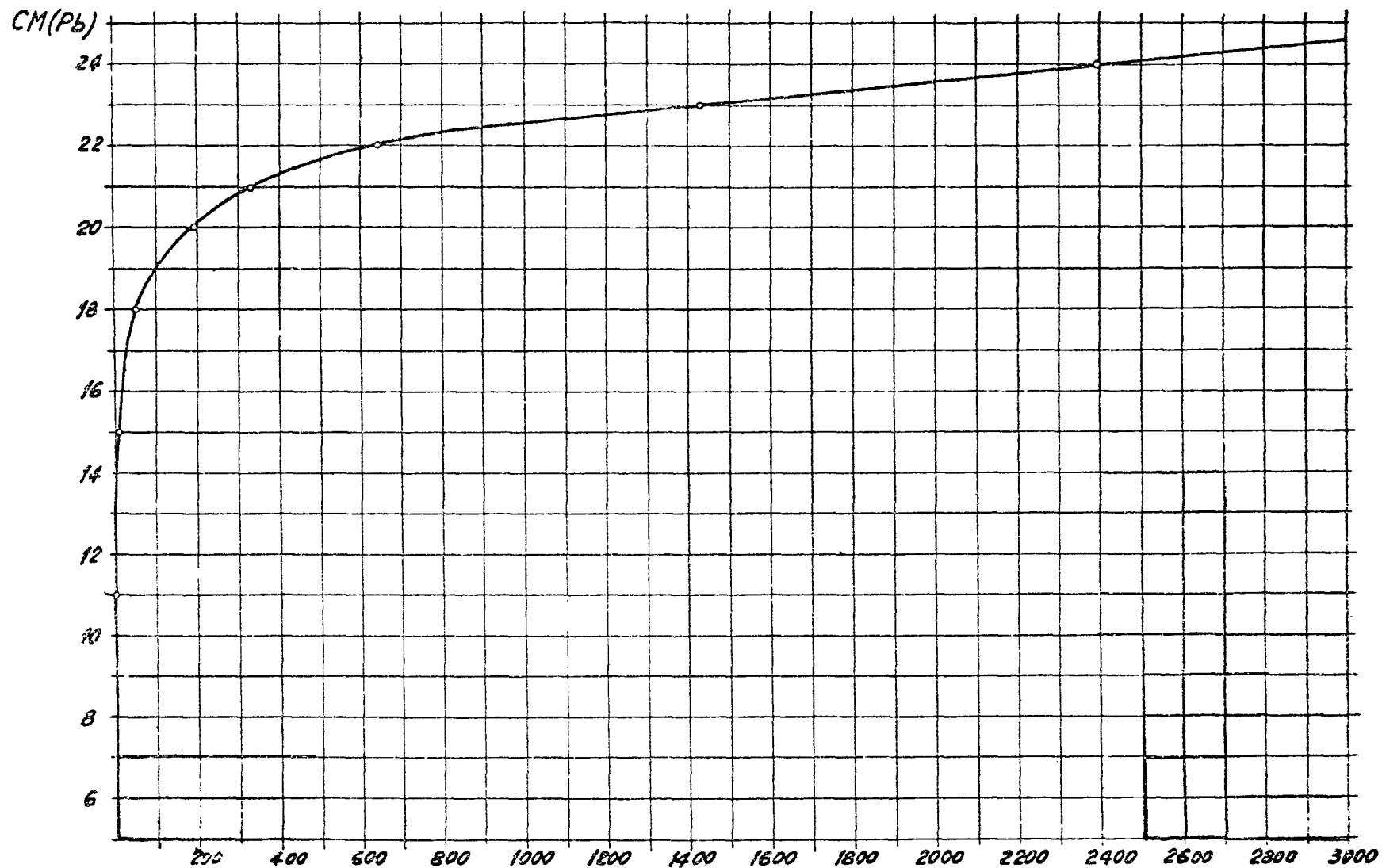


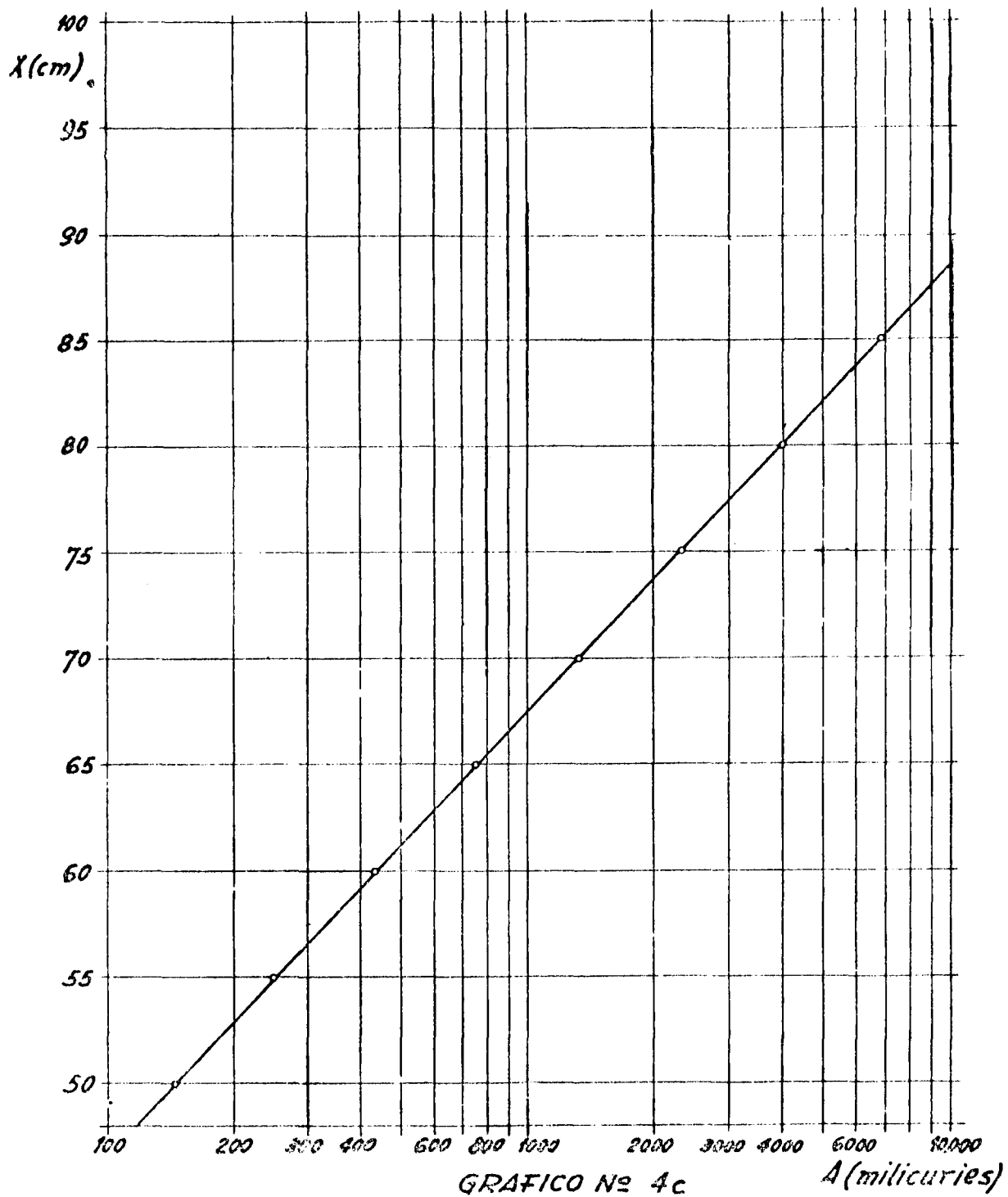
GRAFICO Nº 46

CURIES.

33

COBALTO 60

Blindaje en cemento (dens.: 2.35 g/cm^3) para reducir la exposición a un metro de la fuente a 2.5 mr/hora .



COBALTO 60

Blindaje en cemento (dens.: 2.35 g/cm^3) para reducir la exposición a 1 metro de la fuente a 2.5 mr/hora .

