

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO
1	1992

DETECTORES PARA CONTROL DE REACTORES - CONSTRUCCION Y ENSAYOS

Emilio MATATACUI (1) - Patricio MENDOZA (2) - Pedro SABATE (1)

Comisión Nacional de Energía Atómica

(1) Dirección de Investigación y Desarrollo - Gerencia Desarrollo -
Departamento de Instrumentación y Control

(2) INVAP S.E.

INTRODUCCION:

La función $P(t)$, potencia instantánea generada por el proceso de fisión, es el parámetro mas importante utilizado en el control de reactores nucleares.

El funcionamiento del reactor comprende:

- a) Un régimen de arranque.
- b) Un régimen de marcha.
- a) Para el arranque y bajas potencias del reactor, el período t , derivado de $P(t)$ y definido como:

$$\tau^{-1} = \frac{1}{P} \frac{dP}{dt}$$

es el parámetro significativo. Esta cantidad está relacionada con la reactividad y se lo utiliza durante el arranque y puesta a crítico.

- b) En régimen de marcha, el reactor está estable ($-\frac{1}{\tau} = 0$). Su estado está definido por $P(t) = P_{\text{Marcha}}$.

Desde el arranque hasta el nivel de máxima potencia, $P(t)$ puede variar en un margen de mas de diez décadas.

El flujo neutrónico, al ser proporcional a la potencia generada por fisión, es un indicador sensible, de gran rango dinámico, del estado del reactor.

Interferencia importante proviene del alto fondo de radiación gamma que existe cerca del núcleo. Los detectores neutrónicos deberán discriminar, dentro de lo posible, este fondo.

Es difícil cubrir, con un solo detector, el amplio margen de variación requerido, siendo conveniente utilizar dos o mas tipos de sensores neutrónicos. Una combinación de contadores de fisión y cámaras de ionización permiten cubrir ese margen.

Se han diseñado, desarrollado procesos de fabricación y construido prototipos de contadores de fisión y cámaras de ionización, aptos para el control de reactores. También se han construido una serie (50 dispositivos) en una Planta de INVAP S.E., ubicada en C.A.B. Esta planta fue especialmente equipada y acondicionada para realizar este tipo

///
de tareas.

Los procesos han sido totalmente desarrollados en ARGENTINA, en facilidades de la C.N.E.A. e INVAP S.E.

Los diseños para contadores de fisión son propios. Las cámaras de ionización se basan en un diseño de J. Duchene, con modificaciones y mejoras impuestas por nuestros procedimientos.

CARACTERISTICAS GENERALES:

Contadores de fisión y cámaras de ionización son dispositivos utilizados rutinariamente en el control de reactores de media y alta potencia (RA-3, RA-6, RP-10). Son ubicados a cierta distancia del núcleo, donde miden una fracción de los neutrones que escapan a través del reflector. La Fig. 1 muestra, esquemáticamente, su ubicación en el reactor RA-3.

La interferencia gamma es especialmente importante en el régimen de arranque: Deben ser medidos débiles flujos neutrónicos en presencia de la alta actividad gamma residual de los productos de fisión. Por su sensibilidad y capacidad de discriminación contra fondo gamma, se utilizan contadores de fisión.

A partir de cierto nivel saturan los contadores de fisión. La evolución posterior del reactor es seguida por cámaras de ionización compensadas, con las que es posible un relativo rechazo del fondo gamma por compensación geométrica y eléctrica. Son estos los sensores usados en el régimen de marcha. La Fig. 2 muestra, esquemáticamente, los flujos neutrónicos vs. fondos gamma, y el margen de medición típico de estos detectores.

PRINCIPIOS DE DISEÑO:

Una breve descripción comparativa del funcionamiento de estos detectores es como sigue. La Fig. 3 muestra, esquemáticamente, el principio de la medición.

	<u>Contadores de Fisión</u>	<u>Cámaras de Ionización</u>
Régimen	Arranque y baja potencia.	Media potencia y marcha.
Convertidor	U_{308} (90% $^{92}U^{235}$)	Boro amorfo (90% ^{10}B).
Reacción de detección	$^{92}U^{235} + {}^0n^1 \rightarrow (V)^* \rightarrow FA+FB+$ $\sigma_{nf} = 590 \sim 200 \text{ MeV.}$	$^{10}B + {}^0n^1 \rightarrow (B)^* \rightarrow {}^4He^{4+}$ ${}^7Li^{7+} \sigma = 4020 \sim 2.3 \text{ MeV.}$
Detección	Uno de los productos de la reacción ionizará el gas del detector. Resulta una señal eléctrica por la colección posterior de los electrones (iones) generados.	
Electrónica	Sistema de espectroscopía nuclear, + B.	Sistema de corriente continua + B; - B.
Compensación gamma	Por discriminación por altura de pulsos. Los pulsos eléctricos producidos por los productos de la reacción (U,n) iguales,	Por diferencia de corrientes producidas en dos cámaras geométricamente iguales, una de ellas

///

///

Compensación gamma son mucho mayores que el fondo sin convertidor. Ajuste do alfa (radiactividad del Uranio) y el fondo gamma. Su eléctrica (y/o mecánica). Su perposición múltiple de pulsos gamma dentro del tiempo de resolución de la electrónica, podrán interferir, como muestra la Fig. 3, para intensos fondos gamma.

PROCESOS TÍPICOS:

Una simple enumeración de las características constructivas y procesos de fabricación mas significativos es la siguiente:

	<u>Contadores de Fisión</u>	<u>Cámaras de Ionización</u>
Geometría de detección	Cilíndrica.	Plana
Materiales	Inox. 304.	Aluminio 99.5% (baja captura y activación)
Aisladores	Al ₂ O ₃ (estos materiales tienen excelentes propiedades eléctricas y mecánicas, baja captura neutrónica, baja activación y alta resistencia en campos de radiación).	SiO ₂ y Al ₂ O ₃
Sistema de Guarda	No	Si
Soldaduras	Microplasma cerámica metal brazing a tubo de llenado	Tungsteno con gas inerte Soldadura Sn 99,9% a cerámica metal - aluminio
Sellos cerámica-metal	Proceso de film delgado sobre Al ₂ O ₃ , con multicapa de metal activo (Cr), metal noble (Cu) y film electrolítico de níquel. Soldadura posterior a alojamientos respectivos (Inox. o Aluminio).	
Gases	A -3% N ₂ purificados 3 Atm.	A purificado 1 Atm.

