

CONTADOR 4π CON CIRCUITO DE ANTICOINCIDENCIA DOBLE

F. Alba A., T.A. Bródy, I. Castro V.

Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México

(Recibido: 30 julio 1959)

RESUMEN

A new type of connection of the two halves of a 4π gas-flow Geiger counter is presented, in which only pulses occurring in one half are counted, coincidences between the two halves being eliminated as due to cosmic-ray background. This way each half serves as coincidence-protection counter for the other, while contributing to the sample count. Backgrounds are down to about 25 ppm in a 4" lead shield, while counting efficiency remains practically equal to 100 %. Micromicrocurie activities can be counted, using only very little equipment.

I

En relación con los estudios de estroncio 90 en huesos humanos y ali-

mentos que se realizan en el Instituto, así como en otros problemas de muy bajo nivel de actividad, se tenía necesidad de un contador que pudiera medir actividades β del orden de $1 \mu\mu\text{C}$ sin el empleo de un equipo demasiado complejo o costoso.

Hay dos caminos para hacer posible un conteo de baja actividad en un tiempo razonable: aumentar la eficiencia de conteo y reducir el fondo debido a las radiaciones cósmicas o ambiental.

Sea f pulsos/min el fondo registrado en un contador de eficiencia $\eta < 1$; una muestra que emite m pulsos/min y se cuenta durante un tiempo t min dará un conteo total de $(f + m\eta)t$ pulsos, con una desviación normal $s_c = \sqrt{\frac{f + m\eta}{t}}$; similarmente, la desviación normal del conteo de fondo, hecho durante el mismo tiempo, será $s_f = \sqrt{\frac{f}{t}}$. Como $m\eta$ es menor que f para actividades suficientemente pequeñas, es razonable suponer que el fondo se contará durante un tiempo igual al que se necesita para la actividad que se determina. La desviación normal del conteo neto será dada entonces por

$$s_m = \sqrt{\frac{2f + m\eta}{t}} \quad (1)$$

y el error relativo del conteo neto por

$$\mathcal{E} = \frac{1}{m\eta} \sqrt{\frac{2f + m\eta}{t}} \quad (2)$$

El tiempo necesario para el conteo resulta, para un error relativo fijado de antemano,

$$t = \frac{2f + m\eta}{m^2 \eta^2 \mathcal{E}^2} \quad (3)$$

Esta relación se encuentra en forma gráfica en la Fig. 1, para una actividad de $1 \mu\mu\text{C}$ ($m = 2.2$ pulsos/min) y un error relativo de 5%.

Es evidente que se obtiene mayor ventaja de un aumento en la eficiencia

de conteo que de una reducción en el fondo, sobre todo cuando la eficiencia es baja. Se prefirió por lo tanto trabajar con la eficiencia máxima posible, $\eta = 1$, dada por un contador 4π , y estudiar las posibilidades de reducir el fondo.

II

Para reducir la importancia del fondo se utilizan corazas de metales pesados, las cuales absorben una fracción más o menos considerable de la radiación cósmica, y pantallas de contadores conectados en anticoincidencia, los cuales eliminan los pulsos observados que se deben al fondo. La combinación de ambos métodos permite la construcción de equipos con fondos muy bajos; pero la complejidad de tales equipos es considerable y el volumen del sistema de contadores de anticoincidencia aumenta mucho el peso de la coraza, el cual puede alcanzar varias toneladas. El costo del equipo y los problemas de manejo y mantenimiento aumentan correspondientemente.

En vista de la ventaja relativamente menor que ofrece una reducción en el fondo, comparada con un aumento en la eficiencia de conteo, es deseable un sistema de reducir el fondo que sea sencillo y poco voluminoso. Un tal sistema resultó de la idea de conectar las dos mitades de un contador 4π de flujo en lo que se ha llamado "anticoincidencia doble".

El sistema de anticoincidencia doble permite que todo pulso producido en una sola mitad del contador pase a ser registrado en el escalador, mientras los pulsos ocurriendo simultáneamente en ambas mitades son eliminados. Una partícula de la radiación cósmica tiene una energía media elevada o alternatively forma parte de un chubasco, de modo que es probable que dispare ambos hemisferios simultáneamente. Una partícula α o β emitida por la muestra tiene mucho mayor probabilidad de ser absorbida en un hemisferio, el cual producirá un pulso sin que por retrodispersión o formación de secundarias sea disparado el otro hemisferio. La anticoincidencia doble por lo tanto reduce mucho más el conteo de fondo que el de los pulsos debidos a la muestra bajo estudio.

Para los experimentos se empleó un contador 4π de flujo, marca RCL,

por el que se hizo circular gas Q (99.25 % He, 0.75 % CH(CH₃)₃) a razón de 5 burbujas/seg o más. Este contador está formado por dos contadores hemisféricos, con ánodos de alambre de tungsteno en forma de un anillo, separados por un diafragma de mylar metalizado. Las mesetas de los contadores hemisféricos que forman el sistema (Fig. 2) se extendían de 750 V a 925 V en un caso, de 775 V a 950 V en el caso; se pudo por lo tanto emplear una fuente común para ambos contadores, con un voltaje de 800 V en la mayoría de conteos efectuados, de 850 V en algunos.

Para efectuar la separación de los pulsos "dobles" (de coincidencia entre los dos hemisferios) varias conexiones son posibles. En la Fig. 3 se muestra un diagrama de bloques en el cual se emplea un analizador de alturas de pulsos para eliminar los pulsos dobles obtenidos al sumar las salidas de los dos hemisferios. Ya que la frecuencia de conteo es baja y la diferencia entre pulsos dobles y pulsos simples es grande (casi 100 %), este analizador de alturas de pulsos puede ser de construcción muy sencilla. La Fig. 4 muestra un esquema que utiliza dos escaladores; las salidas de los dos hemisferios se suman, y un escalador cuenta todos los pulsos, mientras el discriminador de entrada del segundo escalador está puesto en un nivel tal que sólo los pulsos dobles se aceptan. El número de pulsos simples se obtiene por diferencia.

