

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	ARG 1971

02.71.05

PREPARACION DEL EXPERIMENTO Y MEDICION PRELIMINAR
DE LA SECCION EFICAZ TOTAL DEL AGUA PESADA POR EL
METODO DE TRASMISSION PARA NEUTRONES DE BAJA ENERGIA.

J. R. Latorre

Centro Atómico Bariloche
Instituto de Física "Dr. José A. Balseiro"
Comisión Nacional de Energía Atómica
Universidad Nacional de Cuyo
Bariloche-Argentina

Diciembre 1971
Bariloche - Argentina

INTRODUCCION

La medición precisa de la sección eficaz total del agua pesada para neutrones de bajas energías fue propuesta como tema de gran interés actual por el Dr. John M. Neill, jefe de grupo de Física de Reactores del Laboratorio de Gulf Radiation Technology, San Diego, California, EE.UU., como consecuencia de la reunión sobre secciones eficaces de neutrones realizado en Borkheaven en 1970. Coincidentemente la publicación RENDA - Compilation of EANDC Request for Neutron Data Measurements - enero de 1968 - especificó la necesidad de esta medición y su dependencia con la temperatura, sin que con posterioridad al año 1959 se hayan registrado mediciones, como se comprueba en la publicación CINDA 71 - An Index to the Literature on Microscopic Neutron Data.

La realización de esta medición es reforzada por el hecho de ser el agua pesada el moderador utilizado en el primer reactor de potencia que está siendo instalado en el país.

1 - FUNDAMENTO TEORICO DEL METODO DE TRASMISION PARA LA MEDICION DE LA SECCION EFICAZ TOTAL (R1).

Sea $Z_0(E)$ el número de neutrones de un haz colimado con energía entre E y $E + dE$ detectados en la unidad de tiempo. Si se interpone en dicho haz una muestra de un material cuya sección eficaz total se quiere medir (Fig. 1), la velocidad de contaje $Z(E)$ para el mismo intervalo de energías será:

$$Z(E) = Z_0(E) e^{-Nd \sigma_1(E)} \quad (1,1)$$

donde: $\sigma_1(E)$ = Sección eficaz total por molécula del sistema en estudio a la energía E

N = densidad molecular del material de la muestra

d = espesor de la muestra.

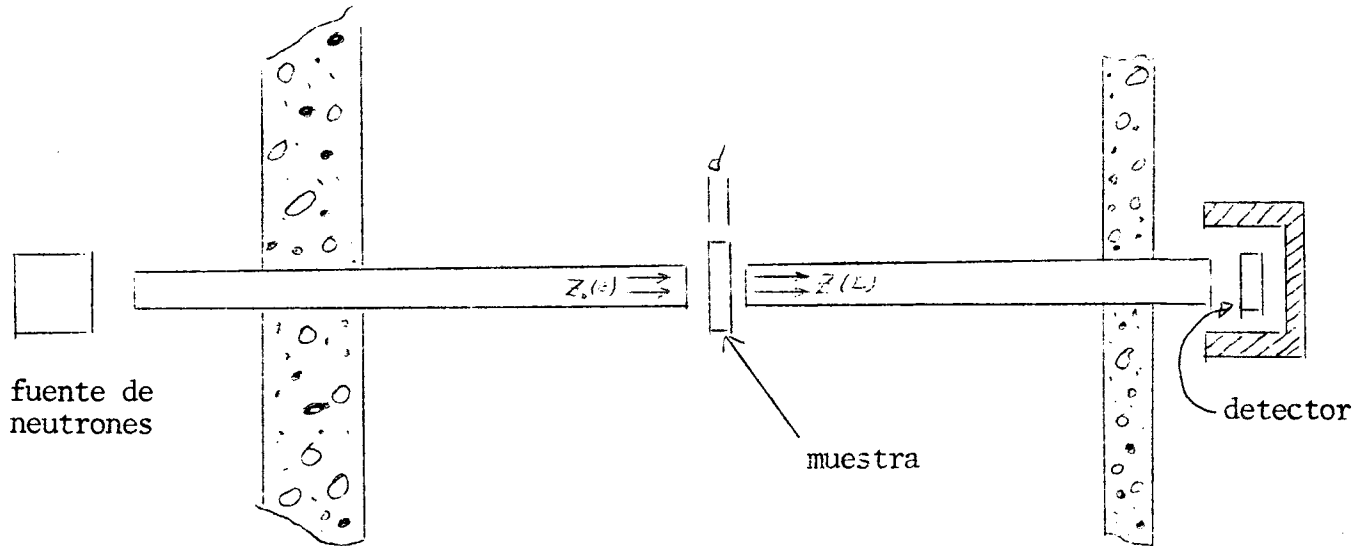


Fig. 1 : Principio del experimento de transmisión.

Si $T(E) = Z(E)/Z_0(E)$ define la transmisión de la muestra a la energía E , la sección eficaz total $\sigma_T(E)$ es dada por

