

06.75.28

CNEA AC/8/75

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

CALCULO DE BLINDAJE

ALEJANDRO E. PLACER
ALFREDO L. BIAGGIO
AGUSTIN ARBOR
ENRIQUE J. MUDANO
ANGEL J. BIANCHI

Buenos Aires - Argentina

- 1975 -

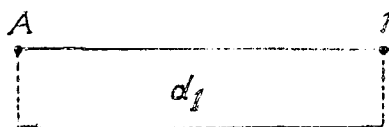
10.0.0 CALCULO DE BLINDAJE

10.1.0 BLINDAJE PARA RADIACION GAMMA

10.1.1 Blindaje de fuentes puntuales monoenergéticas

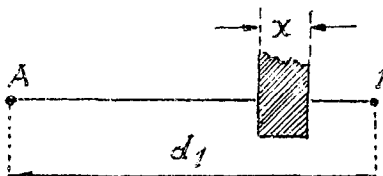
Como ya se ha visto, la exposición en la unidad de tiempo ó tasa de exposición X , producida por una fuente radiactiva puntual de actividad A y constante específica de radiación, en un punto 1 ubicado a una distancia d_1 de dicha fuente, cuando no hay absorbente interpuesto es:

$$X_0^{(1)} = \frac{A \Gamma}{d_1^2} \quad (10.1)$$



Si se trata de un haz monoenergético y colimando, y el espesor de absorbente interpuesto es suficientemente pequeño, la tasa de exposición cumple la siguiente función:

$$X^{(1)} = X_0^{(1)} e^{-\mu x} \quad (10.2)$$



donde $X^{(1)}$ es la tasa de exposición que habrá en ese punto al interponer un espesor x de absorbente, $X_0^{(1)}$ la tasa de exposición que habría en ese mismo punto si no hubiese blindaje interpuesto, y μ el coeficiente de atenuación correspondiente a la sustancia absorbente y a la energía de la radiación incidente.

En la práctica habitual no se dan, en general, estas hipótesis, razón por la cual debe tenerse en cuenta la existencia de los fotones secundarios producidos en la interacción Compton y en la formación de pares; su reenfoque en el punto en cuestión (1) contribuye a aumentar la tasa de exposición que resulta de la aplicación de la fórmula (10.2). Mediante un coeficiente denominado factor de multiplicación, que se representa con la letra B , se contempla tal incremento.

$$X^{(1)} = X_0^{(1)} e^{-\mu x} B \quad (10.3)$$

Este factor depende de la energía de la radiación (E), del número atómico (Z), de la densidad (ρ) del absorbente y del espesor x de éste. La dependencia de E , Z y ρ puede ser expresada en función de μ , y en tal forma están representados los valores de B como dependientes del producto μx en los gráficos correspondientes, para los materiales habitualmente utilizados en la construcción de blindajes y para un amplio rango de energías, (gráficos de las figuras 10.1 a, b y c).

Dado que un haz de radiación electromagnética tiene un alcance "infinito" al atravesar la materia que se le interponga, un cálculo de diseño de blindaje requerirá presuponer una tasa de exposición X en el punto de interés, que sea compatible con el destino que se da a esa construcción y con las normas básicas de protección radiológica. Por lo tanto X será, en general, un dato del problema.

En la práctica se presentan dos situaciones distintas en lo que se refiere a la geometría del blindaje a calcular, que para simplificar llamaremos "blindaje hacia adentro" y "blindaje hacia afuera".

La primera de ellas ocurre cuando es conocida la distancia entre el punto en que se desea que la tasa de exposición valga X y la fuente. La segunda, cuando el absorbente debe ser construido a partir de una distancia dada entre la fuente y la cara interior del mismo (figuras 10.2 a y b). En este último caso la distancia entre la fuente y el punto donde se desea que la tasa de exposición tenga un valor dado, es incógnita, puesto que el espesor x a calcular la distancia conocida.

Resumiendo:

a) Para un "blindaje hacia adentro" la expresión de cálculo es:

$$X^{(1)} = X_0^{(1)} e^{-\mu x} B = \frac{A \Gamma}{d_1^2} e^{-\mu x} B \quad (10.4)$$

b) Para un "blindaje hacia afuera" la expresión de cálculo es: (10.5)

$$X^{(1)} = X_0^{(1)} e^{-\mu x} B = \frac{A \Gamma}{d_1^2} e^{-\mu x} B = \frac{A \Gamma}{(d + d' + x)^2} e^{-\mu x} B$$

En ambos casos las funciones son trascendentes, en contrándose la incógnita x , implícita o explícitamente, en el primer caso en dos factores (la exponencial y B) y en el segundo en tres (también en el factor cuadrático).

10.1.1.1 Métodos de resolución.

Las expresiones anteriores pueden resolverse empleando un método gráfico o un método analítico iterativo.

10.1.1.1.1 Método gráfico: Las expresiones analíticas, si se da como dato la actividad de la fuente, son:

Para un "blindaje hacia adentro":

$$\dot{X}^{(1)} = \frac{A \Gamma}{d_1^2} e^{-\mu x} B \quad (10.6)$$

Para un "blindaje hacia afuera":

$$\dot{X}^{(1)} = \frac{A \Gamma}{(d' + d'' + x)^2} e^{-ux} B \quad (10.7)$$

El desarrollo se efectuará en base a esta última expresión, por ser similar para ambas. (Desde ya, deberá emplearse la que corresponda en cada caso, según el problema propuesto).

Pasando factores de un miembro a otro de la ecuación, resulta:

$$\frac{\dot{X}^{(1)}}{A \Gamma B} (d' + d'' + x)^2 = e^{-ux} \quad (10.8)$$

Representando gráficamente en forma separada las funciones de x resultantes en cada uno de los miembros (por comodidad en papel semilogarítmico, para que la exponencial se represente por una recta) dando valores arbitrarios a la variable independiente x , y determinando para cada uno de ellos el valor de B que corresponda en el primer miembro, se obtendrán dos curvas. (gráfico de las figuras 10.3).

Como ya se ha dicho, la resolución de la (10.6), es completamente similar.

10.1.1.1.2 Método analítico. Se explicará también para el caso de "blindaje hacia afuera", dado que es similar la resolución en el caso de "blindaje hacia adentro".

Consiste en obtener en forma analítica, mediante sucesivas aproximaciones, el valor de x que satisface la igualdad (10.8). El procedimiento a seguir es el siguiente:

a) Se da un valor arbitrario a la variable independiente x , (x_1) y se resuelve el primer miembro de la (10.8), obteniéndose como resultado un cierto número.

b) Se iguala la exponencial del segundo miembro al número obtenido y se determina el valor del exponente, y por lo tanto de x (x_2), que satisface dicha igualdad. En general este valor (x_2) diferirá del elegido en a), (x_1).

c) Se repiten los pasos a) y b), tomando como nuevo valor (x'_1) de la variable independiente el último valor hallado ($x'_1 = x_2$).

El proceso finaliza cuando el valor de x con que se efectúa el paso a), coincide con el obtenido al efectuar el paso siguiente b), puesto que esto implica que dicho valor satisface la igualdad (10.8) y es por lo tanto la solución del problema.

Con el fin de ordenar las operaciones, es conveniente que se utilicen cuadros de valores, tanto para este método como para el método gráfico. Ejemplos de los mismos se dan en las figuras 10.4, a y b. La resolución se facilita, por otro lado, utilizando los gráficos de las figuras 10.5 a, 10.5 b, 10.5 c, 10.6 a, 10.6 b y la Tabla 10.1.

10.1.2 Blindaje de fuentes puntuales polienergéticas

La mayoría de los nucleídos emisores gamma, emiten fotones de más de una energía. Esto no significa que la emisión gamma presente un espectro continuo de energía, sino que el nucleído emite diversos haces de fotones de energía definida.

Por ejemplo, el ^{60}Co , emite un fotón por desintegración de energía 1,17 MeV y un fotón por desintegración de ener

gía 1,33 MeV.

Las relaciones vistas anteriormente para fuentes puntuales monenergéticas, resultan ahora válidas para cada haz de fotones de energía dada.

Para extender el desarrollo anterior de este tipo de problemas, basta con aplicar el principio de superposición de efectos, es decir, considerar a la fuente puntual polienergética como un conjunto de fuentes puntuales monenergéticas que ocupan el mismo lugar geométrico.

Llamando p_i a la cantidad de fotones por desintegración de energía E_i , emitidos por un cierto nucleído, se tendrá en el caso más general:

P_1 fotones de energía E_1

P_2 fotones de energía E_2

P_3 fotones de energía E_3

" " " " "

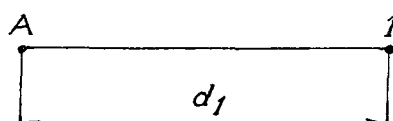
" " " " "

" " " " "

P_n fotones de energía E_n

Cuando no hay absorbente interpuesto entre el punto (1) en el cual se desea determinar la tasa de exposición y la fuente, la expresión para obtener ésta, de acuerdo a lo dicho, será:

$$\dot{X}_0^{(1)} = \dot{X}_{0_1}^{(1)} + \dot{X}_{0_2}^{(1)} + \dots + \dot{X}_{0_n}^{(1)} = \sum_1^n \dot{X}_{0_1}^{(1)} \quad (10.9)$$



donde los valores de $\dot{X}_{0_1}^{(1)}$ se obtienen a partir de la expresión ya vista para fuentes puntuales monoenergéticas:

$$\dot{X}_{01}^{(1)} = \frac{A \Gamma}{d_1^2} \quad (10.10)$$

En este caso Γ es la tasa de exposición producida por los p_1 fotones de energía E_i a un metro de la fuente y para un curie de actividad. Dichos valores pueden obtenerse, conocidos los porcentajes de fotones por desintegración, a partir de la figura 10.9

Reemplazando (10.10) en (10.9) y sacando factor común A/d_1^2 que es constante:

$$\dot{X}_0^{(1)} = \frac{A}{d_1^2} \sum_1^n \Gamma_i = \frac{A \Gamma}{d_1^2} \quad (10.11)$$

donde Γ es la constante específica de radiación del nucleído, valor que figura habitualmente en los libros. (Tabla 10.2)

La expresión (10.11) que se repite a continuación,

$$X_0^{(1)} = \frac{A \Gamma}{d_1^2} \quad (10.11)$$

indica que cuando no hay absorbente interpuesto, la tasa de exposición se obtiene en forma completamente similar a la ya vista para el caso de emisores monoenergéticos

No sucede lo mismo cuando se interpone un absorbente entre el punto en cuestión y la fuente. Razonando en forma similar se tiene:

$$\dot{X}^{(1)} = \dot{X}_1^{(1)} + \dot{X}_2^{(1)} + \dots + \dot{X}_n^{(1)} = \sum_1^n \dot{X}_i^{(1)} \quad (10.12)$$

