

Introducción

El Instituto Nacional de Radioastronomía (INRA), comenzó sus actividades en diciembre de 1962, formalizándose su creación sobre la estructura de la Comisión de Astrofísica y Radioastronomía perteneciente a la Universidad de Buenos Aires, y en base a un convenio entre las siguientes entidades: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas; Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires; Universidad de Buenos Aires; Universidad de La Plata.

Un factor decisivo en la creación del Instituto fue, sin duda, la colaboración ofrecida por la Institución Carnegie, de Washington, a través de su Departamento de Magnetismo Terrestre, en la forma de materiales, instrumental, asistencia técnica, etc., para la construcción en nuestro país del radiotelescopio que se describirá en la segunda parte del presente artículo.

El objetivo principal del INRA es el "Positivo desarrollo de la Radioastronomía en la Argentina en su aspecto integral, y la formación del personal científico y técnico capaz de sustentarla y desarrollarla". Se justifica de este modo la creación de un "Instituto Nacional" para el logro de tan amplios objetivos, si se considera la complejidad y elevado costo de las instalaciones,

grupo de importantes universidades locales, cada una de las cuales no podría en ninguna forma haber reunido las instalaciones, equipos y personal que posee el observatorio en la actualidad.

El INRA cuenta con un laboratorio de desarrollo ubicado en la Ciudad Universitaria, habiéndole otorgado el gobierno de la provincia de Buenos Aires una fracción de diez hectáreas dentro del parque Pereyra Iraola, donde ya han comenzado los trabajos preliminares para la instalación del Observatorio Radioastronómico, que se espera comenzará a operar en el segundo semestre de 1965.

Internamente el INRA está estructurado en dos secciones principales:

ellas radioastronómicas.

En tal sentido, el INRA está actualmente construyendo dos radiotelescopios para la determinación del flujo total emitido por el Sol en las frecuencias de 89 Mc y 2.695 Mc, respectivamente, recomendadas por el National Bureau of Standards de los Estados Unidos como adecuadas para tal propósito.

b) *Departamento de Radioastronomía Galáctica*: Tendrá a su cargo los trabajos de investigación que se proyectan realizar utilizando el receptor multicanal y la antena parabólica de 30 m de diámetro, en la detección y análisis de la minúscula cantidad de energía emitida por el hidrógeno atómico de la Galaxia, y eventualmente



Fig. 2

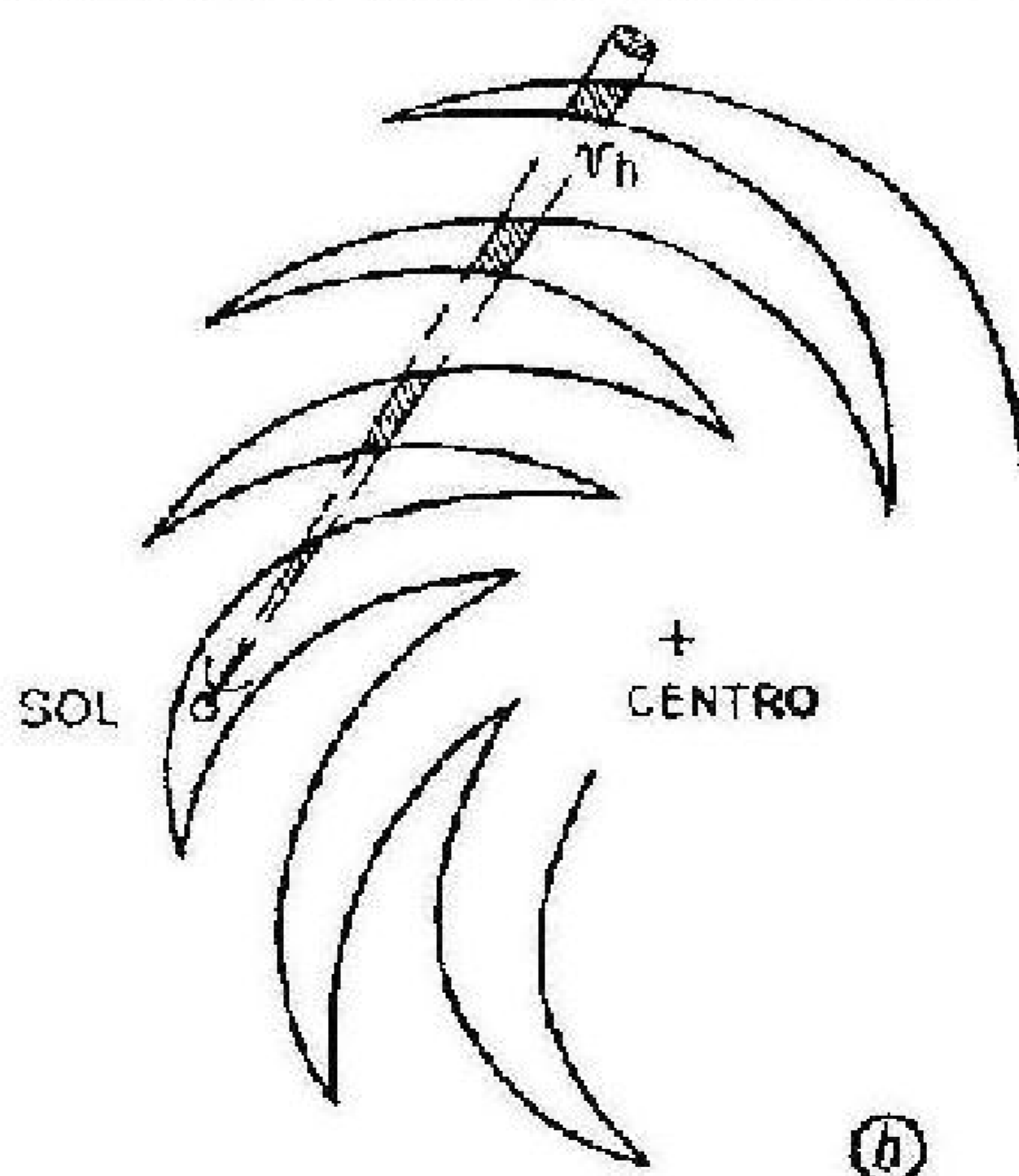
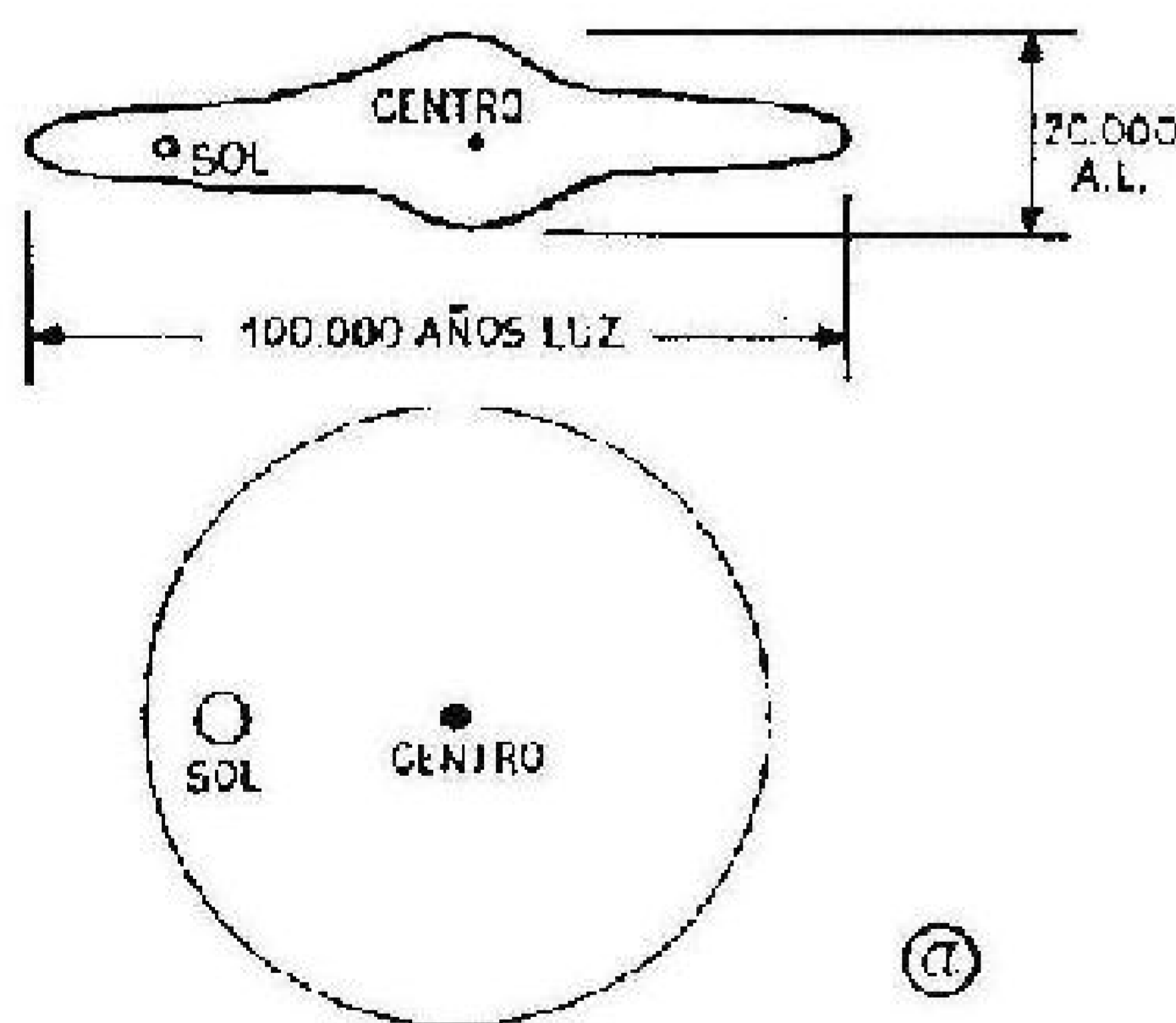