$$\sigma_T(E) = \frac{1}{N d} \ln \frac{1}{T(E)} \quad (1.2)$$

2 - DESCRIPCION DEL DISPOSITIVO EXPERIMENTAL UTILIZADO.-

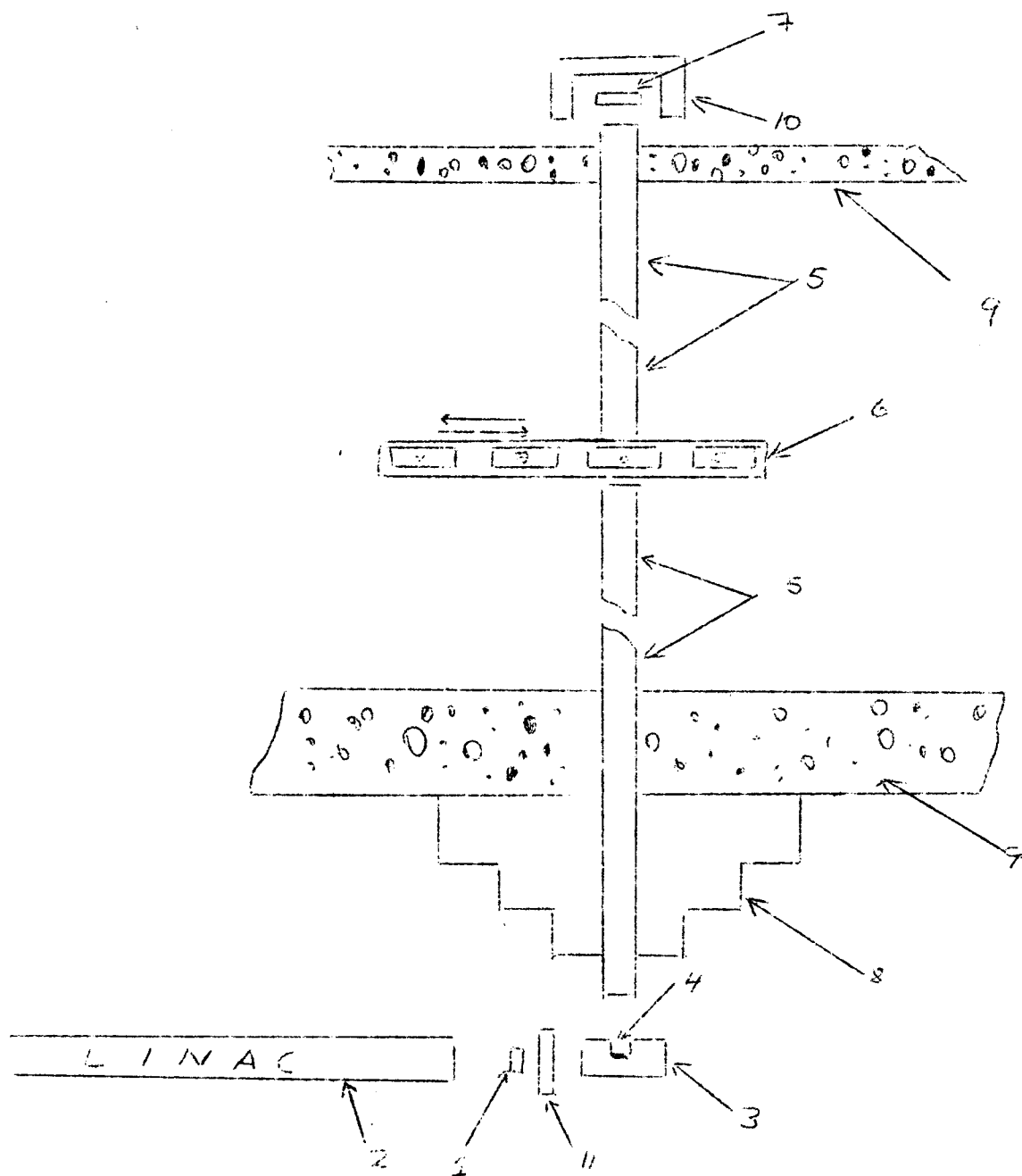


Fig. 2 : Dispositivo experimental

Descripción:

- 1 - blanco (Aleación de tungsteno)
- 2 - acelerador lineal de electrones

- 3 - bloque de parafina
- 4 - agujero reentrante
- 5 - tubo de vuelo
- 6 - dispositivo cambia muestra conteniendo:
 - a) recipiente con muestra de D_2O . b) recipiente vacío. c) filtro opaco a neutrones. d) filtro opaco a neutrones y gammas.
- 7 - detector de neutrones y gammas (vidrio de litio 6)
- 8 - precolimador (parafina, ácido bórico y plomo).
- 9 - blindaje de cemento.
- 10 - blindaje del detector (parafina-boro).
- 11 - blindaje de plomo para el "gamma flash".

El dispositivo experimental utilizado para determinar la sección eficaz total es mostrado en la figura 2.

La fuente de neutrones está constituida por un blanco (1) de un material pesado (aleación de tungsteno), bombardeado en forma pulsada por electrones de alta energía (25 MeV.) producidos por un acelerador lineal (2) (LINAC). Los electrones, al incidir en el blanco, generan radiación de frenamiento (*bremssstrahlung*), la que por reacción (γ, n) produce fotoneutrones en el blanco con un espectro similar al de fisión.

La emisión de fotoneutrones es simultánea con dicha radiación y proporcional a su intensidad.

Los neutrones de bajas energías se obtienen haciendo incidir los fotoneutrones en un bloque de parafina (3) de 20 x 20 x 10 cm, el cual tiene un agujero reentrante (4) de 6 cm de diámetro y 5 de profundidad, por donde se extrae el haz de neutrones.

El haz es colimado a lo largo de 17 metros por medio de un tubo evacuado de cuatro secciones (5) con un precolimador de 8 cm de diámetro, hasta un detector de neutrones y gammas (7) consistente en un centellador de vidrio de Li^6 acoplado a un fotomultiplicador x 1040.

El recipiente conteniendo la muestra (6-a) es ubicado aproximadamente en la mitad del tubo de vuelo sobre un cambiador de muestras (6) que lleva además de un recipiente vacío (6-b), filtros opacos a neutrones (6-c) y a neutrones y gammas (6-d) por la determinación de las distintas contribuciones al fondo.