Es decir, la tasa de exposición en el punto (1), cuando hay un absorbente interpuesto, se obtiene como suma de las producidas por cada haz monoenergético. También en este caso se puede aplicar a cada valor parcial las expresiones correspondientes vistas para fuentes puntuales monoenergéticas:

$$\begin{array}{rclcl}
 \dot{X}_1^{(1)} & = & \dot{X}_{0_1}^{(1)} & e^{\mu_1 x} & B_1 \\
 \dot{X}_2^{(1)} & = & \dot{X}_{0_2}^{(1)} & e^{\mu_2 x} & B_2 \\
 \cdot & & \cdot & & \cdot \\
 \cdot & & \cdot & & \cdot \\
 \cdot & & \cdot & & \cdot \\
 \dot{X}_n^{(1)} & = & \dot{X}_{0_n}^{(1)} & e^{\mu_3 x} & B_n
 \end{array}$$

$$\dot{X}^1 = \sum_1^n \dot{X}_i^1 = \sum_1^n \dot{X}_{0_i}^1 e^{\mu_i x} B_i \quad (10.13)$$

y teniendo en cuenta la expresión (10.10) y operando:

$$\dot{X}^{(1)} = \frac{A}{d_1^2} \sum_1^n e^{-\mu_i x} B_i \quad (10.14)$$

En esta última expresión son constantes la distancia punto fuente (d_1), el espesor de absorbente (x), y la actividad de la fuente (A). No sucede lo mismo con los valores que, definido el material a emplear como absorbente, dependen de la energía de los fotones incidentes, (μ y B). Por otra parte, $\dot{X}_i^1$, depende de la energía y proporción (p_i) del haz de fotones de energía E_i .

La resolución de un cálculo de blindaje implica en este caso la determinación del exponente (x) de la ecuación (10.3) lo cual resulta mucho más laborioso que cuando se trataba de emisores monoenergéticos. Por dicha razón se encara el problema en forma distinta.

10.1.2.1 Relación de transmisión.

Se define la relación de transmisión K como:

$$\frac{\dot{X}^{(1)}}{\dot{X}_0^{(1)}} = \frac{\text{tasa de exposición con absorbente interpuesto en el pto.1}}{\text{tasa de exposición sin absorbente interpuesto en el pto.1}} \quad (10.15)$$

Para un nucleído dado, y un material de blindaje dado, esta relación es función exclusivamente del espesor de absorbente interpuesto entre el punto y la fuente y es indepen-diente de la distancia punto-fuente.

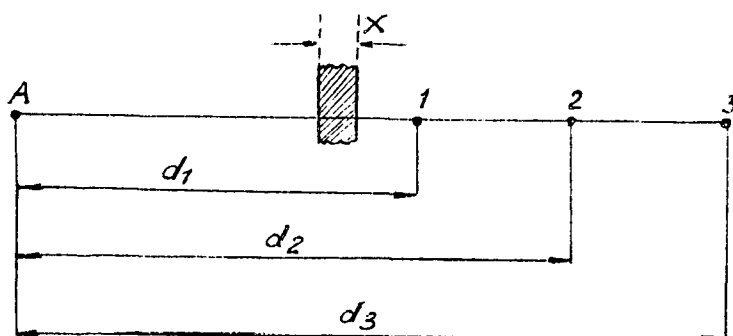
En efecto, efectuando el cociente entre las expresio-nes (10.14) y (10.11), se tiene:

$$k = \frac{\dot{X}^{(1)}}{\dot{X}_0^{(1)}} = \frac{(A/d_1^2) \sum_{i=1}^n \Gamma_i e^{-\mu_i x} B_i}{(A/d_1^2) \Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n \Gamma_i e^{-\mu_i x} B_i}{\Gamma}$$

Por lo tanto:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n \Gamma_i e^{-\mu_i x} B_i}{\Gamma} \quad (10.16)$$

De la expresión (10.16) se deduce que la relación de transmisión k es la misma para puntos ubicados a distintas distancias de la fuente para un nucleído dado y un dado mate-rial de absorbente interpuesto.



$$k = \frac{\dot{X}^{(1)}}{\dot{X}_0^{(1)}} = \frac{\dot{X}^{(2)}}{\dot{X}_0^{(2)}} = \frac{\dot{X}^{(3)}}{\dot{X}_0^{(3)}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Gamma_i e^{-\mu_i x} B_i}{\Gamma} \quad (10.17)$$

Para los nucleídos emisores gamma normalmente emplea-dos en la práctica y para los materiales habitualmente emplea-dos en la construcción de blindajes, se han construido las cur-vas de relación de transmisión en función del espesor de blin-daje, a partir de la expresión (10.16) (gráficos de la figura 10.7 a y b).

En base a estas curvas se explicará un método práctico de resolución de los problemas de blindaje.

Conviene hacer notar que los emisores monoenergéticos son un caso particular del desarrollo visto, por lo cual les cabe el método de resolución a desarrollar.

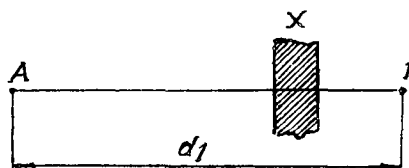
10.1.2.2. Método de resolución.

En síntesis, se reduce a obtener el valor de k para el problema planteado ($k = \dot{X}/\dot{X}_0$), una vez obtenido éste, ir al gráfico correspondiente al nucleído y material de blindaje especificados en el problema, ubicar dicho valor de k en el eje de ordenadas, proyectar dicho punto hasta cortar la curva correspondiente con lo cual se obtiene el punto P (gráfico de la figura 10.8) y proyectar P sobre el eje de abscisas determinando así el valor de x que resuelve el problema.

Como ya se ha visto, por un problema de geometría se podrá tener un caso de "blindaje hacia adentro" o de "blindaje hacia afuera".

10.1.2.2.1 Blindaje hacia adentro: Como X es dato bastará determinar X_0 para hallar $k = \dot{X}/\dot{X}_0$. Si la actividad es conocida, teniendo en cuenta la (10.11), se tiene:

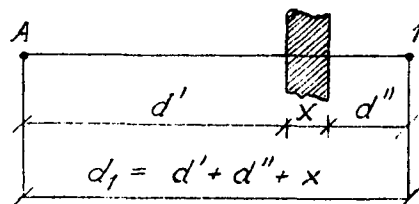
$$k = \frac{\dot{X}^{(1)}}{\dot{X}_0^{(1)}} = \frac{\dot{X}^{(1)} d_1^2}{A \Gamma} \quad (10.18)$$



Con el valor de k así hallado, se entra al gráfico correspondiente en la forma explicada y se obtiene el valor de x , espesor necesario de blindaje.

10.1.2.2.2 Blindaje hacia afuera: En este caso, si bien también $\dot{X}$ es dato, al desconocerse la distancia punto-fuente, ya que es función de x , no es posible determinar $\dot{X}_0$ y por lo tan

to tampoco $k = \dot{X}/\dot{X}_0$. Se procede entonces en forma iterativa (por aproximaciones sucesivas), para lo cual es conveniente utilizar un cuadro de valores como el dado más abajo:



- Se da un valor arbitrario a x (x_1)
- Se obtiene $d_1 = d' + d'' + x$
- Se obtiene el valor de $\dot{X}_0^{(1)} = A r / d_1^2$
- Se obtiene el valor de $k = \dot{X}^{(1)} / \dot{X}_0^{(1)}$

Del gráfico correspondiente y en la forma ya indicada, para el valor de k obtenido en d) se obtiene el valor de x (x_2). En general este valor diferirá del fijado inicialmente. Se repite el proceso tomando ahora como valor de espesor el promedio, $x_1' = \frac{x_1 + x_2}{2}$. El problema queda resuelto cuando no hay diferencia significativa entre los valores de entrada y salida del cuadro.

Cuadro de valores

x_1	$d_1 = d' + d'' + x$	d_1^2	$\dot{X}_0^{(1)} = A r / d_1^2$	$k = \dot{X}^{(1)} / \dot{X}_0^{(1)}$	x_2
cm	m	m ²	r/h	—	cm
x_1	—	—	—	—	x_2
$x_1' = \frac{x_1 + x_2}{2}$	—	—	—	—	x_2'
$x_1'' = \frac{x_1' + x_2'}{2}$	—	—	—	—	x_2''

10.2.0 BLINDAJE PARA RADIACION BETA

A diferencia de la característica antes citada para un haz de radiación electromagnética, el alcance de las partículas beta en la materia irradiada tiene un valor finito, que depende de la energía máxima del espectro y de las características de la sustancia irradiada.

Con gran aproximación, para los materiales "livianos" (Z bajo) se cumple que el alcance lineal R de los electrones multiplicado por la densidad del absorbente irradiado es una constante, independiente del material.

$$R_1 \cdot \delta_1 = R_2 \cdot \delta_2 = \dots = \text{Cte.} \quad (10.19)$$

Por lo tanto, conociendo el alcance R de los electrones en función de su energía para un determinado material, puede obtenerse el valor correspondiente a cualquier otro, utilizando la relación:

$$R_2 = R_1 \frac{\delta_1}{\delta_2} \quad (10.20)$$

En el gráfico de la figura 10.11 se ha representado el alcance de los electrones en función de la energía inicial, en tejido acuoso.

Debe tenerse presente que la interacción de los electrones produce "radiación" de frenamiento (bremsstrahlung), la que depende del cuadrado del número atómico Z, razón por la cual deben elegirse blindantes "livianos", generalmente aluminio ó lucite, para disminuir así la generación de la radiación electromagnética resultante.

KE SEMI-LOGARITHMIC 46 4653
1 CYCLE X 70 DIVISIONS MADE IN U.S.A.
KEUFFEL & ESSER CO.