Fig. 1

equipos y personal especializado que se requiere. En países de tecnología más avanzada existen desde hace tiempo instituciones similares, tal es el caso, por ejemplo, del "National Radioastronomy Observatory", operando en los Estados Unidos bajo el auspicio de un

* Ex Director Técnico del Instituto Nacional de Radioastronomía. Ingeniero jefe de la Compañía Internacional de Radio. Profesor del Departamento de Electrónica, Facultad de Ingeniería, Buenos Aires.

a) *Departamento de Radioastronomía Solar*: Como su nombre lo indica, dedica sus esfuerzos al análisis de la radiación electromagnética emitida por el Sol en distintas longitudes de onda, proyectando participar activamente en el programa internacional del año del sol calmo, que comenzó en 1964, y donde la actividad solar pasará por un mínimo, lo que permitirá estudiar una serie de propiedades fundamentales del Sol utilizando distintas técnicas, entre

de galaxias vecinas. El receptor, construido en el Depto. de Magnetismo terrestre, en Washington, por un grupo de técnicos argentinos, será enviado a nuestro país una vez concluidos los trabajos que se llevan a cabo actualmente en el parque Pereyra Iraola, para la construcción y montaje de la antena de 30 m, y para la cual la Institución Carnegie envió todos los materiales necesarios, facilitando asimismo el viaje y estada en nuestro país de tres expertos para su ensamble y erección en el lugar elegido, trabajos que se espera concluir a mediados de 1965.

Radiotelescopio para la línea de 21 cm

Las ondas electromagnéticas provenientes del cosmos, que consiguen llegar a la Tierra, en la región del espectro comprendida entre 1 cm y 10 m de longitud de onda, tienen la forma de una radiación continua de ruido, similar al producido por una resistencia de carbón que se encuentre a una cierta temperatura, T , y sus características pueden ser medidas recurriendo a técnicas especiales de detección de ruido cósmico en medio del ruido propio del receptor, que en muchos casos es de igual magnitud o aún superior a aquél (*).

La única línea espectral discreta conocida hasta el presente, la radiación del hidrógeno atómico que conforma la Galaxia en la frecuencia de 1420 Mc ($\lambda = 21$ m) fue predicha teóricamente por Van de Hult, en Holanda, durante 1945, y detectada por Ewen y

no por efecto doppler, perfectamente medible por el sistema detector.

En la Fig. 1b se muestra en forma esquemática este fenómeno, con la zona rayada simbolizando una "Nube de Hidrógeno" animada de una velocidad radial V_h , cumpliéndose en general $V_h \ll C$.

110 °K aproximadamente, medible en el receptor. La aplicación de la aproximación de Raleigh nos lleva a la expresión general

$$T_a = \frac{T_b \Omega G}{4 \pi}$$

Donde: T_a : Temperatura efectiva medida en los bornes de antena en °K; T_b : Temperatura cinética de las nubes de hidrógeno; Ω : Angulo sólido sustentado por la nube de hidrógeno; G : Ganancia del sistema de antena.

Midiendo en el receptor el valor T_a y conociendo Ω y G es posible determinar el parámetro que nos interesa: T_b . Dado su orden de magnitud es necesario disponer de antenas de gran área de captación, es decir, de elevada ganancia y directividad, superiores a los 50 dB, para poder distinguir en el receptor pequeñas diferencias de temperatura de antena T_a , del orden de 1 °K o inferiores, a los efectos de precisar detalles finos de la estructura galáctica y, eventualmente, ser capaz de detectar la radiación emitida por sistemas extragalácticos.

La antena actualmente en construcción, de 30 m de diámetro, poseerá las siguientes características: área geométrica: $A_g = 710$ m²; área efectiva: $A_{ef} = 0,8 A_g = 568$ m²; ancho del

