

MESA N° 10: APLICACIONES INDUSTRIALES DE RADIACION

INSTITUCION: INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

PONENCIA: DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LOS MATERIALES
USANDO EL COEFICIENTE DE ABSORCION DE LA RADIA
CION GAMMA.

AUTOR (ES): FRANCISCO RAMIREZ GARCIA
 BEATRIZ SANCHEZ PEREZ

CURRICULUM VITAE:

BEATRIZ SANCHEZ PEREZ

Estudio la carrera de Física en la Facultad de Ciencias (UNAM), -
trabaja en la determinación de espesores y densidades utilizando
radiación Gamma. Participo en los Congresos Nacional Física de en
senada (1990) y de México, D.F. (1991).

RESUMEN:

El propósito de este estudio es obtener la densidad de los mate-
riales aprovechando la propiedad de la absorción de la radiación
gamma por estos. Con el fin de poder realizar diversas aplicacio-
nes de la radiación de "alta energía" -entre 30 keV y 1.5 MeV- a
nivel industrial, como la tomografía industrial, determinación de
densidades de corrientes en tubos, etc. Se da una descripción de
diversos aspectos que se han tenido que modificar para poder ---
hacer mediciones confiables, utilizando fuentes radiactivas de Co
-60, Cs-137 y Ba-133, para determinar el coeficiente de absorción
másico y posteriormente obtener la densidad. Con este fin se com-
paran los resultados obtenidos de la teoría y los datos experimenen
tales.

DETERMINACION DE DENSIDADES DE LOS MATERIALES POR MEDIO DEL COEFICIENTE DE ATENUACION DE LA RADIACION GAMMA

**BEATRIZ SANCHEZ PEREZ
FCO. PABLO RAMIREZ GARCIA
IMP**

RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo determinar la densidad de los materiales utilizando la propiedad de atenuación de radiaciones gamma. Se efectuaron diversas aplicaciones del método en el intervalo de energías de 30 keV a 1.5 MeV a nivel industrial como: la tomografía industrial, la determinación de densidades de fluidos en tubos, etc. Se exponen las modificaciones de algunas componentes en los experimentos para lograr mediciones más confiables. Para determinar el coeficiente de atenuación másico y la densidad se utilizaron fuentes radiactivas de Cs-137 y Ba-133. Finalmente se comparan los resultados experimentales obtenidos con los teóricos.

ANTECEDENTES

El uso de la radiación gamma y de otras cuyo origen es el núcleo ha tenido una gran aplicación en la industria desde la década de los 30, y en nuestro País se han venido empleando fundamentalmente para medir densidades, espesores y niveles en recipientes cerrados. Sin embargo la mayoría de los equipos con que se realizan estas aplicaciones se basan en principios desarrollados en el extranjero y muy poco se ha fundamentado en el País, a pesar de los grandes esfuerzos realizados por el ININ y de otros centros de investigación.

De los estudios bibliográficos realizados se observa que la literatura es escasa y se han orientado al empleo de detectores Geiger-Müller. Aspecto que ha requerido de un estudio especial cuando se emplean detectores de centelleo, donde es posible medir la intensidad de la radiación debida al efecto fotoeléctrico. Hecho que en la metodología empleada se detalla. Por otra parte las mediciones de los coeficientes de atenuación son de mayor precisión empleando este único efecto, por lo que es posible determinar propiedades específicas de los materiales analizados.

Dada la poca difusión de las mediciones que se logran con el detector de centelleo, se ha requerido emplear procedimientos especiales para cuantificar las contribuciones de las mediciones individuales sobre el error en las mediciones derivadas o implícitas en las expresiones utilizadas para obtener el coeficiente de atenuación, ya que estas no se pueden realizar en forma directa.