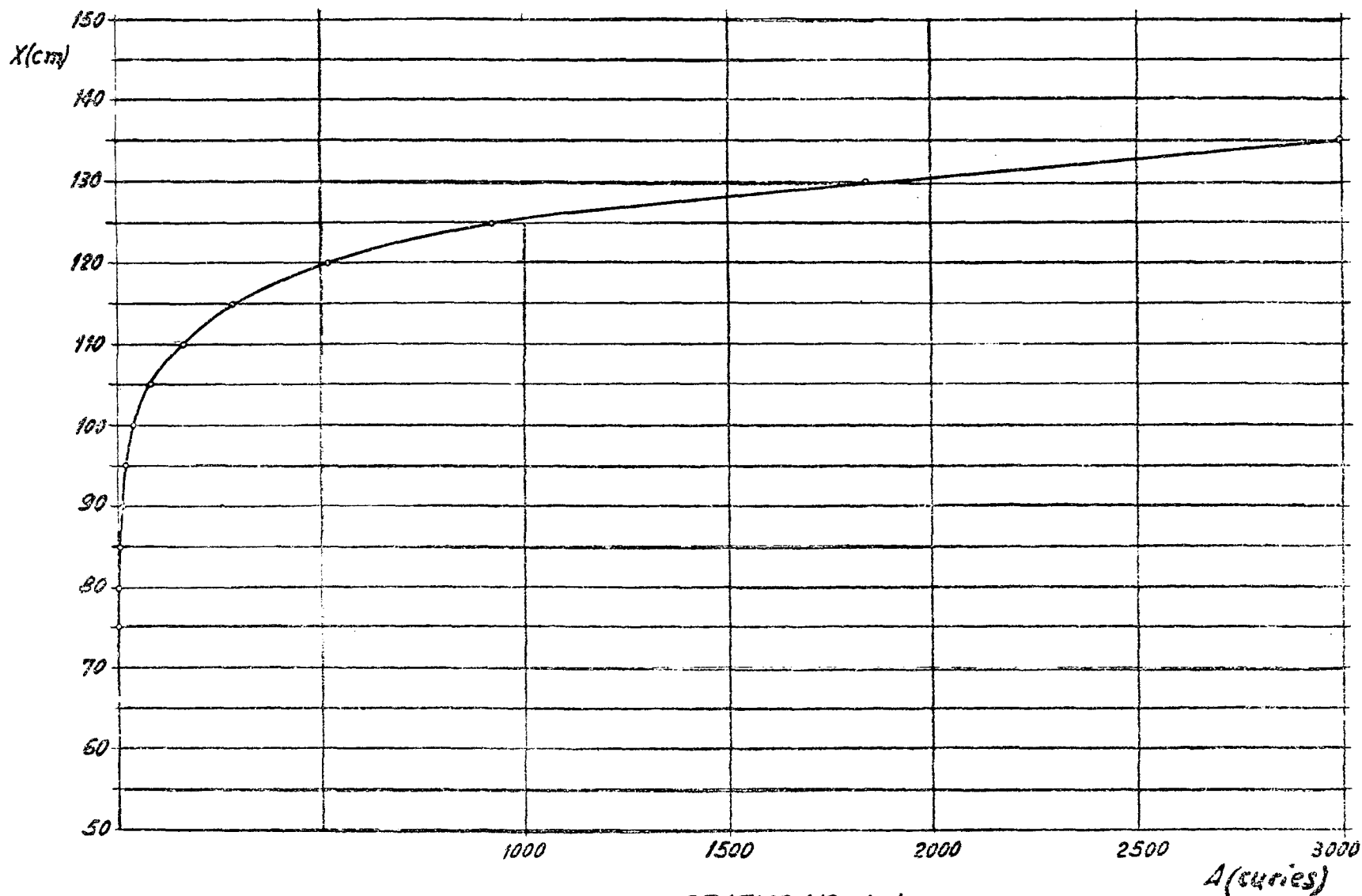