Ambos métodos se han empleado con resultados satisfactorios. Para el primer método se construyó un analizador de pulsos (Fig. 5) en el cual se utilizan tiratrones como formadores de pulsos; esto resultó necesario debido a las variaciones en las alturas de los pulsos individuales en función del voltaje de alimentación de los contadores y de la velocidad, presión y pureza del gas en el volumen sensible. Además de estos factores hay variaciones en el tamaño de los pulsos que se deben a partículas primarias pasando a distancias diferentes del ánodo.

El segundo método, empleando dos escaladores, resultó más conveniente para el presente estudio, ya que permite la determinación simultánea tanto de los pulsos simples como de los dobles. Para compensar el tamaño relativamente reducido de los pulsos, se construyó un amplificador de dos canales con una

ganancia máxima en voltaje de 25 dB, a cuyo chasis se integró el mezclador que suma los pulsos (fig. 6).

Alimentación (volt)	Altura de pulsos simples (volt)	Altura de pulsos dobles (volt)
800	0.65 - 0.8	1.4 - 1.5
825	1.1 - 1.3	2.2 - 2.4
850	2.1 - 2.4	4.2 - 4.4

Las formas de los pulsos se indican en la fig. 7. Los pulsos simples son los de la fig. 7a, los pulsos dobles los de la fig. 7b; algunos pulsos dobles aparecerían como lo indica la fig. 7c, los pulsos de los dos hemisferios ocurriendo con un intervalo de tiempo que alcanzaba hasta 5 μ seg. Estos pulsos dobles con desplazamiento, los cuales ocurrían con una frecuencia del orden de 2 a 3 por minuto, no se pueden explicar como coincidencias; si un desplazamiento debe ser mayor de 2 μ seg para reconocerse en la pantalla osciloscópica, entonces una tasa de conteo de 15 pulsos/min en cada contador produciría aproximadamente $15^2 \times 8.33 \times 10^{-8} = 3.33 \times 10^{-6} = 1.1 \times 10^{-5}$ coincidencias espurias por minuto; además, no se observó ningún pulso doble con un desplazamiento mayor de 5 μ seg. La explicación del fenómeno se encuentra en el hecho de que la ionización primaria no se produce necesariamente a la misma distancia de los dos ánodos, aún cuando se debe a una misma partícula atravesando los dos contadores en un lapso de tiempo $\leq 10^{-7}$ seg; el pulso que se observa se produce solamente al llegar la cascada electrónica al ánodo, y si se supone una velocidad de avance del orden de 10^6 cm/seg para la nube de electrones, entonces el retraso máximo observado concuerda bien con el radio de los contadores hemisféricos, 3.3 cm (Staub 1953, Alder 1947).

III

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

a.- *Reducción del fondo:* Con la conexión convencional, el sistema de dos contadores hemisféricos tiene un conteo de fondo de 82.6 pulsos/min, sin ninguna coraza de protección (altura sobre el nivel del mar: 2 400 m). La anticoincidencia doble reduce el fondo a 39.3 pulsos/min.

Como este fondo es todavía bastante elevado, se ensayó el efecto de varias corazas, de las cuales la más eficaz resultó ser una de 10 cm de plomo con revestimiento interior de hojalata. (Véase fig. 8). En esta coraza, la conexión convencional del contador dió un fondo de 53.4 pulsos/min, la anticoincidencia doble uno de 23.0 pulsos/min.

Se probó el efecto de una coraza adicional de 2 cm de mercurio, pero sin que el resultado sea estadísticamente significativo. Los resultados de tres series de conteo se dan a continuación:

	Conteo total pulsos/min	Pulsos dobles pulsos/min	Pulsos simples pulsos/min
Coraza de Pb (i)	53.47 ± 0.16	30.34 ± 0.12	23.13 ± 0.11
Coraza de Pb (ii)	54.21 ± 0.27	31.18 ± 0.20	23.03 ± 0.18
Coraza de Pb + Hg	52.46 ± 0.48	29.04 ± 0.37	23.42 ± 0.32

La coraza adicional de mercurio parece reducir más bien el número de pulsos dobles, sin afectar el fondo de pulsos simples. Su uso por lo tanto se abandonó.

El uso combinado de la coraza de plomo y de la conexión en anticoincidencia doble reduce el fondo - y por lo tanto el tiempo necesario para los conteos - por un factor de 3.6; de esta reducción un factor de 2 o más se debe a la anticoincidencia doble: este resultado justifica la inversión relativamente pequeña de tiempo y esfuerzo que requiere la construcción del equipo adicional empleado.

b.- *Eficiencia de conteo:* Se efectuaron cinco conteos de una hora cada uno, de una muestra de 1.22 $\mu\mu\text{C}$ de ^{40}K . La actividad se encontraba en forma de KCl finamente molido y sellado en una bolsa de polietileno de un espesor de un

1.35 mg/cm².

Los resultados fueron los siguientes:

Número del conteo	Conteo total pulsos/min	Pulsos dobles pulsos/min	Pulsos simples pulsos/min
1	56.50	30.91	25.59
2	56.61	31.72	24.89
3	56.90	31.12	25.78
4	57.83	31.57	26.26
5	56.10	30.78	25.32
Promedios	56.79 ± 0.46	31.25 ± 0.57	25.57 ± 0.34
σ	0.44 ± 0.10	0.32 ± 0.10	0.29 ± 0.09

Estos conteos se intercalaron entre los conteos de la serie (ii) de fondos para la cual se dan los datos arriba. Se notará que el aumento en el número de pulsos dobles no es estadísticamente significativo; la diferencia en los pulsos sencillos resulta ser de 2.54 ± 0.38 pulsos/min, o sea idéntica, dentro de los límites de error, al valor teórico de 2.71 pulsos/min. Esta serie de conteos demuestra, pues, que es posible determinar actividades del orden del micromicrocurie mediante la anticoincidencia doble en un tiempo relativamente corto.

