

## 2. CONTADORES DE CATODO EXTERNO, por M. CELMA, J. A. GARCÍA FITE y R. SEGOVIA TORRES.

### S U M M A R Y

The output signal of external cathode counters is equal to the output signal of the same counters with internal cathode. This result is obtained from the equivalent circuit of the counter. Construction details and measured dead times are given.

Se ha construído y estudiado el tipo de contador G-M descrito por Maza (1) al objeto de equipar los gammascopios portátiles construídos en estos laboratorios, puesto que tal tipo de tubo posee las siguientes ventajas:

a) No alcanzar prácticamente la zona de descarga continua, pues la operación a sobrevoltajes que en un contador de cátodo interno conduciría a ella se evita en éstos debido a que la acumulación de cargas positivas en el interior de la pared de vidrio reduce el efectivo sobrevoltaje a que opera el contador. Además, son en parte suprimidos los efectos secundarios que se presentan en los cátodos metálicos.

b) La gran facilidad de construcción y consiguiente reducción de su coste.

### I. CIRCUITO EQUIVALENTE DEL CONTADOR DE CÁTODO EXTERNO

La posibilidad de que un tubo de cátodo externo funcione como contador es debida a la conductividad de carácter iónico que presenta el vidrio y a la gran capacidad equivalente de éste. En efecto, el circuito equivalente del contador de cátodo externo puede considerarse constituido por un contador de tipo corriente (cátodo metálico) con una  $R_2$  y  $C_2$  en paralelo entre cátodo y tierra (fig. 1).

Dichas  $R_2$  y  $C_2$  se pueden medir directamente previo llenado del tubo con agua acidulada. Resultaron ser del orden de  $10^8$  ohms y 1.000 pf., respectivamente. Se trata de averiguar el efecto de tal  $R_2$  y  $C_2$  en el comportamiento del contador.

$C_1$  representa las capacidades parásitas y  $R_1$  la resistencia externa.

Designaremos por  $C$  la capacidad por unidad de longitud propia del tubo contador  $\left(C = \frac{1}{2 \ln b/a}, b = \text{radio del cilindro}, a = \text{radio del hilo}\right)$  y por  $\Phi$

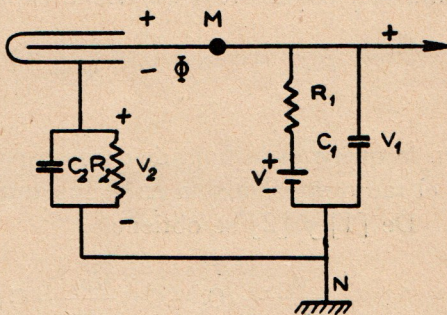


Figura 1

Circuito de un contador de cátodo externo

(1) MAZE: *J. Phys. et Rad.*, 7, 164 (1946).



la diferencia de potencial existente entre el hilo y la superficie interna del tubo.

En un contador G-M un electrón producido en el volumen del mismo por un agente ionizante, produce una avalancha primaria en las inmediatas proximidades del alambre (se inician a la distancia de 2 a 5 radios del mismo). Los fotones emitidos por esta avalancha producen fotoionización en otros puntos del contador, desarrollándose las avalanchas a lo largo del alambre. Los electrones producidos por estas sucesivas avalanchas son rápidamente capturados por el hilo, dejando una hoja de carga espacial positiva que rodea al mismo.

Para nuestro estudio admitiremos que esta hoja de carga espacial es uniforme y estacionaria en el tiempo de recogida de los electrones, lo que presupone una velocidad de propagación infinita a lo largo del alambre, hipótesis admisible en el caso de contadores de longitud relativamente pequeña.

Las ecuaciones que rigen el circuito considerado son las siguientes :

$$\begin{aligned}\Phi &= v_1 - v_2 \\ \frac{v_2}{R_2} + C_2 \frac{dv_2}{dt} &= l \frac{dQ}{dt} \\ \frac{v_1 - V}{R_1} + C_1 \frac{dv_1}{dt} &= -l \frac{dQ}{dt}\end{aligned}\quad [1]$$

en donde  $Q$  es la carga por unidad de longitud del hilo y  $l$  la longitud sensible del contador.  $\Phi$  (2) viene expresado por

$$\Phi = \frac{Q}{C} + 2q \ln \frac{b}{r} \quad [2]$$

en la que  $q$  es la hoja de carga espacial positiva por unidad de longitud, y  $r$  el radio de la misma en el instante considerado.

