

REPUBLICA ARGENTINA

PUBLICACIONES

DE LA

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

SERIE FISICA

VOL. 1 Nº 13

ESPECTROMETRO DE CENTELLEO DE UN CANAL

POR

KURT FRANZ Y SANTIAGO F. PINASCO

BUENOS AIRES

1957

REPUBLICA ARGENTINA

PUBLICACIONES
DE LA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

SERIE FISICA
VOL. 1 Nº 13

ESPECTROMETRO DE CENTELLEO DE UN CANAL

POR
KURT FRANZ Y SANTIAGO F. PINASCO

BUENOS AIRES
1957

1966

ESPECTRÓMETRO DE CENTELLEO DE UN CANAL *

Por KURT FRANZ y SANTIAGO F. PINASCO

SUMMARY

A fast, compact one channel scintillation spectrometer has been developed, destined mainly for studies of isotopes with short or medium half-lives. Performance data, circuits and methods for checking are presented in detail.

INTRODUCCIÓN

El espectrómetro ha sido diseñado para uso preferencial en espectrometría de rayos γ con cristales de yoduro de sodio; además ha sido aplicado a la espectrometría de rayos β con cristales orgánicos, a la espectrometría γ en coincidencia con tiempos de resolución de aproximadamente 0,1 microsegundos y al análisis de mezclas de isótopos con vidas medias de segundos hasta algunos días.

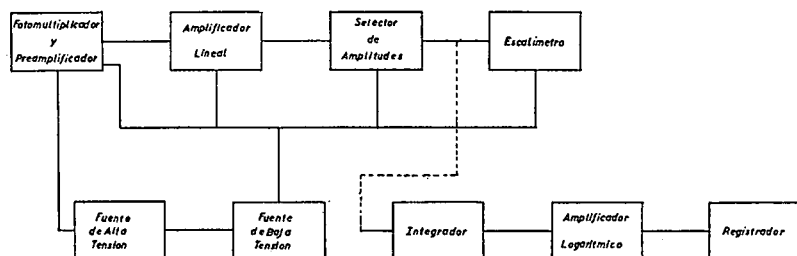


Fig. 1. Esquema general.

Según lo indicado en la Fig. 1 el equipo consiste de un preamplificador, de un amplificador lineal, de un selector de amplitudes, de un escalímetro, de una fuente de alta tensión y de una sola fuente de baja tensión que alimenta todos aquellos equipos parciales. Para registros de curvas de desintegración en escala logarítmica el espectrómetro ha sido completado con un integrador lineal (count-rate-meter), un amplificador logarítmico y un registrador a tinta.

* Trabajo presentado para su publicación el 20-9-56.

ALGUNOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL EQUIPO DESARROLLADO

En los gráficos de las Fig. 2a y 2b están reproducidos dos espectros típicos, los del Na^{22} y del Cs^{137} , que hemos utilizado frecuentemente para comprobar el comportamiento de los equipos. En el gráfico de

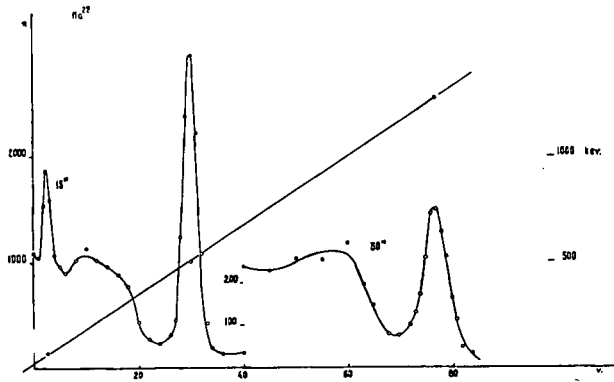


Fig. 2a. Espectro del Na^{22} .

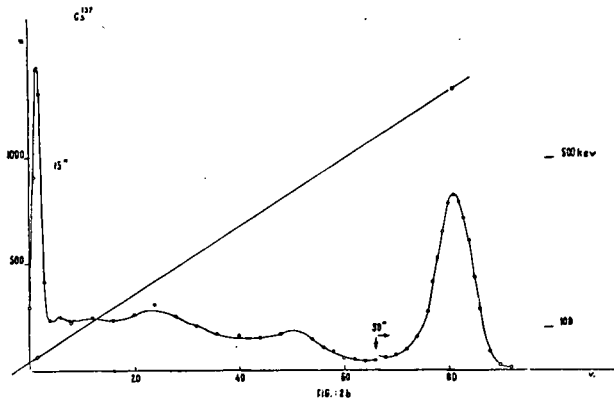


Fig. 2b. Espectro del Cs^{137} .

la Fig. 3 está representado el ancho relativo de las líneas espectrales en función de la energía (entre 30 keV y 1800 keV); en estas mediciones se ha usado un cristal de yoduro de sodio (marca Harshaw $1'' \times 1''$)

y un fotomultiplicador Dumont 6292. El gráfico de la Fig. 4 demuestra que la relación entre la energía de los rayos γ y las amplitudes de los impulsos indicados por el selector de amplitudes es lineal hasta la

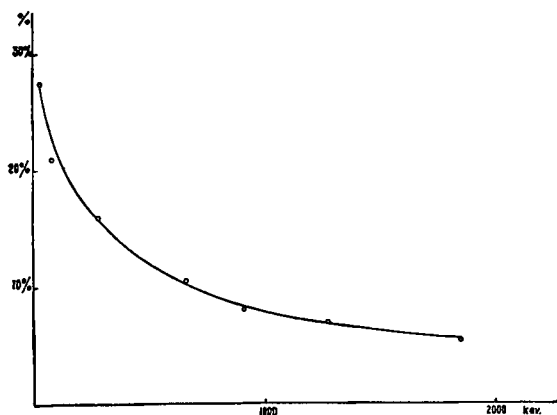


Fig. 3. Ancho relativo de las líneas espectrales.

