

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1972

02.72.01

CAB/1972/9

FACILIDAD PARA LA MEDICION DE ESPECTROS DE NEUTRONES

POR EL METODO DE TIEMPO DE VUELO

M.J. Abbate ('), L.A. Remez, J.V. Lolich, J.E. Volkis ('')

División Neutrones y Reactores

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

(') Ejército Argentino

('') Armada Argentina

Octubre 1972
Bariloche - Argentina

R E S U M E N

Se ha completado la puesta en operación y realizado las pruebas de un dispositivo experimental para la medición de espectros de neutrones de bajas energías, por el método de tiempo de vuelo, utilizando el Acelerador Lineal del C.A.B.

Esta facilidad constituye una importante herramienta para las investigaciones en física de neutrones y de reactores.

Etapas principales cumplidas en relación con este proyecto fueron:

- Diseño y construcción del tubo de vuelo de 17 metros, sistema de colimación y blindajes,
- Montaje, puesta en operación y optimización de un detector de neutrones de vidrio de Litio,
- Especificación, diseño, construcción y puesta en operación de la electrónica asociada, incluyendo un sistema de adquisición y acumulación de datos "on-line" con la computadora del CAB,
- Implementación de técnicas auxiliares para mediciones de decaimientos y de distribución espacial del flujo,
- Preparación, adecuación y puesta en operación de programas para la adquisición, reducción y corrección de datos.

Se describen en este trabajo las técnicas experimentales, de medición, acumulación, reducción y corrección de datos que fueron implementadas.

Las pruebas finales consistieron en la reproducción de espectros medidos y calculados en otros laboratorios, obteniéndose muy buen acuerdo.

Además de los autores, participaron en este trabajo en diversas etapas de su ejecución: Dr. H.M. Antúnez, Dr. C. Castro Madero, Lic. A. Oliva Florio.

Corresponde agradecer, además, a todo el personal del LINAC, dirigidos por el Lic. J.J. Olcese, así como a los Sres. R.E. Bravo y L.J. Capararo, técnicos de la Div. Neutrones y Reactores, su constante colaboración.

I N D I C E

I - GENERALIDADES	pág.	2
I.1 - Introducción	"	2
I.2 - Principios del método de tiempo de vuelo	"	2
II - PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	"	3
II.1 - Dispositivo físico	"	3
II.2 - Geometría	"	4
II.3 - Tubo de vuelo, colimación y blindajes	"	6
II.4 - Sistema de detección.	"	7
II.4.a - Tiempo cero		
II.4.b - Tiempo de arribo		
II.4.c - Tiempo de vuelo		
II.4.d - Almacenaje		
II.4.e - Otros datos		
II.5 - Reducción de datos	"	9
II.6 - Correcciones	"	10
II.6.a - Eficiencia del detector		
II.6.b - Fondo		
II.6.c - Intensidad de fuente		
II.6.d - Otras correcciones		
II.7 - Cálculos y mediciones auxiliares.	"	13
II.7.a - Tiempo medio de emisión		
II.7.b - "Buckling"		
III - PRUEBAS	"	15
III.1 - Solución con 6.31 g/l de ácido bórico.	"	15
III.2 - Solución con 13.77 g/l de ácido bórico	"	15
IV - CONCLUSIONES.	"	16
Bibliografía (Referencias)	"	17
Tabla 1 - Eficiencia del detector de vidrio de Litio	"	18
Tabla 2 - Densidades atómicas de las soluciones utilizadas	"	19

Figura 1 - Dispositivo experimental.

Figura 2 - Geometría utilizada en las pruebas.

Figura 3 - Tubo de vuelo, colimación y blindajes.

Figura 4 - Sistema de detección - Diagrama funcional.

Figura 5 - Sistema de medición - Diagrama en bloques típico.

Figura 6 - Espectro de la solución con 6.31 g/l de ácido bórico.

Figura 7 - Espectro de la solución con 13.77 g/l de ácido bórico.

I - GENERALIDADES

I.1 - Introducción

Se ha construido y probado un dispositivo experimental para la medición de espectros de neutrones de bajas energías por el método de tiempo de vuelo, parte de cuyas características fueron definidas en /1/.

Asimismo, debieron implementarse las técnicas experimentales necesarias, los sistemas de acumulación, reducción y corrección de datos y los métodos para realizar las mediciones y cálculos auxiliares que se requieren, lo cual será descripto brevemente.

Con dicho conjunto se ha configurado un instrumento apto para la realización de investigaciones de gran importancia y utilidad en el campo de la física de neutrones y de reactores.

Distintas pruebas fueron realizadas a modo de calibración y para determinar la confiabilidad del sistema, siendo las principales, mediciones de espectros en sistemas homogéneos usando agua liviana como moderador y boro como absorbente, que fueron comparados con similares medidos y calculados en otros laboratorios en iguales condiciones obteniéndose muy buen acuerdo.

I.2 - Principio del método de tiempo de vuelo

Este método posibilita el conocimiento de la energía del neutrón por medio de la medición directa del tiempo que tarda en recorrer una distancia conocida

La determinación de la distribución de los neutrones en función de la energía, posición y ángulo en un sistema dado puede realizarse extrayendo del mismo un haz colimado desde el punto deseado.

El intervalo de tiempo a medir queda definido por el disparo de la fuente pulsada y el instante de llegada del neutrón al final del camino de vuelo, registrados ambos mediante convenientes detectores.

II - PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

II.1 - Dispositivo físico

Un esquema de las facilidades con que se cuenta, ~~ubicadas en el Centro Atómico Bariloche~~, se muestra en figura 1.

La parte fundamental de la fuente pulsada está constituida por el Acelerador Lineal de electrones, (LINAC), el que para las experiencias de prueba se utilizó con los siguientes parámetros:

Energía de electrones.	25 MeV
Intensidad de corriente	
pico	126 miliampere
media	5 microampere
Duración del pulso	1.2 micro seg.
Repetición	33 pps

El haz pulsado de electrones proporcionado por el LINAC se hace incidir sobre un blanco compuesto de una aleación de tungsteno, cobre y níquel ("Fansteel") refrigerado con aire, que hace además las veces de monitor de corriente. La incidencia de los electrones produce en él radiación de frenamiento cuyo espectro alcanza hasta la máxima energía de los electrones y cuya intensidad aumenta con el número atómico del material del blanco, ya que la sección eficaz de radiación es proporcional al cuadrado de dicho número. Una segunda conversión tiene lugar posteriormente, fundamentalmente por reacción (gamma, n), con lo que el blanco se constituye en una fuente de neutrones rápidos cuyo espectro es similar al de fisión de uranio.