Las Fig. 5 y 6 muestran dibujos de estos dispositivos.

CARACTERÍSTICAS:

Las características de estos dispositivos tal como están contruídos son:

	<u>Contador de Fisión</u>	<u>Cámara de Ionización</u>
Sensibilidad neutrónica	$\sim 0.5 \text{ (c seg}^{-1}\text{) (n}^{-1} \text{ cm}^2 \text{ seg.)}$	$\sim 0.5 \times 10^{-14} \text{ A x (n}^{-1} \text{ cm}^2 \text{ seg.)}$
Sensibilidad gamma	Se utilizó un fondo del orden 10^5 R/H . Depende de la electrónica.	$\sim 2.5 \times 10^{-11} \text{ A (R}^{-1}\text{h)}$ (cámaras en paralelo)

///

///

Margen de utilización	Hasta 10^5 c/s $2 - 2 \cdot 10^5$ n cm ⁻² seg ⁻¹	$10^{-11} - 10^{-4}$ A ($2 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^{10}$ n cm ⁻² seg ⁻¹)
Tensión de operación típica	+ 400 Volts.	+ 600; - 400(v) Volts.
Flanco del pulso	100 nseg.	-----
Resistencia	> 10^{10} Ω	> 10^{12} Ω

Las cámaras de ionización permiten compensar el fondo gamma mediante un registro mecánico. Sin embargo, se encontró es mas conveniente una compensación eléctrica de ese fondo, el que se logra modificando la tensión aplicada a la cámara gamma.

La actividad residual de la cámara de ionización se asocia al decaimiento del Al²⁸ (2.3 min) y de impurezas de Mn y Cu presentes en el dispositivo.

MEDICIONES:

Se muestran algunos de los resultados experimentales que dan idea del comportamiento típico de los dispositivos:

- Contadores de Fisión:

Se observaron, sistemáticamente, los espectros generados por estos detectores, con un sistema de espectroscopía ORTEC y un multicanal HEWLETT-PACKARD. Se utilizó una fuente de neutrones de 5 Curies de Am-Bc. Se medían una fracción de los neutrones que escapan del blindaje de parafina de esa fuente.

Se hicieron determinaciones del efecto del fondo gamma, utilizándose como fuente el irradiador móvil de Co⁶⁰ ($\sim 10^5$ R/H).

Se hicieron también mediciones en el reactor RA-3, y se han seguido varios arranques.

Los resultados que se muestran, se tomaron en condiciones poco favorables, ya que entre detector y preamplificador hay aproximadamente 10 metros de cable de relativamente alta capacidad.

La Fig. 4 muestra el espectro obtenido en campos de 10^5 R/H de radiación gamma, así como el de neutrones, con diferentes constantes de tiempo de la electrónica.

La Fig. 5 muestra la deformación de un pulso eléctrico por ese campo de radiación gamma.

La Fig. 6 muestra como se mejoran las condiciones de colección al utilizarse como gas de detección una mezcla A -3% N₂.

La Fig. 7 muestra el fondo alfa del detector, el fondo gamma con el reactor sin funcionar (~ 50 cm. del núcleo) (neutrones ?) y detección de neutrones con el reactor en potencia, pero a varios metros del núcleo.

///

///

- Cámaras de Ionización:

Dada la menor sensibilidad relativa de las cámaras de ionización, las experiencias con fuente de neutrones resultan de poca utilidad, salvo para comparación de sensibilidades.

Se ha utilizado el reactor como fuente de neutrones y de radiación gamma. Al variar la distancia núcleo-detector (blindaje de agua) se modificarán las intensidades gamma y neutrónicas incidentes. Cuando el reactor no funciona, la actividad residual de los productos de fisión del núcleo provee una fuente de radiación gamma de alta intensidad.

La Fig. 8 muestra unas curvas de plateau, con fondo gamma (cámaras en paralelo) y con neutrones y fondo gamma. El detector está aquí relativamente cerca del núcleo y el régimen es de altas corrientes. Una tensión de 600 Volts es suficiente para lograr la saturación.

La Fig. 9 muestra la variación de ajuste de compensación eléctrico con fondo gamma. Se observa que los pares de valores (+ B; - B) que permiten la compensación, se conservan al variar el fondo gamma.

La Fig. 10 muestra el seguimiento por una cámara de la evolución del reactor. Se nota la perturbación introducida en la medición por el fondo gamma residual. La cámara no lleva blindaje de plomo. Es usual blindar, en el reactor, estos detectores con plomo (~ 10 cm) para evit^ular esa interferencia.

La Fig. 11 muestra el decaimiento de la activación propia de la cámara (y contenedor). La medición se realiza con ambas cámaras en paralelo y la irradiación se realizó cerca al núcleo (~ 20 cm.). Hay correlación en el decaimiento con activación de aluminio (Al^{28}) y presencia de Mn y Cu.