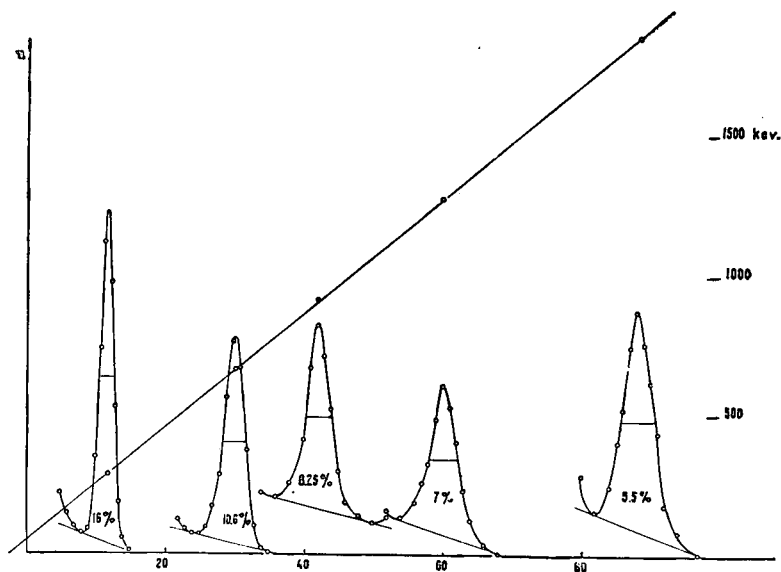


Fig. 4. Verificación de la linealidad.

tensión máxima de salida del fotomultiplicador con la cual se ha trabajado en esta serie de mediciones; dicha tensión máxima era igual a 0,7 voltios negativos. La constancia de los valores indicados por el espectrómetro puede apreciarse en el registro reproducido en el grá-

fico de la Fig. 5; este registro ha sido obtenido seleccionando amplitudes en un intervalo de 1 voltio alrededor de la amplitud media de los impulsos de 48 voltios correspondiente a la cresta de una línea

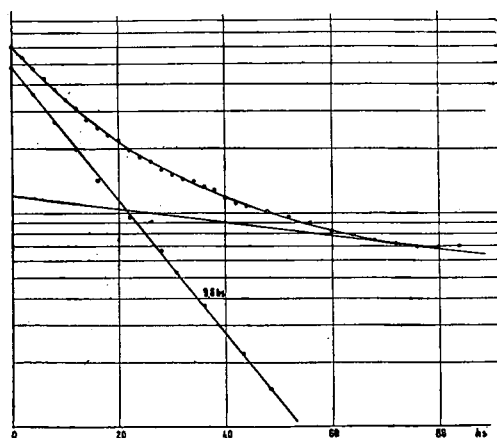


Fig. 5. Registro de la constancia con vida media 9 hs.

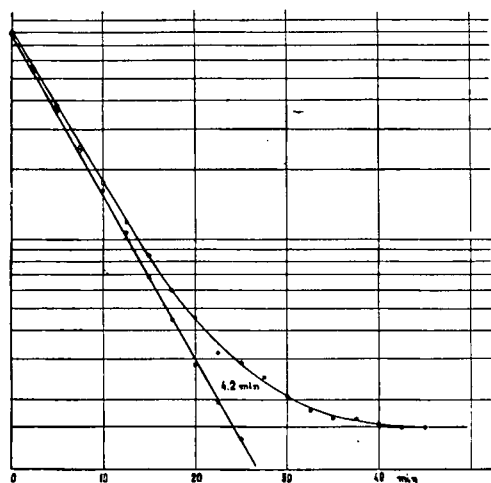


Fig. 6. Registro de la constancia con vida media de minutos.

espectral de 325 kev de un isótopo de vida media de aproximadamente 9 horas. Durante las 84 horas del registro el equipo no ha sido atendido. Otro registro en la cresta de una línea espectral de un isótopo de vida media de 4,2 minutos está reproducido en el gráfico de la figura 6.

La resolución en tiempo del espectrómetro es del orden del microsegundo; como la definición de la resolución de un equipo complejo no es evidente y como su valor depende hasta cierto grado de las

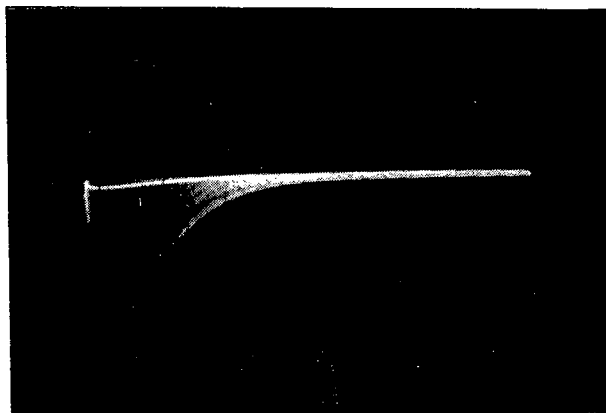


Fig. 7a. Impulsos a la salida del preamplificador.