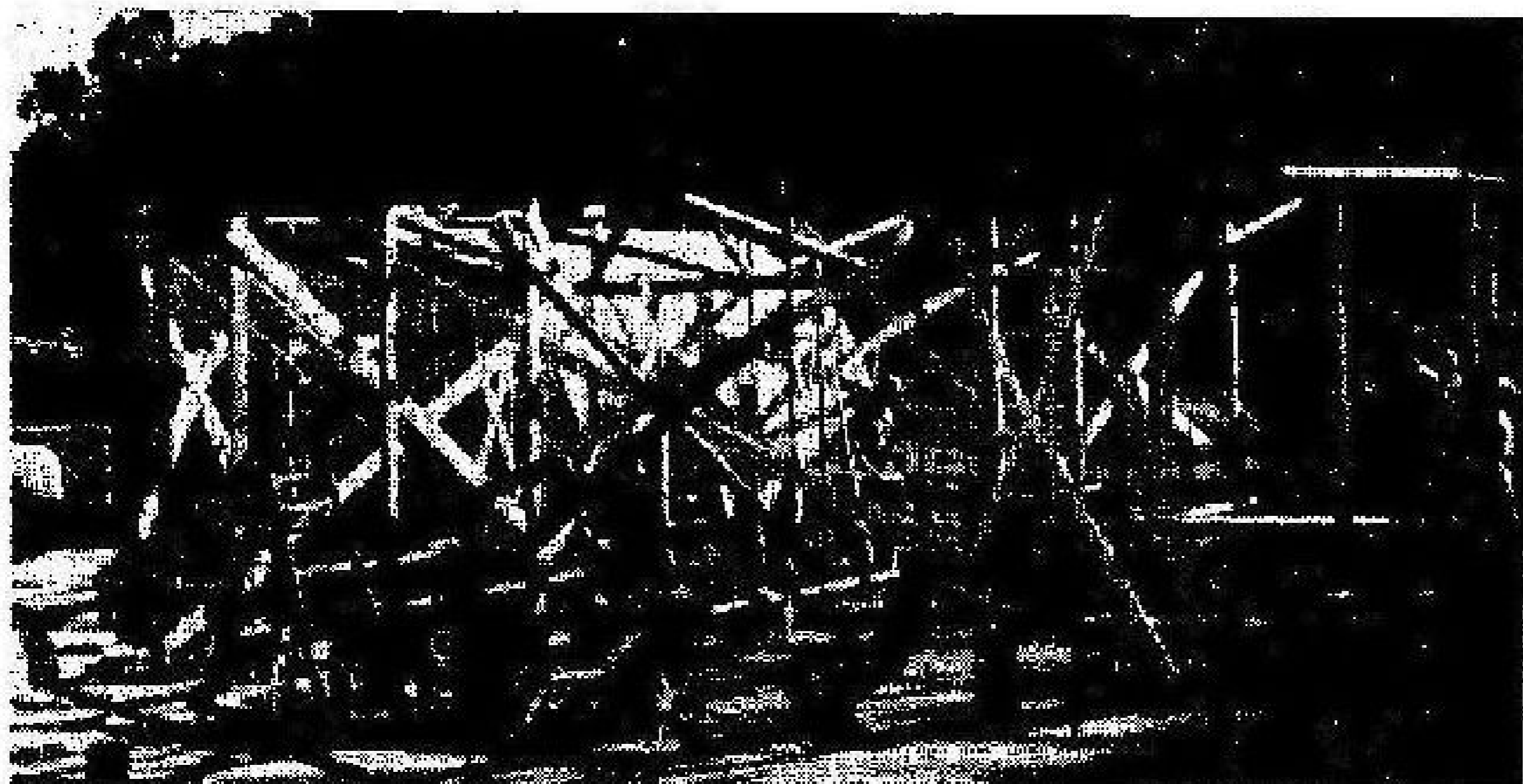


Fig. 3

Purcell, en Harvard, en 1951, creando una técnica nueva de gran trascendencia en el estudio de la estructura y evolución de la Galaxia a la cual pertenece nuestro sistema solar (2), extendiéndose a galaxias vecinas a medida que los sistemas de detección aumentaban en sensibilidad y poder de resolución. La Fig. 1a muestra un esquema de la Galaxia local con el pequeño círculo representando el sistema solar, mientras que la Fig. 1b indica la forma en que una antena muy direccional colocada sobre la superficie terrestre recibiría energía en la frecuencia de 1420 Mc, como contribución de las distintas porciones de la Galaxia dentro de su cono de captación, en un conjunto estacionario. En la Galaxia tienen lugar movimientos simples de las distintas concentraciones de hidrógeno que la conforman, relativos a un observador situado en la Tierra, lo que da origen a un corrimiento en la frecuencia central de emisión del átomo de hidrógeno

La nube de hidrógeno representaría, entonces, una fuente emitiendo en la frecuencia de 1420 Mc, que se aleja del sistema detector supuesto estacionario en la Tierra, dando lugar al corrimiento de frecuencia mencionado. El valor V_h , obtenido a partir de un registro

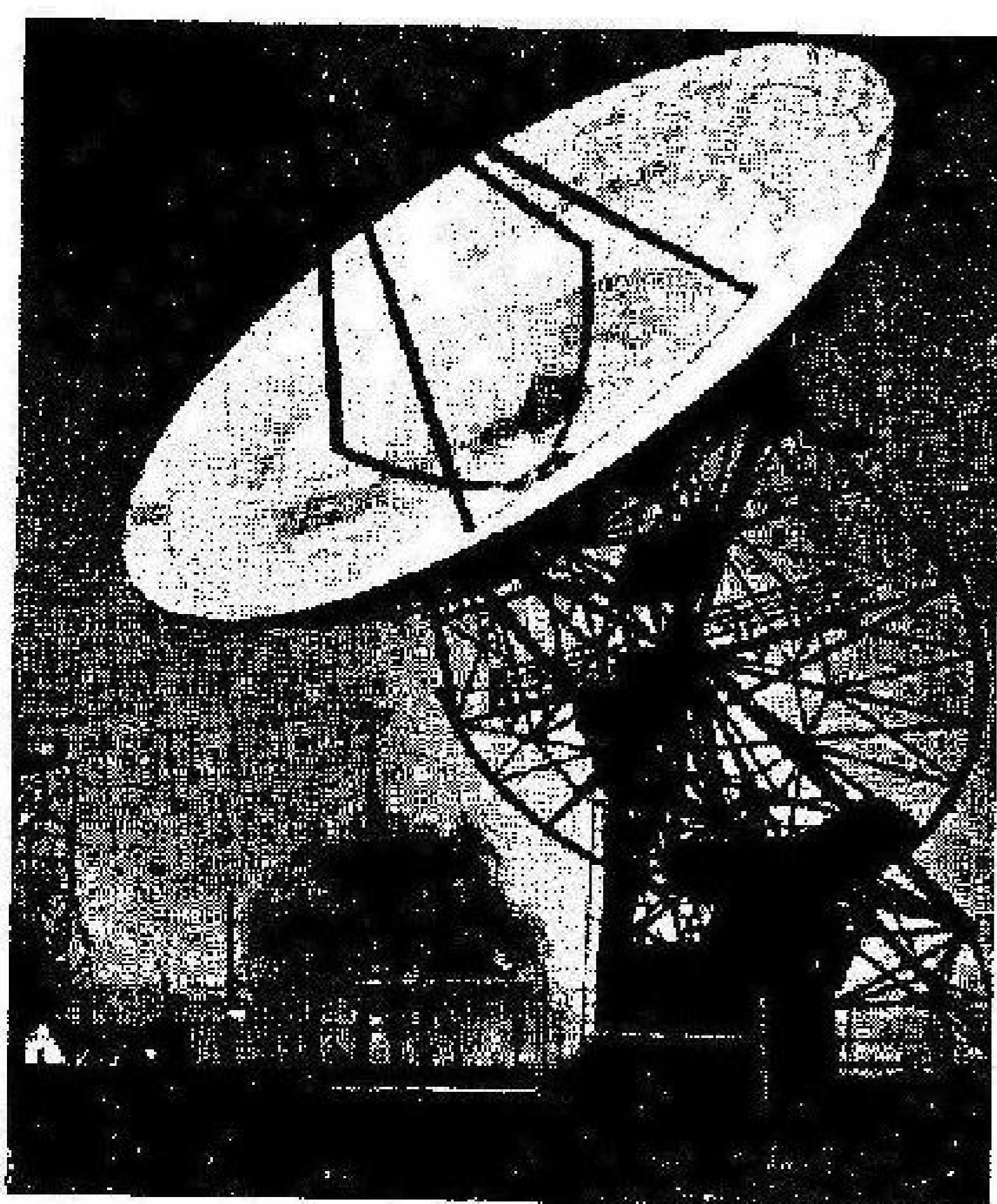


Fig. 4

(1) "La Radioastronomía en la Argentina", Revista Tecnológica-Electrónica, octubre 1962, pág. 706.

(2) "A Receiver for the Radio Waves from Interstellar Hydrogen", por G. A. Muller, Phillips Technical Review, vol. 17, N° 11 y vol. 17, N° 12.