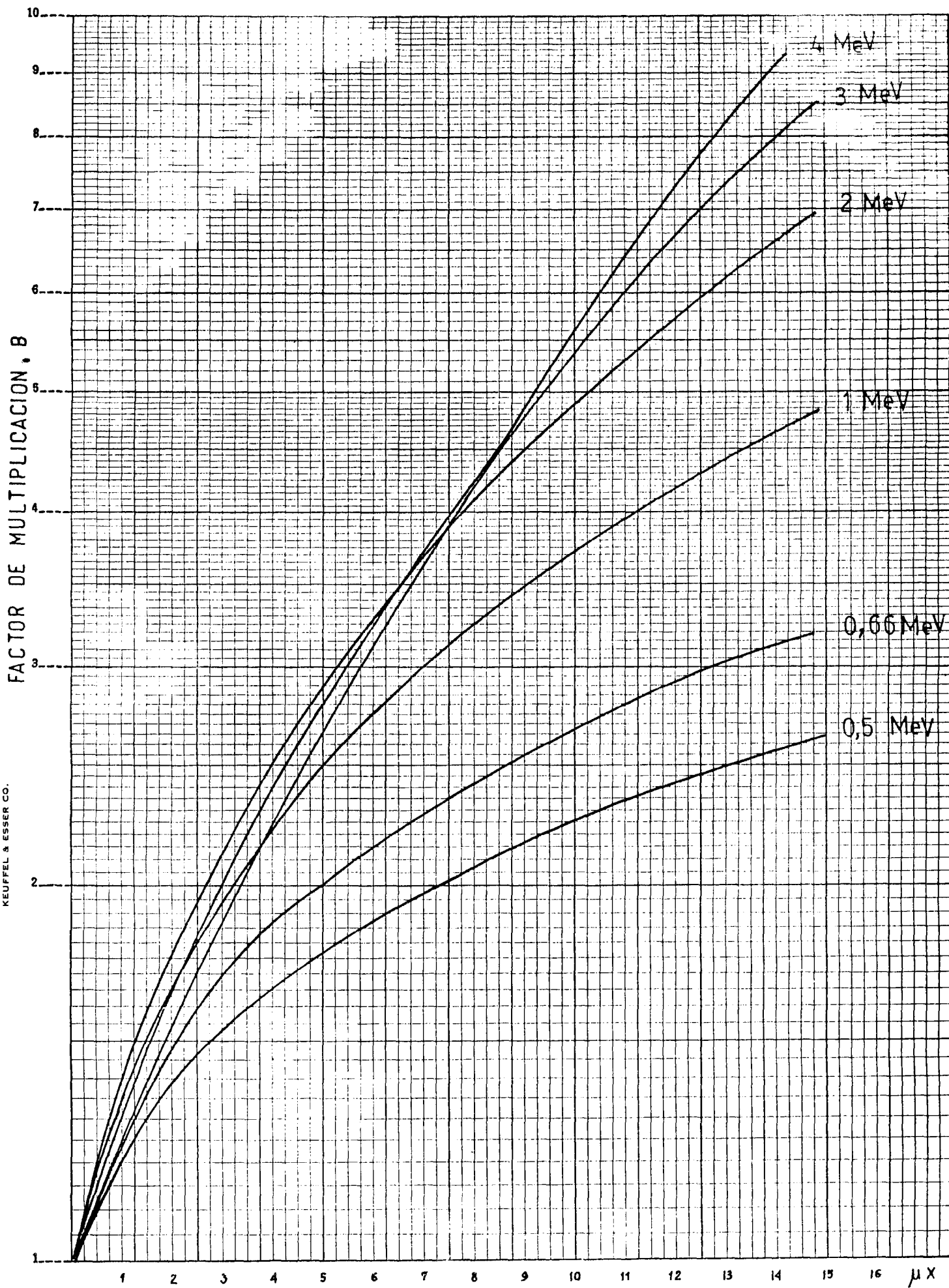


Fig. 10.1 a) Plomo-Factor de multiplicación.

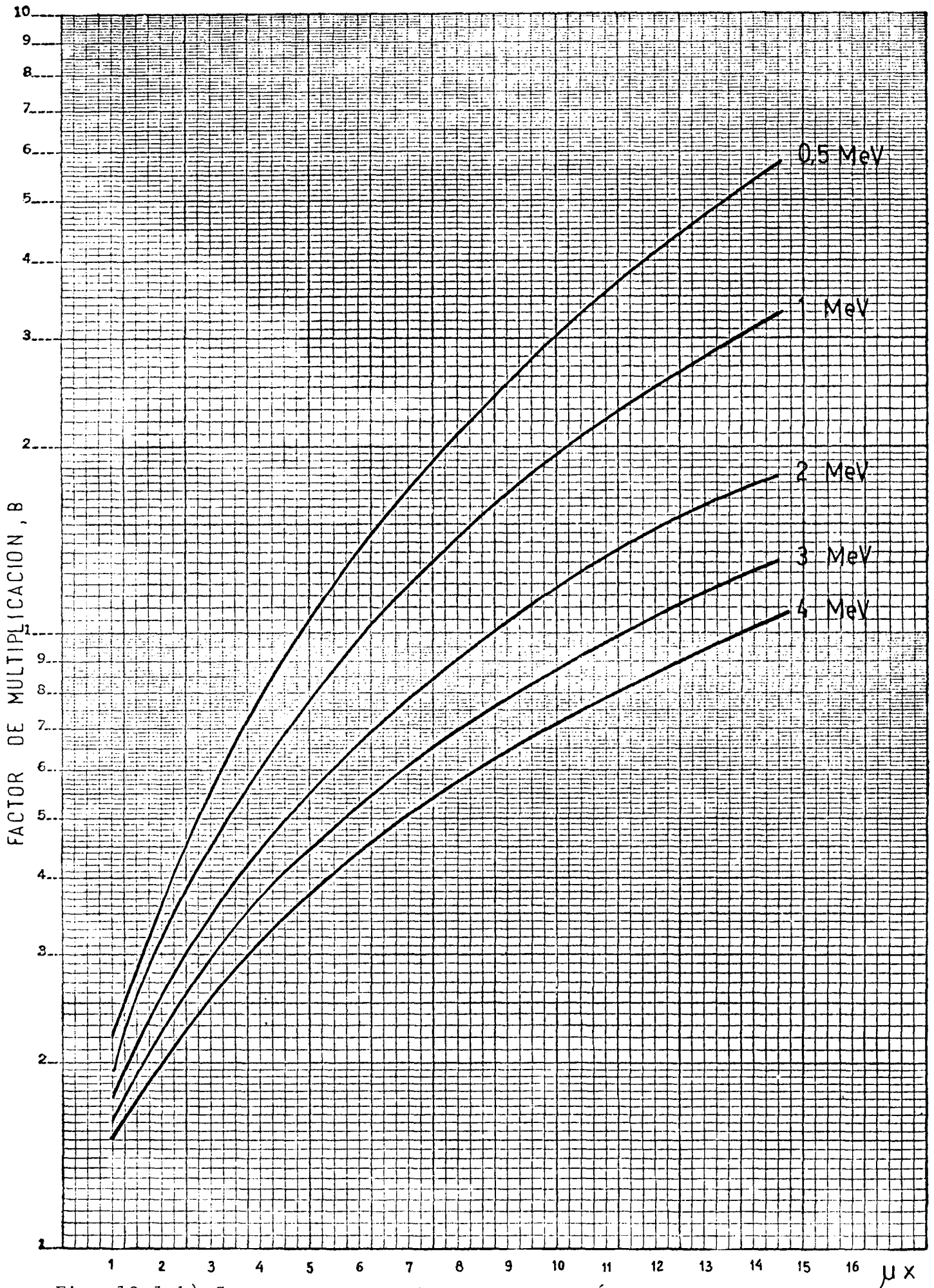


Fig. 10.1 b) Concreto-Factor de multiplicación.

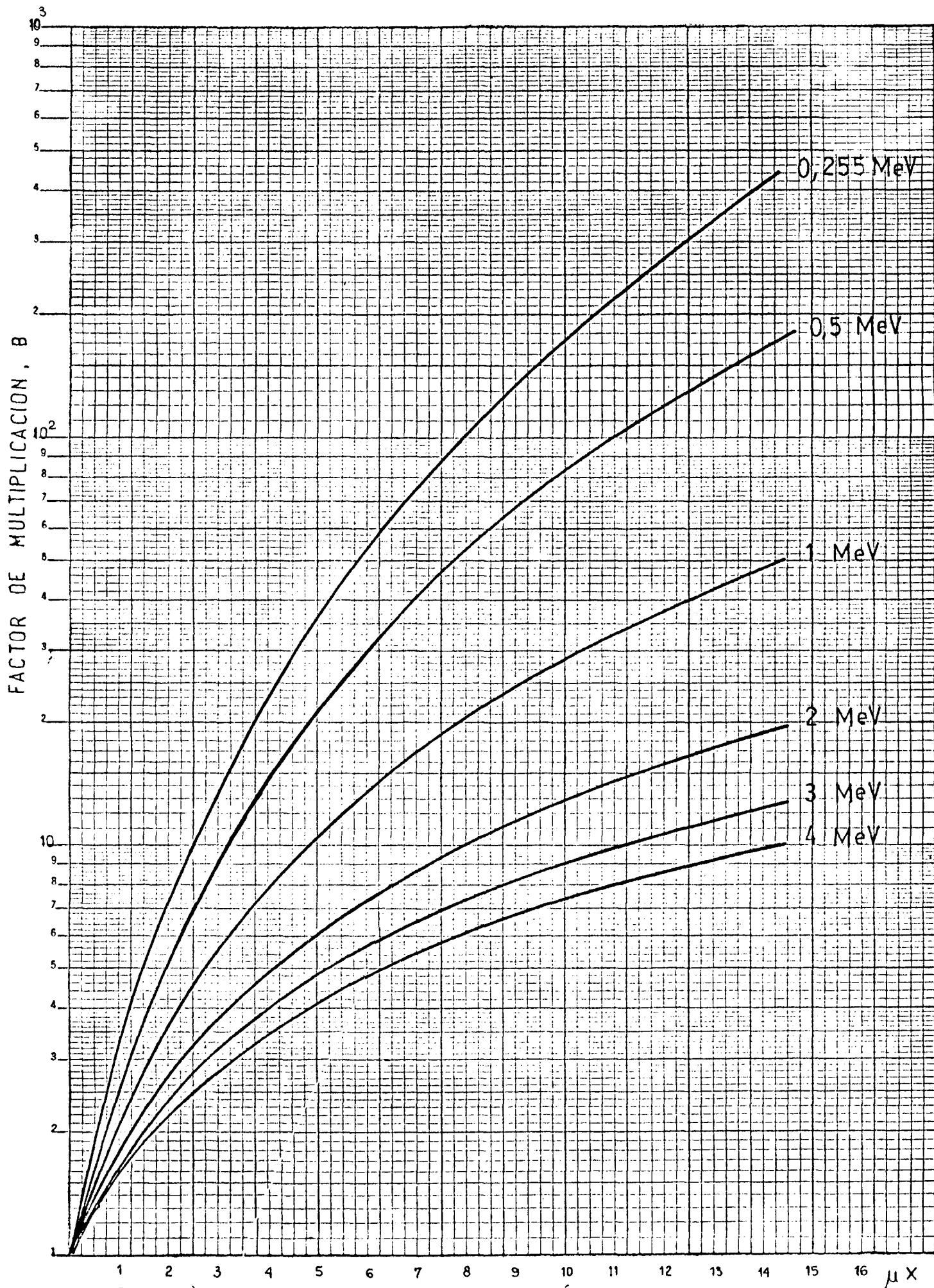


Fig.10 1 c) Agua- Factor de multiplicación.