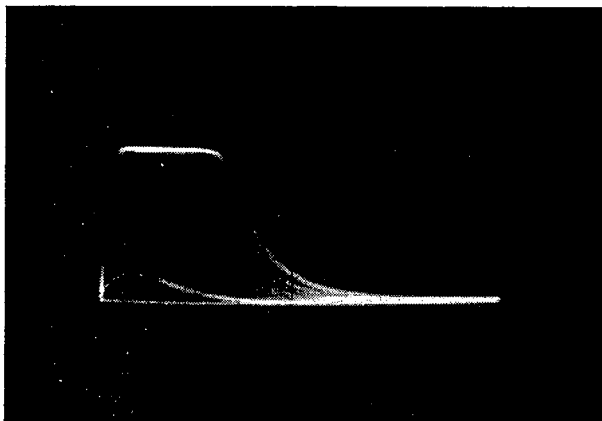


Fig. 7b. Impulsos a la salida del amplificador.

condiciones de trabajo, presentamos datos detallados más adelante; en las fotos de las Fig. 7a y 7b puede apreciarse la forma y la duración de los impulsos negativos en la salida del preamplificador y de los impulsos positivos en la salida del amplificador lineal. La sustancia observada es el Cs^{137} . El tiempo de formación (rise-time) del impulso

de la foto de la Fig. 7a está dado por el cristal NaI (Tl) y es del orden de 0,2 microsegundos (determinación hecha con osciloscopio Tektronix 517). La constante de tiempo del circuito RC a la salida del fotomultiplicador es igualmente breve con respecto al microsegundo; el resistor en paralelo a la capacitancia parásita es de 25 kohms. La frecuencia media de todos los impulsos es mayor de 300.000 impulsos/min. En la fotografía de la Fig. 7b pueden verse los correspondientes impulsos en la salida del amplificador lineal, una parte de ellos fuertemente saturados y otros en el rango lineal de la amplificación. La línea de 31 kev del Cs^{137} aparece bien separada del fondo como de los

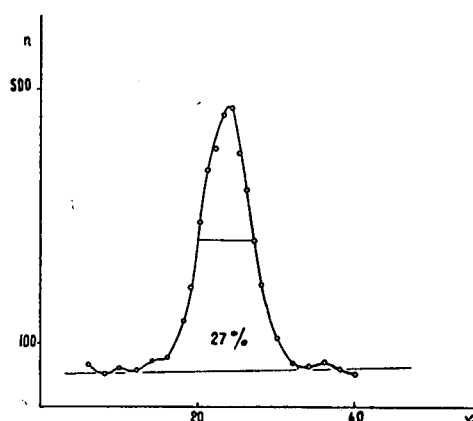


Fig. 8. Espectro del Cs. en las bajas energías.

impulsos fuertes. Una evaluación de la misma con el selector de impulsos está reproducida en el gráfico de la Fig. 8. La fotografía de la Fig. 7b demuestra además que los impulsos fuertes en la salida del amplificador lineal no tienen una cola de larga duración, la que afectaría el nivel de impulsos débiles en la presencia de gran número de impulsos fuertes.

La resolución del amplificador lineal y del selector en conjunto ha sido estudiada inyectando impulsos breves, provenientes de un generador de impulsos dobles (marca Berkeley). Como puede apreciarse en la fotografía de la Fig. 9a, el primero de los impulsos satura fuertemente la salida del amplificador lineal; la amplitud fija del segundo impulso que no satura y que puede ser desplazado en tiempo con respecto al primero, ha sido evaluada en función del desplazamiento con el selector de amplitudes. Los resultados de estas mediciones están

reproducidos en los gráficos de las Fig. 9b y 9c, los que corresponden al uso del selector con y sin un "circuito de memoria", cuya función se expone más adelante. El tiempo indicado en la abscisa es el del intervalo entre el comienzo del descenso del primer impulso y la ter-

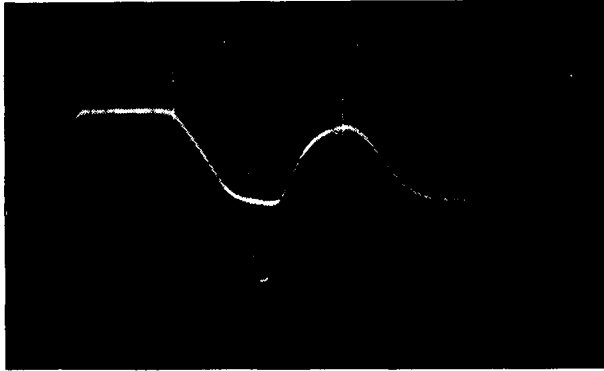


Fig. 9a. Fotografía de dos impulsos en que el 1º satura fuertemente.

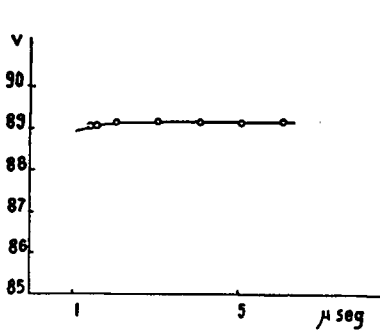


Fig. 9b. Gráfico de la resolución con circuito de memoria.

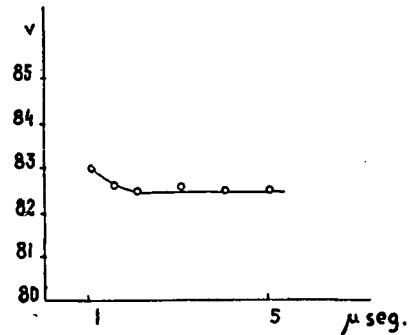


Fig. 9c. Gráfico de la resolución sin circuito de memoria.

minación del ascenso del segundo impulso. Hasta distancias de 1,35 y 1 microsegundo respectivamente entre los dos impulsos la interacción entre ellos afecta poco la amplitud indicada por el selector. El tiempo de descenso de un impulso fuertemente saturado de 100 voltios en la salida del amplificador lineal hasta su desbloqueo es igual a 0,5 microsegundos; este valor resulta en el caso de impulsos de entrada cuyo descenso es breve con respecto al de los impulsos de salida. El escalímetro tiene una resolución de 15 microsegundos aproximadamente. Llegando hasta aquel equipo solamente los impulsos seleccio-

nados por el selector, su número es mucho menor que aquel con el cual trabajan el amplificador lineal y el selector; sería pues inútil dar al escalímetro una resolución comparable con la de los equipos precedentes.