3 - DISPOSITIVO ELECTRONICO UTILIZADO.-

En la figura 3 se muestra el dispositivo electrónico empleado.

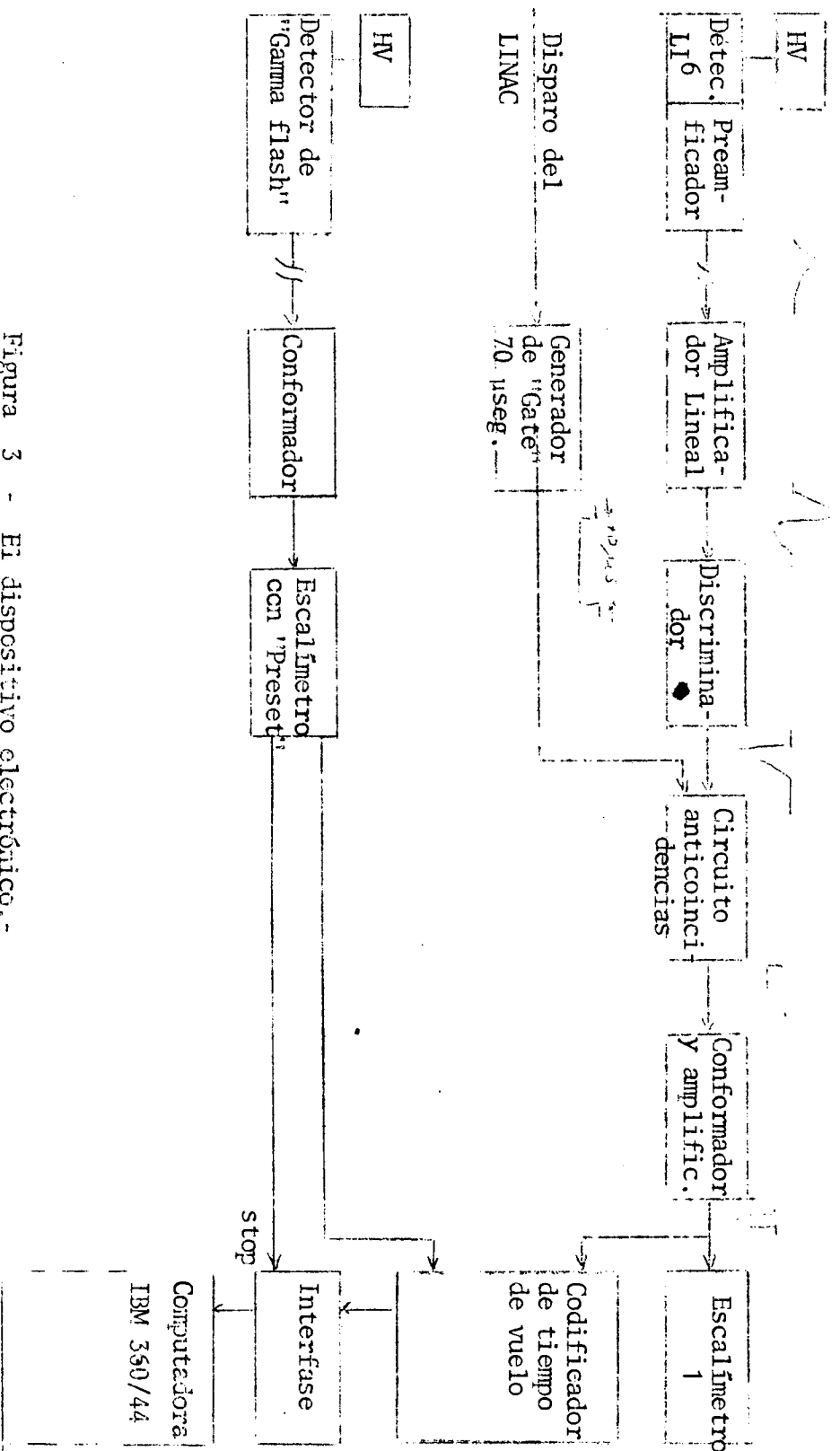


Figura 3 - El dispositivo electrónico.-

Los pulsos del detector, amplificados y conformados adecuadamente se discriminan en altura de pulsos preservando la información temporal. Los pulsos de disparo del LINAC se emplean para producir un "gate" (de aproximadamente 70 μ seg.) a partir del "gamma flash", que a través de un circuito de anticoincidencias elimina los pulsos detectados durante ese tiempo. De este modo se evita registrar información durante el intervalo de tiempo en que el detector de neutrones está bloqueado por efectos del gamma flash.

Los pulsos del circuito de anticoincidencias previa conformación, se introducen en el codificador de tiempo de vuelo y en el escalímetro 1 que registra el número total de cuentas que llegan al codificador.

Un fotomultiplicador colocado en la celda del acelerador detecta el gamma flash y genera un pulso que es utilizado para iniciar el barrido del codificador de tiempo de vuelo. Este es un Laben TV 60 de 4096 canales y es el que registra el tiempo de llegada de cada neutrón, referido al instante de iniciación del barrido. Esta información es transmitida "on line" a través de una interfase, a la memoria principal de una computadora IBM 360 modelo 44 empleando el programa "ONLI" diseñado al efecto.

La interfase comanda todos los escalímetros y el codificador de tiempo de vuelo y selecciona el área de la memoria donde se deben acumular los datos registrados en las diferentes mediciones involucradas. La duración de estas mediciones se regula fijando en el escalímetro 2 un número determinado de pulsos de gamma flash (preset). Cuando se alcanza dicho número, este escalímetro provee a la interfase un pulso que detiene el proceso de adquisición de datos.