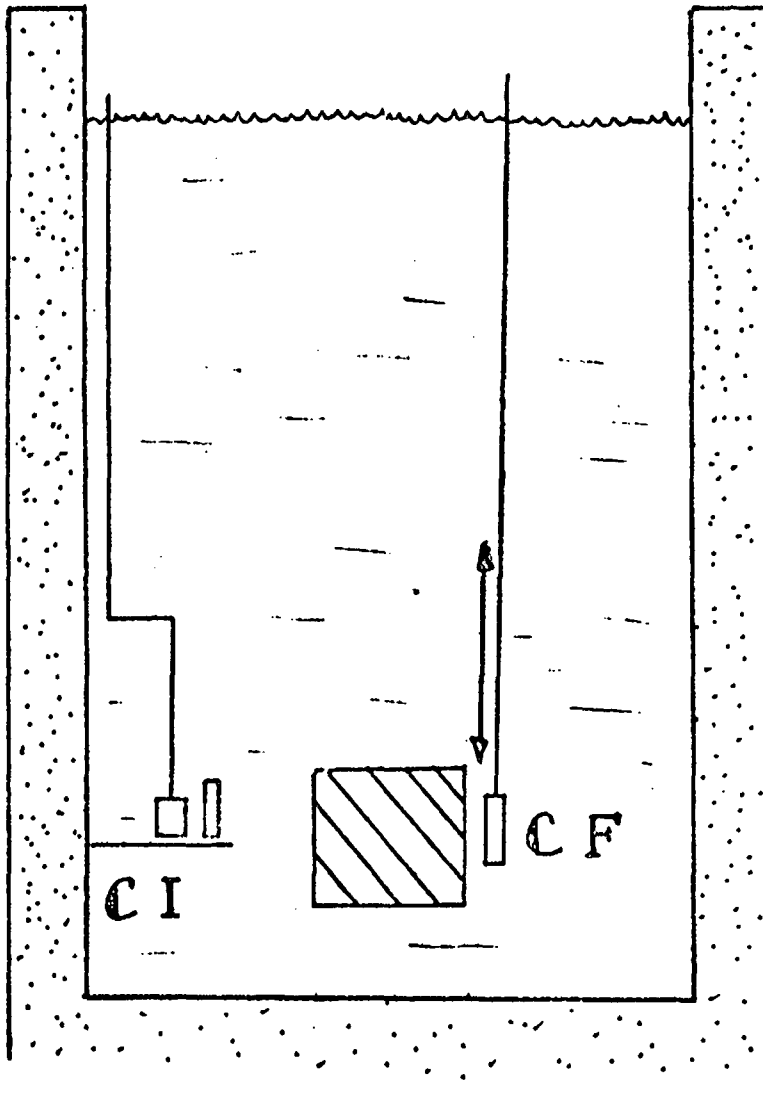


FIG. 1

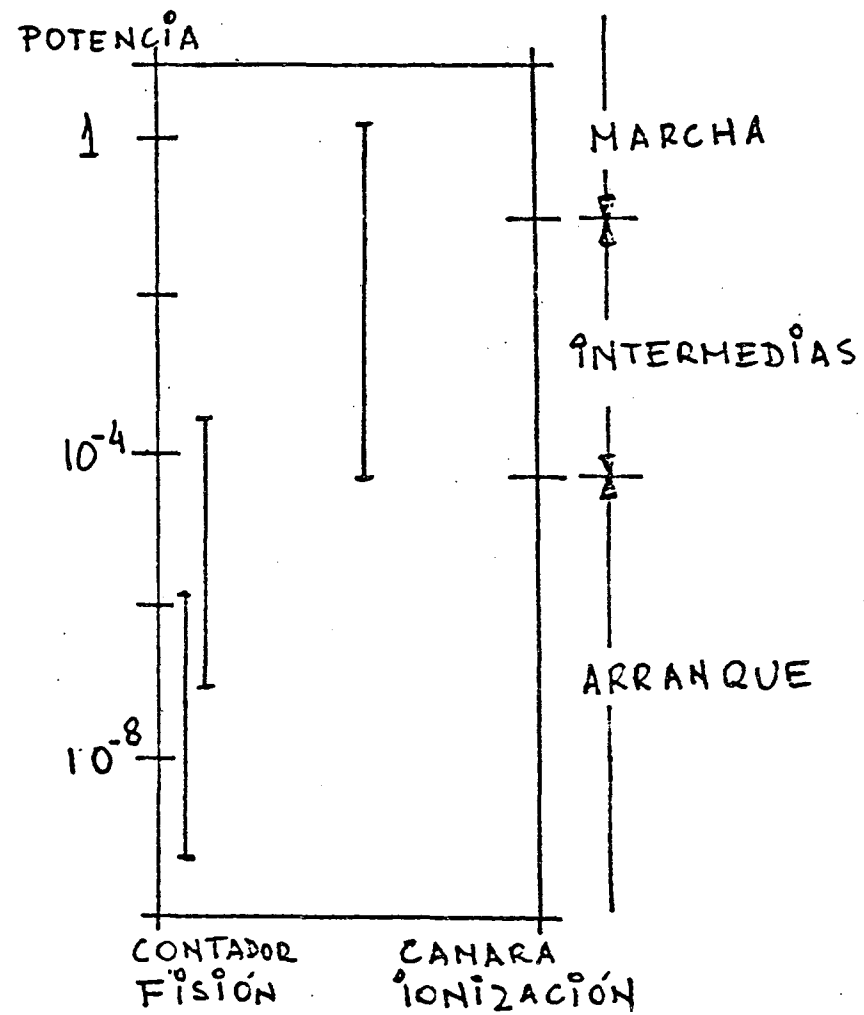
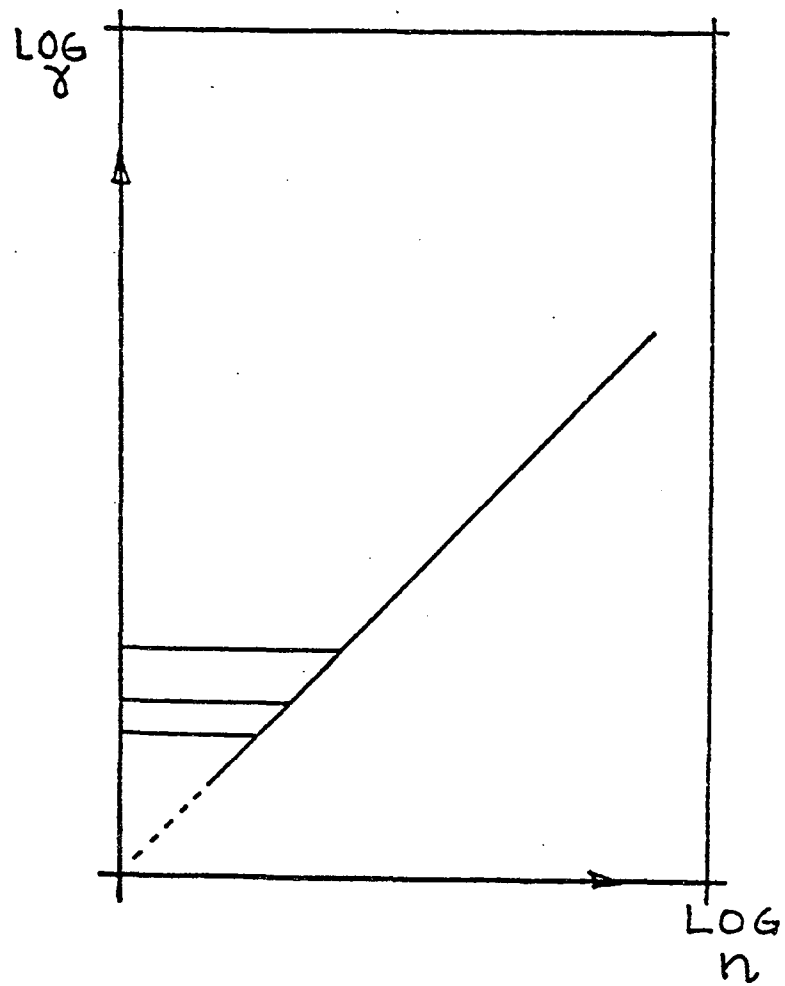
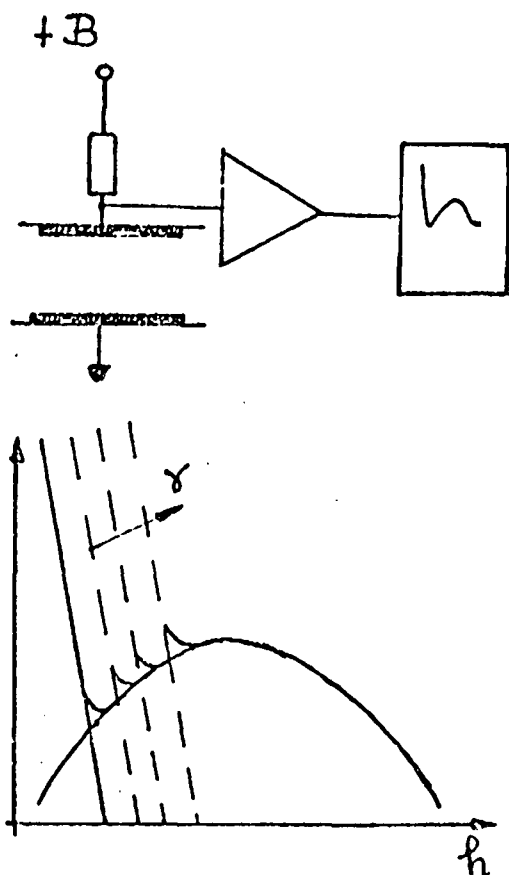