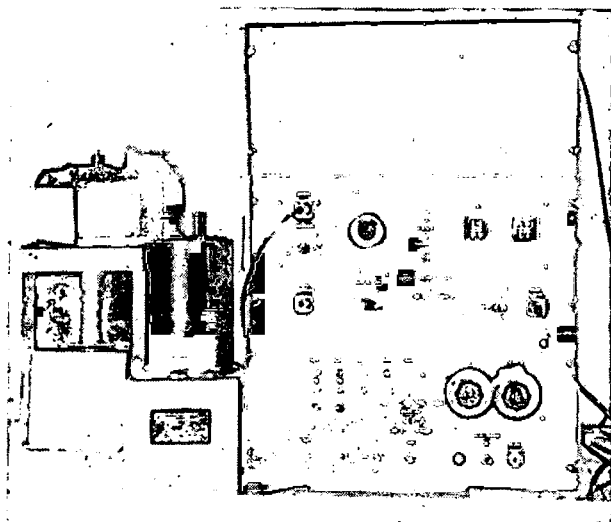


Fig. 10. Fotografía exterior del espectrómetro.

En la fotografía de la Fig. 10 puede observarse la distribución de los circuitos parciales en las bandejas del rack. La bandeja baja contiene las dos fuentes, la media contiene el amplificador lineal, el selector y el escalímetro. Como tercera bandeja se colocará un monitor en desarrollo con tubo de rayos catódicos.

OBSERVACIONES ACERCA DE LOS CIRCUITOS UTILIZADOS

PREAMPLIFICADOR:

En el esquema de la Fig. 11 está reproducido el circuito del preamplificador con fotomultiplicador y seguidor catódico.

Conviene aprovechar al máximo la amplificación del fotomultiplicador en su rango lineal, para lograr economía en el diseño del amplificador lineal. La tensión máxima que puede suministrar el fototubo en su rango lineal, depende de la corriente máxima, que puede

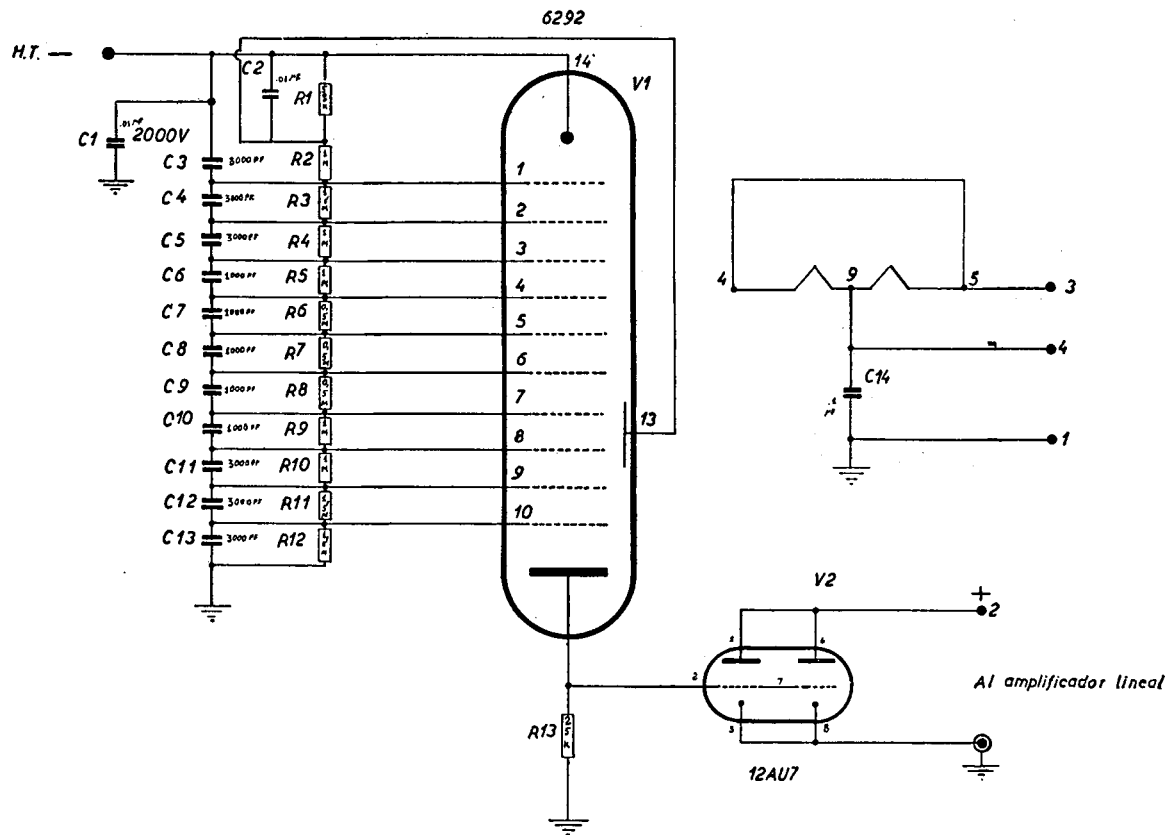


Fig. 11. Esquema del circuito preamplificador.

circular en él sin efecto apreciable de carga espacial. Por lo tanto conviene alimentar las últimas etapas del fotomultiplicador con tensiones mayores que las etapas intermedias, en las cuales circulan corrientes más pequeñas. La tensión generada por la corriente del colector es inversamente proporcional a la capacitancia parásita que debe cargar dicha corriente. Alimentando el fototubo con su colector en potencial de tierra, podemos usar acoplamiento directo al seguidor catódico del preamplificador, procedimiento que junto con un armado adecuado permite reducir al mínimo posible la capacitancia parásita. Es sabido que la dispersión de las amplitudes de los impulsos en la salida del fototubo, causada por el mismo, se reduce algo, cuando se aplican tensiones mayores a los primeros dinodos, resulta así una resolución de energía algo mejor. Por no existir constantes de tiempos medianas o largas en el circuito, no resultan colas de larga duración en los impulsos ni inversiones de signo, efectos que molestarían mucho en la evaluación de impulsos débiles en la presencia de otros fuertes.