De [1] y [2] se obtiene

$$\begin{aligned}\frac{v_2}{R_2} + (C_2 + Cl) \frac{dv_2}{dt} - Cl \frac{dv_1}{dt} &= -Cl 2q \frac{d}{dt} \left[ \ln \frac{b}{r} \right] \\ \frac{v_1}{R_1} + (C_1 + Cl) \frac{dv_1}{dt} - Cl \frac{dv_2}{dt} &= \frac{V}{R_1} + Cl 2q \frac{d}{dt} \left[ \ln \frac{b}{r} \right]\end{aligned}$$

La velocidad de la hoja de carga espacial viene dada por

$$v = KE$$

en donde  $K$  es la movilidad iónica, que en primera aproximación podemos considerar constante, y  $E$  el campo a que está sometida la citada carga es-



pacial, que como ha sido justificado por numerosos autores (2), (3), (4), puede tomarse como el creado por una carga  $Q_0 + q/2$ , en la que  $Q_0$  es la carga inicial en el hilo por unidad de longitud.

En estas condiciones

$$\frac{d}{dt} \left( \ln \frac{b}{r} \right) = - \frac{1}{A + t}$$

en donde

$$A = \frac{r_0^2}{4k(Q_0 + q/2)}$$

y  $r_0$  es el radio de la hoja de carga espacial en el instante inicial, cuando todos los electrones han sido recogidos en el hilo. Podemos tomar  $2a$  como valor medio de  $r_0$ . Con esto quedan finalmente las ecuaciones

$$\frac{v_2}{R_2} + (C_2 + Cl) \frac{dv_2}{dt} - Cl \frac{dv_1}{dt} = Clq \frac{1}{A + t}$$

$$\frac{v_1}{R_1} + (C_1 + Cl) \frac{dv_1}{dt} - Cl \frac{dv_2}{dt} = \frac{V}{R_1} - Clq \frac{1}{A + t}$$

De las cuales, en el supuesto que  $C_2 \gg C_1$ ;  $C_1 \approx Cl$ , dado que  $C_1$  y  $Cl$  son del orden de 10 pf. se obtiene

$$v_1(t) = -q \frac{Cl}{C_1 + Cl} e^{-\frac{t}{\tau_1}} \int_0^t \frac{e^{\frac{\tau}{\tau_1}}}{A + \tau} d\tau + v_{10} e^{-\frac{t}{\tau_1}} +$$

$$+ v_{20} \frac{R_1}{R_2} \frac{Cl}{C_2} \left( e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) + V \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right)$$

$$v_2(t) = -q \frac{Cl}{C_1 + Cl} \frac{Cl}{C_2} e^{-\frac{t}{\tau_1}} \int_0^t \frac{e^{\frac{\tau}{\tau_1}}}{A + \tau} d\tau + q \frac{Cl}{C_2} e^{-\frac{t}{\tau_2}} \int_0^t \frac{e^{\frac{\tau}{\tau_1}}}{A + \tau} d\tau +$$

$$+ (v_{10} - V) \frac{Cl}{C_2} \left( e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) + v_{20} e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

en donde  $\tau_1 = R_1(C + Cl)$ ,  $\tau_2 = R_2 C_2$  y  $v_{10}$  y  $v_{20}$  son los valores iniciales de  $v_1$  y  $v_2$ , que pueden obtenerse aplicando el principio de conservación de las cargas en los puntos M y N (fig. 1).

$$\Phi_0 = V - \frac{2qCl}{C_1 + Cl} \ln 2$$

(2) STEVER: *Phys. Rev.*, 61, 38 (1942).

(3) WILKINSON: *Phys. Rev.*, 74, 1417 (1948).