Finalizado el proceso de medición la computadora provee los resultados mediante un listado impreso y tarjetas perforadas.

4 - DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LOS RECIPIENTES PARA LAS MUESTRAS DE AGUA PESADA.-

Una condición que debe satisfacer la muestra es que su espesor sea pequeño comparado al camino libre medio de los neutrones, para que la probabilidad de que ocurran dispersiones múltiples resulte despreciable. Por otro lado, si el espesor es muy pequeño aumenta el error relativo en la medida del espesor con lo que disminuye la precisión de los resultados. Debe tenerse en cuenta, además, que valores altos de transmisión disminuyen la precisión estadística para un mismo tiempo de medición. En consecuencia se consideró conveniente como solución de compromiso trabajar con valores de transmisión comprendidos entre 40 % y 70%.

Para una mayor precisión en el resultado final, se efectúan mediciones con muestras de distintos espesores y se promedian los resultados.

Tabla 1 : espesores y transmisión de las muestras

Muestra N°	Espesor (cm)	Transmisión aproximada %
1	1,0	64
2	1,4	53
3	1,8	44

Los espesores elegidos con sus correspondientes valores de transmisión calculados a 0,025 ev. aparecen en la tabla 1. Para estos espesores las correcciones por "in-scattering" y dispersión múltiple calculadas según fórmulas de Apéndices 1 y 2 respectivamente, resultan despreciables.

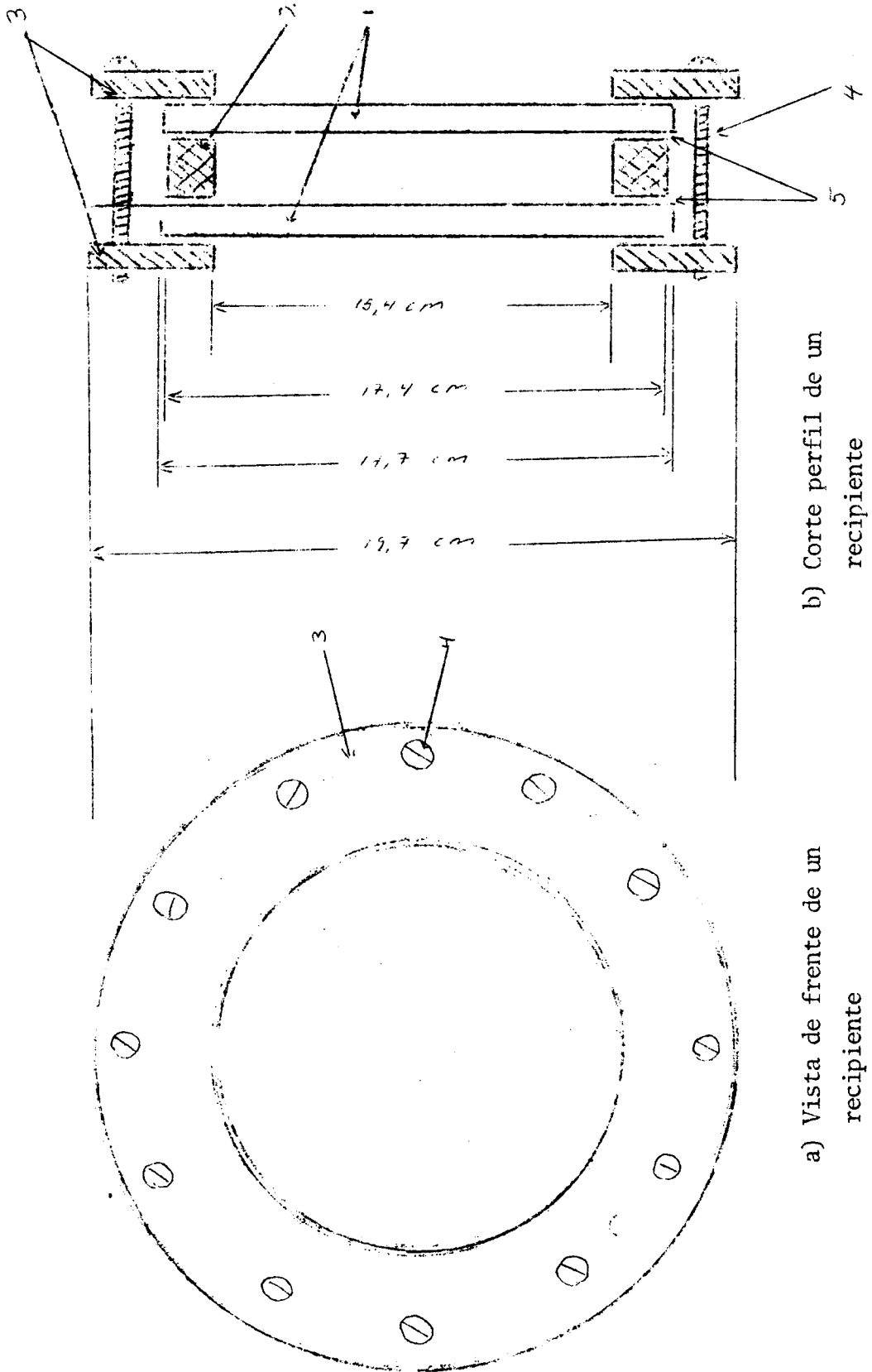
Para que los recipientes permitan obtener la precisión fijada (mejor del 1%) se tuvo en cuenta lo siguiente:

- a) Que el error en la medida del espesor resultase despreciable respecto al error con que se pretende medir la sección eficaz. Por ello es indispensable que dichos recipientes tengan adecuada rigidez estructural.