Observatorio	Ubicación	Reflector Parabolóide - Dimensión	Montaje	Longitud de onda	Ancho de haz
Csiro Radiophysics Laboratory	Parkes Australia	64 m	Alt-Azim	10 cm hasta 50 cm	15' a $\lambda = 21$ cm
Jodrell-Bank Experimental Station	Macclesfield Inglaterra	76 m	Alt-Azim	20 cm hasta 20 cm	15' x 20' a $\lambda = 21$ cm
Netherlands Foundation - Radio Astronomical - Observatory	Dwingeloo Holanda	25 m	Alt-Azim	10 cm hasta 100 cm	0,57' a $\lambda = 21$ cm
Carnegie Institution of Washington	Washington D. C. U.S.A.	18 m	Ecuatorial	3 cm hasta 30 cm	0,8' a $\lambda = 21$ cm
National Radio Astronomy - Observatory	Green-Bank Virginia U.S.A.	26 m	Ecuatorial	3 cm hasta 75 cm	36' a $\lambda = 21$ cm
Instituto Nacional de Radioastronomía	Buenos Aires Argentina	30 m	Ecuatorial	3 cm hasta 75 cm	28' a $\lambda = 21$ cm

Fig. 5

gráfico, es de importancia fundamental para determinar propiedades estructurales y dinámicas de la Galaxia, resultando en general del orden de pocos kilómetros. La otra magnitud que interesa conocer es la temperatura cinética de las distintas nubes de hidrógeno que a través de la aproximación de Raleigh-Jean a la ley general de Planck, resulta proporcional a la potencia radiada por aquéllas, detectada finalmente por el sistema receptor. Dichas temperaturas cinéticas son del orden de 120 °K de acuerdo a diferentes mediciones, lo que origina una temperatura efectiva de antena T_a de

haz; $\Phi = \lambda/D = 30'$; ganancia: $G = 4\pi/\lambda^2 A_{ef} = 70$ dB; alimentador: dipolo con reflector; tipo de montaje: ecuatorial; movimiento de declinación: 90°; movimiento en ángulo horario (rotación alrededor del eje polar para el seguimiento de radiofuente) = 82°; construcción del reflector; planchas de metal-perforado (aluminio), para disminuir la resistencia al viento.

Producido el equilibrio termodinámico en la antena, es posible calcular la potencia detectada efectivamente por el receptor, en un ancho de banda Δf utilizando la expresión:

$$P_a = k \cdot T_a \cdot \Delta f$$

Si suponemos un ancho de banda $\Delta f = 10^4$ c/s se tendrá el valor:

$$P_a = 1,39 \times 10^{-23} \times 110 \times 10^4 = 1,5 \times 10^{-17} \text{ watts}$$

El cual resulta varias veces inferior a la potencia de ruido generado por el propio receptor, recurriéndose a técnicas especiales de recepción del ruido cósmico en medio del ruido propio del sistema.

El diseño, construcción, montaje y ajuste de antenas de grandes dimensiones, representa una técnica particular, ilustrando las Figs. 3 y 4 detalles de la construcción del anillo básico sobre el cual se armará el resto de la estructura metálica que finalmente soportará la pantalla reflectora con su alimentador y sistema de movimiento. La Fig. 4 corresponde a la antena que la Institución Carnegie tiene instalada en Washington para detectar la radiación de 21 cm, y que ha sido tomada como prototipo de la que actualmente se construye en el parque Pereyra Iraola, para ser utilizada junto al receptor multicanal que se explicará a continuación, y la Fig. 5 representa un cuadro comparativo de las antenas parabólicas más importantes del mundo, con sus principales características y usos, utilizadas por diferentes observatorios, donde puede observarse la importancia científica y técnica que revestirá la antena en construcción, especialmente dentro del hemisferio sur, en la investigación de la Galaxia.

El receptor multicanal

El diagrama en bloque de Fig. 6 corresponde al cuerpo principal del receptor, y para su correcta comprensión será conveniente seguir la señal desde la antena hasta el registro gráfico final. La antena, como se explicó anteriormente, colecta energía a través de su "Área efectiva" (A_{ef}), transformándola en una cierta "Temperatura efectiva de antena T_a " en sus terminales, o lo que es equivalente a una cierta "Tensión efectiva de ruido V_a " que representa así la señal de entrada al receptor sintonizado a la frecuencia central de 1420 Mc con un ancho de banda de 1 Mc. A través del acoplador direccional dual que sigue al dipolo, y

se mezclan en un cristal mezclador con la señal de antena produciendo una frecuencia intermedia de 27 Mc, en virtud del hecho que cada oscilador local actúa durante el semiperiodo de una onda cuadrada de 463 c/s. Aquí radica precisamente la técnica especial de detección, que consiste en comparar