(4) C. D. THOMAS: *Rev. of Sc. Inst.*, 20, 147 (1949).



$$v_{10} = V - 2q \frac{Cl}{C_1 + Cl} \ln 2$$

$$v_{20} = 2q \frac{Cl}{C_1 + Cl} \frac{C_1}{C_2} \ln 2$$

con lo que las expresiones para  $v_1(t)$  y  $v_2(t)$  serán

$$v_1(t) = -q \frac{Cl}{C_1 + Cl} e^{-\frac{t}{\tau_1}} \left\{ e^{-\frac{A}{\tau_1}} \left[ \bar{E}_i \left[ \frac{A+t}{\tau_1} \right] - \bar{E}_i \left[ \frac{A}{\tau_1} \right] \right] + \right. \\ \left. + 2 \ln 2 \left[ 1 - \frac{C_1}{C_2} \frac{R_1}{R_2} \frac{Cl}{C_2} \right] \right\} - 2(\ln 2) q \frac{Cl}{C_1 + Cl} \frac{C_1}{C_2} \frac{R_1}{R_2} \frac{Cl}{C_2} e^{-\frac{t}{\tau_2}} + V \quad [6]$$

$$v_2(t) = -q \frac{Cl}{C_1 + Cl} \frac{Cl}{C_2} e^{-\frac{t+A}{\tau_1}} \left\{ \bar{E}_i \left[ \frac{A+t}{\tau_1} \right] - \bar{E}_i \left[ \frac{A}{\tau_1} \right] \right\} + \\ + q \frac{Cl}{C_2} e^{-\frac{t+A}{\tau_2}} \left\{ \bar{E}_i \left[ \frac{A+t}{\tau_2} \right] - \bar{E}_i \left[ \frac{A}{\tau_2} \right] \right\} \quad [6'] \\ - 2q \frac{Cl}{C_1 + Cl} \frac{Cl}{C_2} \ln 2 \left( e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) + 2q \frac{Cl}{C_1 + Cl} \frac{C_1}{C_2} \ln 2 e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

El impulso a detectar viene dado por

$$\Delta v_1(t) = -q \frac{Cl}{C_1 + Cl} e^{-\frac{t}{\tau_1}} \left[ e^{-\frac{A}{\tau_1}} \left[ \bar{E}_i \left( \frac{A+t}{\tau_1} \right) - \bar{E}_i \left( \frac{A}{\tau_1} \right) \right] + 2 \ln 2 \right] \quad [7]$$

en el supuesto que  $R_2 C_2 \gg R_1 C_1$  y  $C_2 \gg Cl$ .

De [7] se concluye que el impulso  $\Delta v_1$  es el mismo en forma y tamaño que el que se obtendría suprimiendo  $R_2$  y  $C_2$ , es decir, el que proporcionaría el mismo contador, considerado de cátodo interno, poniendo así de manifiesto la influencia, prácticamente nula, de la  $R_2$  y  $C_2$  en el comportamiento del contador. Conclusión de acuerdo con los resultados experimentales.

Partiendo de [6'] y [7] se demuestra que para cualquier valor de  $t$

$$v_2(t) < \frac{ql}{C_2} \quad \text{y} \quad |\Delta v_1| > 2q \frac{Cl}{C_1 + Cl} \ln 2 e^{-\frac{t}{\tau_1}}$$

De éstas se deduce

$$\frac{v_2(t)}{|\Delta v_1|_{\max}} < \frac{1}{2 \ln 2} \cdot \frac{C_1 + Cl}{C_2 C}$$

relación que, de acuerdo con los valores numéricos indicados, resulta del orden de  $1/70$  ( $l \approx 10$  cm.)