Los límites de error indicados con los promedios en la tabla son las desviaciones normales calculadas a partir de las cinco determinaciones individuales; el valor de σ se calculó a partir de la raíz cuadrada de los promedios, considerando las distribuciones como de Poisson; los límites de error de σ se obtuvieron como $\sqrt{\frac{\sigma}{2N}}$, suponiendo que σ es distribuida normalmente, aproximación que es adecuada para los fines presentes. La comparación muestra que es justificado considerar que el número de pulsos simples es una variable estocástica independiente; este punto se verificó más detalladamente, como descrito más abajo.

Los datos obtenidos con la muestra de 1.22 $\mu\mu$ C eran insuficientes para determinar con alguna precisión la eficiencia de conteo del sistema. Se hicieron

una serie de medidas con dos fuentes de ^{40}K , una de $282.4 \pm 1.0 \mu\mu\text{C}$ y otra de $617.1 \pm 4.1 \mu\mu\text{C}$, y con una fuente de ^{14}C de $420 \pm 17 \mu\mu\text{C}$. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Muestra	$282.4 \mu\mu\text{C } ^{40}\text{K}$	$617.1 \mu\mu\text{C } ^{40}\text{K}$	$420 \mu\mu\text{C } ^{14}\text{C}$
Pulsos/min registrados	614.45 ± 1.12	1344.89 ± 4.73	732.2 ± 6.6
Eficiencia del conteo (%)	98.01 ± 0.54	98.2 ± 1.0	78.6 ± 3.9

Las dos muestras de ^{40}K estaban selladas en bolsas de polietileno de 1.5 mg/cm^2 de espesor, y una pequeña corrección por la absorción en este plástico está incluida en los valores citados de la eficiencia. La muestra de ^{14}C se encontró depositada sobre una hoja de plástico de un espesor aproximado de 3 mg/cm^2 ; si se considera que la mitad de las partículas β emitidas tienen que atravesar esta base, un cálculo burdo basado en las curvas de alcance máximo de electrones (John 1957) muestra que la eficiencia teóricamente esperada debe ser del orden de 65%. El resultado obtenido para la eficiencia con la radiación muy blanda (155 keV) del ^{14}C parece satisfactorio.

c.- *Distribución estadística del número de pulsos simples:* La tercera serie de medidas del fondo que se describe más arriba, efectuada en la coraza de plomo con la protección interior de mercurio, se compuso de 230 conteos individuales, cada uno de 1 min de duración. La distribución experimental así obtenida tenía un promedio de 23.42 pulsos/min y una varianza de $25.11 (\text{pulsos/min})^2$. Se le adaptó una distribución de Poisson con $m = 23.42$; el cálculo de χ^2 arrojó un valor de 22.97 para 24 grados de libertad, correspondiendo a una probabilidad de ser excedido de 52%. La prueba de bondad de adaptación indica, pues, un resultado satisfactorio; la diferencia entre la varianza y el promedio es un 72% de su desviación normal.

Este resultado es de importancia, ya que permite utilizar el cálculo habitual de los errores estadísticos de conteo para el número de pulsos simples; no es necesario considerar este número como la diferencia de dos variables estocásticas, lo cual aumentaría mucho su desviación normal.

REFERENCIAS

- Staub, H.H. 1953 *Detection Methods, Section 2D, in Segrè, Experimental Nuclear Physics, vol. I, Wiley.*
- Alder F., et al 1947 *Helv. Phys. Acta, 20, 73.*
- John, W. 1957 *American Institute of Physics Handbook, New York, Section 8, pp. 38-40.*