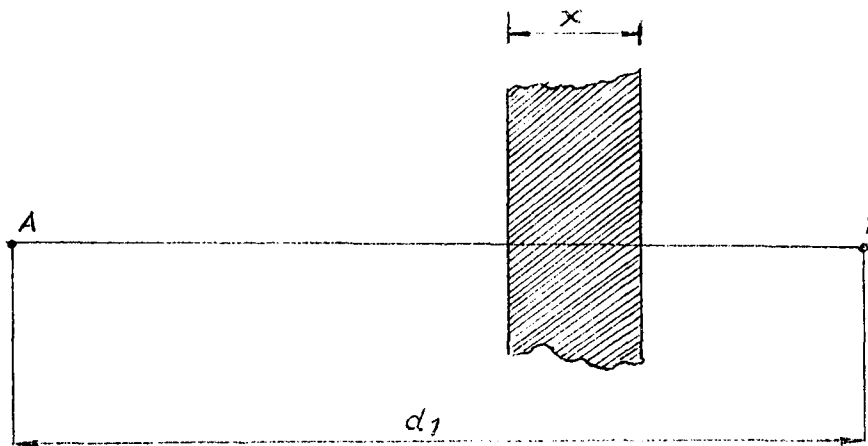


Fig. 10.2 a) Blindaje "hacia adentro"
La distancia d_1 es conocida.

$$\dot{X}^{(1)} = \dot{X}_0^{(1)} e^{-\mu x} \quad B = \frac{A \Gamma}{d_1^2} e^{-\mu x} \quad B$$

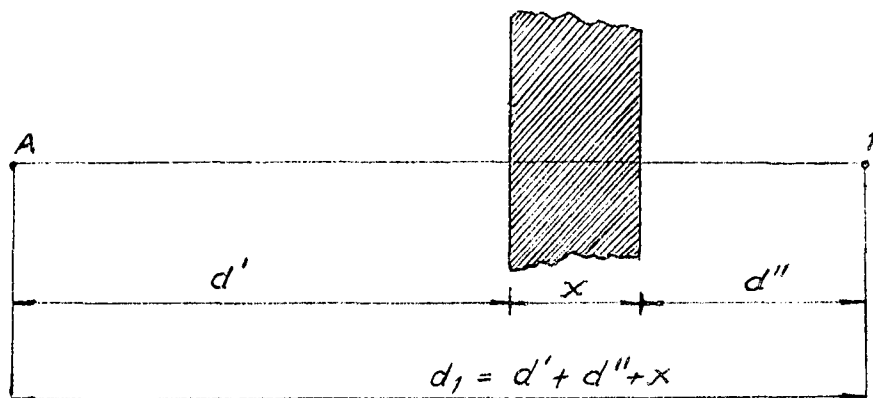


Fig. 10.2 b) Blindaje "hacia afuera"

Las distancias d' y d'' son conocidas, $d_1 = d' + d'' + x$
no se conoce

$$\dot{X}^{(1)} = \dot{X}_0^{(1)} e^{-\mu x} \quad B = \frac{A \Gamma}{(d' + d'' + x)^2} e^{-\mu x} \quad B$$

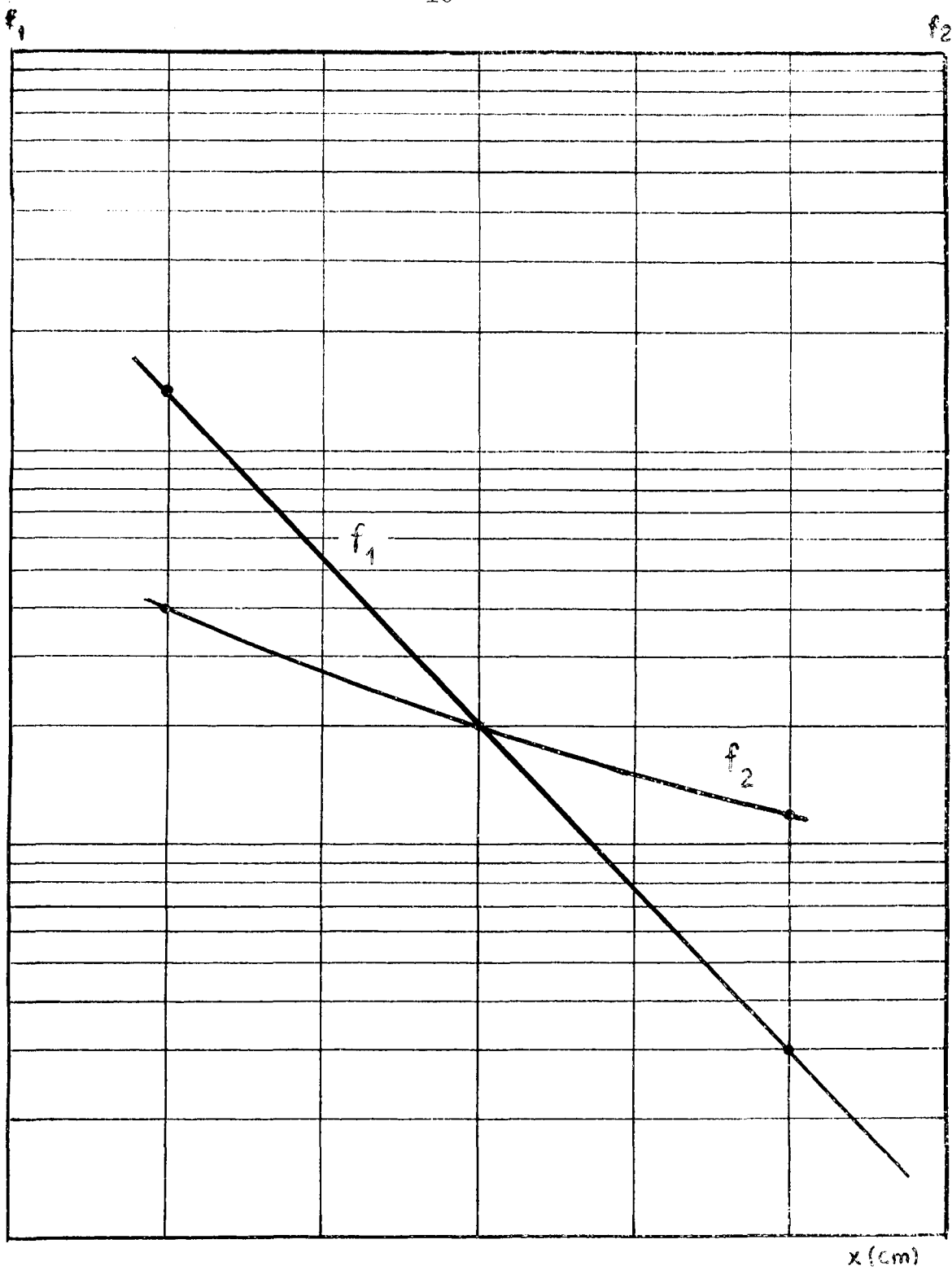


Fig. 10.3 Resolución por el método gráfico.

x	μx	B	$f_2 = \dot{X}^{(1)} d_1^2 / A \Gamma B$	$f_1 = e^{-\mu x}$
cm	--	--	--	--

Método gráfico

x	μx_1	B	$\frac{\dot{X}^{(1)} d_1^2}{A \Gamma} \frac{1}{B} = e^{-\mu x_2}$	μx_2	x_2
cm	--	--	--	--	cm

Método analítico

Fig. 10.4 a) Modelo de cuadros de valores para resolución de un problema de "blindaje hacia adentro"

$$X^{(1)} = \frac{A}{d_1^2} e^{-\mu x} B \rightarrow \frac{\dot{X}^{(1)} d_1^2}{A \Gamma} \frac{1}{B} = e^{-\mu x}$$

x	μx	B	$d_1 = (d' + d'' + x)$	d_1^2	$f_2 = \frac{\dot{X}^{(1)} (d' + d'' + x)^2}{A \Gamma} \frac{1}{B}$	$f_1 = e^{-\mu x}$
cm	--	-	m	m ²	--	--

Método gráfico

x	μx_1	B	$d_1 = (d' + d'' + x)$	d_1^2	$\frac{\dot{X}^{(1)} (d' + d'' + x)^2}{A \Gamma} \frac{1}{B} = e^{-\mu x_2}$	μx_2	x_2
cm	--	-	m	m ²	--	--	cm

Método analítico

Fig. 10.4 b) Modelo de cuadros de valores para resolución de un problema de "blindaje hacia afuera"

$$X^{(1)} = \frac{A \Gamma}{(d' + d'' + x)^2} e^{-\mu x} B \rightarrow \frac{\dot{X}^{(1)} (d' + d'' + x)^2}{A \Gamma} \frac{1}{B} = e^{-\mu x}$$