Para  $t_1 \gg \tau_1$  se tiene

$$v_2(t_1) < \frac{q l}{C_2} e^{-\frac{t_1}{\tau_2}}$$

$$\Phi(t_1) = V - v_2(t_1)$$

puesto que  $\Delta v_1(t_1) \approx 0$ ; de modo que si en este instante llega al contador una partícula ionizante, el potencial efectivamente aplicado al contador es  $V - v_2(t_1)$ . Este proceso es acumulativo y determina una tensión media  $\bar{v}_2$ , función del número de cuentas  $N$  por unidad de tiempo, dada por

$$\bar{v}_2 = \bar{q} l R_2 N = \bar{q} l \frac{N \tau_2}{C_2} \quad [8]$$

donde  $\bar{q}$  es la carga espacial positiva por unidad de longitud, correspondiente a un potencial  $V - \bar{v}_2$ , que es el efectivo potencial a que opera el contador; ello ocasiona una disminución en el tamaño del impulso, como se observa en las fotografías 1 y 2. Esta disminución depende, según [8] (además de  $N$ ) de  $R_2$ , es decir, de la resistividad del vidrio empleado, acercándonos tanto más al comportamiento de un contador de cátodo interno a este respecto cuanto más conductor sea el vidrio. En efecto, hemos comprobado que contadores contruidos con vidrio Pyrex y Durex, de mucha mayor resistividad que el vidrio «plomo» usado en nuestros contadores, reducían excesivamente el tamaño del impulso aun con  $N$  muy poco elevado, haciendo inadecuado el uso de tales vidrios.

La disminución en  $\bar{v}_2$  del potencial aplicado al contador da cuenta del hecho de que prácticamente no sea alcanzada la zona de descarga, así como del incremento en la extensión del *plateau* y de la disminución de  $|\Delta v_1|$  al crecer el número de cuentas por unidad de tiempo.

## II. DETALLES DE CONSTRUCCIÓN

El modelo elegido para ser utilizado en los gammascopios portátiles posee las dimensiones indicadas en la figura 2, siendo el espesor de la pared de vidrio 0,6-0,8 mm.

El ánodo está constituido por un hilo de W de 0,07 mm. de diámetro, soldado al vidrio mediante uniones de Copperclad. Para facilitar su construcción se ha suprimido el aislamiento de Nylon y el muelle de tensado indicados por Maze, así como los anillos de guarda. El tensado en nuestro caso se consigue por alargamiento del vidrio en caliente, una vez colocado el hilo. Se ha usado el vidrio llamado comercialmente «cristal plomo» en lugar del vidrio sódico ordinario, como se aconseja en la bibliografía (1) y (5), debido a dificultades para su adquisición. Con el vidrio y di-



mensiones indicadas se han medido  $R_2$  y  $C_2$ , cuyo significado se vió, resultando ser de  $3,5 \cdot 10^8$  y 1.200 pf., respectivamente.

Para el funcionamiento correcto es imprescindible que el vidrio esté perfectamente limpio, por lo que se lava con ácido acético glacial, luego con un detergente y finalmente con alcohol absoluto. Una vez confeccionado el tubo se lava de nuevo con agua destilada y alcohol.

El cátodo consiste en una capa de grafito coloidal (Aquadag) depositada exteriormente; los extremos del tubo se recubren de polistireno, para evitar la conducción superficial del vidrio, y la totalidad se recubre con pintura negra aislante.

Este tubo, no obstante las simplificaciones introducidas en su construcción, ha dado resultados satisfactorios, y en la actualidad se hallan algu-

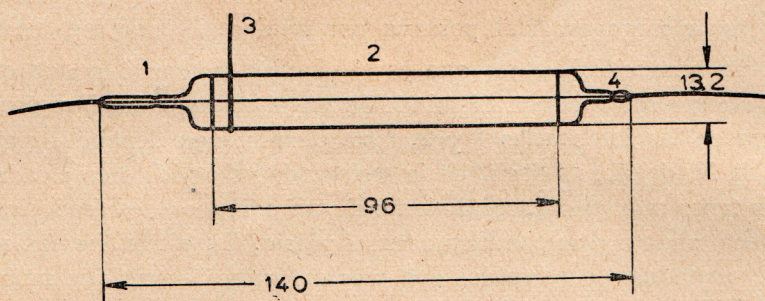


Figura 2

Dimensiones de un contador de cátodo externo, en mm.