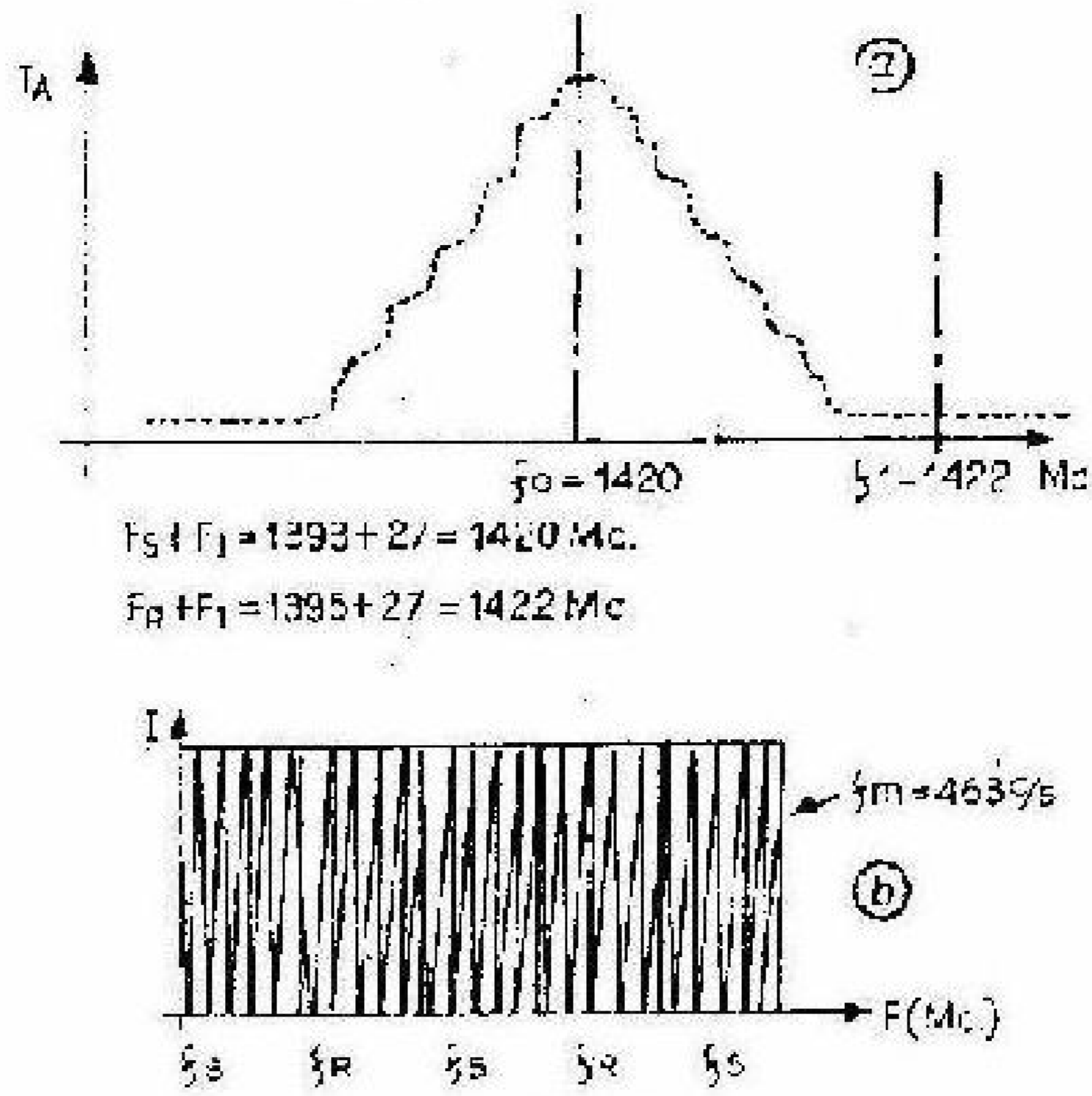


Fig. 7

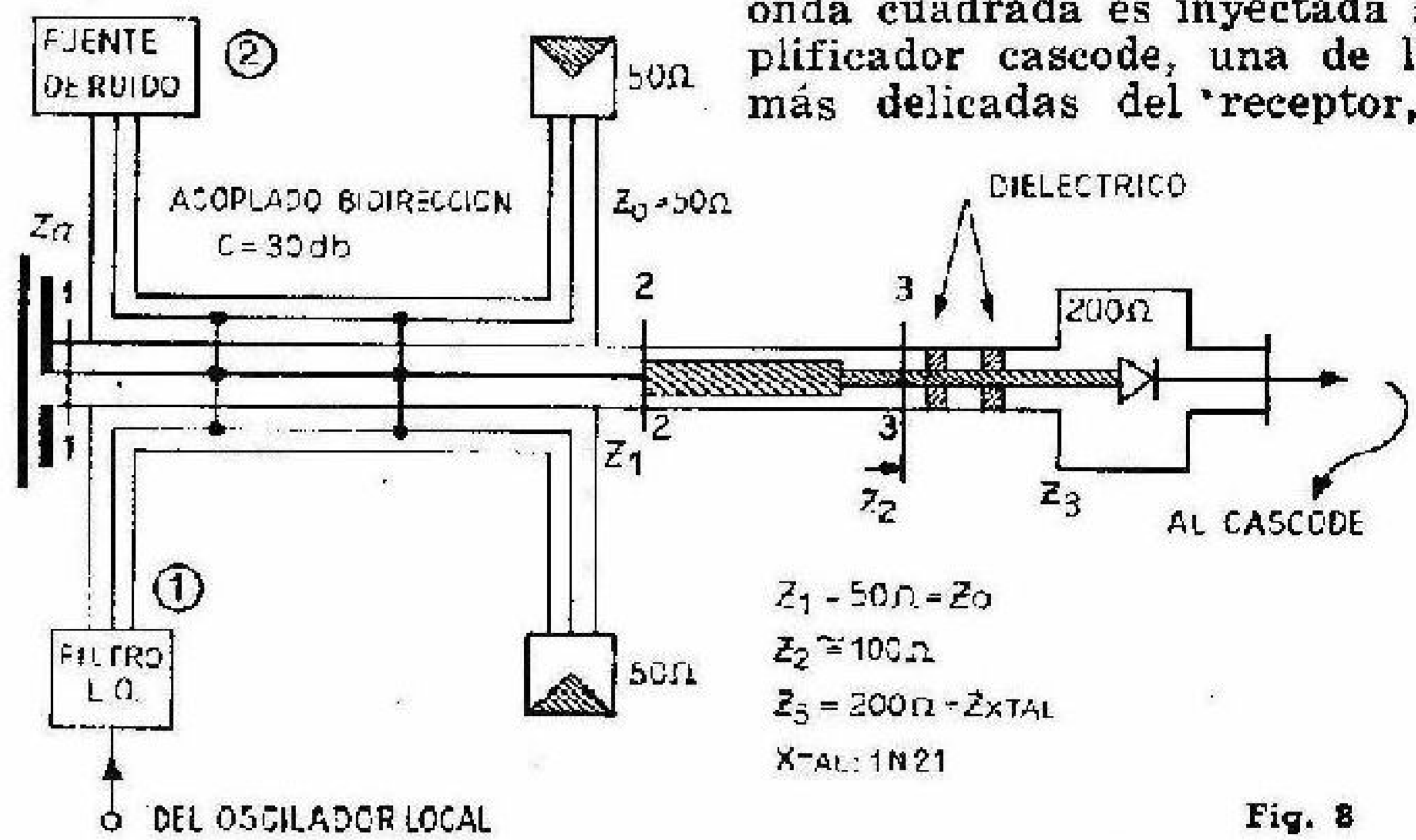


Fig. 8

la frecuencia a la cual se produce la radiación del hidrógeno, en la vecindad de 1420 Mc, con otra frecuencia F_1 donde teóricamente dicha radiación es nula o representa un mínimo, tal como lo muestra la Fig. 7, donde a corresponde a un perfil típico de la radiación del hidrógeno; intensidad en función de la frecuencia y posición, y b el mecanismo utilizado para inyectar

ajustado para presentar a los terminales 1-1 una impedancia de 50 ohms. Sigue el acoplador direccional dual de un valor $C = 30$ dB, que sirve al doble propósito de permitir la inyección de los osciladores locales a través del filtro (cavidad sintonizada), mientras que por el terminal (2) es posible conectar una fuente de ruido calibrada con propósitos de medición. La impedancia de los terminales 2-2 de 50 ohms debe adaptarse perfectamente a la que presenta el cristal de 200 ohms aproximadamente, efectuándose la correspondiente transformación en dos etapas:

La línea coaxil de relación de diámetros variables conectada entre 2-2 y 3-3 transforma la $Z_1 = 50$ ohms en el valor $Z_2 = 100$ ohms, mientras los dos aros de lucite de espesor $\lambda/4$ pueden variar su distancia mutua y el conjunto desplazarse a lo largo del coaxil hasta completar la adaptación de impedancias, lo cual se verifica utilizando las técnicas corrientes de adaptación de impedancias en guías de onda y coaxiles (3).

La señal de 27 Mc modulada por la onda cuadrada es inyectada al preamplificador cascode, una de las partes más delicadas del receptor, por ser