Parte de ellos penetran al medio en estudio en un instante conocido que se tomará como tiempo cero, a través de una plancha de plomo de 5 cm de espesor que tiene por finalidad atenuar el flash de radiación de frenamiento (gamma flash), convertirse en una fuente distribuida reduciendo las amplitudes de las armónicas

transversales indeseables y reducir el problema de la alineación del blanco con el fondo del tubo de extracción de los neutrones (tubo reentrante), (fig. 2).

Un detector auxiliar sensible al gamma-flash, colocado cerca del blanco, indica el tiempo cero.

Los neutrones que han penetrado en el medio interaccionan con los átomos y moléculas del mismo lo que implica, en nuestro caso, su moderación y termalización, estableciéndose una distribución o espectro estacionario propio del sistema en estudio.

Para evitar el retorno de los neutrones que fugan y para impedir el ingreso de los neutrones del blanco que no incidieron en la geometría y son reflejados por las paredes, techo y piso del área experimental se blindan convenientemente las paredes del medio.

Por otro lado, se facilita la fuga por el tubo reentrante colocado al efecto en la dirección del tubo de vuelo. Este está situado normal al haz de electrones para disminuir la cantidad de radiación gamma que recibirá el detector principal.

Al final del camino de vuelo y a distancia conocida se encuentra el detector principal con cuya información se podrá obtener la distribución de neutrones en función del tiempo de vuelo, que luego es transformada en flujo por unidad de energía (espectro).

II.2 - Geometría (Fig. 2)

Para realizar las pruebas se utilizaron condiciones similares a las de los espectros tomados como patrón, que son los denominados GA-H20-8A y GA-H20-8B de referencia /2/ y corresponden a medio infinito para soluciones de ácido bórico en agua liviana, de 6.31 y 13.77 gr/litro respectivamente.

Las dimensiones que cumplen la condición antedicha son 30 x 30 x 30 cm /3/ Y, para evitar toda dependencia espacial, el fondo del tubo reentrante se coloca

en el centro de dicho cubo. En las direcciones transversales la distribución es cosenoidal y en la dirección longitudinal se tendrá el efecto de la pila exponencial lo que implica que con una adecuada dimensión como la citada, en la parte central el flujo térmico y epitérmico tienen la misma distribución espacial.

El fondo del tubo reentrante debe poseer necesariamente un área finita tal que permita obtener una intensidad y relación señal - a - fondo conveniente. Es claro que a mayor superficie la intensidad será mayor, pero existe un límite a partir del cual dicho tubo se constituye en una perturbación notable. Este efecto ha sido estudiado por J.C. Young /3/ concluyéndose que para las presentes condiciones experimentales un diámetro de hasta 40 mm no implica perturbación apreciable. Para este caso se eligió 25 mm como diámetro del tubo reentrante aplicando un criterio conservador y de adaptación al precolimador de 22 mm de diámetro, diseñado teniendo en cuenta los futuros requerimientos de mediciones con resolución espacial.

En resumen, esta geometría presenta las siguientes ventajas:

- a. La intensidad del flash gamma originado por la radiación de frenamiento en el blanco, sobre el detector principal al final del camino de vuelo, es reducida. Esto implica una más rápida recuperación del detector, el que es sensible a dicha radiación.
- b. El espectro normal a la dirección del haz de electrones es poco dependiente de la anisotropía de la fuente.
- c. El espectro que se obtiene es el correspondiente a un medio cuasi-infinito, o sea que puede ser comparado con cálculos realizados para medios indefinidos, con simples correcciones.

II.3 - Tubo de vuelo, Colimación y Blindajes (fig. 3)

La condición primaria del sistema de colimación es que sólo deben llegar al detector principal los neutrones provenientes del fondo del tubo reentrante.

La definición del haz de neutrones a lo largo del camino de vuelo se obtiene en un primer tramo mediante un precolimador con plomo, ácido bórico y parafina mezclados, de 22 mm de diámetro y 1,50 m de largo, lo que asegura que el detector verá solamente la zona deseada y reduce la posibilidad de que neutrones dispersados por las paredes del tubo de vuelo lleguen al detector. En el último tramo, la definición es corregida por un postcolimador de ácido bórico de 200 mm de diámetro ubicado a 8.75 m de la fuente.

La alineación se verificó con laser, utilizando un tubo reentrante de fondo transparente (Lucite).

A fin de minimizar la atenuación del aire a lo largo del camino de vuelo, gran parte de éste se evacúa hasta una presión de 0.05 torr. Este efecto, sumado al de la humedad ambiente, son convenientemente corregidos.

Es necesario incluir diversos tipos de blindajes, fundamentalmente con dos finalidades:

- a. Evitar el ingreso a la geometría de neutrones que no estén correlacionados en el tiempo, los que afectarán el espectro en forma directa.

Para ello, el recipiente es forrado con una plancha de cadmio de 0,5 mm de espesor que constituye un filtro negro para neutrones térmicos y proporciona una condición de contorno equivalente a la de vacío, además se coloca una capa de ácido bórico, carburo de boro y parafina que refuerza su efecto, pero que, por sus propiedades moderadoras, actuará también ante neutrones epitérmicos.

- b. Evitar la llegada al detector de radiación no proveniente del fondo del tubo reentrante.

Esto se consigue mediante la combinación de los siguientes procedimientos:

- En la zona de la fuente: se coloca el colimador cuya gran superficie oculta el resto de la geometría. El blanco tiene un grueso blindaje de plomo en la dirección del detector y además está interpuesta una pared de hormigón de aproximadamente 2 metros de espesor.
- En el tubo de vuelo: diafragmas y encamisados de ácido bórico ocultan al detector la pared exterior de la sala del LINAC.
- En la casilla de detección: una pared de bloques de hormigón de un metro de espesor y un blindaje local compuesto por una caja de plomo de 50 mm de espesor de pared, forrada con 30 cm de ácido bórico y parafina, dentro de la cual se ubica el detector.

II.4 - Sistema de detección

De acuerdo con la técnica de medición por tiempo de vuelo, este sistema deberá cumplir con las siguientes funciones (fig. 4):

- a. Proporcionar una señal de tiempo cero en correspondencia con el pulso de la fuente,
- b. Proporcionar señales al arribo de los neutrones después de recorrer el camino de vuelo,
- c. Medir el lapso entre ambas señales con suficiente precisión,
- d. Almacenar dicha información agrupada en convenientes intervalos de tiempo,
- e. Proveer un factor de normalización para corregir por variaciones de la intensidad de fuente, debidas a la inestabilidad del LINAC, lo que es de fundamental importancia para una correcta sustracción del fondo,
- f. Registrar otras datos auxiliares.

Se describirán brevemente cada una de estas partes, lo que se completará al discutir el problema de la sustracción del fondo. Un diagrama en bloques detallado típico puede verse en figura 5.

II.4.a - Tiempo cero

Es dado por un detector de radiación gamma ubicado en inmediaciones del blanco, que detecta el flash gamma. Es despreciable el intervalo entre la generación del mismo en el blanco y su llegada al detector situado a 1,50 m de aquél.