- b) Que dichos recipientes tengan un valor alto de transmisión para los neutrones de energías bajas, para no afectar sensiblemente la estadística.
- c) Que los diferentes recipientes utilizados tengan dentro de la precisión requerida la misma transmisión.
- d) Que los recipientes tengan una geometría apropiada al haz colimado de neutrones. Esta es la de cilindros rectos.

5) DESCRIPCION DE LOS RECIPIENTES Y MEDICIONES REALIZADAS.

En la Figura 4 se muestra la forma y estructura de los recipientes.



b) Corte perfil de un recipiente

a) Vista de frente de un recipiente

Nº	Descripción	Material
1	Discos plano	vidrio
2	Anillo separador	bronce
3	Aros de sujeción	duraluminio
4	Tornillos de sujeción	bronce
5	Cemento sellador	Cliptal

A continuación se describen los diferentes elementos de cada recipiente de acuerdo a la numeración con que se señalan en la figura 4.

1 - El espesor de cada uno de los discos de vidrio se midió con un micrómetro de Palner. Los resultados aparecen en la tabla 2. El valor final del espesor de cada disco resulta de promediar el espesor medido en 10 posiciones equidistantes sobre una circunferencia de unos 14 cm de diámetro con centro en el disco.

Las mediciones se realizaron con una temperatura ambiente de 20 °C. Se tuvo cuidado en verificar el error de cero del instrumento y corregir los resultados durante el proceso de medición. Se observaron variaciones en la posición de cero de aproximadamente 0,003 mm. Las mismas se atribuyeron a variaciones de la temperatura del instrumento durante la medición.

Posición	12	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio y
Nº de disco	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	6,046	6,046	6,042	6,038	6,037	6,030	6,029	6,032	6,037	6,042	$6,0379 \pm 0,0019$
2	6,128	6,128	6,128	6,131	6,133	6,133	6,134	6,134	6,134	6,132	$6,1315 \pm 0,0008$
3	6,133	6,134	6,136	6,134	6,134	6,133	6,131	6,129	6,128	6,131	$6,1378 \pm 0,0010$
4	6,127	6,128	6,128	6,128	6,129	6,128	6,128	6,127	6,127	6,127	$6,1277 \pm 0,0002$
5	6,126	6,126	6,125	6,125	6,123	6,123	6,123	6,123	6,122	6,123	$6,1239 \pm 0,0005$
6	6,118	6,117	6,123	6,123	6,125	6,127	6,128	6,126	6,122	6,121	$6,1230 \pm 0,0012$
7	6,108	6,111	6,114	6,116	6,116	6,115	6,112	6,109	6,106	6,105	$6,1112 \pm 0,0013$
8	6,091	6,090	6,089	6,092	6,097	6,099	6,101	6,099	6,097	6,094	$6,0949 \pm 0,0014$
9	6,080	6,076	6,076	6,078	6,076	6,078	6,081	6,084	6,087	6,086	$6,0802 \pm 0,0013$
10	6,094	6,060	6,058	6,056	6,056	6,056	6,064	6,064	6,066	6,072	$6,0616 \pm 0,0017$

Tabla 2 : Medida del espesor de los discos de vidrio

Como cada uno de los recipientes consta de dos discos de vidrio, estos se aparearon de modo que el espesor total de vidrio de los diferentes recipientes fuera el mismo. Los resultados aparecen en la Tabla 3, en donde se indican las diferencias que hay entre el espesor de vidrio de los recipientes de D_2O y el recipiente N° 4

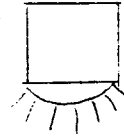
Discos apareados	Espesor total de vidrio (mm)	Número de recipiente	Espesor muestra D_2O (mm)	Empleo de cada recipiente	$X_i - X_4$ (mm)
3 - 9	$X_1 = 12,2130$	1	10,0000	muestra D_2O	- 0,026
6 - 5	$X_2 = 12,2469$	2	13,9522	"	+ 0,008
8 - 2	$X_3 = 12,2264$	3	17,9984	"	- 0,012
7 - 4	$X_4 = 12,2389$	4	0,0	medición sin muestra	-----
10 - 1	$X_5 = 12,0995$		0,0	medición de fondo	- 0,139

Se investigó el grado de planicidad de las caras internas de los pares de discos de vidrio que componen los recipientes. Para tal fin se empleó un método óptico denominado "interferencias en láminas delgadas" utilizando como fuente de luz monocromática un arco de sodio. Este método permite obtener un relevamiento topográfico mediante curvas de nivel que indican como varía la distancia entre las caras internas de cada par de discos en estudio.

El método consiste en lo siguiente: Se ilumina con una fuente de luz monocromática extensa la cara superior de un par de discos de vidrio superpuestos con las superficies de interés en contacto. Ambos discos se colocan sobre una superficie plana para evitar que se deformen. En la película de aire de espesor variable formada entre los mismos, podrá observarse por reflexión un sistema de franjas de interferencias claras y oscuras, las que corresponden a zonas de in-

terferencias constructivas y destructivas, respectivamente.

(A)



Fuente de luz monocromática

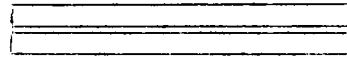


Fig. 5 : Dispositivo para determinar con interferencia el espesor de aire entre los discos de vidrio. La figura de interferencia se observa desde la posición A.

Las zonas donde el espesor "t" de la película de aire satisface la ecuación

$$t = (2k + 1) \lambda/4 \quad (5.1)$$

donde λ = longitud de onda de la luz empleada, aparecerán muy iluminadas pues corresponden a máximos de interferencias, y aquellas donde el espesor de la película de aire satisface:

$$t = k \cdot \lambda/2 \quad (5.2)$$

surgirán como líneas de mínima luminosidad pues corresponden a mínimos de interferencia.