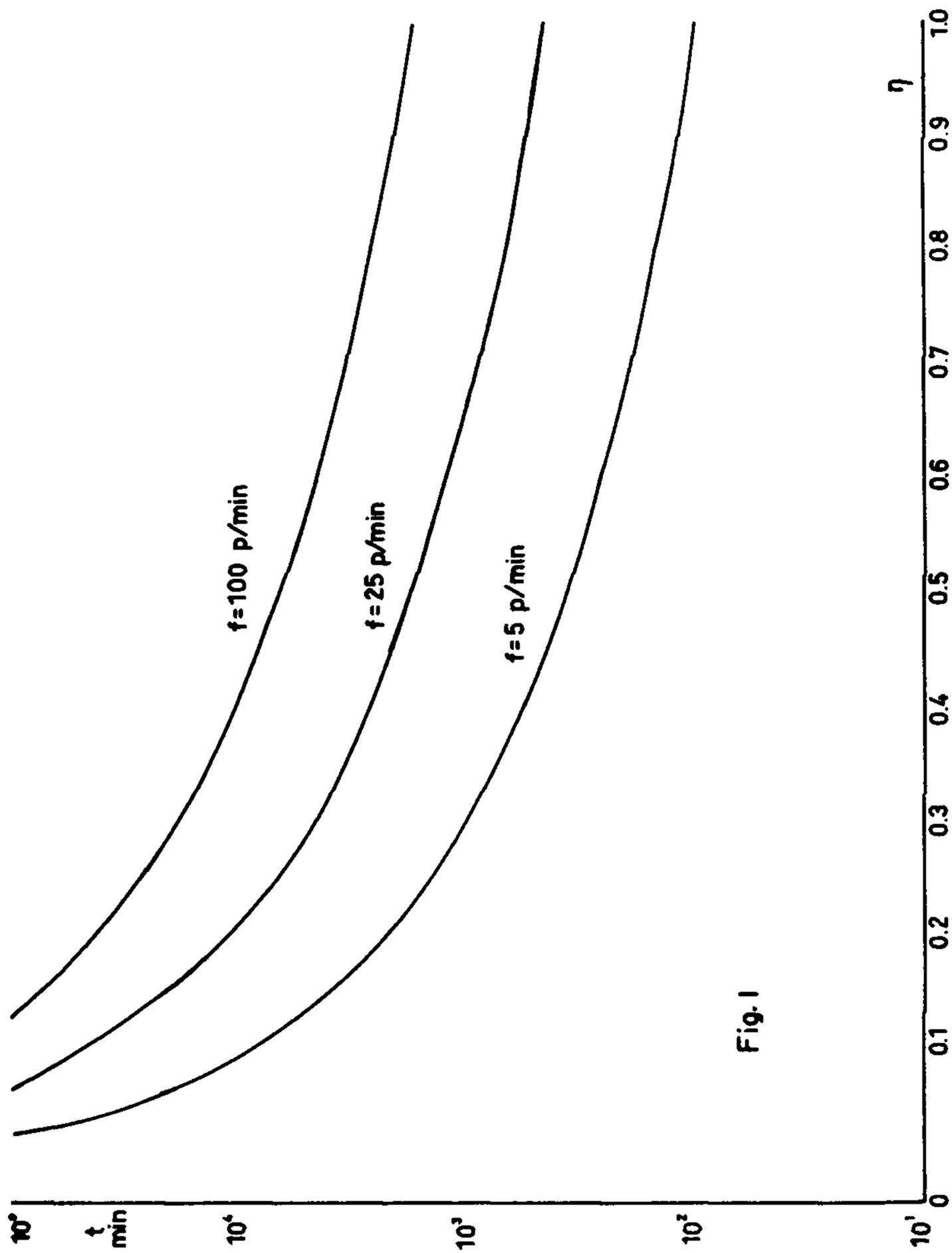


Fig. 1

Fig. 1

Tiempo de conteo necesario para determinar $1 \mu\mu\text{C}$ con un error de 20%, en función de la eficiencia (η) y del fondo (f).

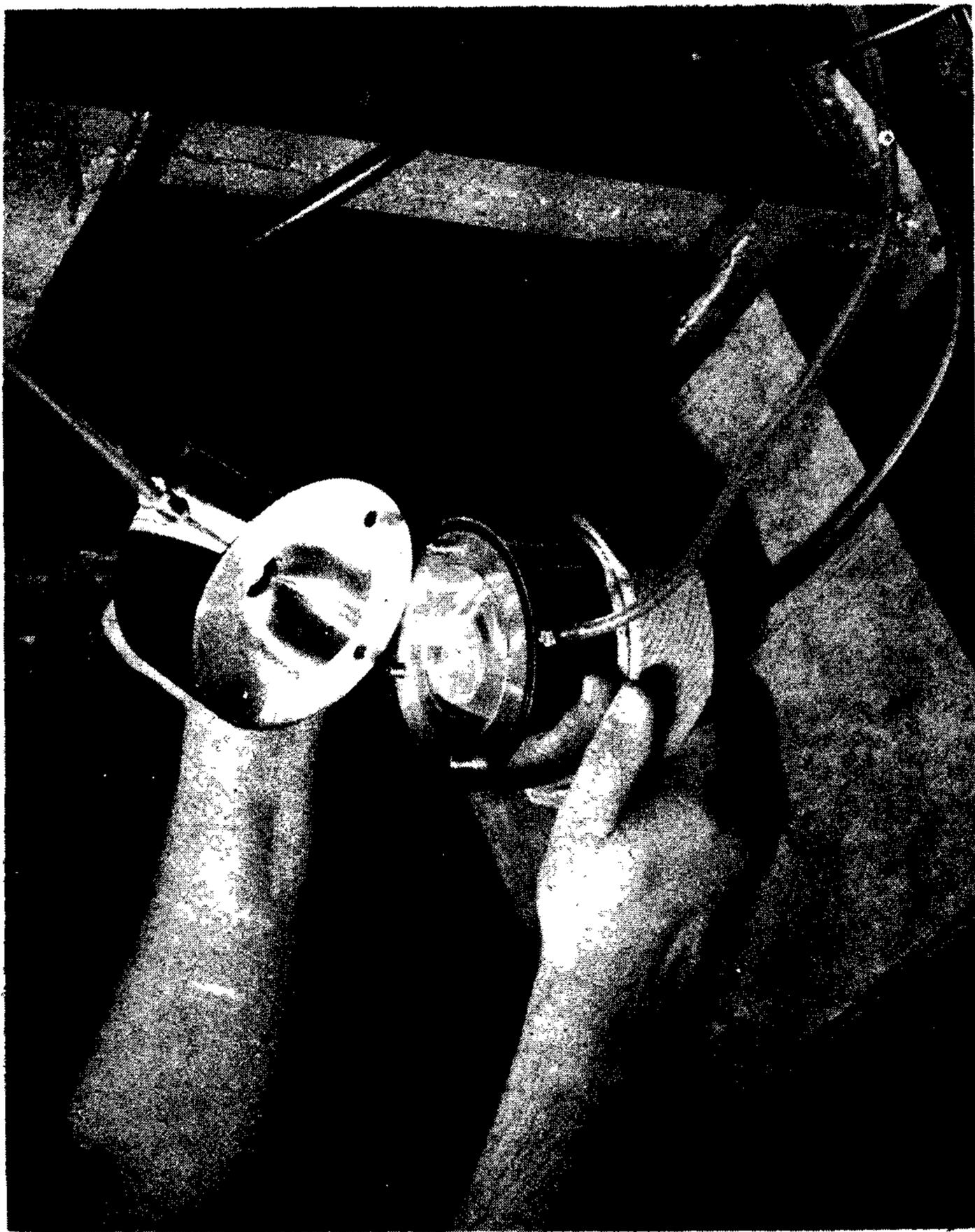


Fig. 2

Contador 4π. La muestra activa se encuentra colocada sobre el diafragma de mylar metalizado.