II.4.b - Tiempo de arribo

Esta señal proviene del detector principal constituido por un vidrio centellador de Litio 6, tipo Thorn KG-2L, el que ha sido ampliamente descrito en /1/, /4/ y /5/.

Una vez amplificada y conformada convenientemente, es sometida a dos análisis previos a su aceptación como indicadora del "tiempo de arribo" de un neutrón al detector, a fin de reducir la incidencia de cuentas espurias en los datos finales acumulados. Ellos son:

- Análisis en altura de pulsos (IV.6.b), para eliminar aquellos pulsos cuya amplitud no esté comprendida en el rango más probable,
- Selección del intervalo temporal de medición, para considerar sólo aquellos pulsos arribados al detector dentro del rango temporal determinado por el de energías a medir y la longitud del camino de vuelo utilizado, a fin de eliminar información no significativa.

Análisis similares son efectuados también a la señal de los monitores (II.4.e, II.6), para mejorar la normalización (el tiempo de medición de los monitores es ajustado aproximadamente igual al del detector principal).

II.4.c - Tiempo de vuelo

Es medido por un codificador de tiempos Laben TV-60, seleccionándose un cierto número de canales de una dada duración. Típicamente se utilizaron 1024 canales de 16 microseg. cada uno.

II.4.d - Almacenaje

La información del codificador es transferida "on-line" a una computadora IBM/360 mod. 44 a través de una interfase entre aquél y la unidad 2701 de ésta, diseñada y construída al efecto en la Div. Neutrones y Reactores del CAB /7/.

El sistema opera bajo control del programa 'ONLI'/8/, almacenándose los datos del codificador como "cuentas por canal de tiempo". Esta información puede graficarse a voluntad durante la experiencia, para control de su evolución, siendo finalmente extraída para su posterior procesamiento mediante listados, gráficos y tarjetas perforadas.

II.4.e - Otros datos

El monitoraje de intensidad de fuente es efectuado con dos cámaras de fisión miniatura de Uranio 235 ubicadas en la geometría (fig. 2). El número de cuentas obtenido es proporcional a la población de neutrones integrada durante la medición de cada serie. Su ubicación es tal que su información no se altera cuando se coloca el filtro para mediciones de fondo. La señal suministrada por las mismas se analiza como se indica en II.4.b.

Se registran, además, las cuentas totales detectadas, el número de pulsos de LINAC y el tiempo de medición, que constituyen datos auxiliares para el control del desarrollo de la experiencia y el posterior procesamiento de los datos.

II.5 - Reducción de datos

Con el programa NYRTOF/6/ la información obtenida, en cuentas por canal de tiempo, es reducida a flujo escalar de neutrones por unidad de energía y de cuenta de monitor, con la expresión

$$F(E_i) = N(T_i) \cdot \frac{1}{S(E_i) \cdot T_a(E_i)} \cdot \left(\frac{dT}{dE_i} \right) \quad (1)$$

donde:

E_i = Energía correspondiente al tiempo de vuelo T_i

T_i = Tiempo correspondiente al centro del canal "i", de ancho " ΔT "

constante; corregido por los retardos que pudieran haberse introducido y el tiempo medio de emisión de los neutrones.

$N(T_i)$ = cantidad de cuentas en el canal "i", corregidas por pérdidas por tiempo muerto del sistema, fondo e intensidad de fuente

ΔE_i = ancho del canal "i", expresado en unidades de energía

$S(E_i)$ = eficiencia de detección del detector

$T_a(E_i)$ = transmisión del tubo de vuelo.

Para posteriores análisis, los espectros así obtenidos se comparan entre sí y/o con otros calculados, con el programa NYR341./9/.

II.6 - Correcciones

Se citarán los principales criterios que se aplican para la realización de las distintas correcciones.

II.6.a - Eficiencia del detector

Es la probabilidad de detección de neutrones en función de la energía. Los valores utilizados para estas pruebas provienen de una primera estimación de la misma (Tabla 1) obtenida tomando como base una tabla que corresponde a un detector de características muy similares /11/, y teniendo en cuenta las diferentes composiciones de ambos.

II.6.b - Fondo

Las señales que proporciona el detector no corresponden todas a neutrones provenientes del punto de interés, sino que son suma de las siguientes contribuciones:

$$S = N + B_n + G + B_g + A \quad (2)$$

donde:

N : neutrones del punto de interés

Bn : fondo de neutrones, o sea, los provenientes de otros puntos

G ; radiación "gamma" del punto de interés

Bg : fondo de radiación "gamma"

A : fondo constante, compuesto de ruido electrónico, radiación cósmica, etc.

En consecuencia, las componentes indeseables deberán ser eliminadas y/o medidas para efectuar la correspondiente corrección. En general podrían definirse tres modos de solucionar el problema: no detectar el fondo, no almacenarlo y sustraerlo. La solución práctica es una combinación de los tres.

i) No detectarlo: Se logra, parcialmente, con el blindaje descrito en II.3.- Su efecto es reducir las componentes Bn, Bg y A.

ii) No almacenarlo: Por el tipo de detector utilizado pueden aplicarse, simultáneamente, dos criterios, a saber:

a) Discriminación por altura de pulso: Como los neutrones de baja energía originan un espectro en altura de pulso con un máximo bien definido, ya que la detección se realiza por medio de una reacción fuertemente exoérgica, es posible discriminar los pulsos de mayor y menor altura que la correspondiente a neutrones. Esto es facilitado por la excelente resolución del detector, que alcanza al 29.7% luego de una conveniente optimización /4/. Este procedimiento permite reducir notablemente G y Bg.- Por ejemplo, una vez efectuada dicha discriminación diferencial, sólo serán almacenados los rayos "gamma" cuyas energías se encuentren entre 1.36 y 3 MeV, aproximadamente.

b) Discriminación temporal: Consiste en habilitar los diversos registradores sólo durante el lapso de interés.- Por ejemplo, una conveniente compuerta posterior al pulso reducirá G y Bg, también N pero para altas energías. Esto contribuye además, a la coherencia entre los distintos datos de la experiencia, que tendrán el mismo tiempo de almacenamiento, y a eliminar aquellos intervalos en que la proporción de fondo es muy superior a la de señal.

iii) Sustraerlo: En general pueden presentarse distintos casos. A modo de ejemplo, sea el de una medición en la que puede realizarse una efectiva discriminación temporal, la que unida a otras condiciones, implique que tanto G como Bg sean despreciables. La sustracción puede realizarse del siguiente modo:

- En una primera medición se obtiene

$$S_1 = N + B_n + A \quad (3)$$

- En una segunda medición, en la que se ha colocado en el punto de interés (fondo del tubo reentrante), un filtro negro para neutrones de las energías en el rango que se mida, resultará

$$S_2 = B'_n + A'$$

Para poder realizar la sustracción, faltará normalizar los valores medidos con convenientes factores M_1 y M_2 , con lo que resulta:

$$\left(\frac{S_1}{M_1} - \frac{S_2}{M_2} \right) = \frac{N}{M_1} + \left(\frac{B_n}{M_1} - \frac{B'_n}{M_2} \right) + \left(\frac{A}{M_1} - \frac{A'}{M_2} \right) \quad (5)$$

donde, si bien la reducción del fondo constante no es inmediata, por cuanto es función del tiempo y no de las cuentas del monitor, podemos asumir que A y A' están en unidades convenientes de modo tal que las dos diferencias del segundo miembro se anulan, con lo que la diferencia entre los valores normalizados de

de las dos mediciones dará la información requerida. Este fue el método utilizado en este trabajo, empleando un filtro de Boro 10, cuya transmisión para neutrones de 300 eV es 1%.