En nuestro caso existen siempre uno o varios puntos donde las superficies de los cristales se tocan. La figura de interferencia observada tiene entonces la forma de un sistema de anillos más o menos deformes cuyo centro corresponde a un mínimo de interferencia. Esto ocurre en la zona de contacto donde la distancia t es sensiblemente menor que $\lambda/4$. La medición propiamente dicha consiste contar en número máximo de líneas de interferencia constructiva que se forman alrededor de cada uno de dichos puntos. El número obtenido es el valor de k para

ra el cual la expresión (5.1) permite determinar t .

Admitiendo como cota de error 0,1% en una muestra de 1 cm de espesor, el máximo error admisible en la superficies de cada par de discos es de 0,01 mm, lo que equivale a 16 longitudes de onda de la luz del sodio ($\lambda = 5890 \text{ \AA}$) o sea 32 anillos.

Experimentalmente se observó que en ninguno de los pares de discos de vidrio se superaba este valor.

2 - Las dimensiones y forma de los anillos separadores pueden apreciarse en la figura 4. Se prefirió construirlos de bronce por los siguientes motivos:

a) Evitar que se contamine el agua por corrosión del recipiente,

b) Poseer la necesaria rigidez mecánica y permitir un maquinado más fácil que el acero inoxidable, lográndose así una mayor constancia en el espesor de los mismos. Esto constituye la cualidad más importante de la pieza, ya que la misma incide directamente en la precisión de la medición.

Para medir el espesor de los anillos se empleó el mismo micrómetro de Palmer empleado en la medición del de los vidrios y con las mismas precauciones. Los resultados aparecen en la tabla 4. El valor final del espesor de cada anillo resulta de promediar el espesor medido en 11 posiciones equidistantes sobre el perímetro del anillo. (Ver tabla 4 en la página siguiente).

3-4) Los aros de sujeción son de duraluminio y poseen 12 agujeros por donde pasan tornillos de bronce que mantienen armado el recipiente.

5 - Para asegurar la hermeticidad del recipiente se aplicó en el borde externo de la unión vidrio-bronce, un adhesivo sintético denominado Gliptal, el cual no contamina el agua y se puede retirar fácilmente empleando thinner.

Tabla 4 : Medida del espesor de las muestras.-

Posi- ción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Promedio y error	armado con cristales
Sepa- rador Nº	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
1	9,999	9,999	10,000	10,001	10,001	10,000	10,003	9,999	9,999	10,000	9,999	10,000±0,0004	3 - 9
2	13,953	13,951	13,950	13,954	13,953	13,953	13,951	13,953	13,948	13,952	13,952	13,9518±0,0005	7 - 4
3	17,999	17,999	17,998	17,987	17,998	17,999	17,999	17,998	17,998	17,999	17,999	17,9984±0,0002	8 - 2

6 - METODO DE AUTOMONITORAJE PARA LA MEDIDA DE LA TRASMISSION Y CORRECCION POR FONDO.

Los espectros obtenidos con la muestra o sin ella deben ser corregidos por fondo debido a gammas que van por el haz colimado y por neutrones y gammas que llegan al detector por cualquier otro camino.

Para determinar esas distintas contribuciones al fondo se realizan dos mediciones adicionales utilizando sendos filtros; uno opaco a neutrones y el otro opaco a neutrones y gammas.

Para reducir los datos experimentales es necesario normalizar los distintos espectros a una misma cantidad de neutrones del haz colimado que se determina mediante un sistema adecuado de monitoraje.

La precisión con que se mide esta cantidad afecta sensiblemente el valor de la sección eficaz total. En efecto, un error del 1% en el monitoraje relativo, correspondiente a las mediciones con y sin muestra, implica un error en la sección eficaz total en todo el rango de energías medido dado por

$$\Delta \sigma_T = 0,01 \cdot \frac{1}{N d}$$

que representa 0,17 barn para la muestra de mayor espesor y 0,30 barn para la de menor espesor.

El sistema convencional de monitoraje es utilizar cámaras de fisión colocadas en diferentes posiciones en la celda del acelerador, que proveen cantidades proporcionales al número de foto-neutrones producidos por la fuente, que se suponen proporcional al número de neutrones del haz colimado. Sin embargo variaciones estadísticas de la corriente del LINAC y de la energía de los electrones no producen exactamente las mismas variaciones en el haz colimado y en el número de foto-neutrones, por lo que la precisión de este sistema de monitoraje no reúne las condiciones exigidas por la experiencia.

Por ello se utilizó el sistema de automonitoraje, el cual consiste en realizar todas las mediciones necesarias para obtener la sección eficaz en forma consecutiva y repetitiva durante períodos breves. Para ello, mediante el cambiador de muestras, se interponen en el camino de vuelo los siguientes materiales:

- a) Muestra de D_2O
- b) Recipiente vacío
- c) Parafina + recipiente vacío
- d) Parafina + plomo

De este modo se compensan las variaciones estadísticas que por cualquier motivo ocurren en el flujo de neutrones del haz colimado y no se requiere una posterior normalización de las mediciones. Para realizar el cambio de materiales se diseñó y construyó un sistema mecánico comandable desde la consola toma-datos. Este dispositivo desplaza los filtros según un eje perpendicular a la dirección del haz y consecutivamente va colocado cada uno de los materiales frente al haz colimado. De este modo se logra realizar los cambios con rapidez y se asegura la precisión necesaria en cada posición.