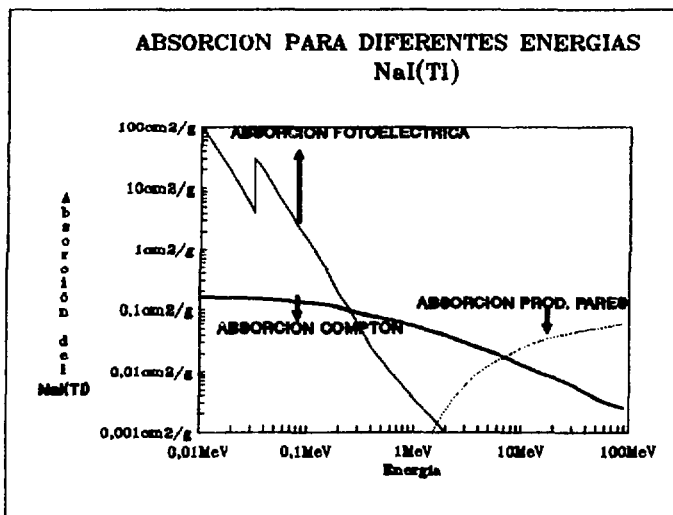


FIGURA 1 Coeficientes de atenuación para el NaI(Tl).

METODOLOGIA

El Geiger-Müller es uno de los detectores de radiación más antiguos, desarrollado por Geiger y Müller, en 1942. Sin embargo, es muy utilizado por su bajo costo, su simplicidad y fácil operación.

Un detector Geiger funciona únicamente como contador de radiación y no puede ser utilizado para espectroscopia porque toda la información de la energía de la radiación incidente se pierde.

El desarrollo de los detectores de centelleo modernos se debe a Coltman y Marshall [2], en 1947, y consta de un cristal de NaI(Tl), un tubo fotomultiplicador y un preamplificador.

El detector de centelleo es particularmente usado en las mediciones de la energía de la radiación beta y gamma. Estos detectores son apropiados para un alto conteo y un tiempo corto de resolución, por lo que permiten realizar espectroscopía de la energía de radiación beta o gamma.

Análisis de la absorción de la radiación por el NaI(Tl). Dado el intervalo de energías seleccionado los efectos de absorción característicos al detector de NaI(Tl) son los correspondientes al efecto Compton y al Fotoeléctrico (fig.1), de esto se deduce que el detector funciona en base a los fotones absorbidos por el material. Lo cual significa, que el espectro correspondiente a una energía específica estará compuesto por un pico debido al efecto fotoeléctrico y un escalon que pertenece a los efectos Compton. Por lo que es posible determinar la atenuación debida a cualquier material observando la magnitud correspondiente al efecto fotoeléctrico en el cristal del detector (fig.2).

ANCHO PULSO DE Cs-137

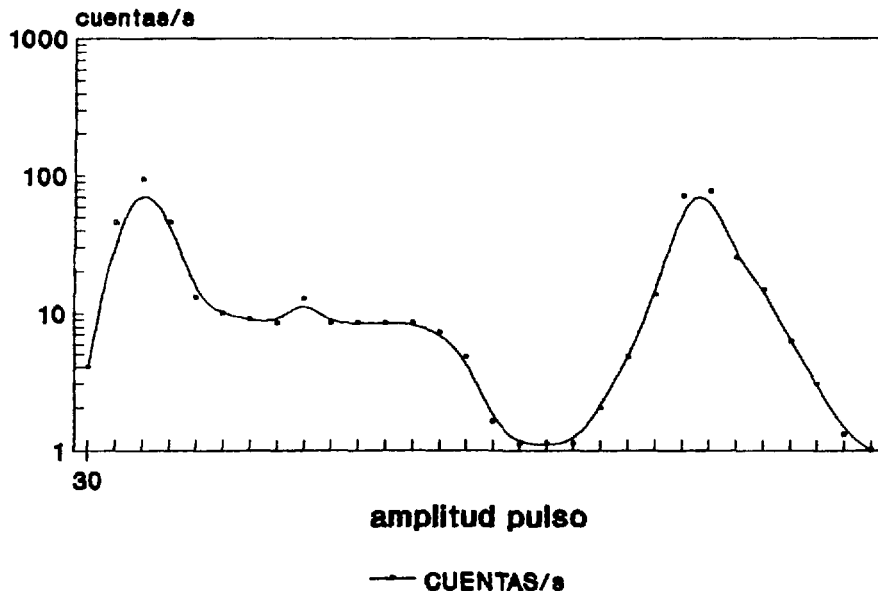


FIGURA 2 Espectro correspondiente al Cs-137 usando un detector de NaI(Tl) de 5 cm por 5 cm.