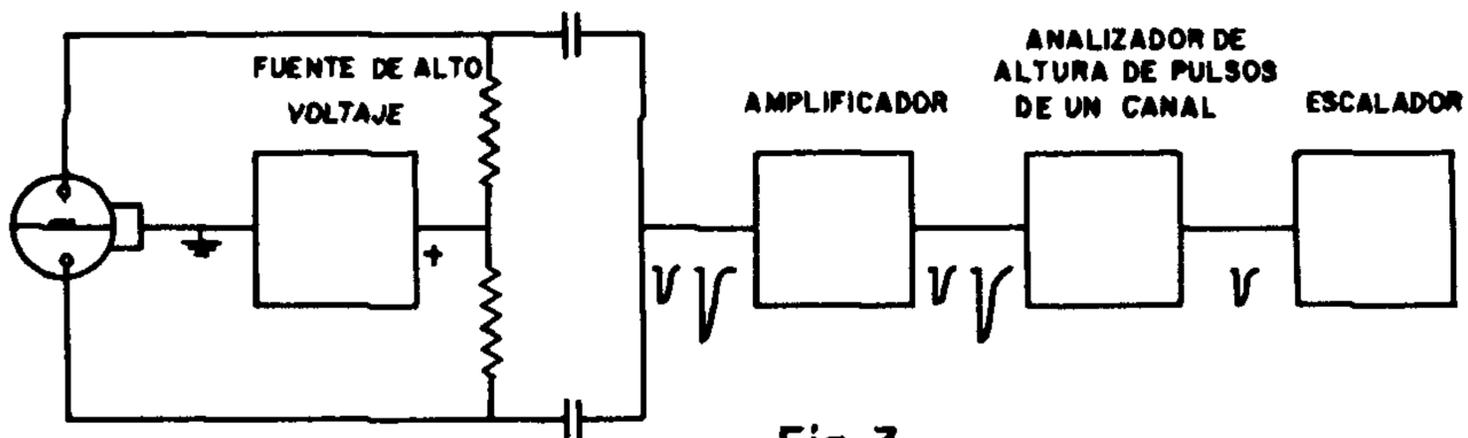


Fig. 3

Diagrama de bloques de anticoincidencia doble, empleando un analizador de alturas de pulsos.

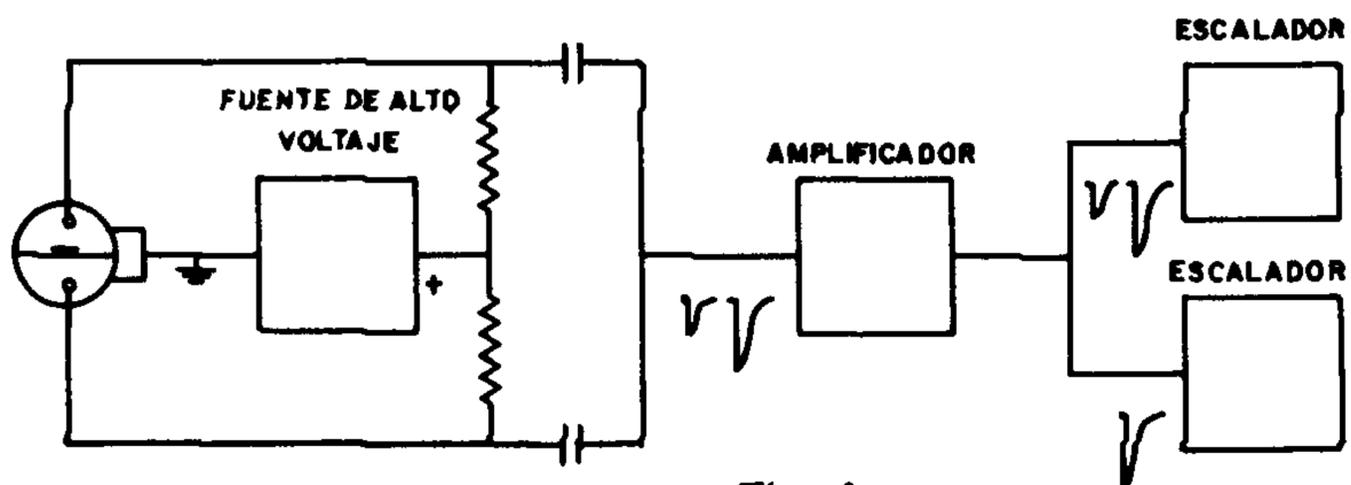


Fig. 4

Diagrama de bloques de anticoincidencia doble, empleando dos escaladores.