AMPLIFICADOR LINEAL:

En el esquema de la Fig. 12 está reproducido el circuito del amplificador lineal, que comprende dos lazos de realimentación, el primero con válvulas V_1 , V_2 , V_3 y el segundo con válvulas V_4 , V_5 . La amplificación de 1000 permite amplificar impulsos de entrada de $-0,1$ voltio hasta el nivel de $+100$ voltios en el cual la salida ha sido limitada por la válvula V_6 . Los lazos de realimentación tienen las amplificaciones respectivas de 100 y de 10. El atenuador de entrada permite reducir la amplificación en pasos de $1:2$ hasta $10^3/128$.

Para que los impulsos en la salida del primer lazo realimentado, en el cátodo de V_3 , sean monótonos (ausencia de "overshoot"), debemos satisfacer la siguiente relación: (1)

$$\frac{T_1}{T_2} \geq 4 \beta A_0$$

en la cual T_1 y T_2 significan las constantes de tiempo en las placas de V_1 y V_2 , debidas a las capacitancias parásitas, $\beta = 1/100$ el factor de realimentación y A_0 la amplificación en ausencia de realimentación. Las dos constantes de tiempo deben pues ser muy desparejas. Solamente aquellas válvulas a cuyas rejillas se aplican impulsos negativos, están acopladas a las etapas precedentes a través de capacitores series,

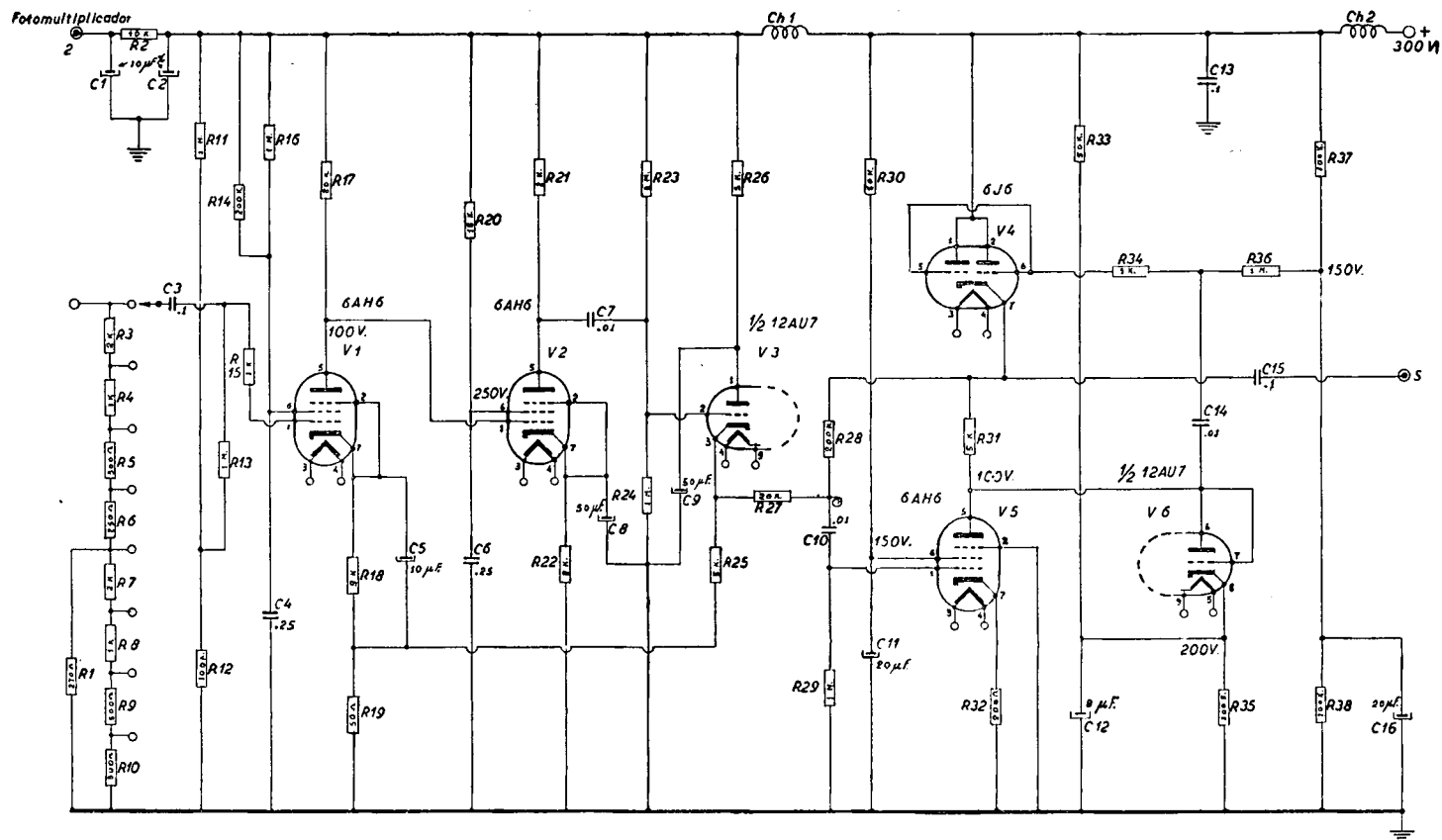


Fig. 12. Esquema del amplificador lineal.

mientras que las otras están acopladas galvánicamente. En esta forma se elimina toda posibilidad de que algún capacitor grande se cargue rápidamente con corriente de reja y se descargue lentamente a través de un resistor grande. Hemos, pues, logrado que independiente de la amplitud del impulso de entrada y aún cuando el amplificador resulte fuertemente saturado, el amplificador nunca se bloquee durante intervalos largos, sino que siempre se desbloquee rápidamente según las breves constantes de tiempo correspondientes a la carga o descarga de las muy pequeñas capacitancias parásitas.