II.6.c - Intensidad de fuente

Como se anticipó, la fuente de neutrones no tiene una intensidad constante, por lo cual la normalización citada anteriormente no puede realizarse simplemente con el tiempo durante el cual fue realizada cada medición. Las variaciones provienen de inestabilidad en la corriente de electrones y su energía. La primera magnitud tiene una relación lineal con la producción de neutrones, pero su medición o la de la carga recibida en el blanco no proporciona un debido factor de normalización ya que no existe el mismo tipo de dependencia en cuanto a la energía. Por esto es que se obtiene este factor con detectores auxiliares como los ya citados.

II.6.d - Otras correcciones

Junto con mayores detalles sobre las correcciones antes citadas, otras correcciones fueron descriptas en /6/.

II.7 - Cálculos y mediciones auxiliares

II.7.a - Tiempo medio de emisión

A fin de obtener un espectro estacionario es necesario tener en cuenta que la emisión de los neutrones no es simultánea con el tiempo cero que se ha definido, sino que dependerá de la energía del neutrón ya que hay involucrados procesos de moderación y termalización anteriores al instante en que el neutrón alcance su energía final y fugue por el tubo de vuelo.

Varias aproximaciones han sido utilizadas hasta el momento para tener en cuenta este efecto. La adoptada, corresponde a asumir que el tiempo de emisión está definido por el tiempo medio que se requiere para alcanzar la ener-

gía E, calculado como:

$$\overline{t} = \frac{\int t \cdot \phi(E, t) \cdot dt}{\int \phi(E, t) \cdot dt} \quad (6)$$

es decir, el primer momento temporal. Este es obtenido con el programa CAGE/12/, que calcula también dicho espectro en aproximación de difusión a partir de datos nucleares generados con el sistema de programas GASKET, FLANGE 1 y NYRGRUP. /10/.

El citado programa proporciona además el segundo momento temporal, con lo que puede calcularse la dispersión en tiempo del flujo de neutrones a una dada energía, según:

$$\Delta^2 = \overline{t^2} - \overline{t}^2 \quad (7)$$

valor éste de importancia para obtener el poder de resolución del espectrómetro.

II.7.b - "Buckling"

Constituye una previsión para comparaciones con resultados de cálculo.

Tanto el cálculo ya citado como los que se realizaren para verificación de teorías y aproximaciones incluídas en programas de cálculo, requerirán el conocimiento del "buckling" local en el punto en que se efectúa la medición.

Si bien en las direcciones transversales al haz de electrones puede asumirse una distribución espacial del flujo que implica que los correspondientes términos del "buckling" responderán a la forma geométrica; en la dirección longitudinal se estará en el caso de una pila "sigma" o "exponencial", con lo que en la zona central se puede asumir un comportamiento exponencial. Luego, ya sea la constante de este decaimiento o la forma real del flujo en la zona central deberá ser determinada experimentalmente.

Estos resultados se aplican fundamentalmente para efectuar una correcta definición de los términos de fuente y fuga a utilizar en los cálculos.

III - PRUEBAS

Las pruebas finales, realizadas con la facilidad y técnicas descriptas anteriormente, consistieron en la medición de dos espectros que se consideran bien conocidos.

Estos son los correspondientes a soluciones de ácido bórico en agua pura, con concentraciones de 6.31 g/l y 13.77 g/l cuya composición se da en Tabla 2. Los valores tomados como patrón fueron obtenidos por J.C. Young y otros /2/, y comparados con cálculo con muy buen acuerdo en el rango de 2×10^{-3} a 1 eV.

Las mediciones se efectuaron en condiciones de medio infinito. La reducción se realizó considerando un agrupamiento en rangos de $(\Delta E/E) = 0.05$ y con 5% de precisión estadística.

Los resultados se muestran en las figuras 6 y 7 (6.31 g/l y 13.77 g/l, respectivamente), comparados con los que fueron tomados como patrón.

III.1 - Solución con 6.31 g/l de ácido bórico

Puede observarse (fig. 6) un muy buen acuerdo general en cuanto a su forma y una correcta calibración en energía. Las diferencias, obtenidas por comparación punto a punto, se encuentran entre -8% y 20%.

Cabe destacar que en la zona comprendida entre 7.10^{-3} eV y 6 eV la diferencia no excede de $\pm 8\%$ y que fuera de la misma ambos espectros presentan fluctuaciones estadísticas que exageran la diferencia.

III.2 - Solución con 13.77 g/l de ácido bórico.

Son aplicables a este caso consideraciones similares a las del anterior. El ajuste puntual se conserva entre -10 y 20%, no excediendo $\pm 10\%$ entre 7.10^{-3} eV y 6 eV. Fuera de este rango las diferencias se acentúan por las fluctuaciones estadísticas.

IV - CONCLUSIONES

Se ha completado una facilidad para la medición de espectros de neutrones de bajas energías, con lo que se dispone de una importante herramienta de investigación en Física de neutrones y de reactores.

Mediante la medición de dos espectros, suficientemente bien conocidos, se efectuó su calibración hasta aproximadamente 10 eV de energía mínima.

Los resultados obtenidos mostraron en ambos casos muy buen acuerdo en la forma general y calibración en energía. El ajuste punto a punto arrojó diferencias, descartando efectos de fluctuaciones estadísticas no mayores del 10%, las que se consideran aceptables.

La precisión de los puntos está dada, aproximadamente, por 5% en energía y 5% en número de cuentas.