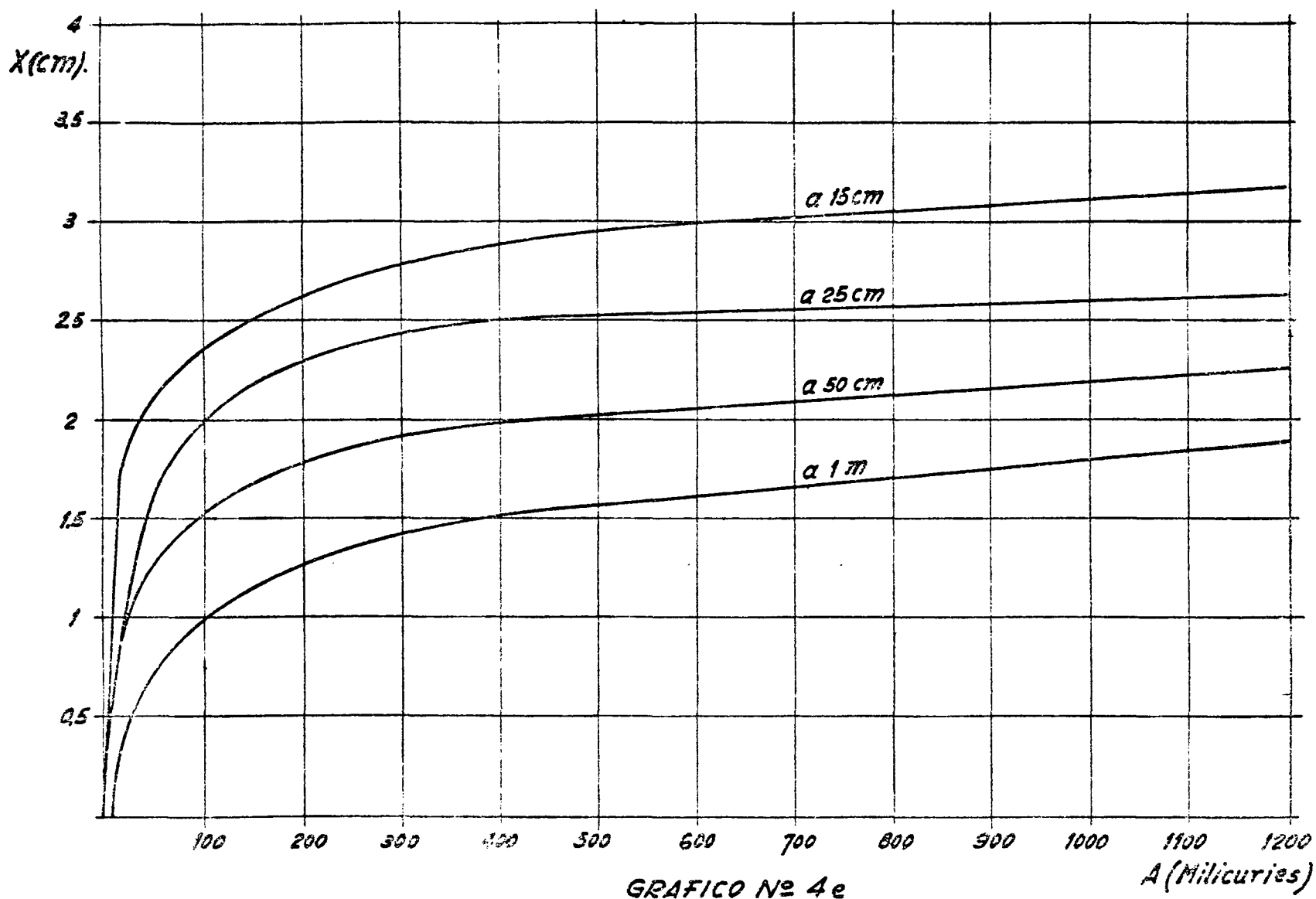