SELECTOR DE AMPLITUDES:

En el esquema de la Fig. 13 está reproducido el circuito del amplificador ventana (2), cuya función es amplificar solamente aquella parte de un impulso suministrado por el amplificador lineal, que sobrepase un nivel entre 0 y 100 voltios, fijado por medio del potenciómetro Helipot P_1 de diez vueltas. Esta es la tensión que figura como abscisa de los gráficos de las Figs. 2 y 4, la que se calibra en energía del fotón incidente. La llave S_{1a} de cinco posiciones permite elegir distintas amplificaciones del amplificador ventana: 5 y 2 veces, modificándose con ella el factor de realimentación del amplificador. La tensión máxima de salida está limitada por el diodo Rec 1 en 30 voltios. En ausencia de impulsos de entrada suficientemente grandes la válvula V_1 está bloqueada y toda la corriente de placa del pentodo a corriente constante V_4 circula en el pentodo V_2 . Al llegar un impulso a la reja del pentodo V_1 que desbloquea esta válvula, el amplificador ventana empieza a funcionar como amplificador lineal fuertemente realimentado. En la fotografía de la Fig. 14 puede verse dos impulsos en la salida del amplificador ventana, el primero limitado por el diodo en el nivel de 30 voltios mientras que el segundo cabe en el rango lineal del amplificador. Estos dos impulsos representan las partes superiores de los impulsos provenientes del amplificador lineal, las que se observan fuertemente amplificadas. El tiempo durante el cual la parte superior de un impulso no saturado de la salida del amplificador lineal desbloquea el amplificador ventana, puede ser muy breve comparado con la duración total del impulso en la salida del amplificador lineal y será pues, a menudo, breve con respecto al microsegundo. La función del capacitor C_4 es compensar el acoplamiento capacitivo de la reja del pentodo V_1 a su cátodo mientras no conduzca aquella válvula. La función del diodo Rec 2 es suprimir impulsos muy peque-

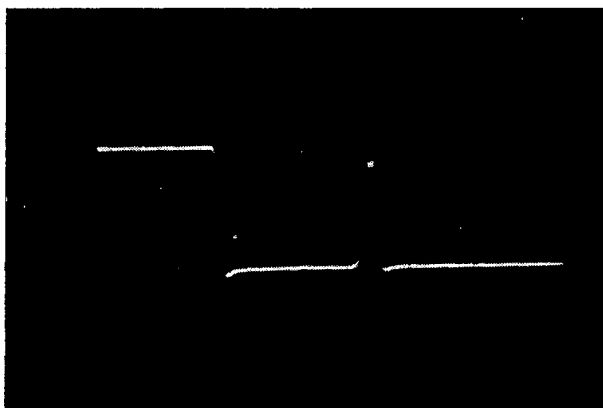


Fig. 14. Fotografía de los impulsos a la salida del amplificador ventana.

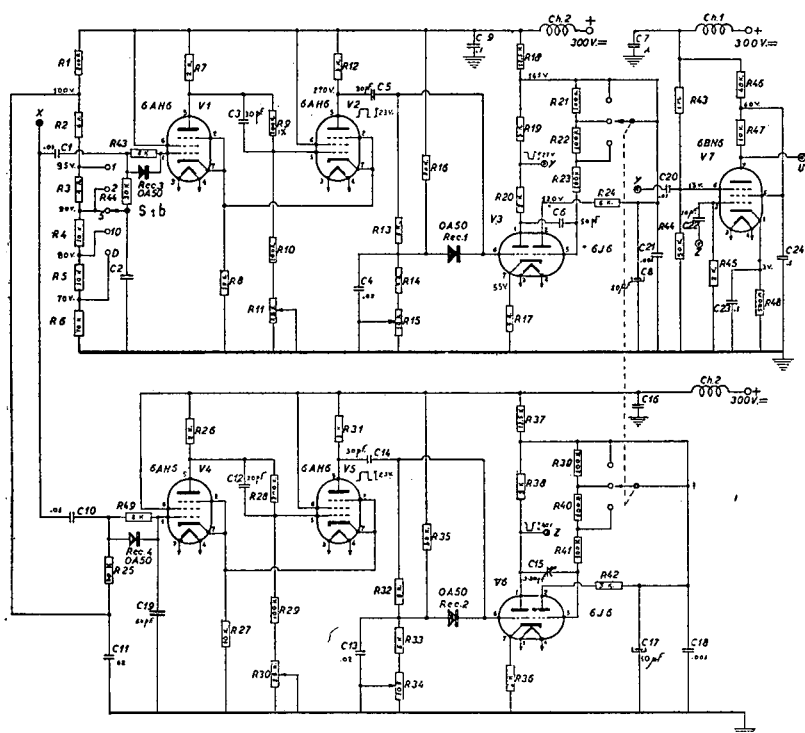


Fig. 15. Esquema del circuito de anticoincidencia.

ños en la salida del amplificador ventana que corresponde al funcionamiento de V_1 con transconductancia aún muy baja.