FIG. 2

CONT. FISION

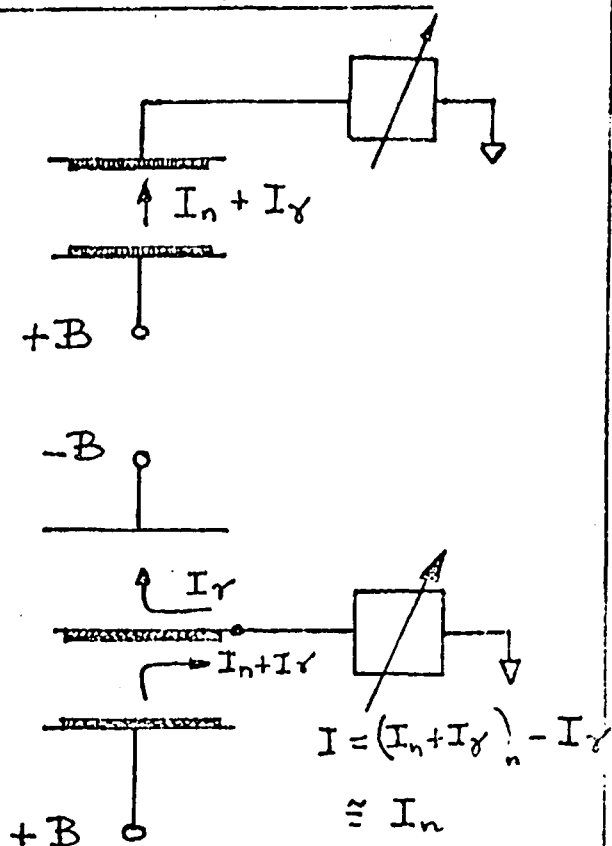


FONDO γ

POR DISCRIMINACIÓN
 POR ALTURA DE
 PULSOS.

470

CAM. IONIZACIÓN



POR DIFERENCIA DE
 CORRIENTES EN CÁMARAS
 GEOMETRÍA SEMEJANTE.