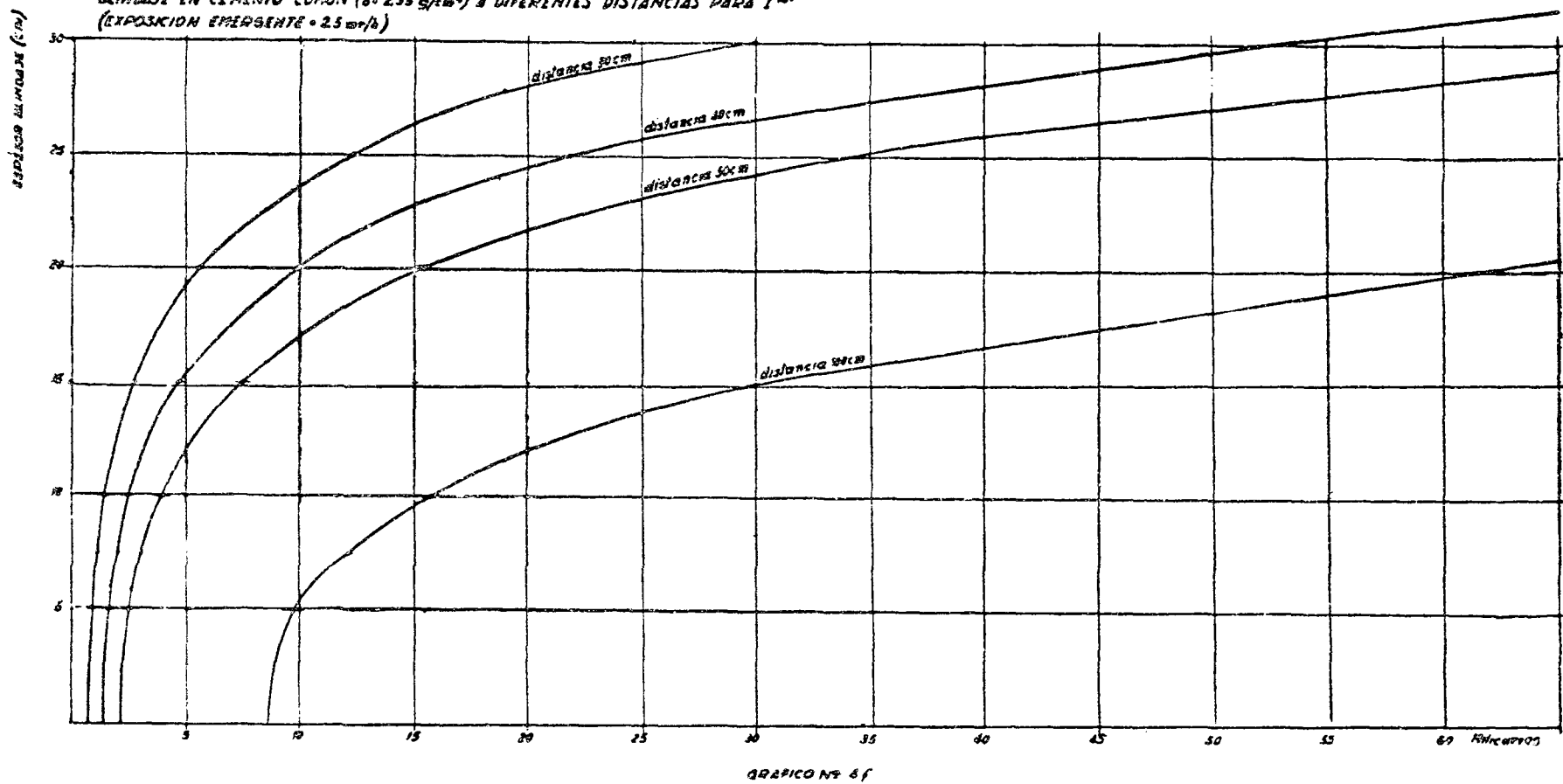
GRÁFICO Nº 4 d

1000 131.

Blindaje en plomo a distancias variables para obtener una exposición de 2.5 mr/h.