1. Uniones de «copperclad». — 2. 96 mm. recubiertos de «aquadag».  
3. Conexión de cátodo.

nos en funcionamiento en los gammascopios fabricados en estos laboratorios.

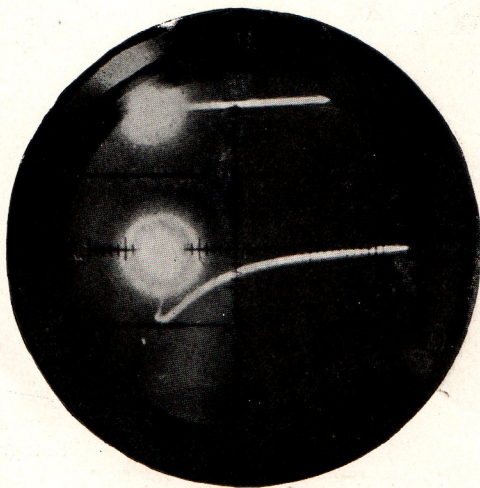
El llenado de dichos tubos se ha verificado con una mezcla de alcohol-Ar en la proporción de 1,1 cm. de alcohol y 8,9 cm. Ar. En el llenado de estos contadores se introduce, además, la simplificación de no ser necesaria la desgasificación con calentamiento simultáneo, bastando mantener los contadores durante 30 minutos a un vacío de  $10^{-4}$  mm. de Hg. Con la citada mezcla su potencial inicial se sitúa aproximadamente a 750-800 v. y su *plateau*, con una intensidad de irradiación de unas 300 cuentas/minuto posee extensiones de 200-250 v., con pendientes del orden del 2,5 % (fig. 3).

Aumentando la intensidad de radiación se ensancha considerablemente el *plateau*, como puede verse en la figura 3, donde aparecen las curvas normalizadas correspondientes a 300 cuentas/minuto y 3.000 cuentas/minuto, respectivamente.

Se han ensayado diferentes proporciones de mezcla y presiones totales de llenado, encontrándose que la mezcla y presiones óptimas para este tipo de contadores son las arriba mencionadas.

Estos tubos de cátodo externo se muestran particularmente idóneos para

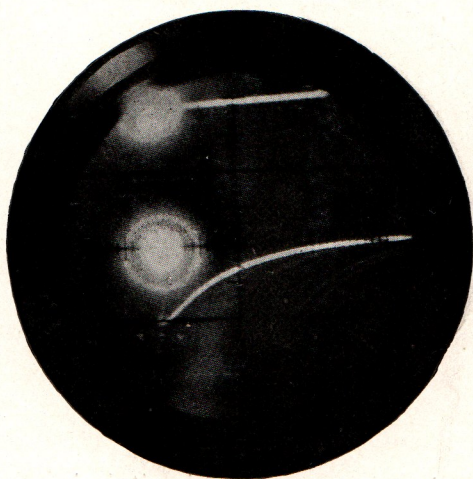




Fotografía 1.

Impulso de un contador de cátodo  
externo de 13,2 mm. de diámetro ex-  
terior. Número de cuentas por mi-  
nuto : 300.

Escala vertical : 1 división = 0,8 voltios

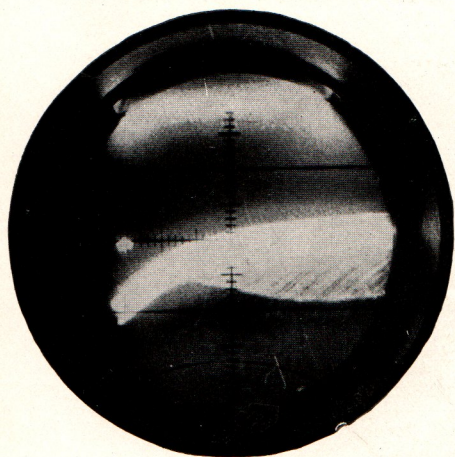


Fotografía 2

Impulso del mismo contador. Número  
de cuentas por minuto : 300.

Escala vertical : 1 división = 0,28 volt.