$$Z_1 = 50 \Omega = Z_0$$

$$Z_2 \approx 100 \Omega$$

$$Z_3 = 200 \Omega = Z_{XTAL}$$

X=AL: 1N21

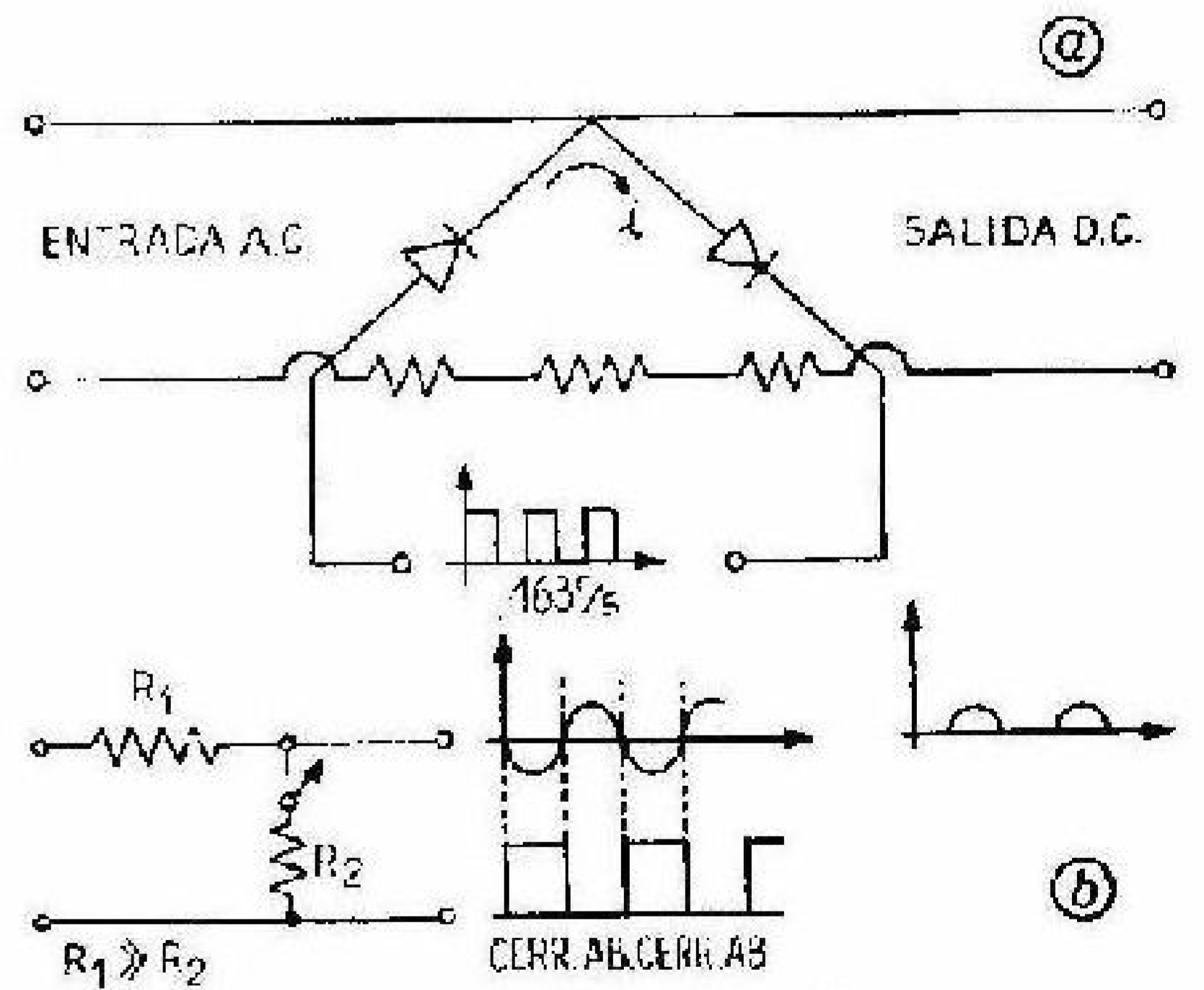


Fig. 9

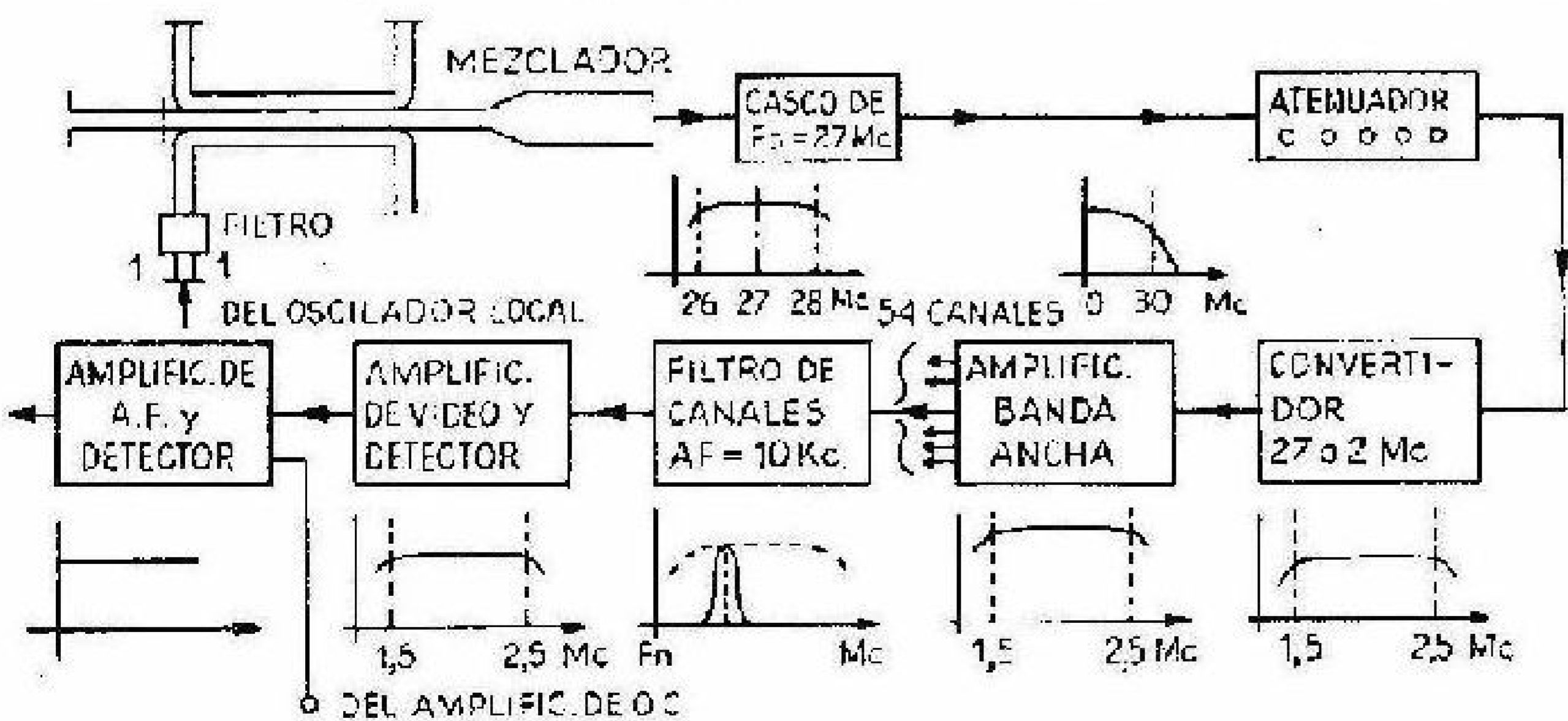


Fig. 6

cuyo coeficiente de acoplamiento, C , se ajusta hasta conseguir el punto óptimo de conversión para el cristal mezclador que sigue, se inyectan dos señales de oscilador local a las frecuencias:

$F_s = 1393$ Mc; $F_r = 1395$ Mc. provenientes de dos osciladores muy estables en amplitud y frecuencia, que

simultáneamente las dos señales de oscilador local al cristal mezclador y obtener una única frecuencia intermedia de 27 Mc, modulada por la onda cuadrada de 463 c/s.

En la Fig. 8 se indican los detalles del sistema de radiofrecuencia compuesto por el alimentador primario, un dipolo de media onda con reflector,

responsable de casi la mitad del ruido total. Posee un ancho de banda de 1 Mc, amplificación de 30 dB, y figura de ruido de 12. Le sigue un filtro pasa bajos, desde donde la señal pasa a un segundo conversor que la reduce a 2 Mc, modulada por la onda cuadrada, siendo inyectada en un amplificador de banda ancha terminado en seguidor catódico con 54 conectores de salida, correspondientes a 54 canales selectores, idénticos al indicado en la Fig. 6 cada uno compuesto por: Un filtro selectivo con 10 Kc de ancho de banda y sintonizado a una frecuencia F_n dentro del desplazamiento máximo por efecto doppler previsto para el hidró-

Continuado por un seguidor de emisor (lo mismo que lo anterior pero transistorizado).

geno, en general de 1 Mc alrededor de 1420 Mc. La técnica consiste por lo tanto en subdividir dicha banda de 1 Mc en fracciones de 10 Kc separadas entre sí por 18 Kc, cada una de las cuales es ~~amplificada por un amplificador~~ detectada y aplicada finalmente a un detector sincrónico accionado por la misma onda cuadrada de 463 c/s. La Fig. 9a muestra el circuito básico del detector sincrónico, a cuyos terminales de entrada se aplica la componente fundamental de la onda cuadrada de 463 c/s proveniente del desequilibrio inicial, al compararse alternativamente una frecuencia dentro del perfil de la radiación del hidrógeno con una frecuencia completamente fuera del mismo, como se indicó anteriormente.

En la Fig. 9b puede verse el circuito equivalente, esencialmente una llave electrónica accionada por la onda cuadrada. La salida de cada uno de los canales selectores es una señal de corriente continua que se inyecta a un electrómetro, compuesto básicamente de 54 circuitos integradores, con constan-

el conjunto una banda de 1 Mc aproximadamente, alrededor de $F_0 = 1420$ Mc.