Mientras que el amplificador ventana sólo podría trabajar como discriminador simple y nos permitiría obtener espectros en forma integrada, figurando como ordenada de los mismos el número de impulsos cuya energía es mayor que la dada por la abscisa. El circuito de anticoincidencia acoplado a la salida del amplificador ventana, cuyo esquema se muestra en la Fig. 15, nos permite seleccionar aquellos impulsos que caben en un intervalo relativamente pequeño de amplitudes, y con ello obtener espectros en forma diferencial, figurando como ordenada de los mismos el número de impulsos con amplitudes pertenecientes al intervalo seleccionado. El circuito consiste en dos discriminadores, válvulas V_1 , V_2 y V_4 , V_5 , seguidos cada uno por un multivibrador monoestable, válvulas V_3 y V_6 , de un circuito diferenciador C_{22} y R_{45} y una válvula 6BN6, válvula V_7 , donde se produce la anticoincidencia. Por medio de la llave de cinco posiciones S_{1b} que va montada sobre un mismo eje con la llave S_{1a} del amplificador ventana, se varía la tensión de disparo de uno de los discriminadores y esto junto con la variación de la ganancia del amplificador ventana fija el ancho del canal. Las posibilidades de variación del canal son: 1, 2, 5, 10 y discriminador. En el gráfico de la Fig. 16 se muestra la secuencia de los impulsos para hacer ver cómo se produce la anticoincidencia cuando el impulso está por encima del canal, caso del primer impulso. El segundo impulso del mismo gráfico muestra un impulso dentro del canal y la secuencia de impulsos que él motiva.

Los circuitos compuestos por R_{43} , R_{44} y Rec 3 y R_{49} , R_{25} , C_{19} y Rec 4, son circuitos memorizadores para mantener un poco el impulso y con ello hacer más eficiente el disparo de los dos discriminadores.

ESCALÍMETRO:

El escalímetro se basa en dos válvulas E1T seguidas por un contador mecánico. El circuito utilizado, cuyo esquema se muestra en la Fig. 17, es el recomendado por los fabricantes de la válvula E1T (3), la variante está en el contador mecánico y en el multivibrador, válvula V_5 , que acciona al contador mecánico y también hace el retorno a cero de la válvula E1T anterior.

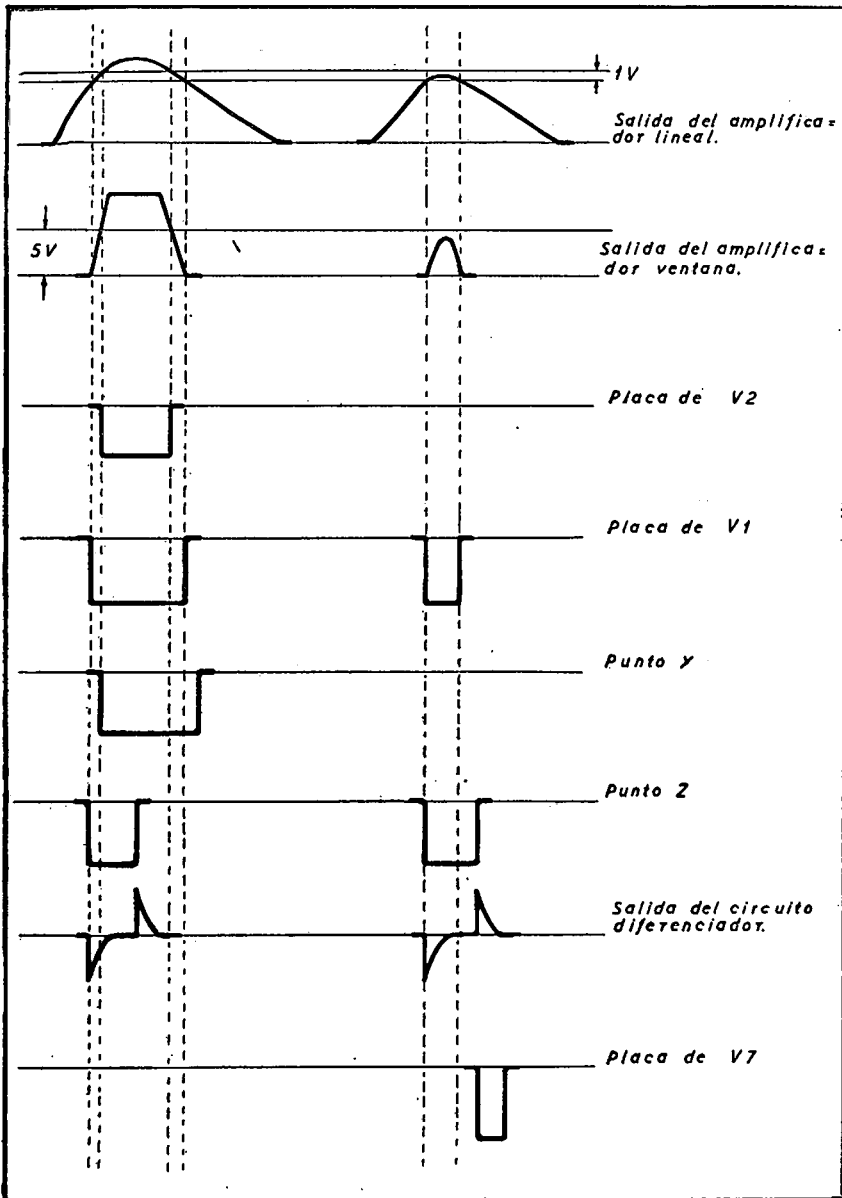


Fig. 16. Gráfico de la secuencia de impulsos.