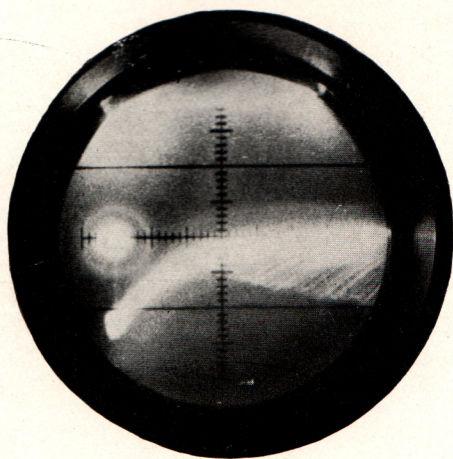




Fotografía 3

Impulsos de un contador de cátodo externo de 13,2 mm. de diámetro exterior, sometido a un foco intenso:  
 $\tau = 1,2 \cdot 10^{-4}$  seg.

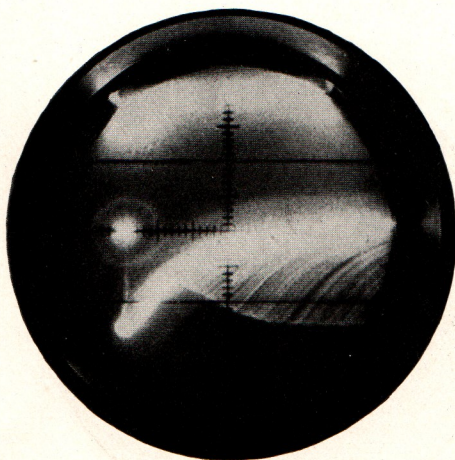
Escalas : horizontal, 1 división = 12,5  $\mu$ s.  
 Vertical, 1 división = 0,09 volt.



Fotografía 4

Impulsos de un contador de cátodo externo de 2,4 cm. de diámetro exterior sometido a un foco intenso:  
 $\tau = 1,6 \cdot 10^{-4}$  seg.

Escalas : Horizontal, 1 división = 12,5  $\mu$ s.  
 Vertical, 1 división = 0,09 volt.



Fotografía 5

Impulsos de un contador de cátodo interno de 13,2 mm. de diámetro exterior, sometido a un foco intenso :  $\tau = 1 \cdot 10^{-4}$ .

Escalas : Horizontal, 1 división = 12,5  $\mu$ s.  
 Vertical, 1 división = 0,28 volt.



el llenado con halógeno, debido a la presencia de la mínima cantidad de sustancia corrosible por éstos.

Para su estudio también se ha construido otro tipo de contador de cátodo

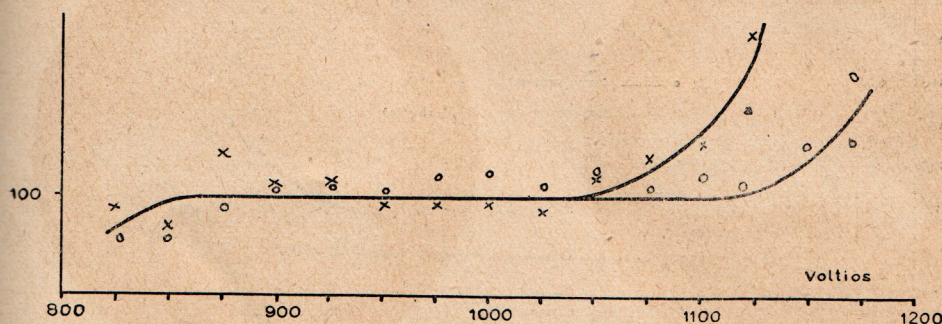


Figura 3

Curvas normalizadas de un contador de cátodo externo de 13,2 mm. de diámetro exterior.  
a) Intensidad: 300 cuentas por minuto.—b) Intensidad: 3.000 cuentas por minuto.

do externo, que difiere del anterior en la relación de longitud a diámetro ( $l=5$  cm. y  $d=2,4$  cm.). Las correspondientes  $R_2$  y  $C_2$  son aquí, respecti-