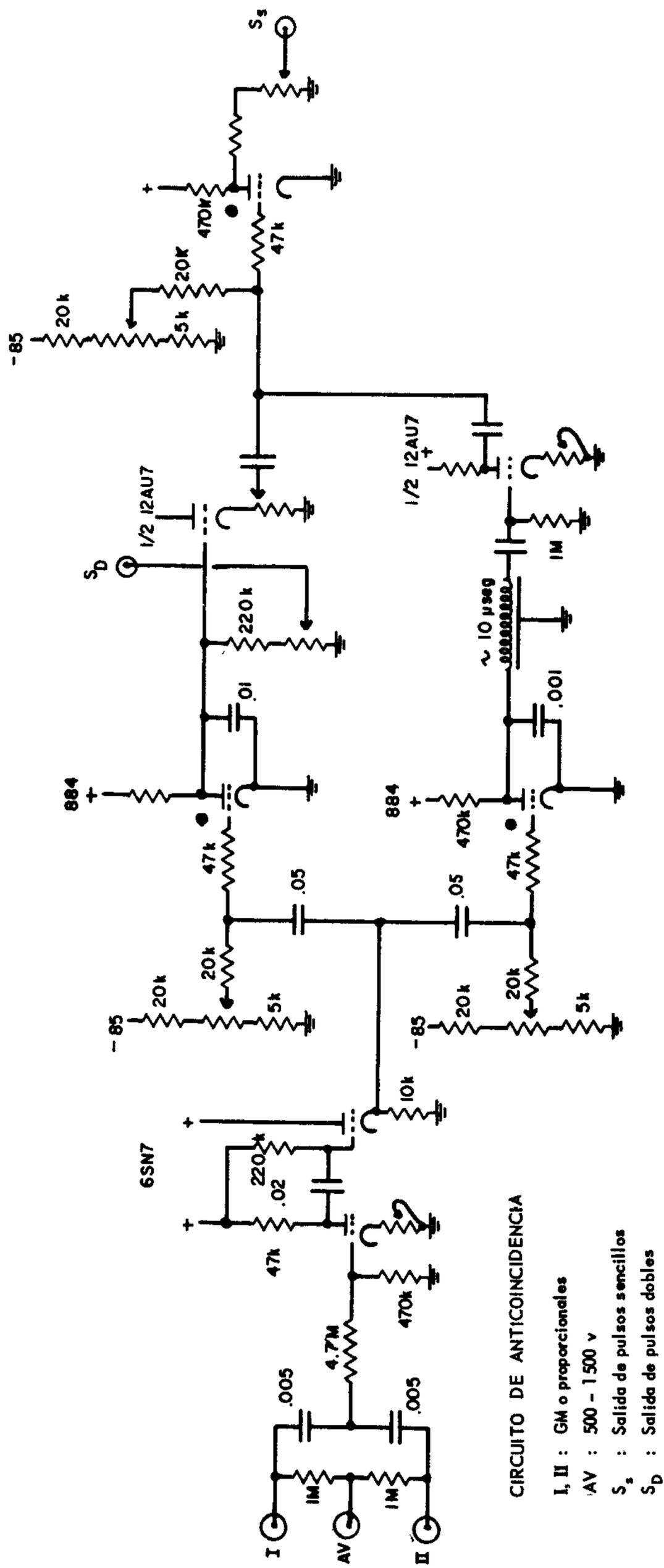


Fig. 5
 Analizador de alturas de pulsos.

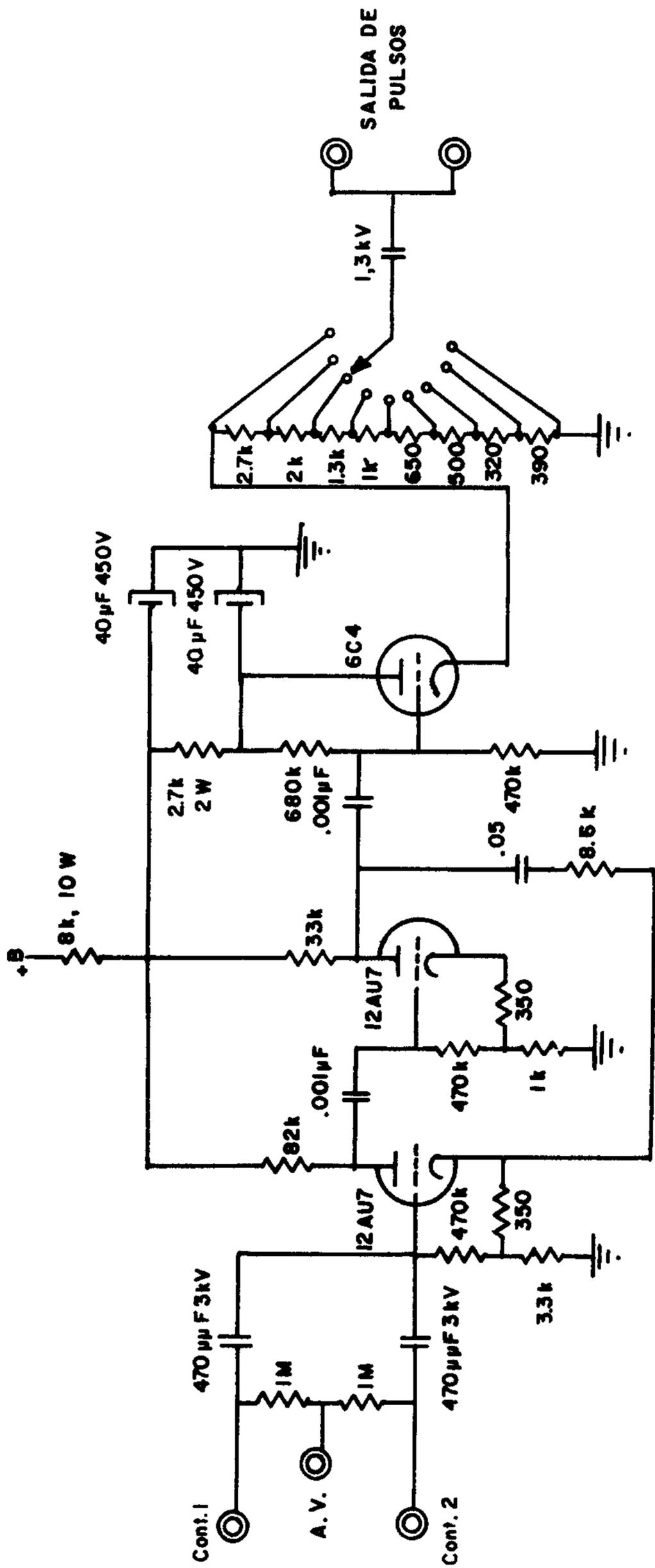


Fig. 5
Preamplificador y mezclador.