7 - ESQUEMA DE CALCULO.-

La reducción de datos es iniciada con el programa NYPTOF(P2) que calcula el flujo por unidad de energía y su error a partir del número de cuentas por canal correspondientes a las mediciones sin filtros, con filtro de parafina y con filtros de parafina y plomo.

El programa realiza además las siguientes operaciones:
corrige por:

- las diferentes componentes de fondo,
- tiempos muertos del codificador de tiempo de vuelo y de la electrónica asociada,

- diferencia de tiempo entre la iniciación del barrido del codificador y el "gamma flash",
- tiempo medio de emisión de los neutrones y tiempo medio de captura en el detector,
- eficiencia del detector y transmisión del tubo de vuelo,

y agrupa los canales hasta obtener la precisión estadística deseada y resolución en energía no mayor que la del espectrómetro.

La sección eficaz total microscópica para esta medición con un determinado espesor y su error, calculada por el programa NYRSEC (R3) a partir de los espectros obtenidos con y sin muestra, grabados en disco por NYPTOF.

Además NYRSEC realiza las siguientes funciones:

- a - Corrige por inscattering y dispersión múltiple en la muestra y calcula la transmisión y su error en función de la energía,
- b - Tiene opción de alisar la transmisión y calcula el nuevo error de la misma derivado del método de alisamiento,
- c - Imprime y graba en disco los resultados.

Un programa adicional interpola las curvas de transmisión y la de los correspondientes errores para valores fijos de energía, lo cual permite comparar los valores de la sección eficaz obtenidos en otras mediciones realizadas con iguales y diferentes espesores de la muestra.

Los valores de la transmisión de estas mediciones realizadas constituyen los datos de entrada del programa NYRPTOM(R4), que calcula el valor final de la sección eficaz total efectuando la siguiente secuencia de operaciones:

Realiza un promedio pesado de los valores de transmisión correspondientes a mediciones con un mismo espesor y calcula la desviación extraída de dicho promedio. Con los promedios obtenidos para los distintos espesores de la muestra realiza por el método de cuadrados mínimos un ajuste de la recta de ecuación:

$$\ln \frac{1}{T(E)} = N d \sigma_T(E)$$

cuya pendiente es el valor final de $\sigma_T(E)$. El error final de la medición surge del mismo método de ajuste.

Finalmente provee un listado impreso y el gráfico correspondiente de la sección eficaz medida, con su cota de error, versus energía de los neutrones.

8 - MEDICIONES PRELIMINARES.-

Se realizaron mediciones preliminares de la sección eficaz total del agua pesada empleando las muestras N° 2 y 3. Con ellas se trató de verificar las bondades del método de automonitoreaje, para lo cual se utilizó un sistema cambiador de muestras que permite intercambiar sólo dos tipos de filtros o muestras. Para realizar la medición se siguió la siguiente secuencia:

- Corrida a - $\left\{ \begin{array}{l} \text{Muestra N° 3 de } D_2O \\ \text{recipiente vacío} \end{array} \right.$
- corrida b - $\left\{ \begin{array}{l} \text{filtro de parafina + recipiente vacío} \\ \text{recipiente vacío} \end{array} \right.$
- corrida c - $\left\{ \begin{array}{l} \text{muestra N° 3 de } D_2O \\ \text{recipiente vacío} \end{array} \right.$
- corrida d - $\left\{ \begin{array}{l} \text{filtro de parafina + plomo} \\ \text{recipiente vacío} \end{array} \right.$
- corrida e - $\left\{ \begin{array}{l} \text{muestra N° 2 de } D_2O \\ \text{recipiente vacío} \end{array} \right.$
- corrida f - $\left\{ \begin{array}{l} \text{filtro de parafina + recipiente vacío} \\ \text{recipiente vacío} \end{array} \right.$

corrida f - $\left\{ \begin{array}{l} \text{muestra N}^\circ 2 \text{ de } D_2O \\ \text{recipiente vacío} \end{array} \right.$

Durante cada corrida cada par de filtros de intercambio 30 veces cada 2000 pulsos de "gamma flash". El LINAC se operó con una corriente comprendida entre 0,7 - 1,3 μA con una frecuencia de 33 pulsos por segundo.

El listado de valores obtenidos y el gráfico de la sección eficaz total medida aparece en la tabla 6 y figura 7 respectivamente. Puede apreciarse la buena precisión obtenida en la mayor parte de la curva, salvo en zonas donde la dispersión estadística es grande. Se hace constar que para el cálculo correspondiente se ha supuesto que el D_2O de las muestras es pura.

9 - APENDICE 1 : Corrección por "inscattering" (R5)

La corrección por "inscattering" es fácil de hacer bajo la suposición de que las pérdidas de energía que experimentan los neutrones dispersados son bajas, lo cual ha demostrado ser satisfactorio.

El flujo incidente en la muestra Z_0 y el observado en el detector Z : se relacionan por:

$$Z' = Z + G (Z_0 - Z_1) \quad (9.1)$$

donde Z es el flujo de neutrones no dispersado en la muestra, el cual se relaciona con σ_T según ec. (1.1) por:

$$Z = Z_0 e^{-N d \sigma_T} \quad (9.2)$$

El término $G (Z_0 - Z)$ es la contribución por "inscattering".