FIG 3

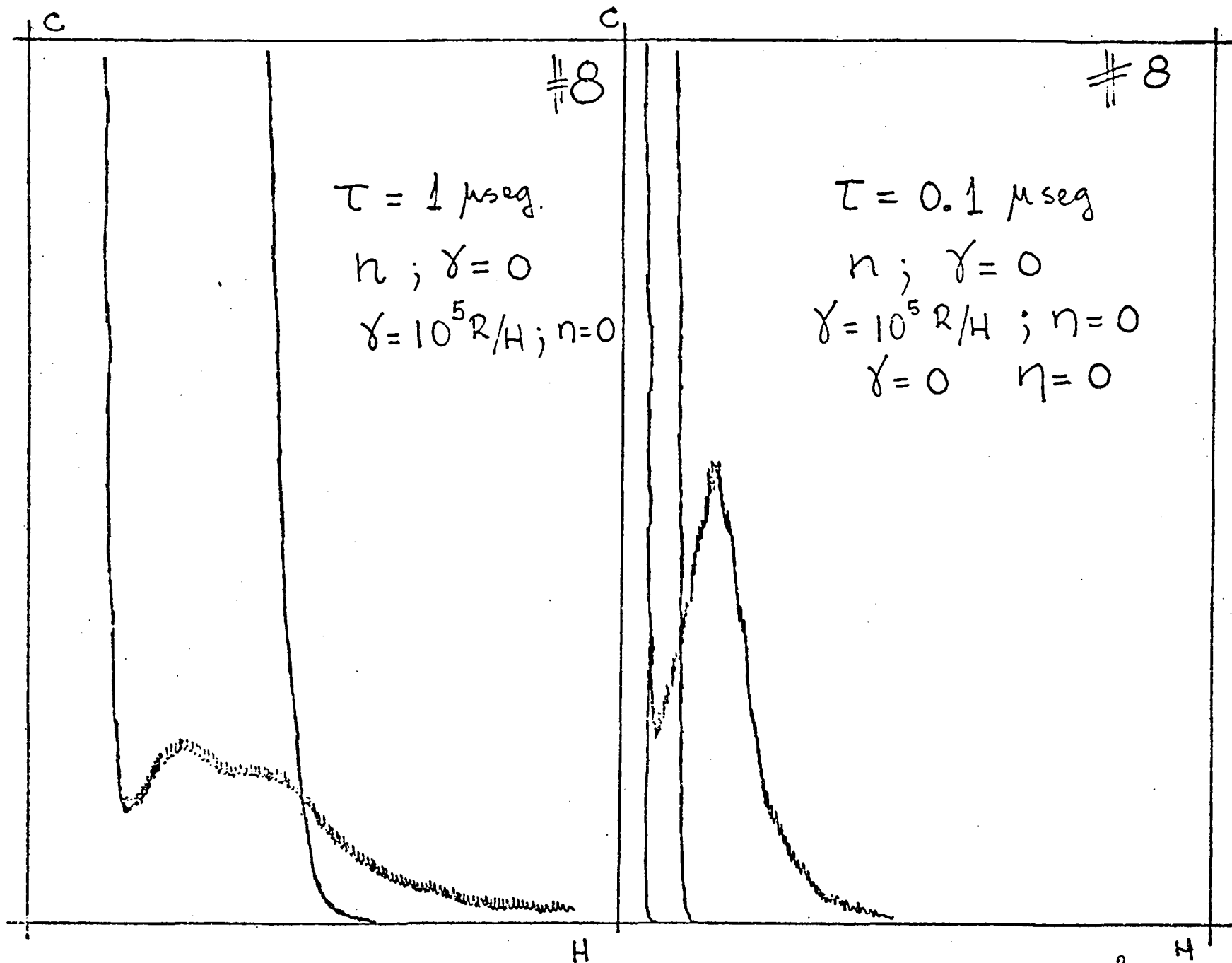


FIG 4