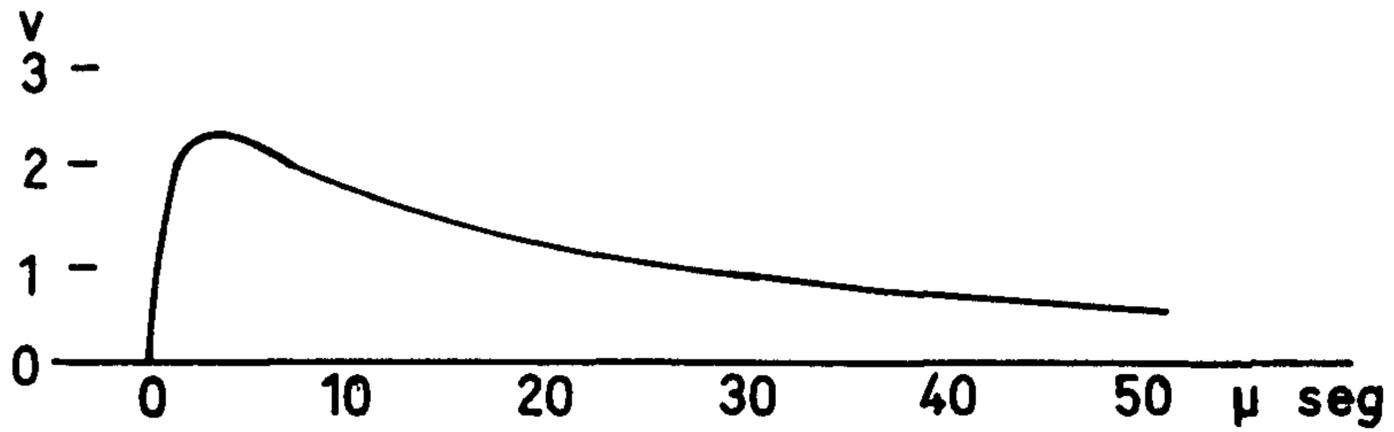


Fig. 7a

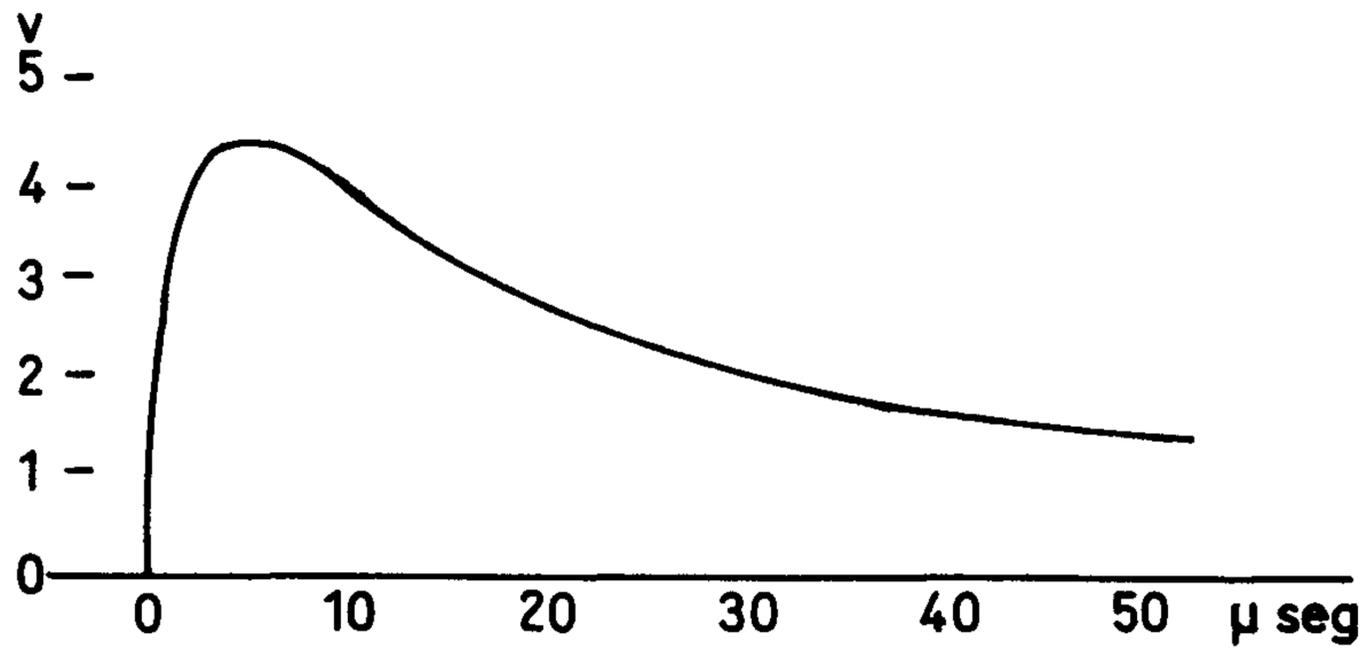


Fig. 7b

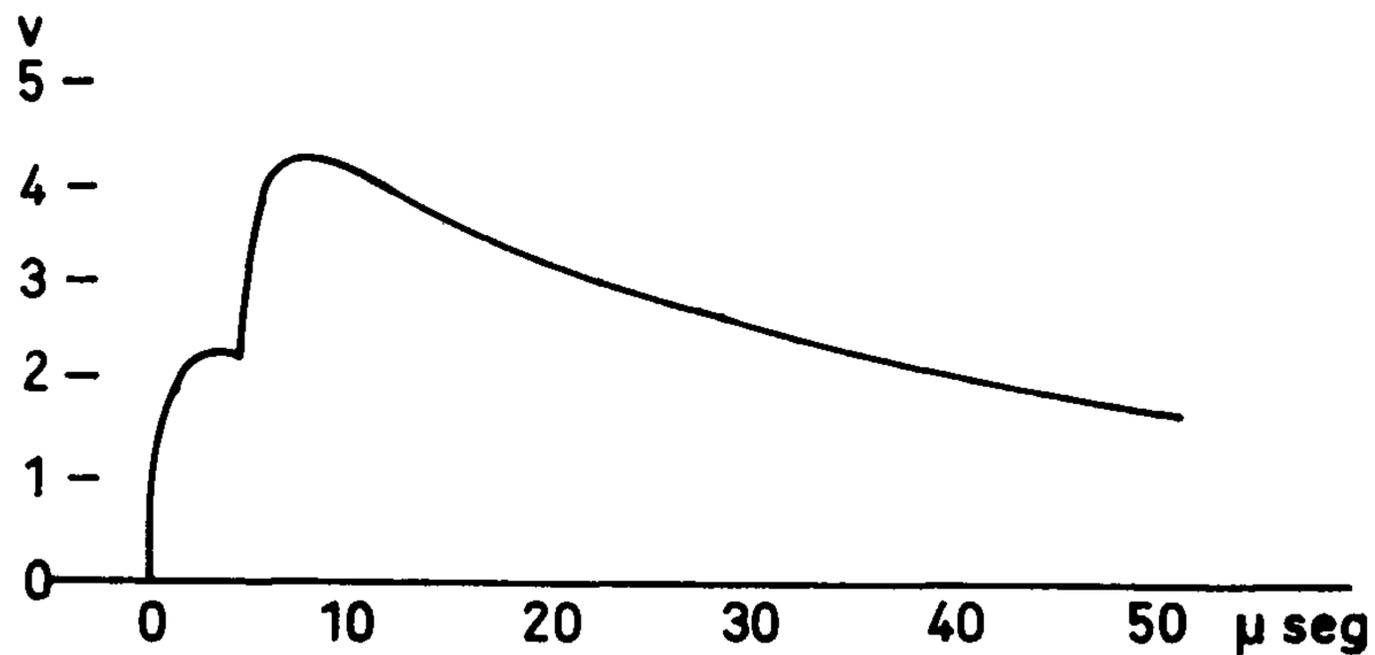


Fig. 7c

Fig. 7

Formas de los pulsos, con $1\text{ M}\Omega$ y $0.005\ \mu\text{F}$ en el circuito de salida. (a) Pulso simple. (b) Pulso doble. (c) Pulso doble con desplazamiento.

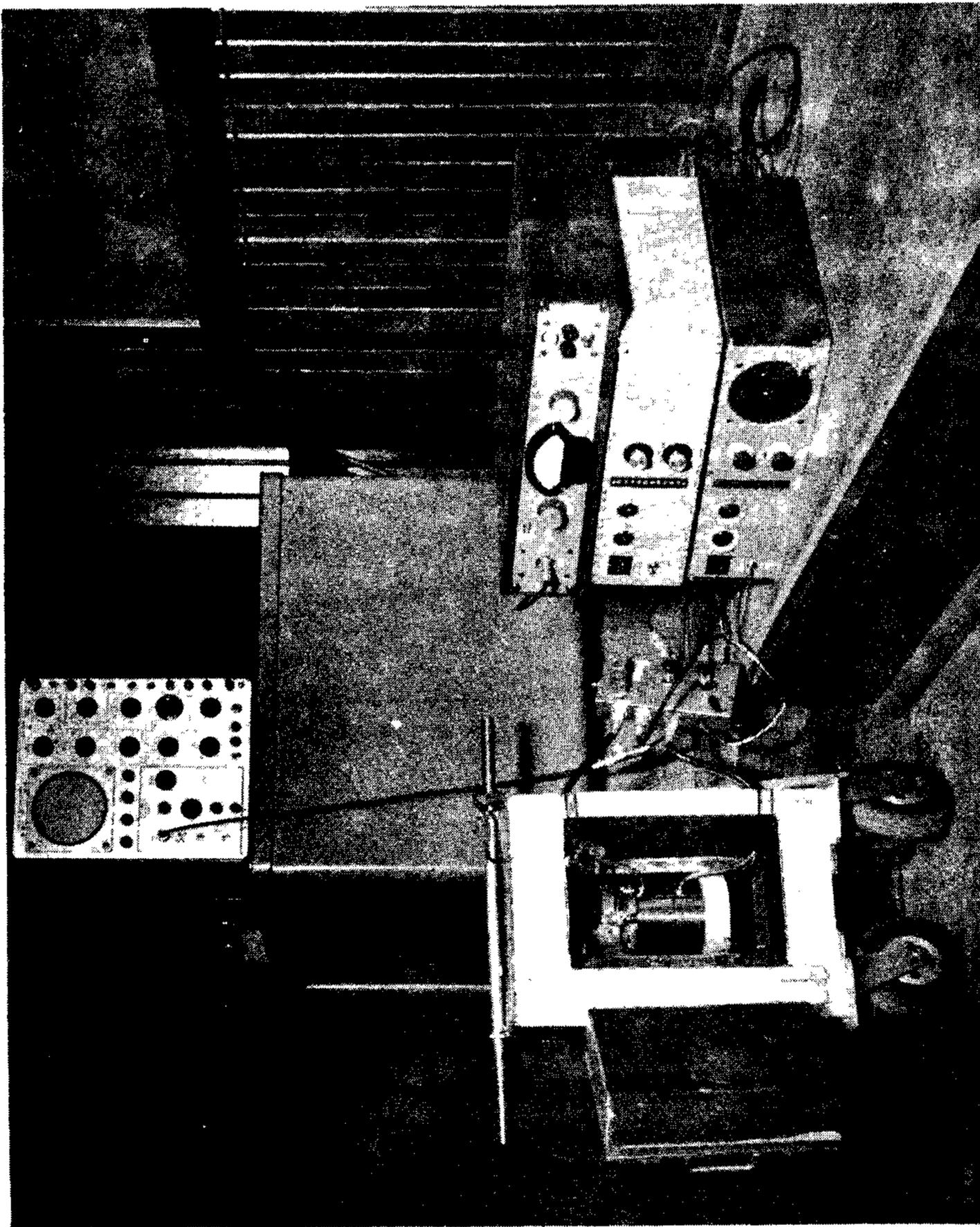


Fig. 8
La coraza de plomo, conteniendo la de mercurio, y los escáfordos.