Una peculiaridad en la realización de este estudio es tener una buena geometría, que permita controlar la variación del espesor y el cono de la radiación incidente en el recipiente contenedor.

Para el registro del espectro de la radiación se empleo un Multicanal (Camberra serie 35 plus) consiste de un controlador maestro y cinco secciones: memoria, pantalla, procesador de señal, interfase operador/MCA, y entrada/ salida de datos. El controlador es un microprocesador que lee las instrucciones por medio de un programa permanente en la memoria. Cuenta con 4096 canales. Puede ser utilizado como analizador de pulsos (PHA) o multiescalador (MCS). Utilizándolo como PHA se registra el número de eventos vs energía. En cambio si se utiliza como MCS registra el número de eventos vs tiempo. El multicanal incluye un amplificador que es configurado por el operador y un monocanal que permite seleccionar el intervalo de energías observables.

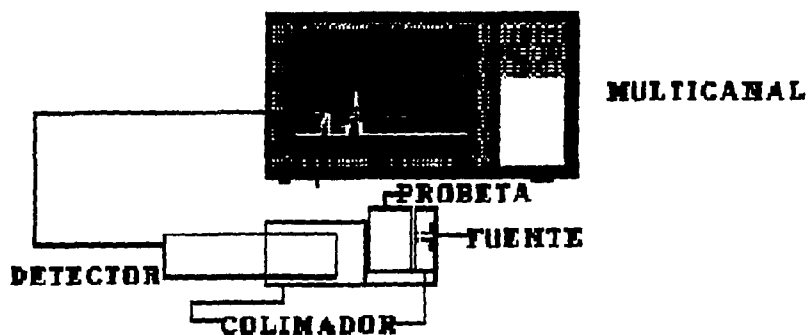


FIGURA 3 Dispositivo empleado para la medición del Coeficientes de atenuación

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El arreglo experimental para la medición de la atenuación de la radiación consistió de lo siguiente:

Un detector de centelleo de NaI (Tl), un multicanal, una fuente de alto voltaje, colimadores y una fuente radiactiva (37,000 Bq). El cristal del detector se colocó dentro de un colimador de plomo a 8 cm, de este se instaló un colimador y una fuente radiactiva (fig. 3). Se utilizó una probeta como contenedor para las diferentes sustancias conocidas (heptano-normal, agua bidestilada y acetona).

Inicialmente se utilizó una probeta cilíndrica pero las fluctuaciones en las mediciones de la intensidad de la radiación eran muy grandes e inaceptables (tabla 1).

TABLA 1

	FONDO C/F	PRO- BETA	HEPTANO NORMAL	ACETONA	AGUA
$\rho \left(\frac{g}{cm^3} \right)$			0.6838	0.7857	1.0
Cs-137 (662 keV)					
INT =	1967	1993	1744	1812	1841
INT =	3348	3142	3084	3188	2932

Se estudiaron las posibles causas de esta fluctuación y se llegó a la conclusión de que eran causadas por la variación del espesor del líquido contenido en la probeta cilíndrica por lo que se construyó una probeta de sección rectangular que resolvió tanto el problema de la variación en el espesor como la distancia de incidencia.