-----0-----

B I B L I O G R A F I A

- /1/ M.J. Abbate: "Espectrómetro de neutrones por el método de tiempo de vuelo", CNEA-UNC, Instituto de Física "Dr. J.A. Balseiro", Trabajo especial, Diciembre 1968.
- /2/ J.C. Young y otros: "Theoretical and experimental neutron spectra", GA-5319, May 1964.
- /3/ J.C. Young y otros, Nucl. Sci. Eng., 18, 376-399 (1964).
- /4/ A. Oliva, M.J. Abbate y L.A. Remez: "Detector de neutrones de vidrio de Litio: optimización para su uso en mediciones por tiempo de vuelo", CNEA-CAB, comunicación G.6 a la 53ª reunión de la A.F.A., Bariloche, Abril 1970.
- /5/ A. Oliva: "Detector de neutrones de vidrio de Litio", CNEA-UNC, Instituto de Física "Dr. J.A. Balseiro", Trabajo especial, Febrero 1970.
- /6/ H.M. Antúnez y otros: "NYRTOF-Programa para acumulación y reducción de datos en mediciones de espectros de neutrones por el método de tiempo de vuelo - Opción "OFF-LINE", CNEA-CAB, ACNYR, Noviembre 1971.
- /7/ L.A. Remez: "Interfase para adquisición de datos "on-line" con una computadora IBM/360 mod. 44", comunicación B.1.7 a la 57ª reunión de la A.F.A., Córdoba, Mayo 1972.
- /8/ E. Vila Echague (IBM Argentina): "ONLI-Programa para acumulación de datos experimentales "on-line", no publicado.
- /9/ M.J. Abbate: "NYR341-Comparador, programa en Fortran IV para comparar funciones", CNEA-CAB, ACNYR, 1972.
- /10/ J.E. Volkis, J.V. Lolich y M.J. Abbate: "Método de cálculo para la obtención de parámetros de difusión", comunicación a la 57ª reunión de la A.F.A., Córdoba, Mayo 1972.
- /11/ J.M. Neill y otros: "Calibration and use of a 5-in.-diam lithium glass detector", GA-9048, december 1968.
- /12/ P. d'Oultremont, D. Houston and J.C. Young: "A package FORTRAN V system for the reduction and analysis of neutron time-of-flight spectra", (CAGE-BIRD-SPEC), Gulf-RT-10195, november 1970.

TABLA 1

EFICIENCIA DEL DETECTOR DE NEUTRONES DE VIDRIO DE LITIO.-

Primera estimación basada en la correspondiente a un detector similar /11/, teniendo en cuenta las diferencias de composición.

Nº	Energía (eV)	Eficiencia
1	.0001	.987
2	.10	.987
3	.15	.985
4	.20	.983
5	.30	.980
6	.40	.977
7	.60	.971
8	.80	.965
9	1.00	.958
10	1.50	.939
11	2.00	.921
12	3.00	.888
13	4.00	.854
14	6.00	.806
15	8.00	.766
16	10.00	.735
17	15.00	.663
18	20.00	.619
19	30.00	.560
20	40.00	.518
21	60.00	.461
22	80.00	.398
23	100.00	.350
24	200.00	.313

DENSIDADES ATOMICAS DE LAS SOLUCIONES UTILIZADAS.

(átomos/cm³)