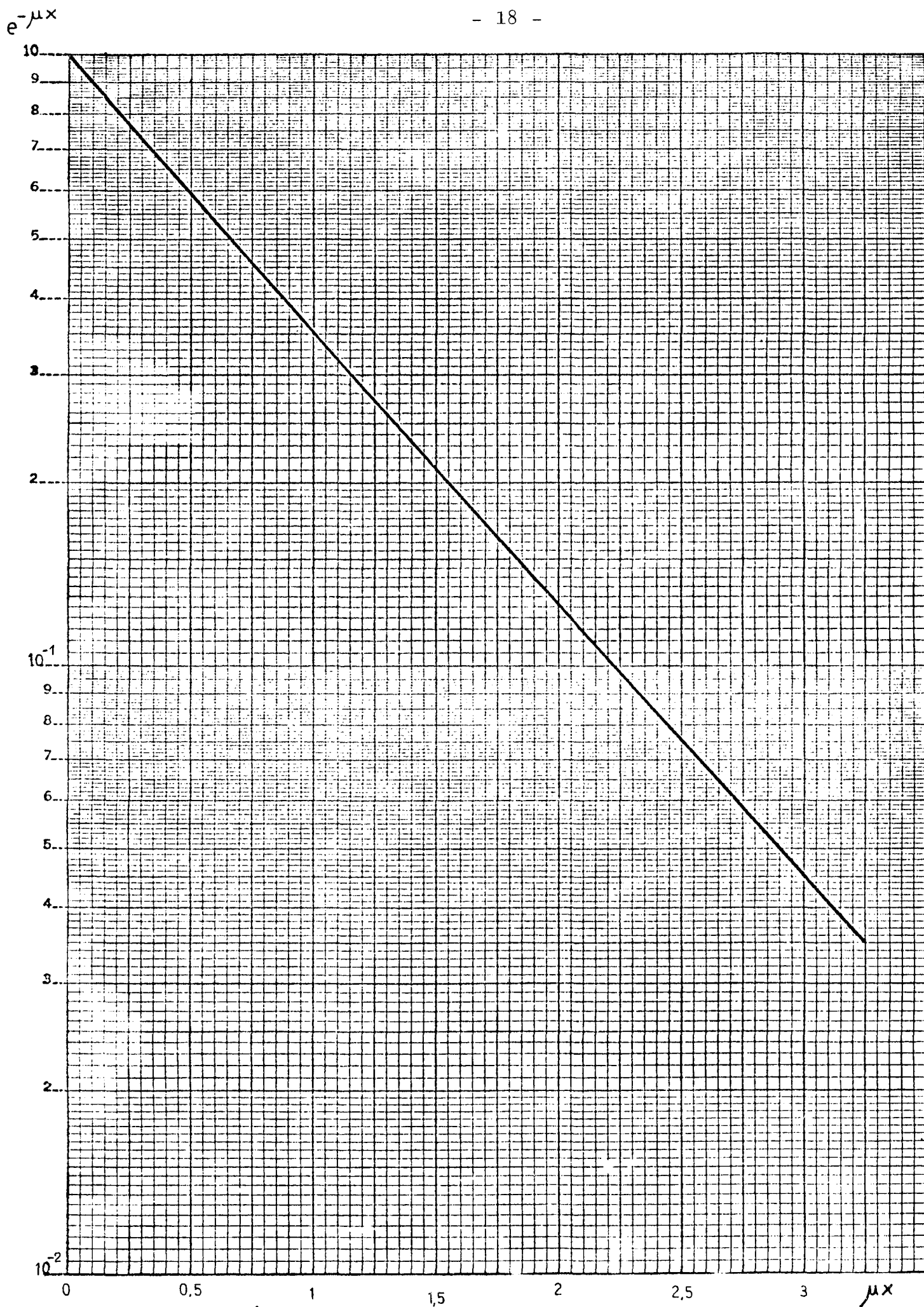


Fig. 10.5 a) Gráfico de valores de $e^{-\mu x}$

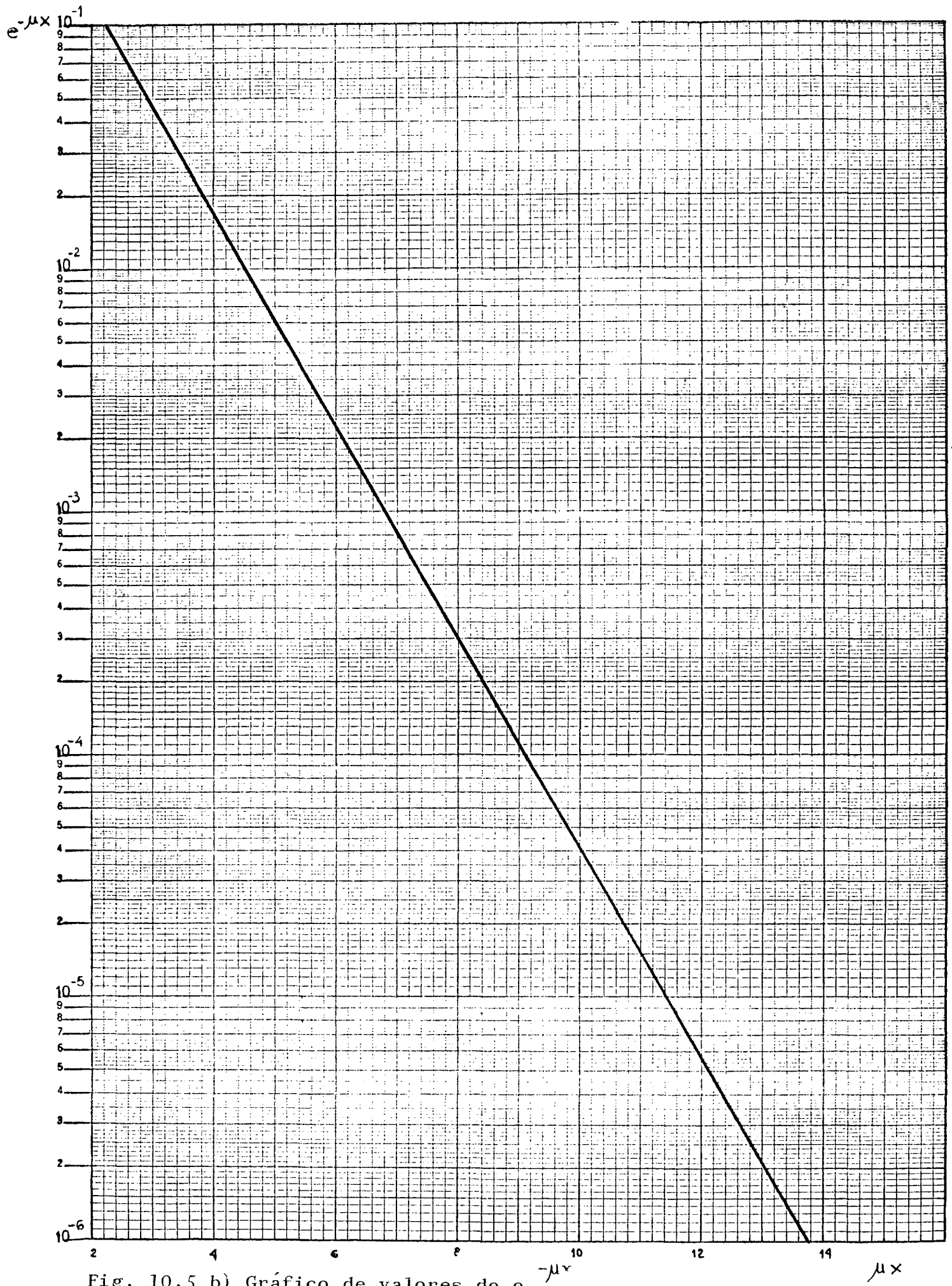


Fig. 10.5 b) Gráfico de valores de $e^{-\mu x}$

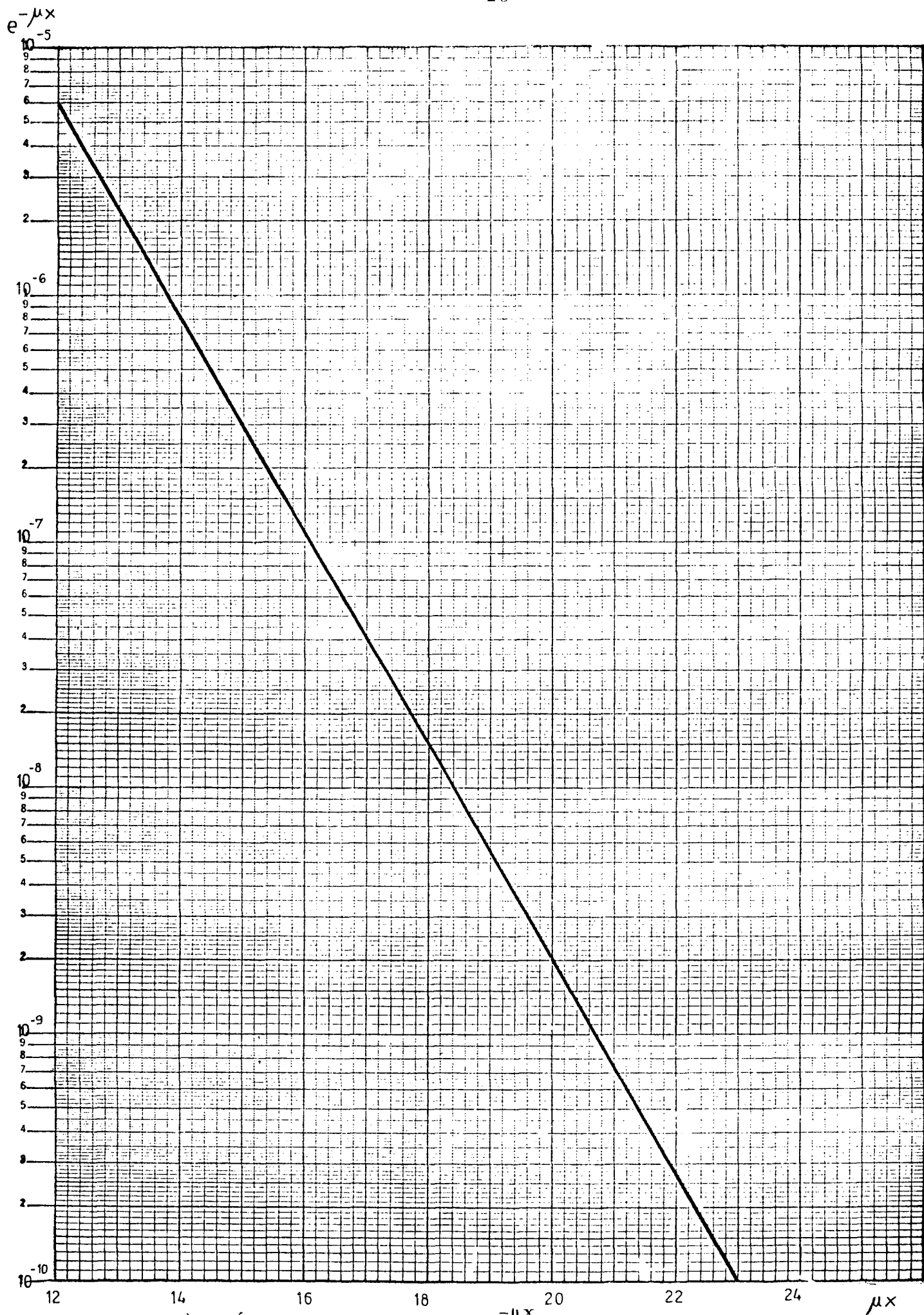


Fig. 10 5 c) Gráfico de valores de $e^{-\mu x}$

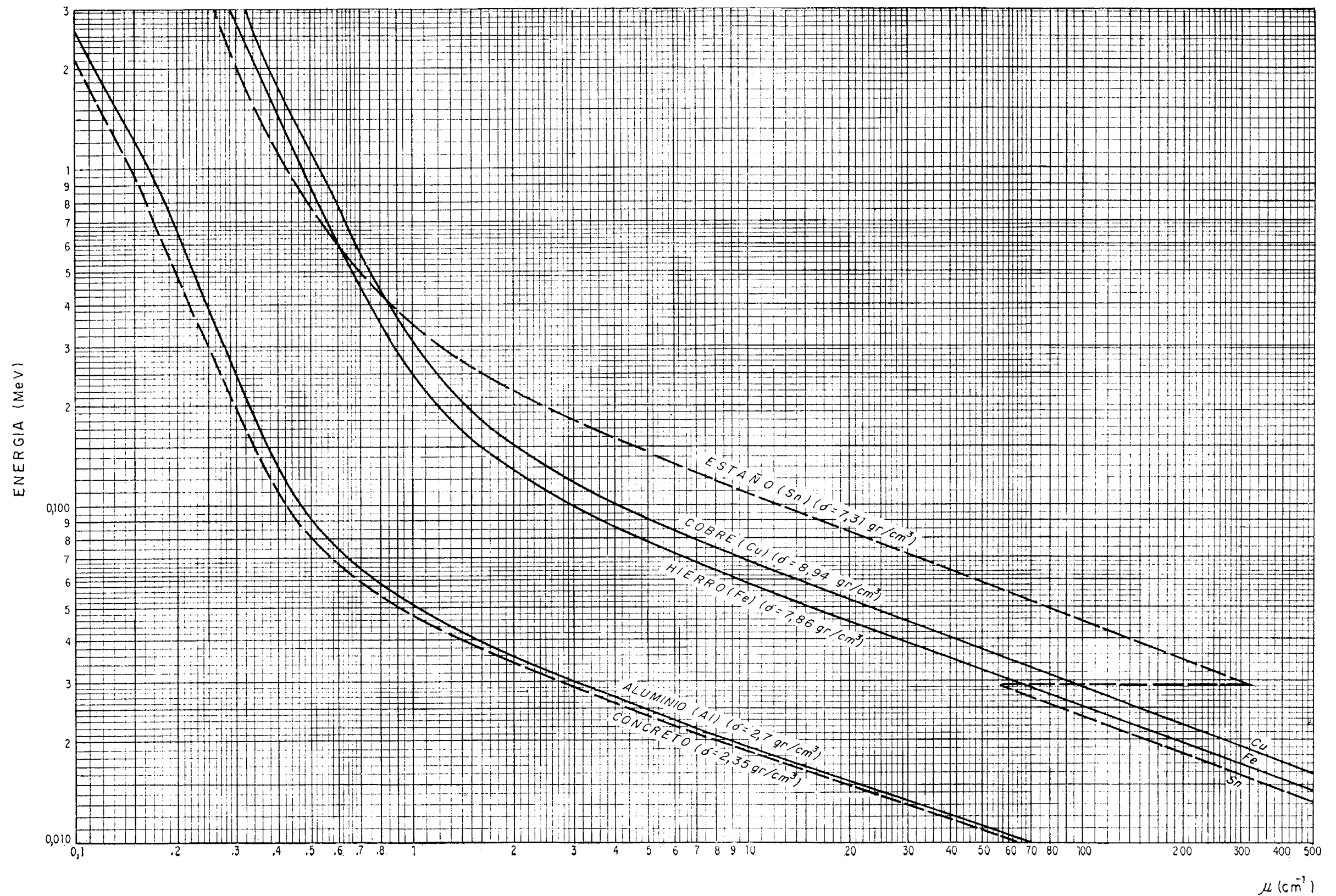
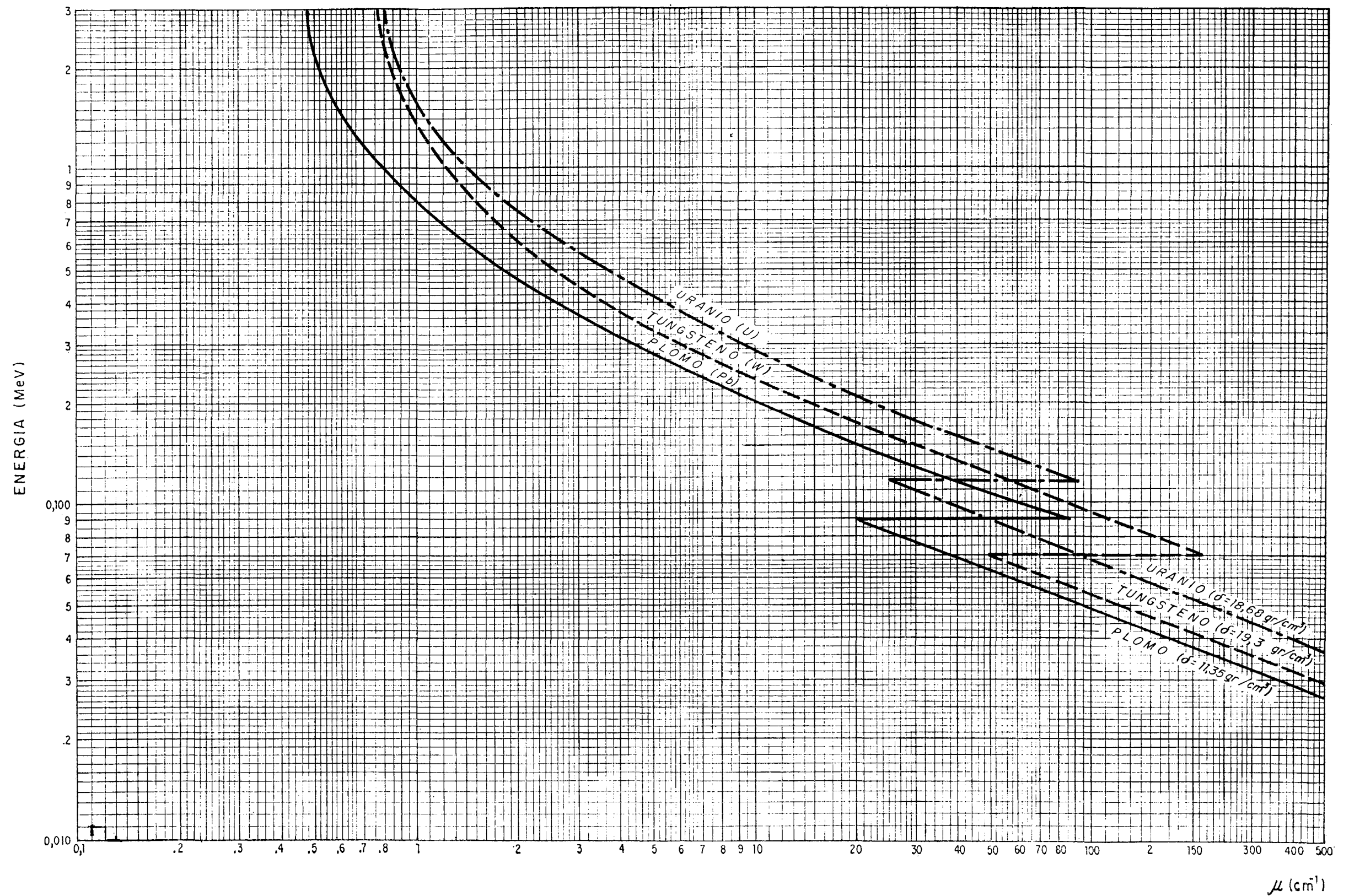


Fig. 10.6 a) Coeficiente de atenuación lineal (μ), en función de la energía de los fotones incidentes.
Observación: Como la densidad del producto comercial (δ_c), generalmente no coincide con el valor de densidad del producto puro (δ_p), debe corregirse el valor del coeficiente de atenuación lineal obtenido del gráfico (μ_g), para obtener el valor real (μ_r)

$$\mu_r = \frac{\delta_c}{\delta_p} \mu_g ; \mu_r \leq \mu_g$$



(Fig. 10.6.b) Coeficiente de atenuación lineal (μ), en función de la energía de los fotones incidentes.
Observación: Como la densidad del producto comercial (δ_c), generalmente no coincide con el valor de densidad del producto puro (δ_p), debe corregirse el valor del coeficiente de atenuación lineal obtenido del gráfico (μ_g), para obtener el valor real (μ_r)