Definimos G como:

$$G = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (9.3)$$

donde:

f_1 es el "factor de sombra", esto es, la razón del área A' de la muestra iluminada por el flujo que puede sufrir dispersión hacia el detector al área A'' de la muestra en el ángulo sólido subtendido por el detector a la fuente (figura 5)

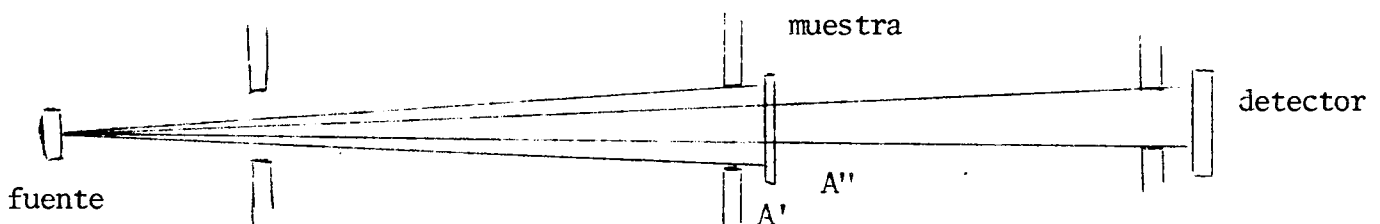


Figura 5

De la figura resulta:

$$f_1 = \frac{A'}{A''}$$

f_2 : factor de vista: es $1/4$ del ángulo sólido subtendido por el detector a la muestra (figura 6)

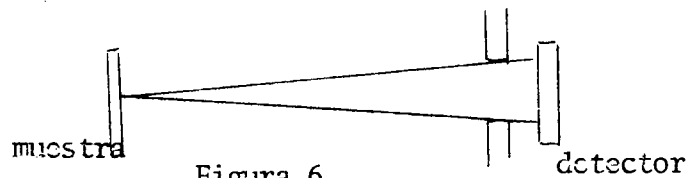


Figura 6

f_3 : factor de corrección del ángulo de dispersión. Tiene en cuenta la dirección preferente hacia adelante de dispersión en el sistema de laboratorio.

$$f_3 = (1 + b \cos \theta)_{\theta=0}$$

Puede demostrarse que $b = 3 \bar{\mu}/2$ donde $\bar{\mu}$ es el coseno promedio del ángulo de dispersión de los neutrones en el material de la muestra.

Para nuestro tubo de vuelo resulta ser:

$$f_1 \simeq 6 ; f_2 \simeq 1,2 \times 10^{-5}$$

Para una muestra de agua pesada resulta $f_3 \simeq 1,5$
desde donde:

$$G = f_1 \times f_2 \times f_3 = 6 \times 1,2 \times 10^{-5} \times 1,5 \simeq 10^{-4}$$

10 - APENDICE 2 : - Corrección aproximada de dispersión múltiple (R5)

El procedimiento incluye las siguientes suposiciones:

- El flujo incidente es $1/E$ (flujo epitérmico),
- La sección eficaz de dispersión de neutrones en la muestra es constante,
- Se ignora la dispersión por el oxígeno,
- La dispersión múltiple de neutrones en la muestra es isótropa,
- La probabilidad total I de dispersión múltiple es independiente de la energía.

Los neutrones dispersados desde el intervalo de energías $(E, E + \delta E)$ al intervalo de energías (E_0, E_1) en la unidad de tiempo son:

$$\psi(E) \delta E = A \left(1 - e^{-N d \sigma_T} \right) I f_1 f_2 \frac{E_0 - E_1}{E} \quad (10.1)$$

Poniendo (E) como C/E e integrando obtenemos la contribución de la dispersión múltiple como:

$$C A \left(1 - e^{-N d \sigma_T} \right) I f_1 f_2 \frac{E_0 - E_1}{E_0} \quad (10.2)$$

Pero el número de neutrones dispersados por unidad de tiempo al intervalo de energías $(E_0 - E_1)$ es

$$N_0 - N_1 = \frac{C}{E_0} A \left(1 - e^{-N d \sigma_T} \right) (E_0 - E_1) \quad (10.3)$$

y obtenemos el número total de neutrones dispersados múltiplemente como

$$I (N_0 - N_1) f_1 f_2$$

Luego la razón R de dispersiónes múltiples a "inscattering" es:

$$R = \frac{I f_1 f_2}{G} = \frac{I}{f_3} \quad (10.4)$$

Para el cálculo de R usamos la aproximación

$$I = 1 - e^{-N d \sigma_T}$$

Los resultados del cálculo realizado para nuestro caso aparecen en la tabla 5, donde se ve que la corrección por dispersión múltiple es menor que la de "inscattering".

T a b l a 5

Espesor d (cm)	I	R
1	0,36	0,24
1,4	0,47	0,31
1,8	0,56	0,37

El término G de la ec. (9.1) puede reemplazarse por

$$G' = G (1 + R) \quad (10.5)$$

Eliminando Z , desde las ecuaciones (9.1) y (9.2) obtenemos:

$$\sigma_T = \frac{1}{N d} \ln \left[\frac{Z_0 (1 - G')}{Z' - G' Z_0} \right] \quad (10.6)$$

REFERENCIAS

- R1 - K.H. Beckurts and K. Wirtz, "Neutron Physics", Springer-Verlag, 1964, pag.66.
- R2 - H.M. Antúnez, J.P. Girardi, E.V. Echagüe y J.E. Volkis, "NYPTOF - Programa para acumulación y reducción de datos en las mediciones de espectros de neutrones por el método de tiempo de vuelo", C.A.B., 1971.
- R3 - J.E. Volkis, "NYRSEC - Programa para la obtención de la sección eficaz total en las mediciones de la misma por el método de transmisión", C.A.B. 1971.
- R4 - J.E. Volkis, "NYPPROM - Programa para la obtención de la sección eficaz total promedio a partir de distintas mediciones de la misma por el método de transmisión", C.A.B., 1971.
- R5 - J.L. Russell, J.M. Neill and J.R. Brown, "Total cross section measurements of H_2^0 ", GA-7581, December 13, 1966.-