La Fig. 10 muestra el proceso de la señal desde su amplificación por el cascode hasta su registro gráfico, completándose el esquema del electrómetro con el amplificador de c.c. y circuito para proveer la línea de base al registrador. La Fig. 11 muestra una de las partes más importantes del receptor: El sistema de osciladores locales. El encargado de proveer la señal de referencia, F_r , parte de un oscilador primario, cuya salida se multiplica hasta alcanzar el valor de 348 Mc, inyectándose en el terminal (3) del circuito híbrido, mientras la frecuencia de señal, F_s , se obtiene partiendo de un oscilador a cristal de 24,5 Mc termostatzado, y de un segundo oscilador muy estable cuya frecuencia puede ajustarse en pequeñas fracciones alrededor de 1,5 Mc, resultando de esta forma un método simple de variar F_s en fracción del megaciclo. Ambas salidas se conectan a un modulador balanceado de donde se ex-

deben aplicarse al cristal mezclador en cada semiperíodo de la onda cuadrada de 463 c/s y esto se consigue por medio de la "Fuente de polarización de pantalla para Señ. y Ref." de la Fig. 12 encargada de aplicar tensiones de polarización a las pantallas de las válvulas triplicadoras de "SEN" y "REF" en forma tal que cuando una conduce normalmente la otra está al corte, y