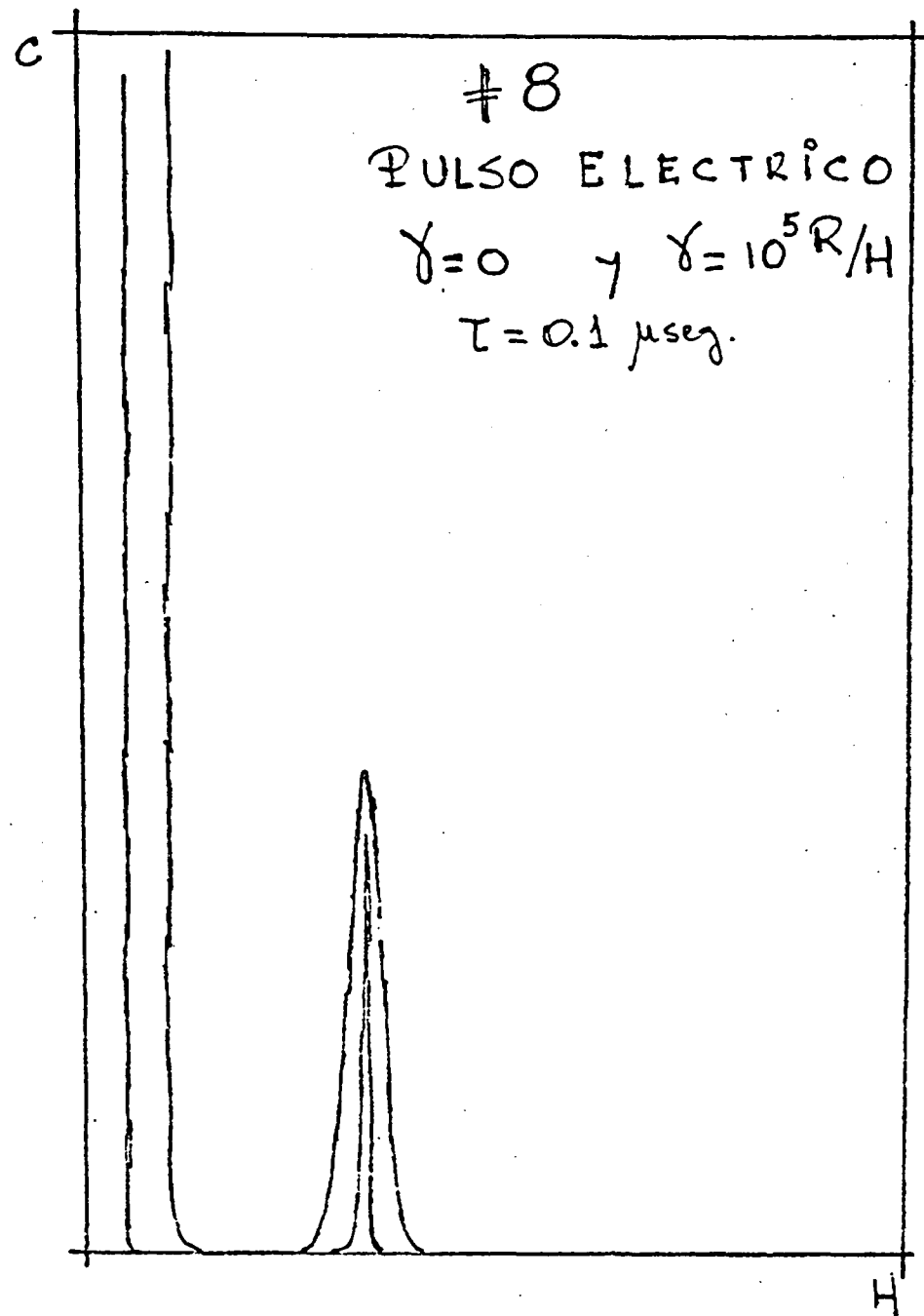
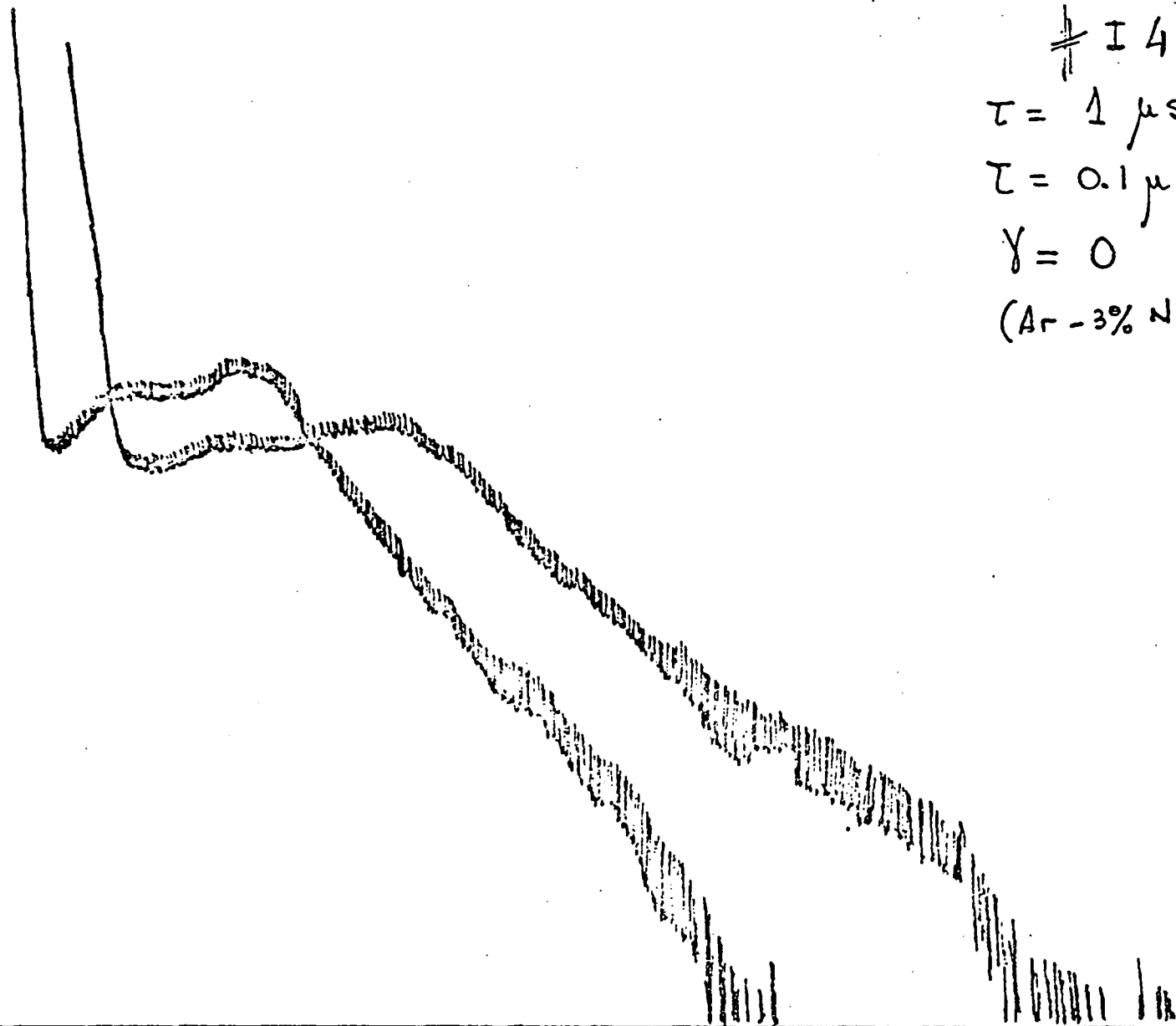