$$\mu_r = \frac{\delta_c}{\delta_p} \mu_g \quad ; \quad \mu_r \leq \mu_g$$

TABLA 10.1

COEFICIENTES DE ATENUACION Y ABSORCION PARA ALGUNOS NUCLEIDOS

Nucleído	$\mu \text{ (cm}^{-1}\text{)}$					$\frac{\mu_a}{\delta} \text{ (}\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}\text{)}$	
	Agua $\delta = 1 \text{ g/cm}^3$	Pb $\delta = 11,3 \text{ g/cm}^3$	Fe $\delta = 7,8 \text{ g/cm}^3$	Hormigón $\delta = 2,35 \text{ g/cm}^3$	Al $\delta = 2,7 \text{ g/cm}^3$	aire	agua
^{60}Co	0,063	0,67	0,41	0,132	0,148	0,0267	0,0297
^{137}Cs	0,088	1,21	0,56	0,181	0,2	0,0294	0,0327
^{198}Au	0,108	2,37	0,72	0,221	0,248	0,03	0,033
$^{192}\text{Ir} *$	0,105	2,6	0,76	0,23	0,25	0,03	0,033

* Valores medios aproximados

TABLA 10.2

Nucleido	$\mu \left(\frac{r \cdot m^2}{h \cdot Ci} \right)$
$^{24}_{Na}$	1,93
$^{59}_{Fe}$	0,645
$^{60}_{Co}$	1,34
$^{131}_{I}$	0,22
$^{137}_{Cs}$	0,324
$^{198}_{Au}$	0,236
$^{226}_{Ra}$ (en equilibrio con sus hijas)	0,97 (sin filtro)
$^{226}_{Ra}$ (en equilibrio con sus hijas)	0,845 (con filtración de 0,5 mm de platino)
$^{192}_{Ir}$	0,48
$^{182}_{Ta}$	0,68