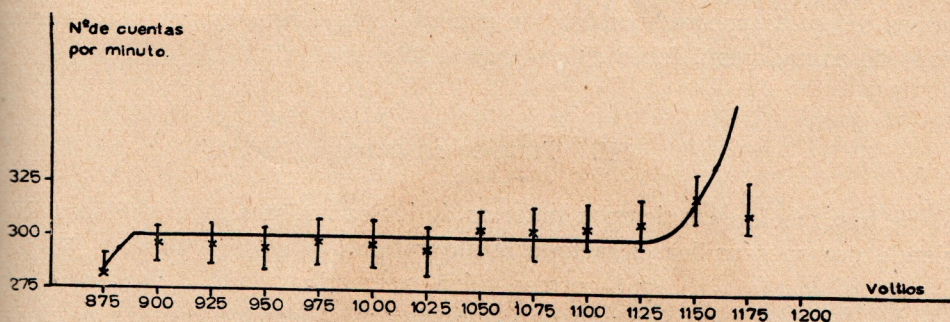


Figura 4

Zona plana de un contador de cátodo externo de 24 mm. de diámetro exterior.

vamente, de  $4 \cdot 10^8$  ohms y 1.000 pf. En la figura 4 se muestra la característica de uno de dichos tubos, llenado con una mezcla en la proporción ya mencionada y a la presión total de 8 cm. de Hg.

### III. VIDA DEL CONTADOR

Se ha determinado la vida de los distintos tipos de contadores construídos, sometiéndoles a la acción de un foco radiactivo durante varias horas y en días sucesivos; los resultados indican una vida  $\geq 10^7$  cuentas, a partir de las cuales la zona de funcionamiento resulta afectada, acusándose una fotosensitividad del tubo.



En la figura 5 se muestran las características normalizadas de un tubo contador correspondientes a diferentes estados de uso; las distintas exten-

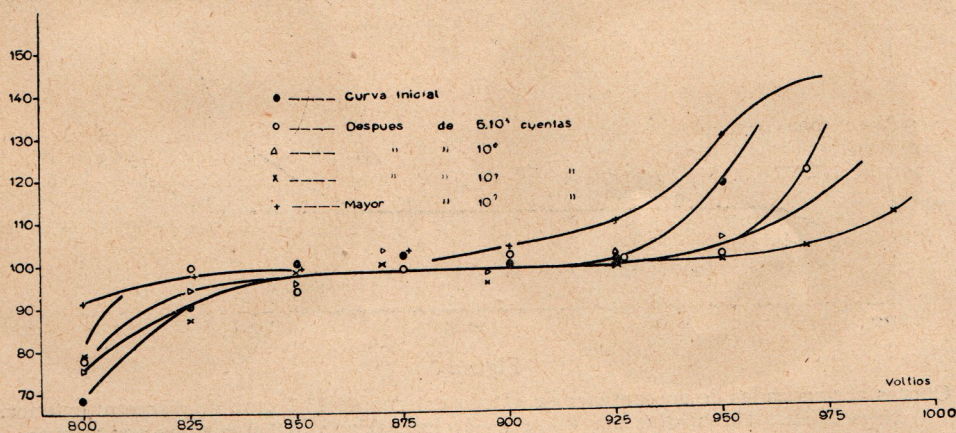


Figura 5

Curvas normalizadas de un contador de cátodo externo obtenidas en diversas etapas de su vida.

siones del *plateau* corresponden, de acuerdo con el funcionamiento de esta clase de contadores a focos más o menos intensos.

#### IV. TIEMPOS MUERTOS

Se han medido los tiempos muertos de los contadores mencionados, eligiendo por su sencillez el método oscilográfico.

Las fotografías 3, 4 y 5 corresponden, respectivamente, a dos contadores de cátodo externo y a uno de cátodo interno, llenados con las proporción de mezcla ya citada. Como puede verse, los valores de los tiempos muertos observados son del orden de  $1,2 \cdot 10^{-4}$  sec.,  $1,6 \cdot 10^{-4}$  sec. y  $1 \cdot 10^{-4}$  sec., respectivamente.

Laboratorios de la Junta de Energia Nuclear.