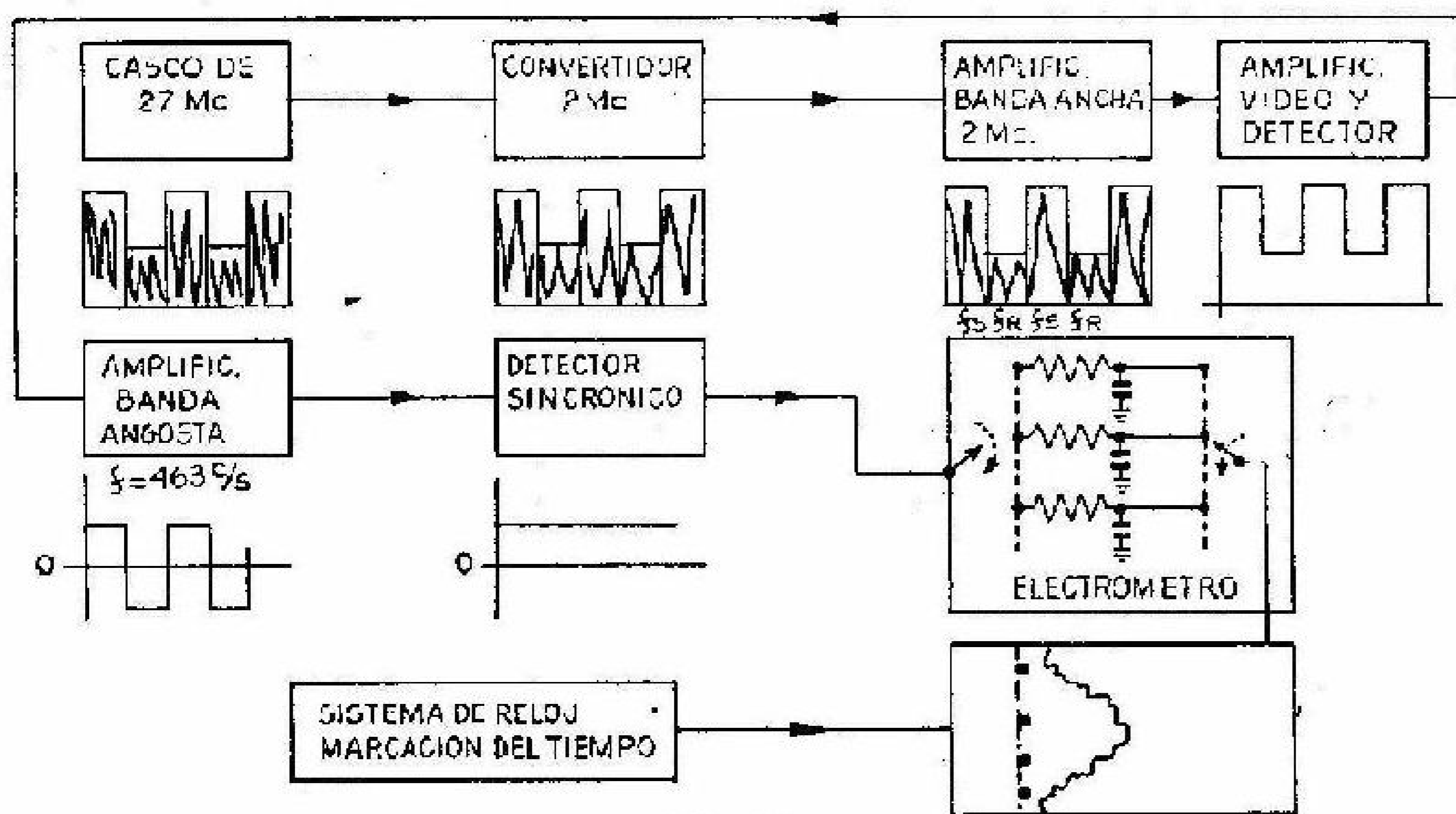


Fig. 10

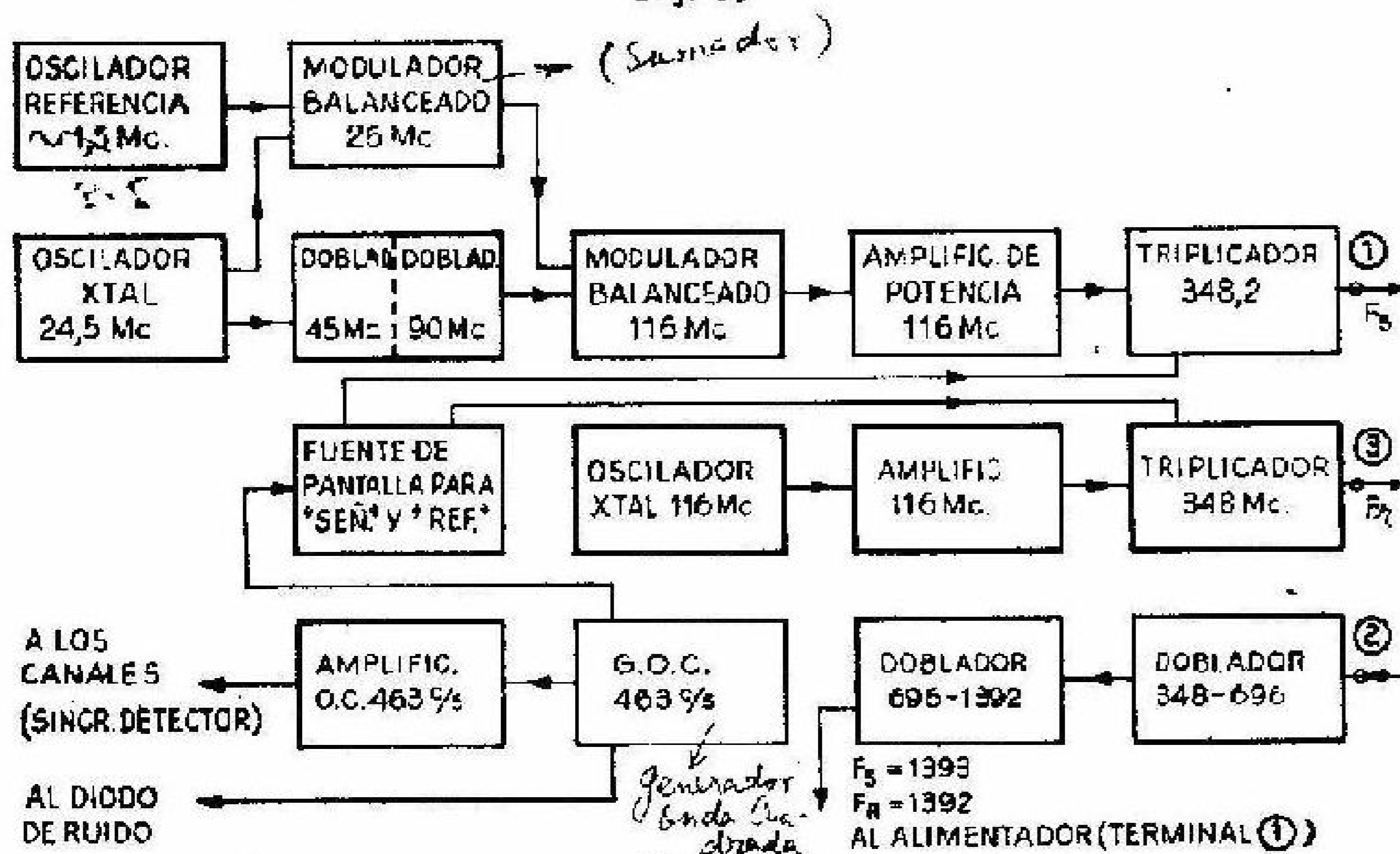


Fig. 11

tes de tiempo regulable, donde aparece finalmente la información de cada canal, es decir, de cada fracción del perfil de la radiación de hidrógeno que se pretende investigar, repitiendo aquí que las frecuencias centrales de los 54 canales están separadas entre sí por 18 Kc, cubriendo

trae una señal de 26 Mc. Por otro lado la salida del oscilador de 24,5 Mc se deriva a dos circuitos dobladores obteniéndose 90 Mc. Estas dos frecuencias se aplican a un segundo modulador balanceado, cuya salida de 116 Mc se triplica llevándola a un valor aproximado a los 348 Mc, que se inyecta en el terminal (1) del circuito híbrido. Como se indicó en la Fig. 7b, las dos salidas de osciladores locales: F_r y F_s ,

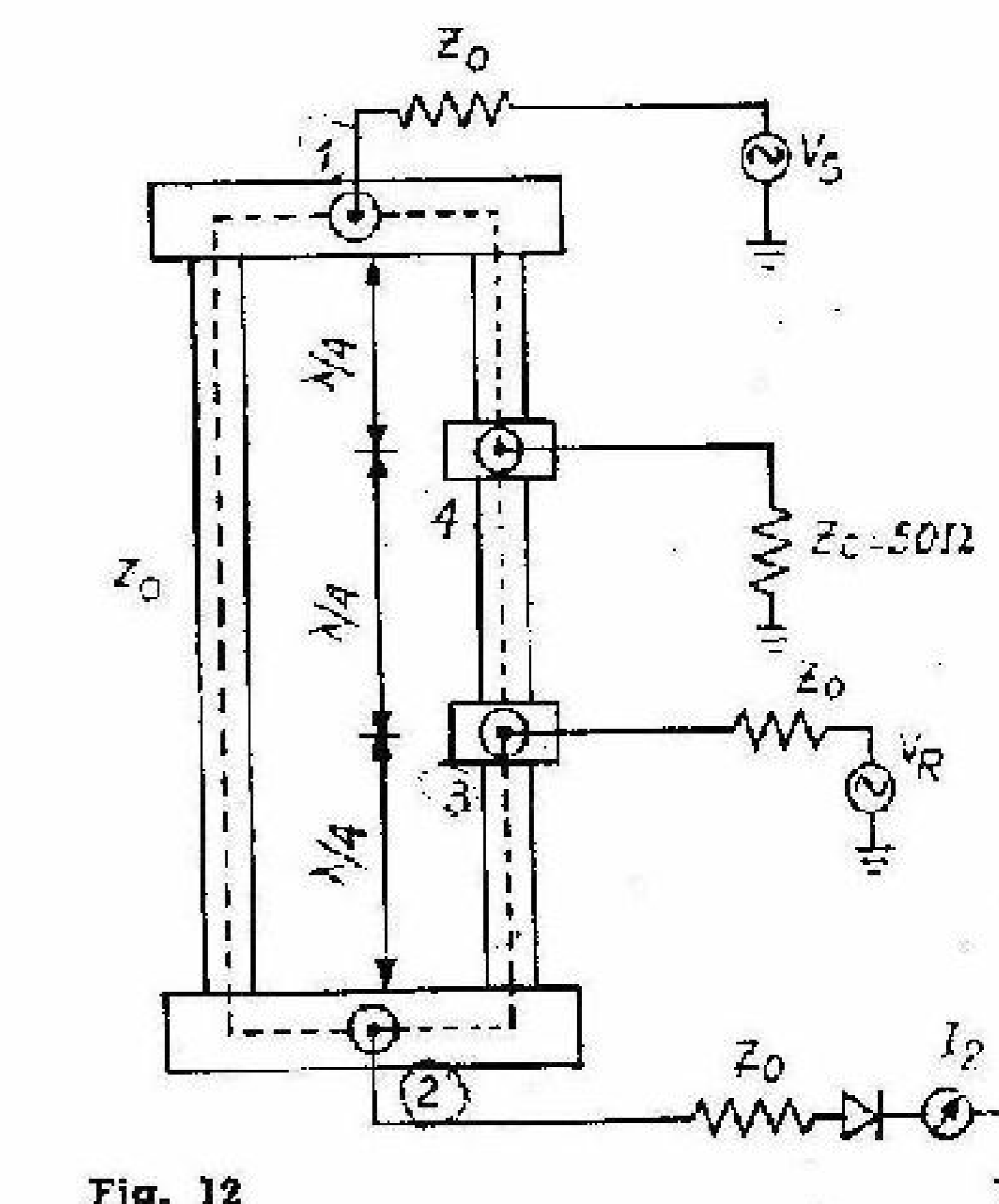


Fig. 12

veceversa, repitiéndose esta situación con la frecuencia de la onda cuadrada. Un sistema electrónico mantiene la amplitud de ambas señales a un nivel estrictamente constante, evitando que cualquier desequilibrio entre los dos semiperíodos pueda aparecer finalmente en el registrador como señal de la Galaxia. En la Fig. 11 se indican asimismo el generador de onda cuadrada y el amplificador cuya salida se deriva a los 54 detectores sincrónicos a los efectos de "Sincronizar" perfectamente el proceso de comparación de la señal captada por la antena con los dos osciladores locales a través del cristal mezclador, con su detección final en los detectores sincrónicos.

Las dos señales básicas de los osciladores locales, aplicadas a los terminales (1) y (3) del circuito híbrido, se extraen del terminal (2), como se indica en la Fig. 12. El mismo consiste de un "Anillo" compuesto por tramos de línea coaxil, separados en forma tal que una onda aplicada en el terminal (1) recorre una distancia $D = 3 \lambda/4$ hasta llegar a (2), la misma que debe recorrer otra onda aplicada en (3). Por consiguiente, ambas señales pueden extraerse en fase del terminal (2), mientras que la carga adaptada Z_0 conectada en (4) absorbe la potencia restante del proceso. La salida de (2) se conecta directamente a dos sistemas dobladores, obteniéndose finalmente las señales F_r y F_s , que se envían al acoplador direccional dual por cable coaxil de 50 ohms.

El esquema del receptor se completa con las fuentes de alimentación perfectamente estabilizadas; circuitos de ajuste y control, etc., operando el conjunto en una sala provista de aire acondicionado a los efectos de mantener una temperatura y grado de humedad uniformes, evitando de este modo variaciones en los parámetros del sistema receptor, que pueden afectar seriamente los registros obtenidos.

(3) Ginzton: "Microwave Measurements", Cap. V.