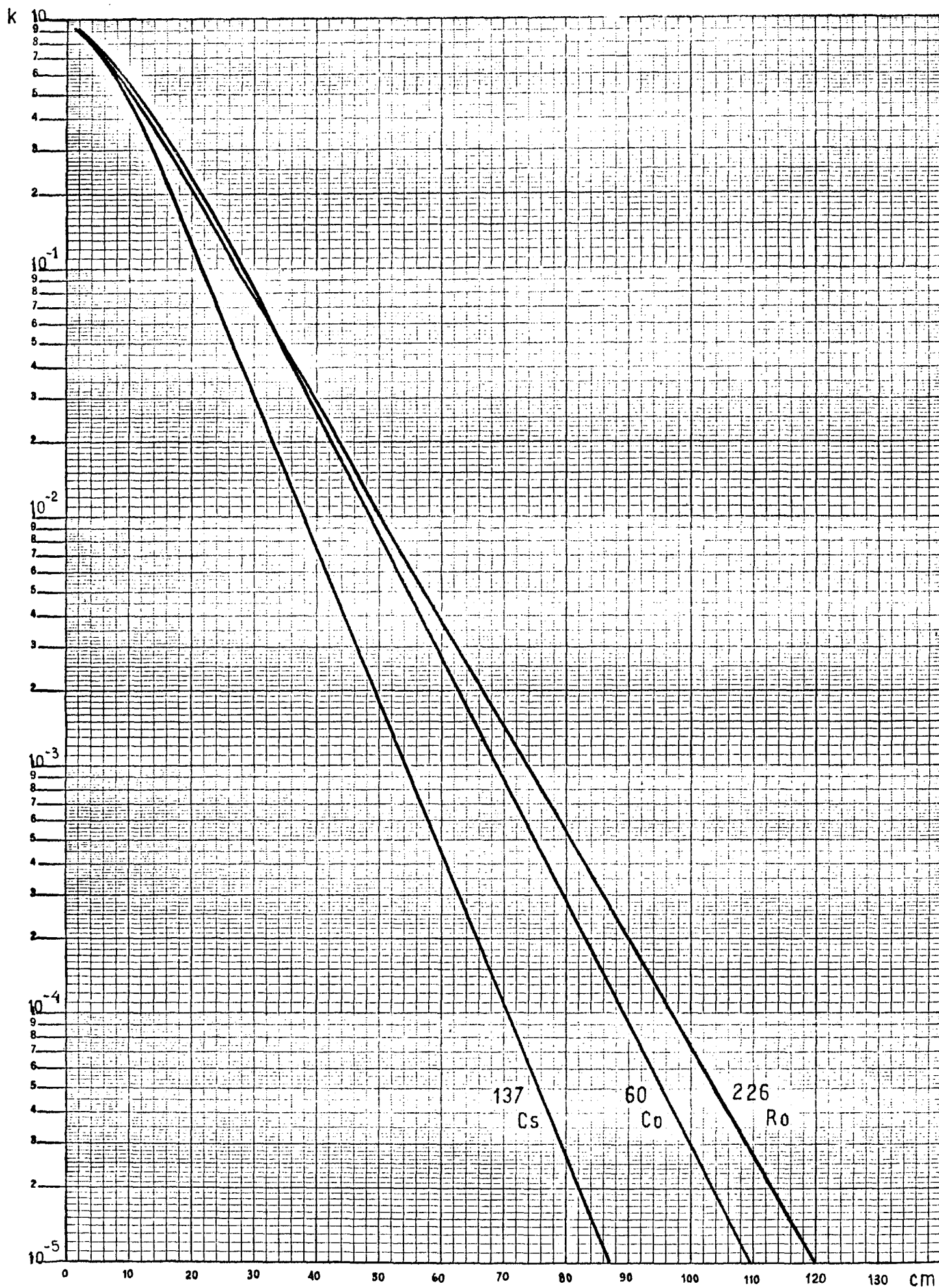


Fig. 10.7 a) Concreto-Relación de Transmisión para distintos nucleidos emisores gamma.

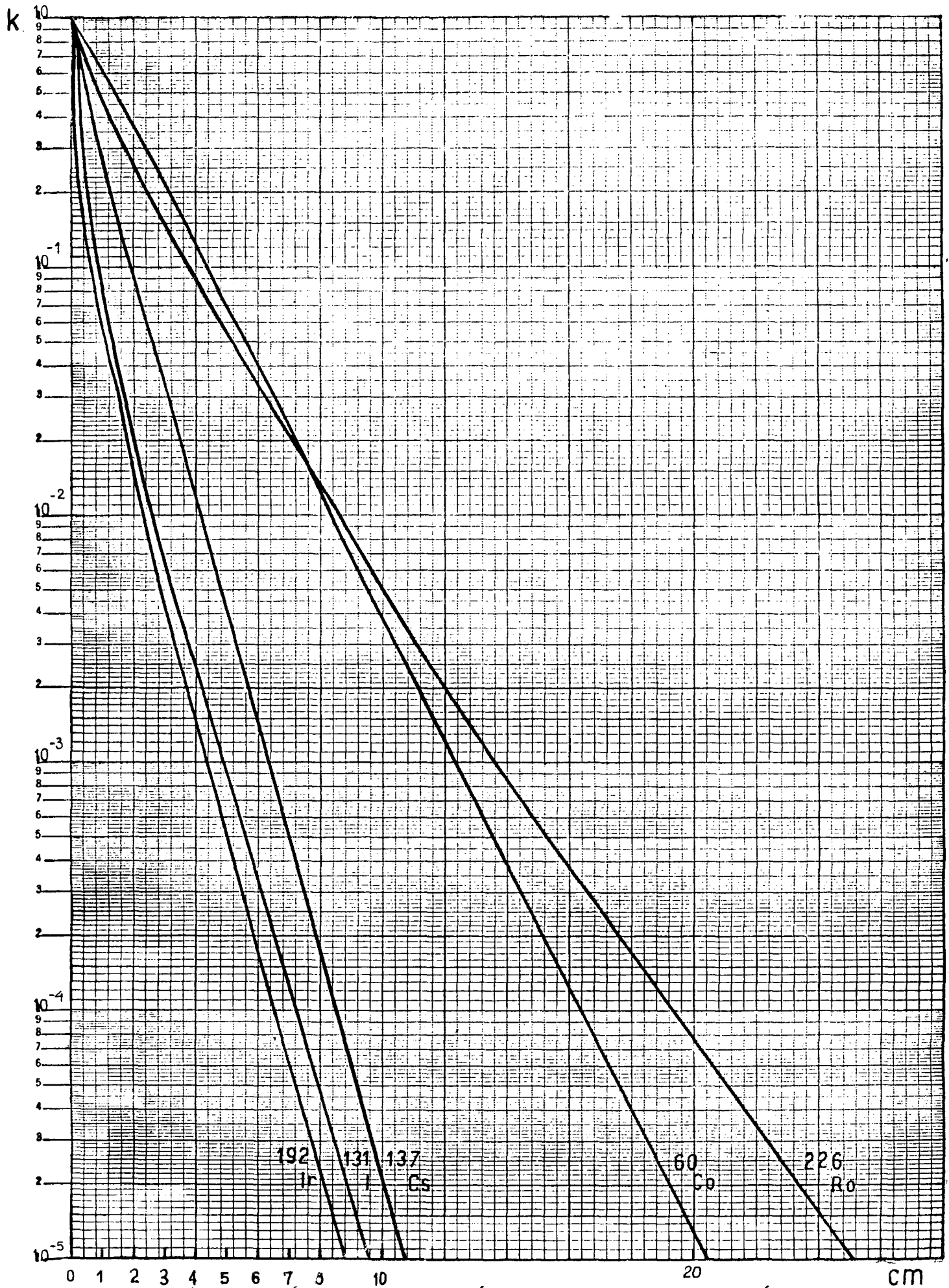
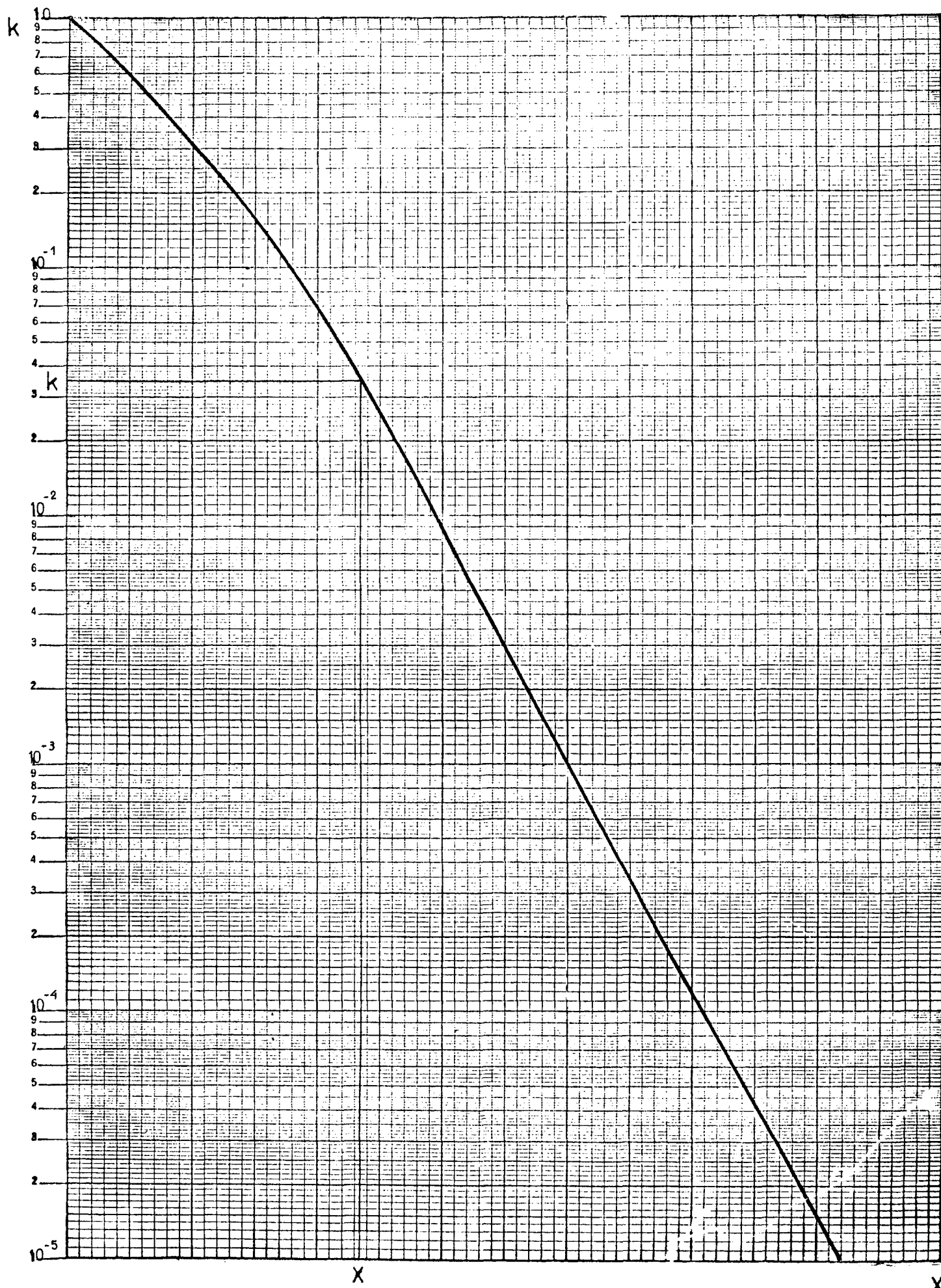


Fig. 10.7b) Relación de Transmisión para distintos nucleídos emisores gamma.