1. Solución de 6.31 g/l, de ácido bórico:

Boro	6.124×10^{19}
Hidrógeno	6.656×10^{22}
Oxígeno	3.337×10^{22}

2. Solución de 13.77 g/l, de ácido bórico:

Boro	1.3367×10^{20}
Hidrógeno	6.648×10^{22}
Oxígeno	3.344×10^{22}

-----0-----

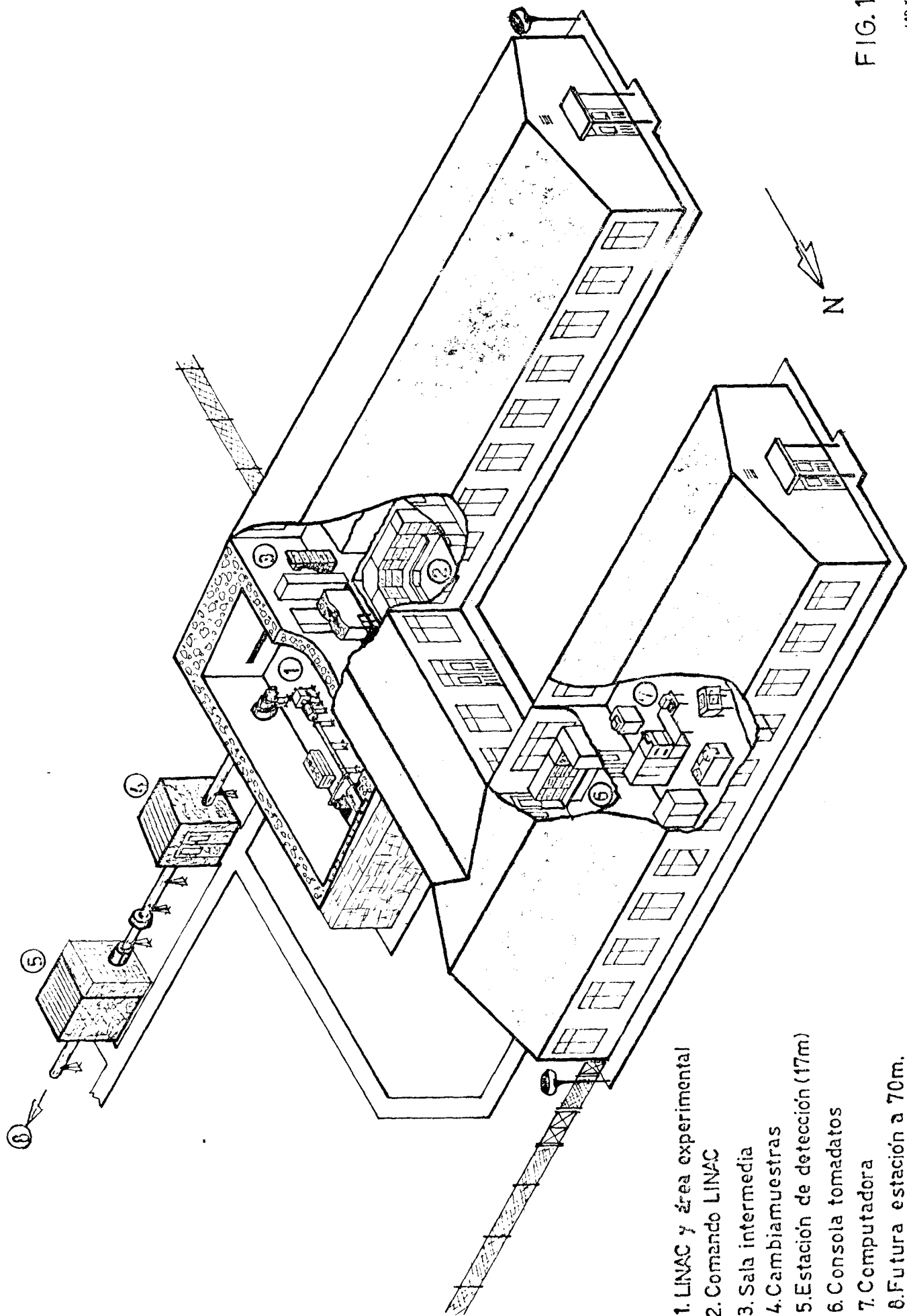
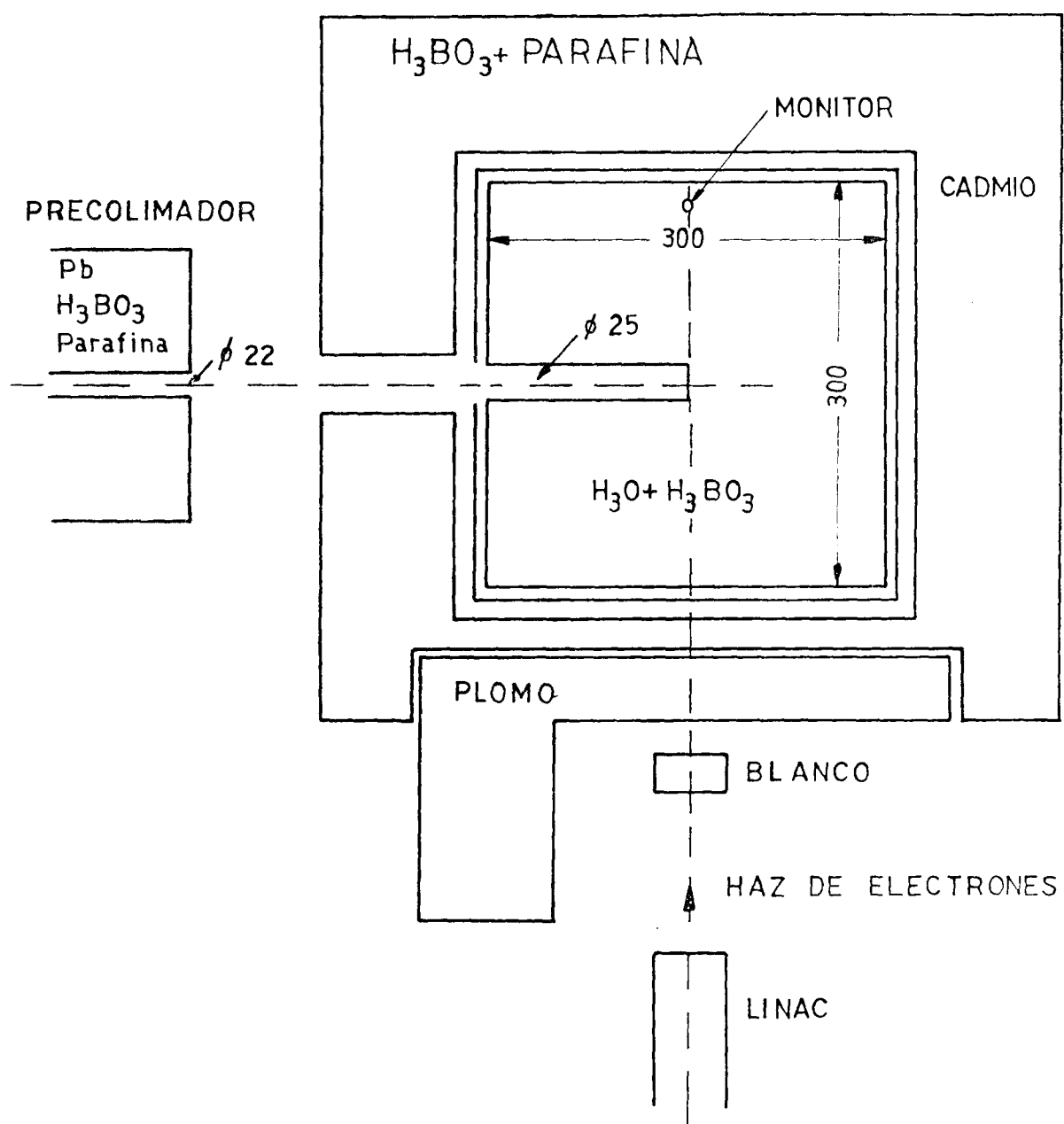
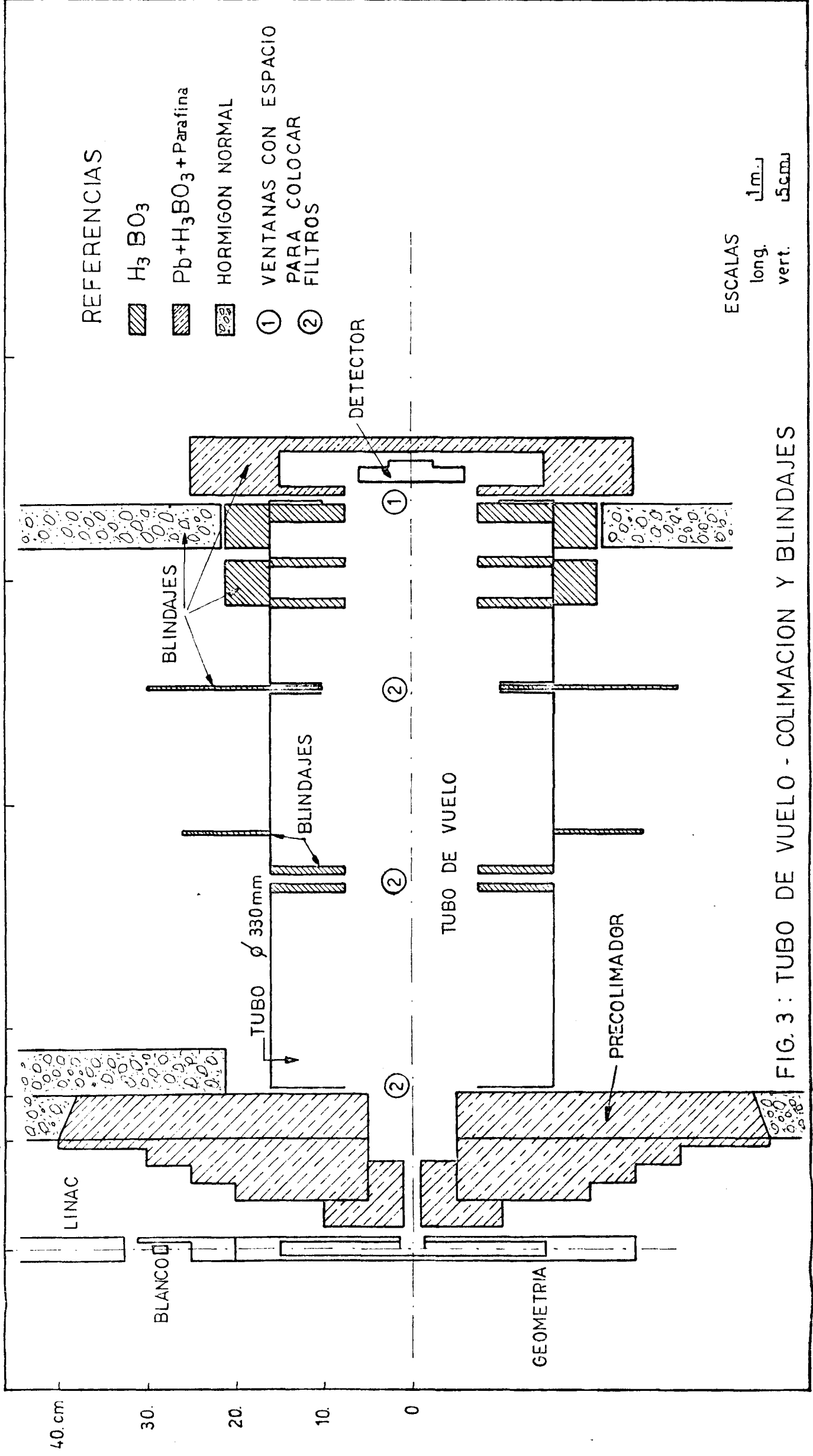