BLINDAJE EN CEMENTO COMUN ($\delta = 2.35 \text{ g/cm}^3$) A DISTANCIAS PARA 1" (EXPOSICION EMERGENTE = 2.5 mm/h)



RELACION DE HEMIESPESORES DE CEMENTO Y PLOMO PARA DISTINTAS ENERGÍAS

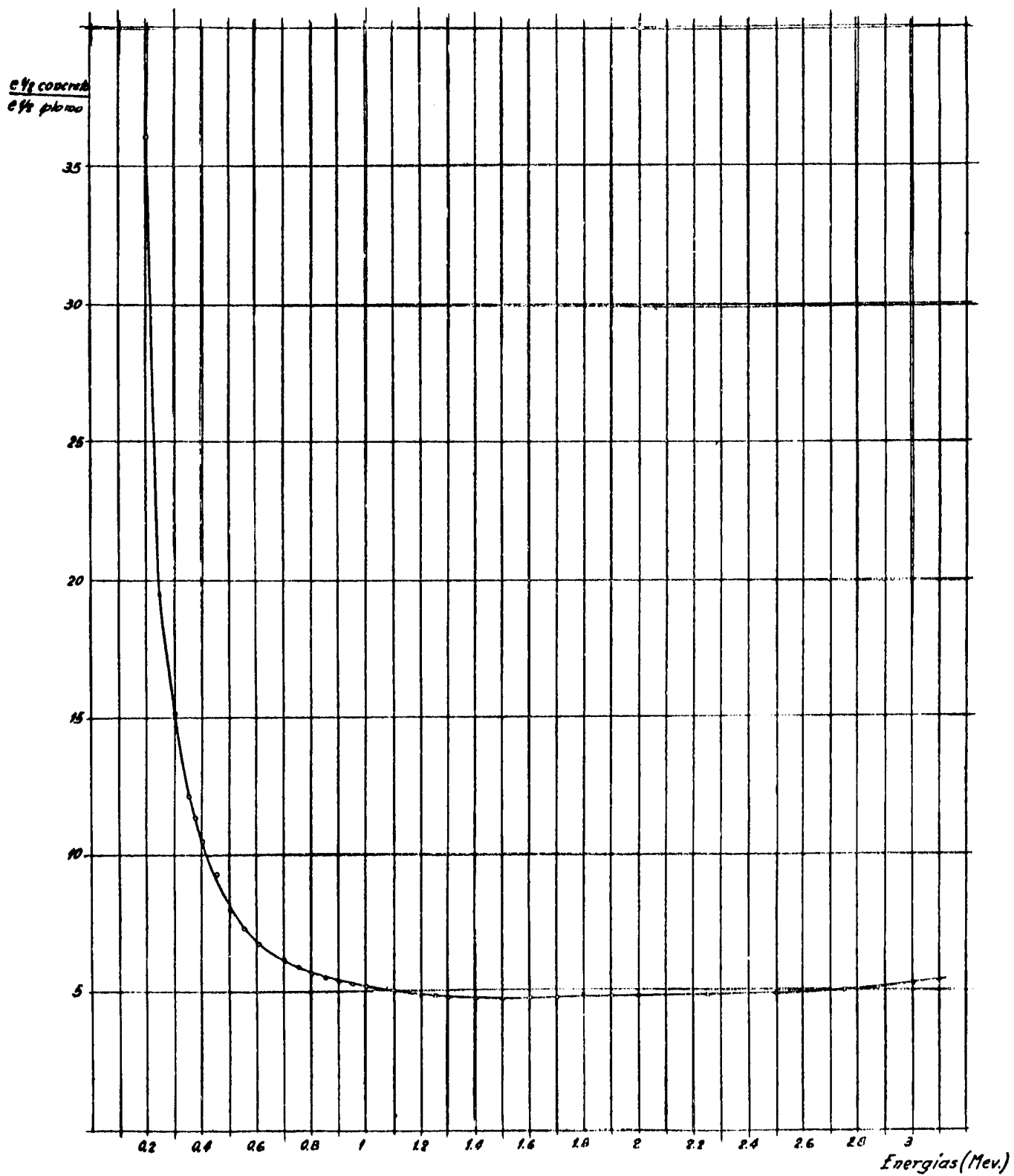


GRAFICO N° 5