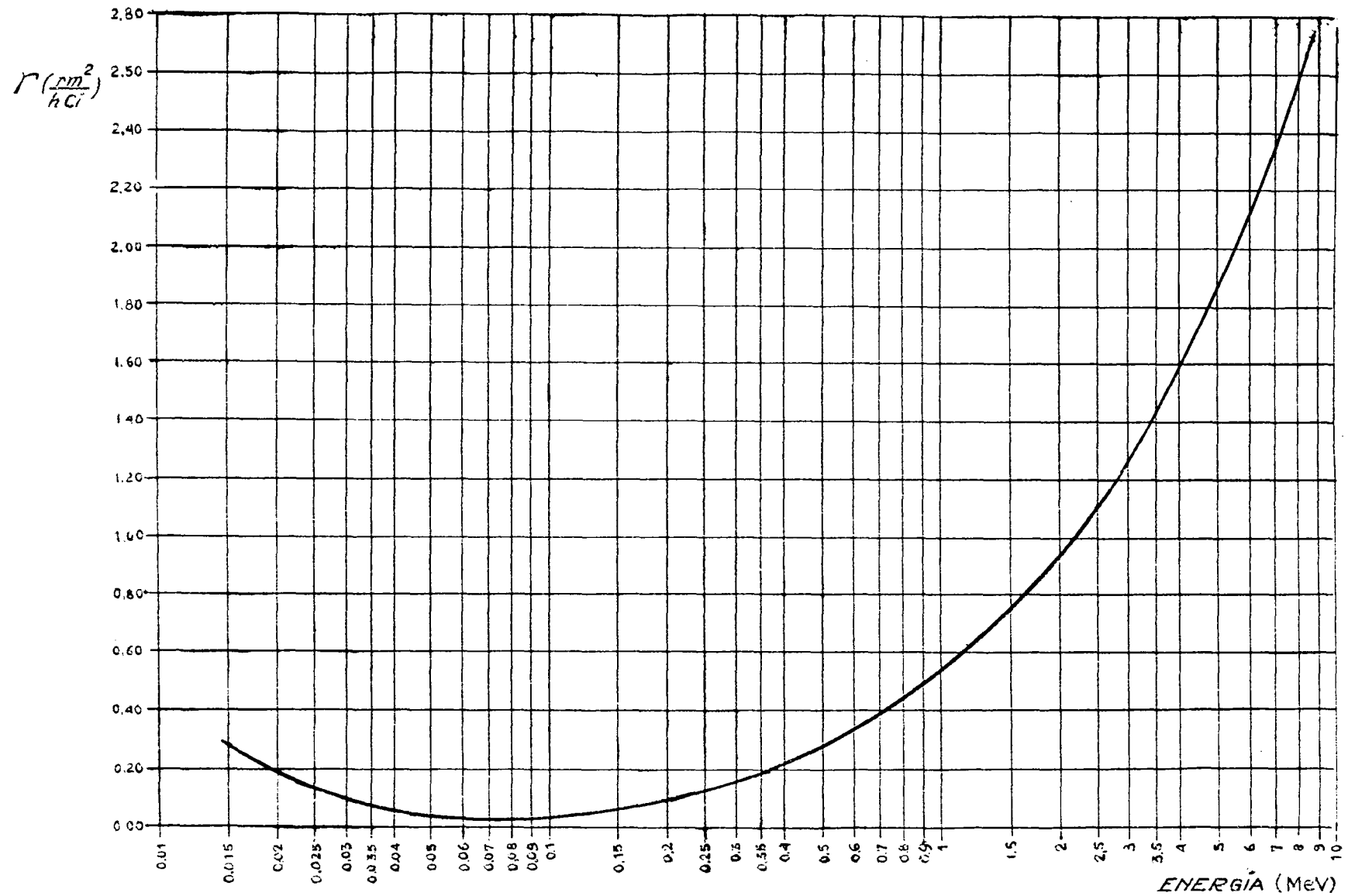


Fig. 10.9 Constante específica de radiación, para un curie de actividad y una emisión de un fotón por desintegración en función de la energía de los fotones.

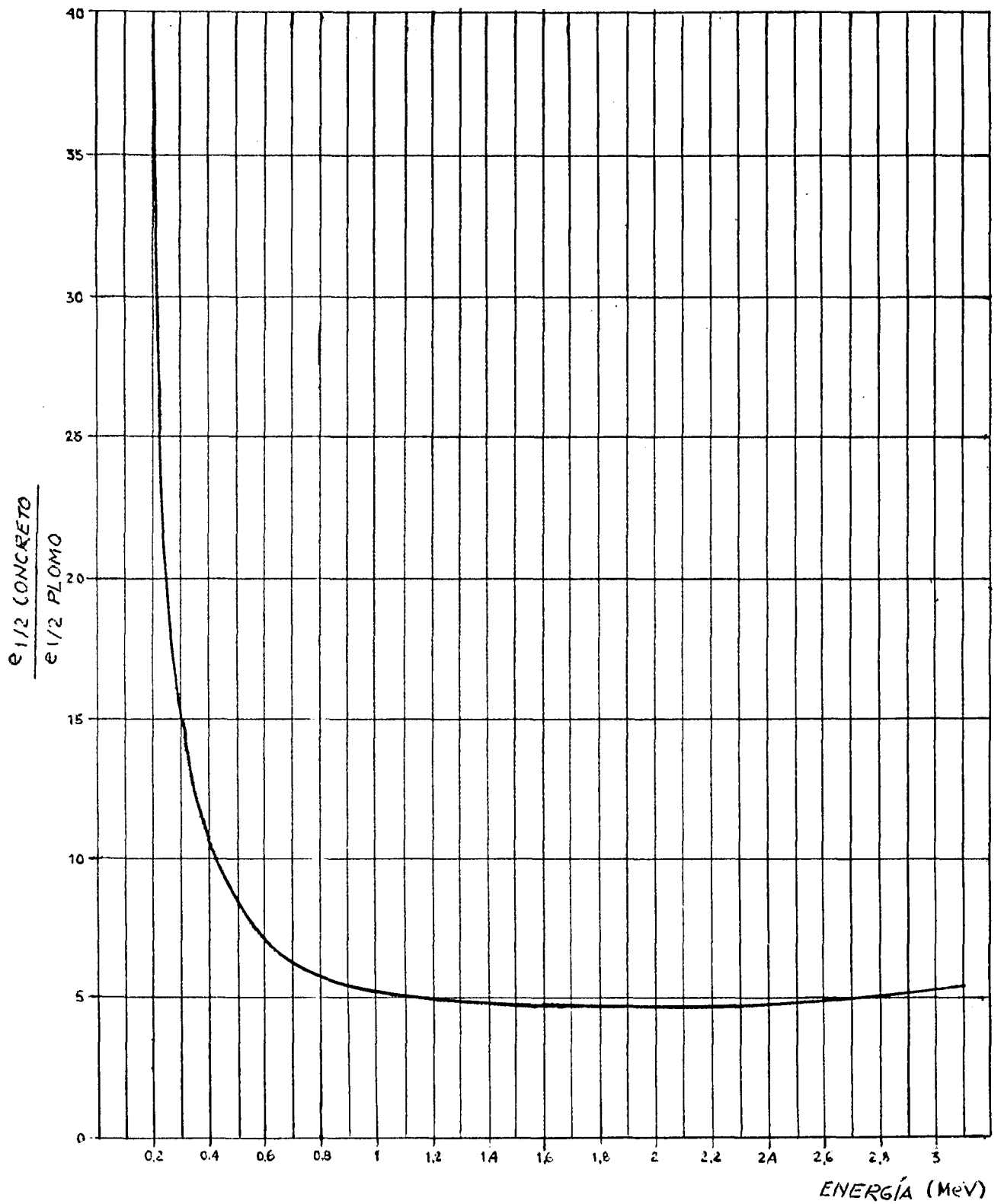


Fig. 10.10 Relación de hemiespesores de concreto y plomo para distintas energías.

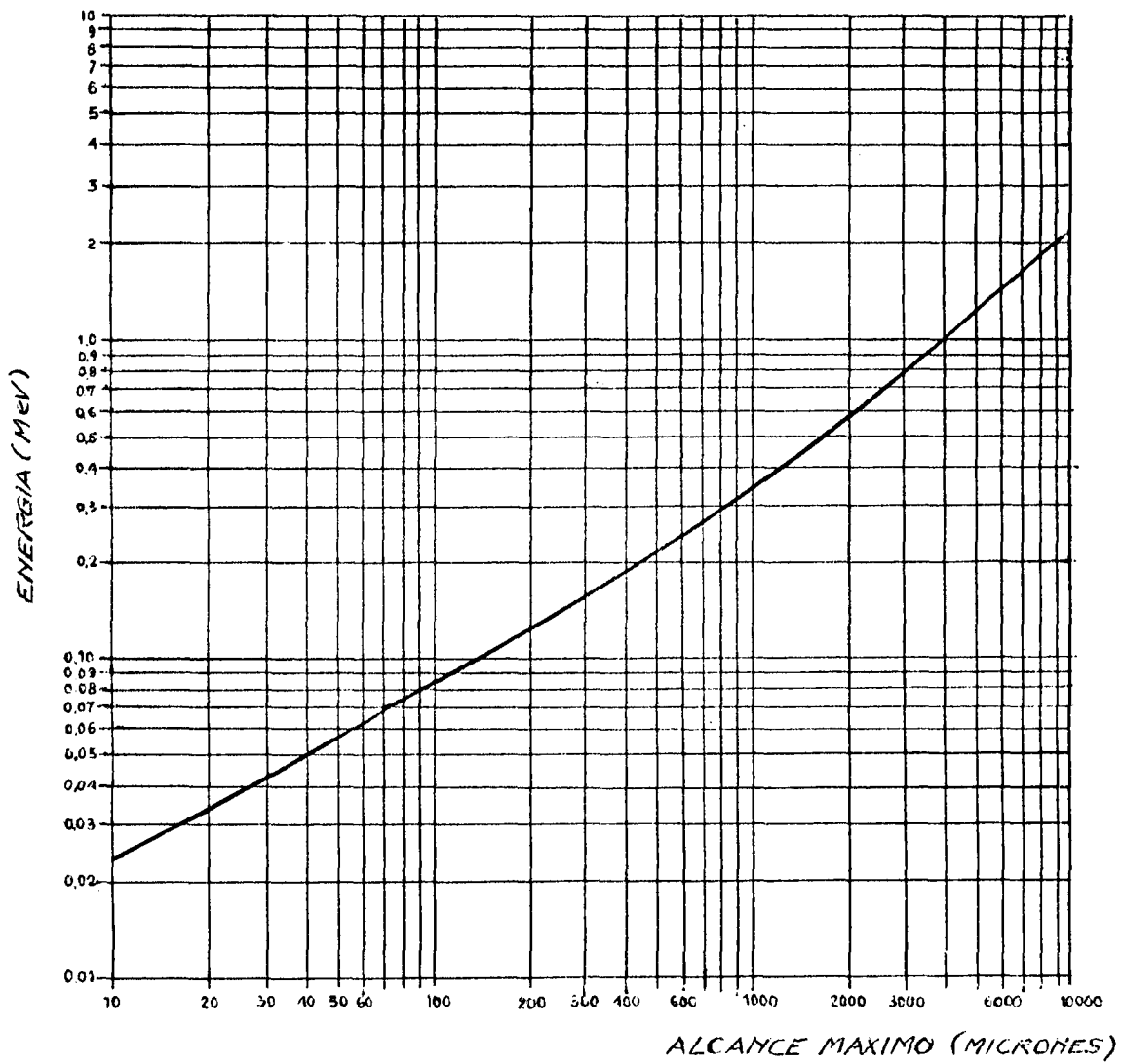


Fig. 10.11 Alcances de partículas beta en tejido acuoso ($\rho = 1 \text{ g/cm}^3$)