FIG 5

LOG
C



$\neq I 4$
 $\tau = 1 \mu \text{seg}$
 $\tau = 0.1 \mu \text{seg.}$
 $\gamma = 0$
(Ar - 3% N₂)

H
FIG 6

LOG C

I 4

- FONDO ALFA
- neutrones ($\sim 4m$ del núcleo)

$$\tau = 1 \mu \text{seg}$$

I 4

- FONDO ALFA
- FONDO GAMMA +
($\sim 50 \text{ cm}$ del núcleo)
neutrones?

$$\tau = 1 \mu \text{seg}$$

H

H

FIG 7

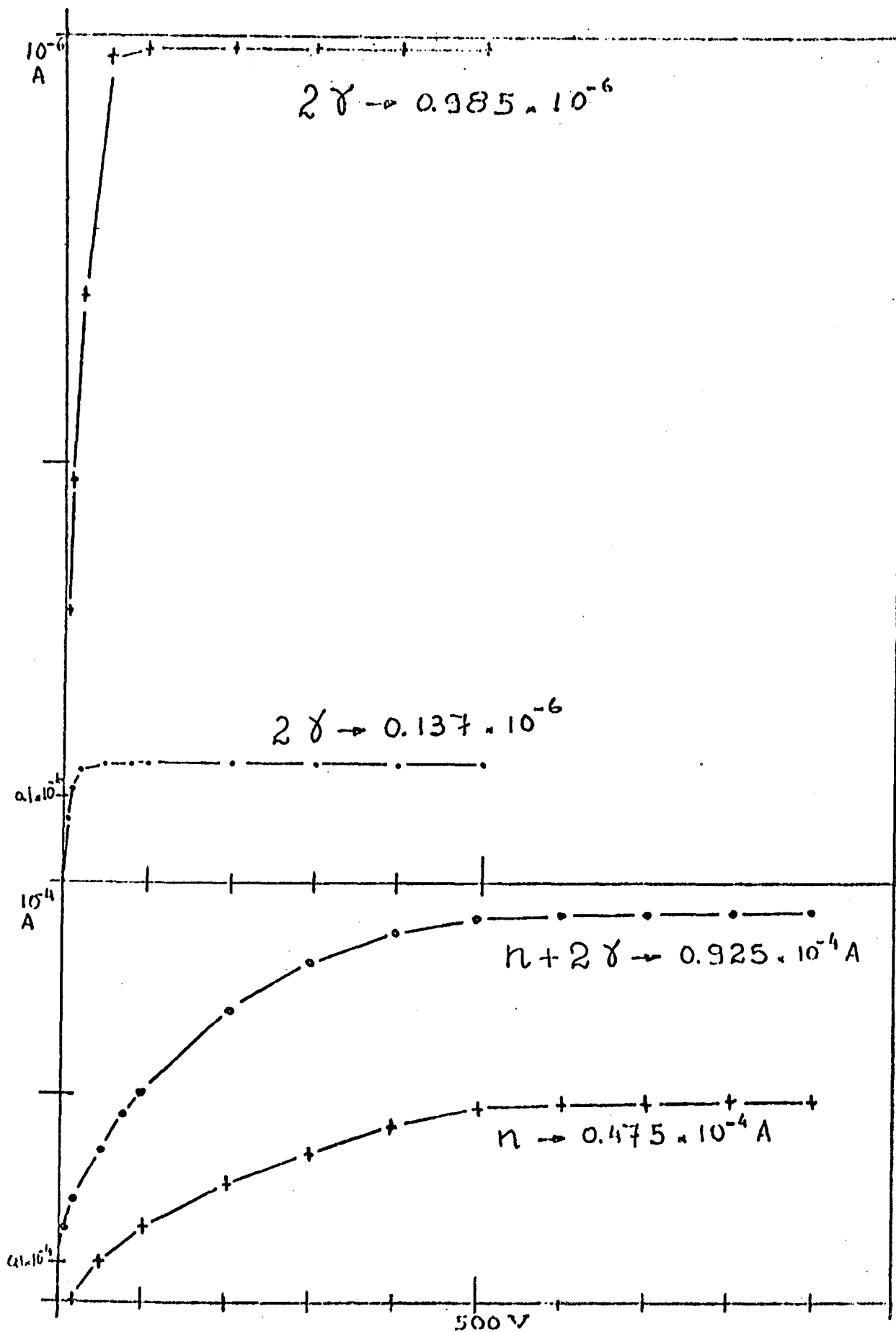


FIG 8

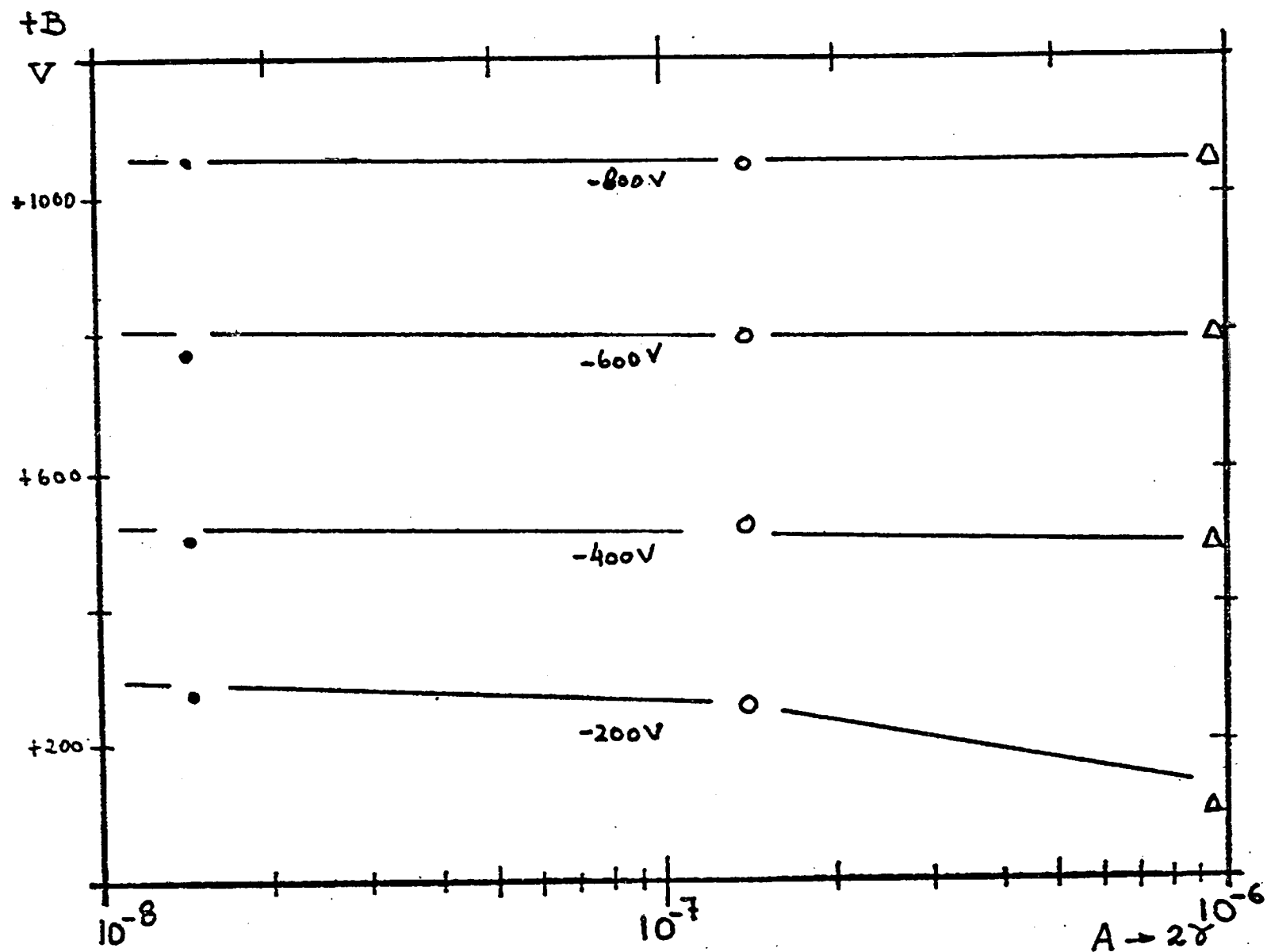


FIG 9

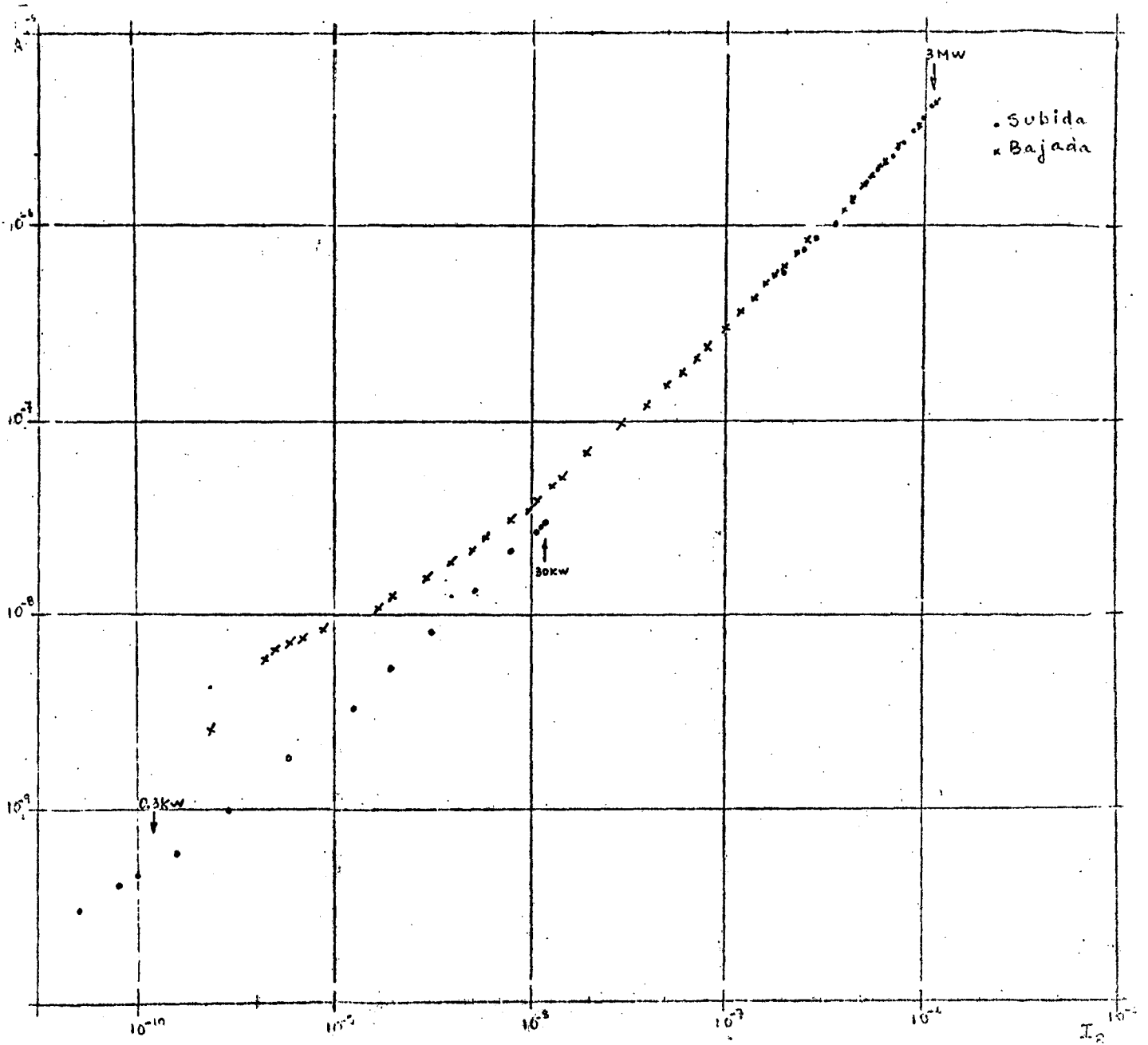


FIG 10

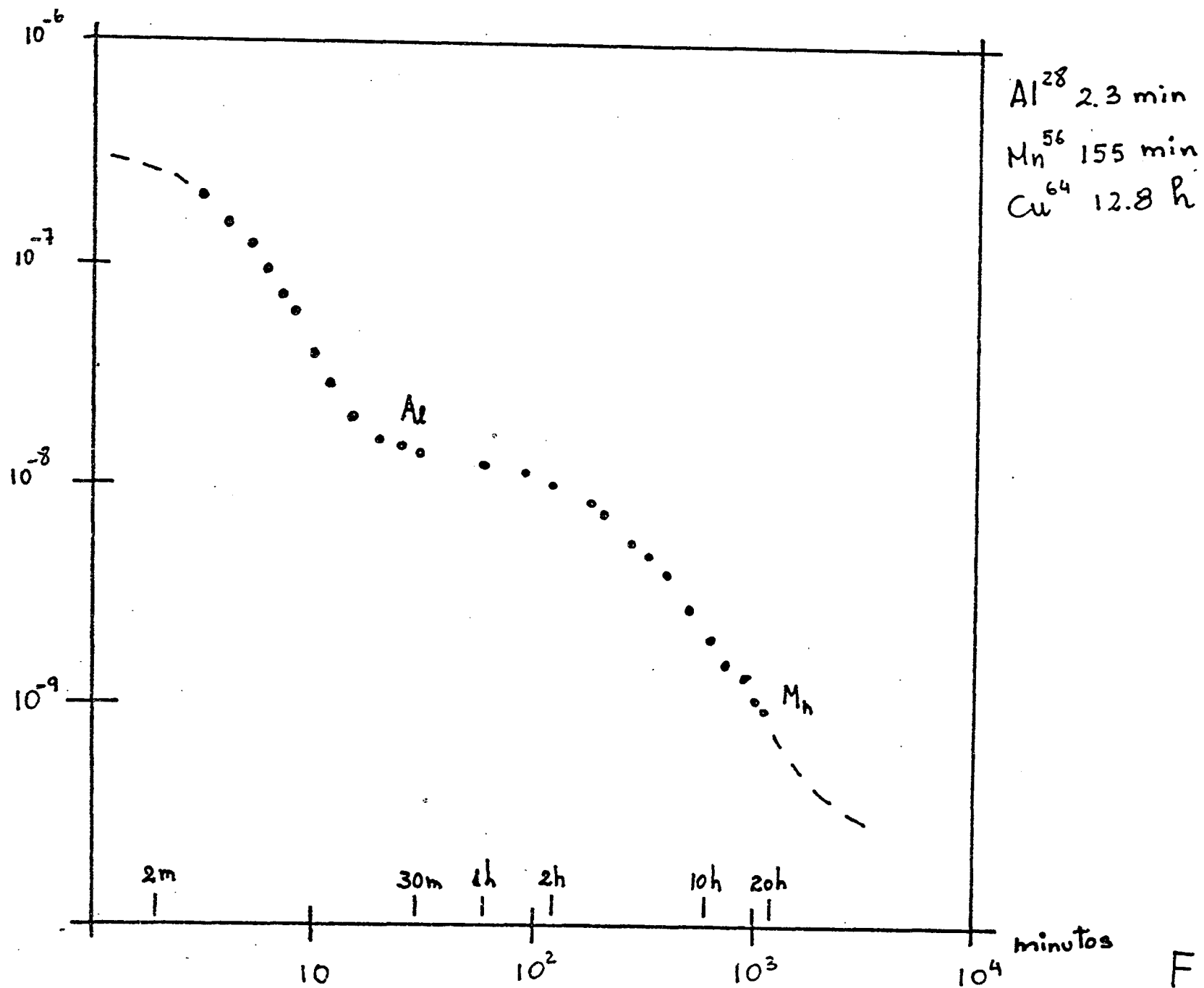


FIG 11