Se hizo un análisis del error para el coeficiente de atenuación lineal obteniéndose la relación 1 y para el coeficiente de atenuación másico se obtuvo la relación 2.

$$\sigma_{\mu}^2 = \frac{1}{(I \times x)^2} \times \sigma_I^2 + \frac{1}{(I_0 \times x)^2} \times \sigma_{I_0}^2 + \frac{1}{x^4} \times \left(\ln \frac{I}{I_0} \right)^2 \times \sigma_x^2 \quad 1$$

$$\sigma_{\mu}^2 m = \frac{1}{\rho^2} \times \sigma_{\mu}^2 + \frac{\mu^2}{\rho^4} \times \sigma_{\rho}^2 \quad 2$$

RESULTADOS

Se programó el multicanal para capturar la información cada minuto, seleccionando los principales picos de energía. Para Cs-137 el pico de energía fue de 0.661 MeV y para el Ba-133 los picos de energía utilizados fueron 0.080 MeV y 0.356 MeV. Como ya se mencionó estos picos permiten determinar el coeficiente de atenuación del material estudiado. La tabla 2 muestra los resultados obtenidos.

TABLA 2

	FONDO C/F	PRO- BETA	HEPTANO NORMAL	ACETONA	AGUA
$\rho \left(\frac{g}{cm^3} \right)$			0.6838	0.7857	1.0
Ba-133 (80 keV)					
INT =	4224	3113	1997	1981	1652
μ			0.1804±0.0233 0.1571,0.2037	0.1837±0.0234 0.1603,0.2071	0.2575±0.0248 0.2327,0.2823
Ba-133 (356 keV)					
INT =	11875	11270	9804	9588	8957
μ			0.059±0.0117 0.0473,0.0707	0.068±0.0118 0.0562,0.0797	0.10±0.012 0.085,0.109
Cs-137 (662 keV)					
INT =	21774	20542	17561	17475	16907
μ			0.066±0.0087 0.0573,0.0747	0.068±0.0087 0.0593,0.0767	0.082±0.0088 0.0732,0.0908

ANALISIS

Obtención de los coeficientes de atenuación para los diferentes materiales y su desviación estandar.

La ecuación (3) enunciada por Bauger y Lambert [5] se usa para definir la transmisión de la radiación en un material absorbente en función de la densidad y el espesor de éste:

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

3

En donde

I = intensidad de la radiación con absorbedor
 I_0 = intensidad de la radiación sin absorbedor
 μ = coeficiente de atenuación lineal total
 d = distancia de separación en cm

El coeficiente de atenuación lineal total es igual a la suma de los coeficientes de atenuación para cada uno de los mecanismos de atenuación involucrados, es decir:

$$\mu = \tau + K + \sigma_c + \sigma_a \quad 4$$

μ = coeficiente de atenuación Lineal total
 τ = coeficiente de atenuación fotoeléctrico
 K = coeficiente de atenuación de producción de pares
 σ_c = coeficiente de dispersión Compton
 σ_a = coeficiente de atenuación Compton

Por otro lado existe una relación entre el coeficiente de atenuación lineal y la densidad dado por:

$$\mu_T = \rho \mu_m \quad 5$$

ρ = densidad del material
 μ_m = coeficiente de atenuación másico del material

Sustituyendo la ecuación (5) en la ecuación (3) se obtiene:

$$I = I_0 e^{-\mu_m \rho t} \quad 6$$

De donde:

t = espesor del material medido en gramos por centímetro cuadrado.

En la cual podemos observar que la intensidad de la radiación transmitida es función de la intensidad de la radiación inicial I_0 (sin absorbedor), del coeficiente másico, de la densidad y del espesor del material en estudio.

Se sabe que el coeficiente de atenuación másico es proporcional al total de las secciones eficaces de interacción del fotón con cada átomo, es decir, la suma de las secciones eficaces de los procesos de dispersión y absorción. Esta relación es:

$$\mu_m \left(\frac{cm^2}{g} \right) = \mu_{atómico} \left(\frac{cm^2}{átomo} \right) \frac{N_A}{M} \quad 7$$

En donde:

$\mu_{\text{atómico}}$ = coeficiente de atenuación atómico

N_A = número de Avogadro

M = peso atómico del material absorbente

Si el material absorbente es un compuesto químico o una mezcla, su coeficiente másico de atenuación (μ_m) se determina por medio de la suma de los coeficientes másicos (μ_{mi}) de los elementos constitutivos ponderados por la proporción del elemento, en el peso total, es decir:

$$\mu_m = \sum_{i=1}^n w_i \mu_{mi}$$

8

En donde w_i es la proporción en peso del i -ésimo constituyente. Por ejemplo el cálculo del coeficiente de atenuación másico para el agua (para Cs-137 con energía de 0.662 MeV). Utilizando que el peso molecular del agua es 18.00153, y que contiene dos átomos de hidrógeno con peso atómico de 1.00797 y un átomo de oxígeno con peso atómico de 15.9944. Además haciendo uso del valor del coeficiente de atenuación másico [6] del hidrógeno (0.1538) y del oxígeno (0.0777) para la radiación gamma con energía de 0.662, por lo que:

$$\mu_m(H_2O) = \frac{2 \cdot 1.00797}{18.00153} \cdot 0.1538 + \frac{15.9944}{18.00153} \cdot 0.0777$$

$$\mu_m(H_2O) = 0.01721 + 0.06900$$

$$\mu_m(H_2O) = 0.08621$$

Este procedimiento se siguió para cada sustancia con los radioisótopos especificados a las energías correspondientes. En la tabla 3 se muestran tanto los valores de los coeficientes de atenuación másico experimentales como teóricos para las diferentes sustancias y energías de radiación utilizadas.

TABLA 3

	VALORES EXPERIMENTALES			VALORES TEORICOS		
	Cs-137 662 keV	Ba-133 356 keV	Ba-133 80 keV	Cs-137 662 keV	Ba-133 356 keV	Ba-133 80 keV
AGUA	0.082±0.009 0.073,0.091	0.097±0.012 0.085,0.109	0.257±0.025 0.232,0.282	0.086	0.112	0.184
ACETONA	0.086±0.022 0.064,0.108	0.086±0.030 0.056,0.116	0.183±0.060 0.123,0.243	0.086	0.111	0.178
HEPTANO NORMAL	0.096±0.025 0.071,0.121	0.086±0.034 0.052,0.120	0.264±0.068 0.196,0.332	0.090	0.117	0.185

CONCLUSIONES

Se observó que la geometría del recipiente contenedor es importante, debido a que la variación del espesor influye en las mediciones de la intensidad de la radiación incidente para las diferentes sustancias.

El cálculo del coeficiente de atenuación másico se realizó de dos maneras:

a) Experimentalmente en donde se incluye el error implícito en el cálculo del coeficiente de atenuación másico.

b) Usando una relación formal se calculó el coeficiente de atenuación másico utilizando el valor del coeficiente de atenuación másico para cada componente de las sustancias analizadas.

Comparando ambos resultados se observó que el intervalo de valores experimentales contiene al valor derivado por lo que se concluyó que el experimento satisface el objetivo establecido.

REFERENCIAS

- 1.- EVANS, Robley D., THE ATOMIC NUCLEUS, USA., Ed. MAC GRAW-HILL BOOK COMPANY, 1955, p. 711.
- 2.- PRICE, William J., NUCLEAR RADIATION DETECTION, 2a. ed., USA , Ed. MAC GRAW-HILL BOOK COMPANY, 1964, p. 22, 23.
- 3.- KOHL, J., ZENTER, René D., RADIOISOTOPE APLICATIONS ENGINEERING, USA, Ed. D. VAN NOSTRAND COMPANY INC. 1961, p.
- 4.- KNOLL. G., RADIATION DETECTION AND MESURAMENTS,
- 5.- BESANÇON Robert M., THE ENCYCLOPEDIA OF PHYSICS, USA Ed REINHOLD PUBLISHING CORPORATION, 1966.
- 6.- RADIOLOGICAL HEALTH: RADIOLOGICAL HEALTH HANDBOOK, USA, Ed. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH EDUCATION AND WELFARE, ed. 1970.