FIG. 1

GEOMETRIA UTILIZADA EN LAS PRUEBAS





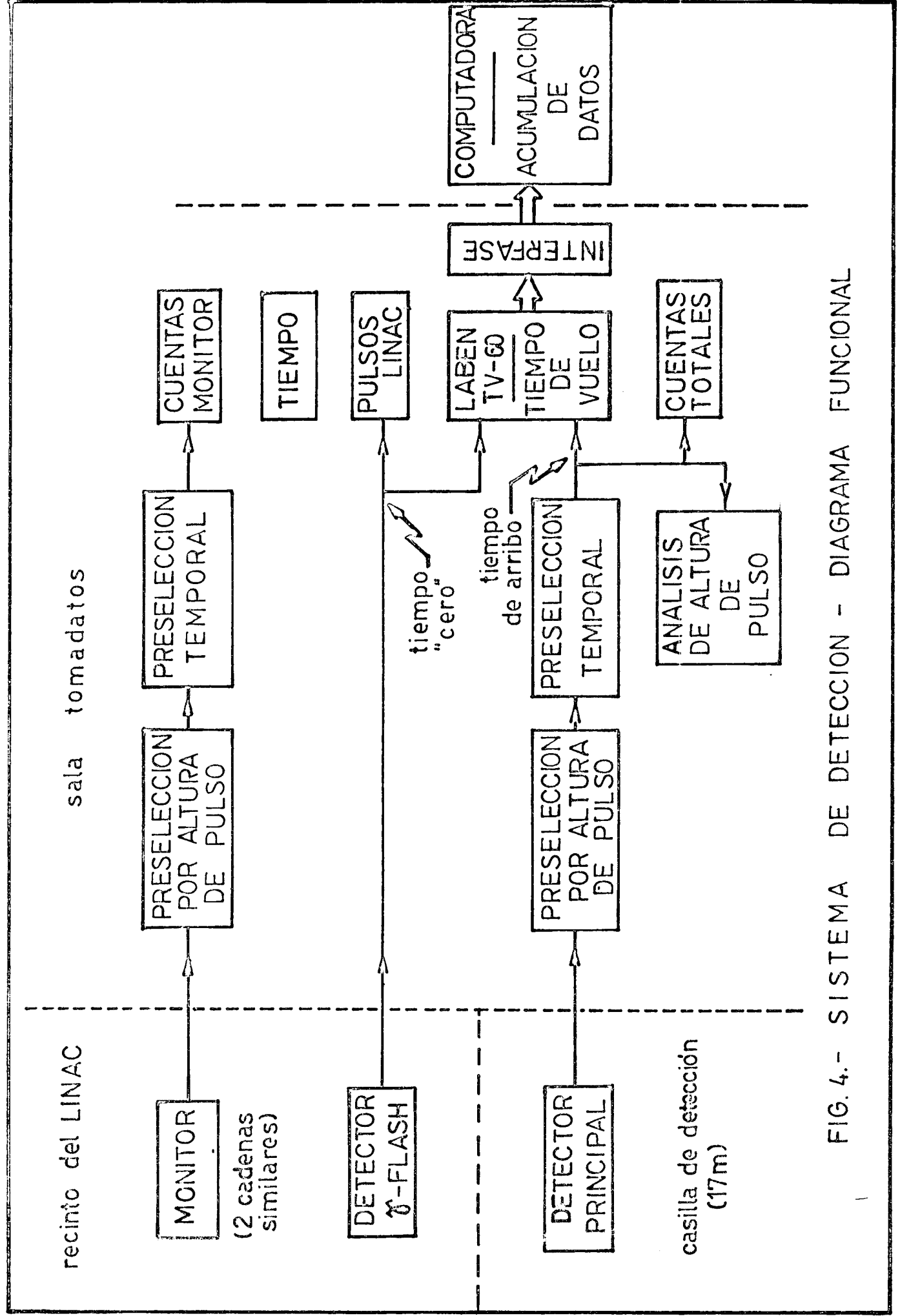
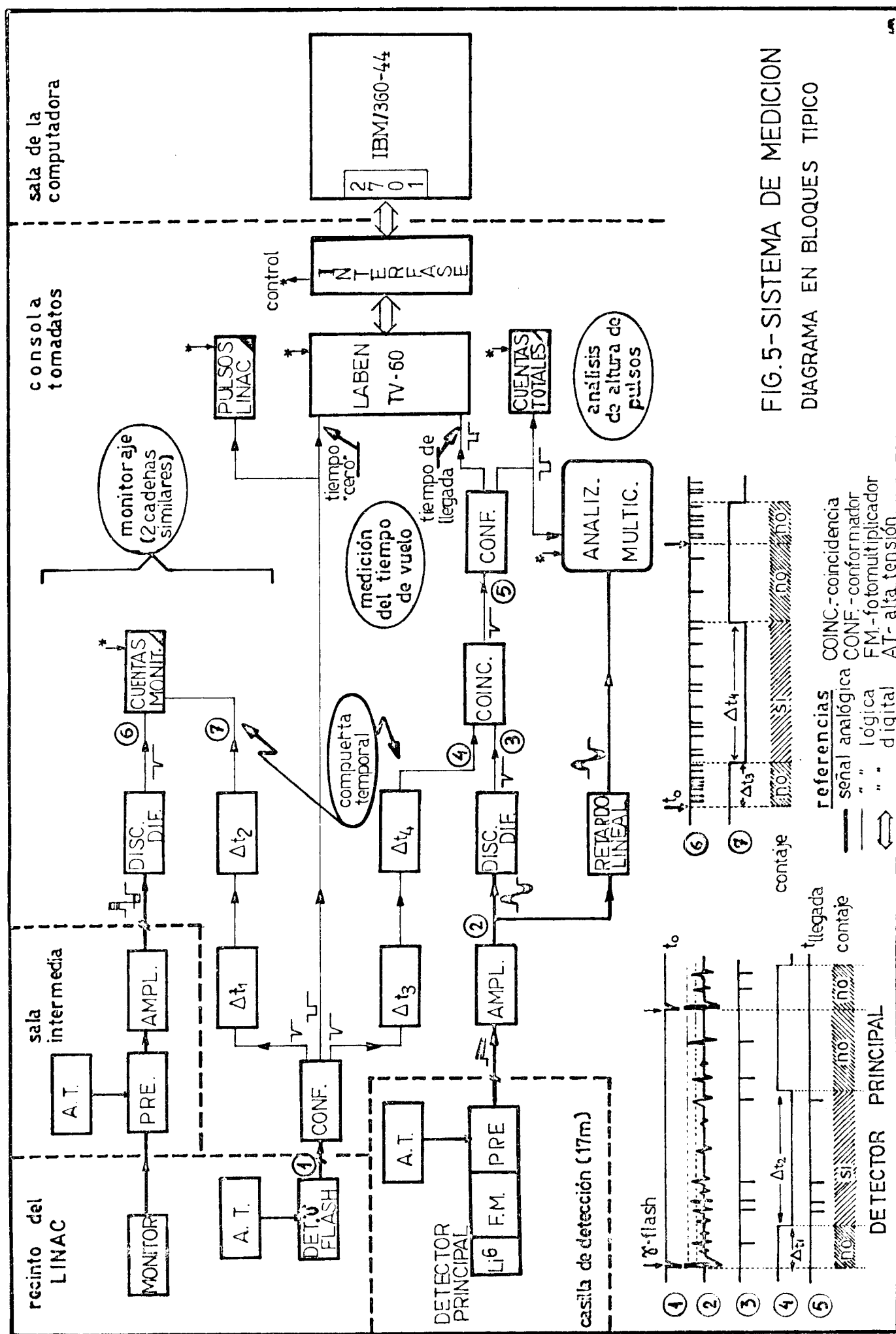
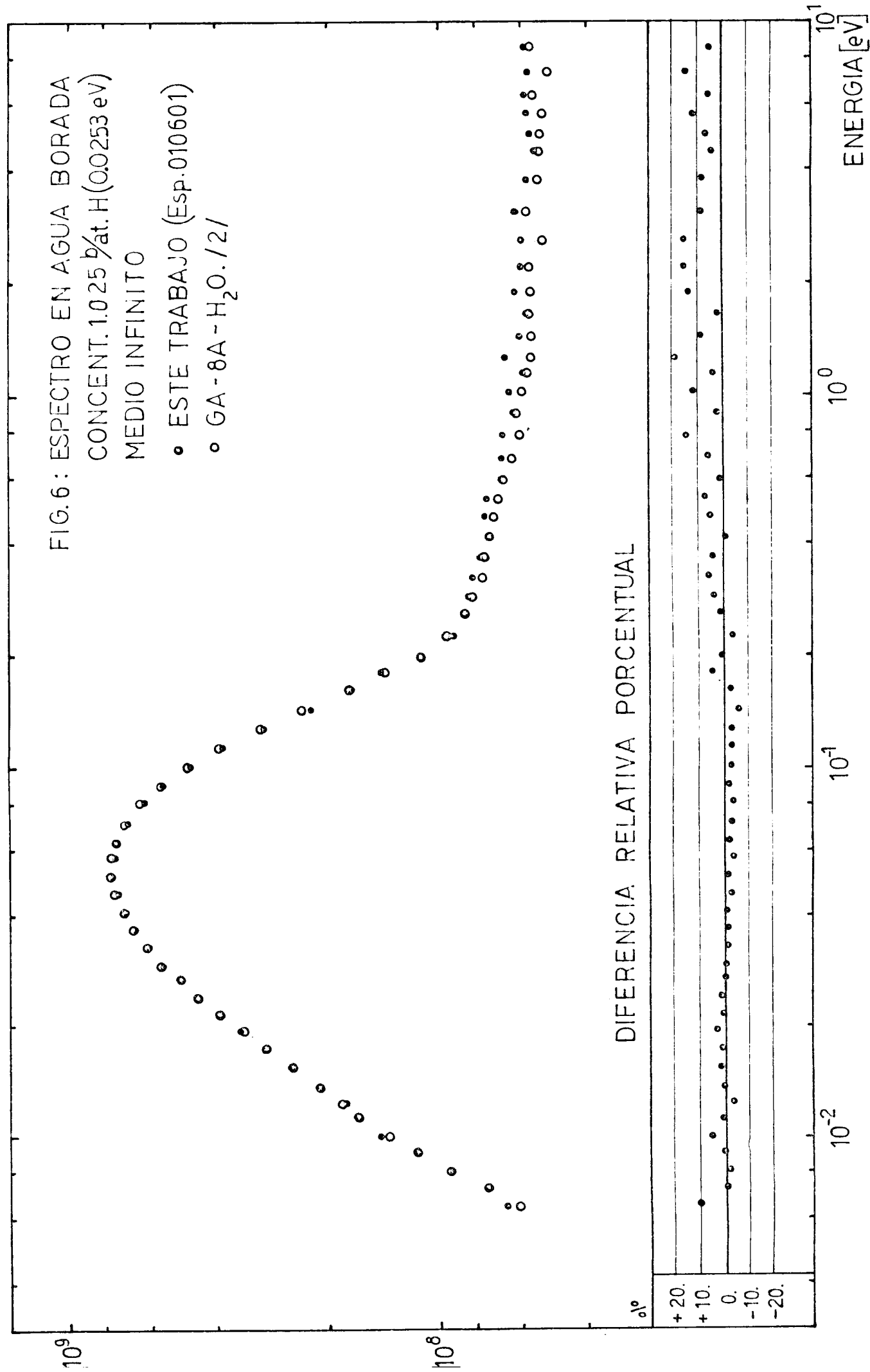


FIG. 4.- SISTEMA DE DETECCION - DIAGRAMA FUNCIONAL



Ex ϕ (E) [u.arb]



Exφ(E) [u.arb.]

10⁹

10⁸

FIG. 7 : ESPECTRO EN AGUA BORADA
CONCENT. 184.8 p/at.H (0.0253 eV)
MEDIO INFINITO
• ESTE TRABAJO (Esp.020401)
○ GA - 8B - H₂O. /2/

DIFERENCIA RELATIVA PORCENTUAL

%

+20.
+10.
0.
-10.
-20.

10⁻²

10⁻¹

10⁰

ENERGIA [eV]

1