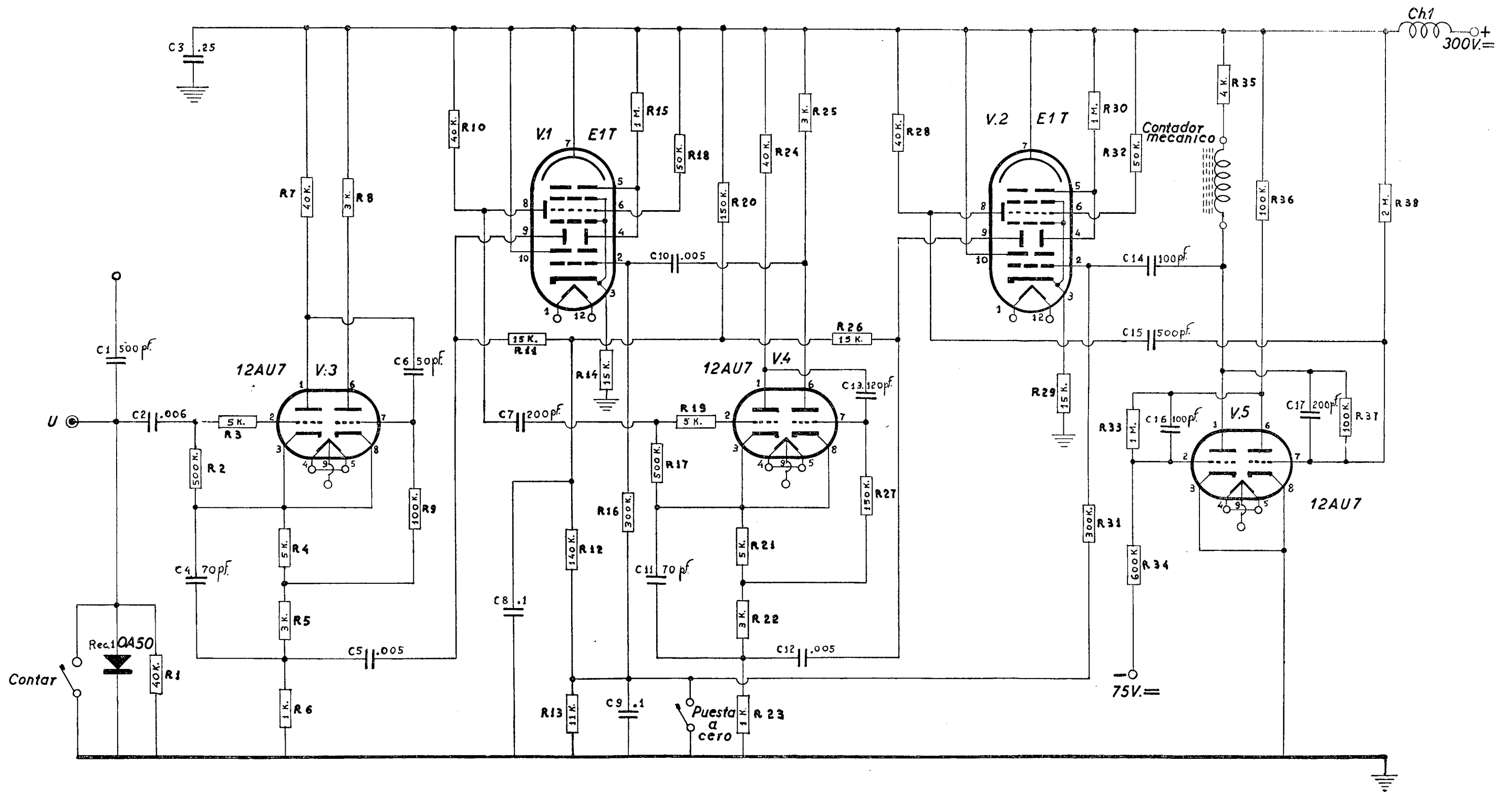


Fig. 17. Esquema del escalímetro.

FUENTES DE TENSIÓN:

En el esquema de la Fig. 18 se muestra el circuito de las fuentes de baja y alta tensión.

La variación a la salida de la fuente de baja tensión para una variación de línea del 10 % y para una corriente de 400 miliamperes, es menor que 10^{-4} . Su resistencia interna es del orden de 0,3 ohms. El zumbido a la salida a plena carga (400 miliamperes) es mejor

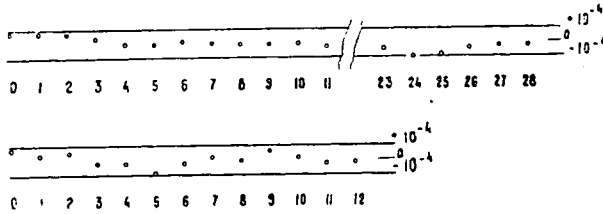


Fig. 19. Registro de la fuente de baja tensión.

que 500 microvoltios entre picos. En el gráfico de la Fig. 19 se muestra resultados de registros realizados, uno de ellos durante 28 horas y otro durante 12 horas; en el primero el registro se interrumpió durante 12 horas, pero no se apagó el equipo; como vemos, la constancia de la tensión es mejor que 10^{-4} .

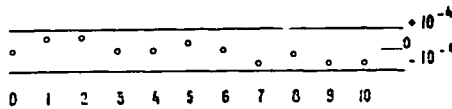


Fig. 20. Registro de la fuente de alta tensión.

La fuente de alta tensión es una fuente de tensión por radiofrecuencia, en la que se estabiliza la tensión controlando la pantalla de la válvula osciladora. Su zumbido a la salida es mejor que 5 milivoltios entre picos. Tensión variable entre 500 y 1500 voltios. En el gráfico de la Fig. 20, se muestra un registro de esta fuente durante 10 horas y, como se ve, la constancia ha sido mejor que 10^{-4} .

BIBLIOGRAFIA

- (1) D. A. WATKINS, y H. L. FISHBINE. A transient analysis of the cathode-coupled feedback loop. (United States Atomic Energy Commission. Los Alamos Scientific Lab. March 3, 1949).
KURT FRANZ. Gegengekoppelte überschwingfreie Widerstandsverstärker. (Archiv der Elektrischen Übertragung, 11 [1957], 159-162).
- (2) Tubo contador decimal E1T. Boletín de informaciones electrónicas, 3, 49-62, 1953.
- (3) C. W. JOHNSTONE. Nucleonics, 11, 36-41, Jan. 1953.