

**RECEPTORES PARA INTERFERO-  
METRIA**

**José Alberto Bava**

## RECEPTORES PARA INTERFEROMETRIA

### DIAGRAMA EN BLOQUES

El objetivo de este informe es el análisis y desarrollo de un interferómetro para el IAR, partiendo de requerimientos y consideraciones que se estudiaron con mayor profundidad en informes anteriores.

El diagrama en bloques que se muestra a continuación debe cumplir con las siguientes condiciones:

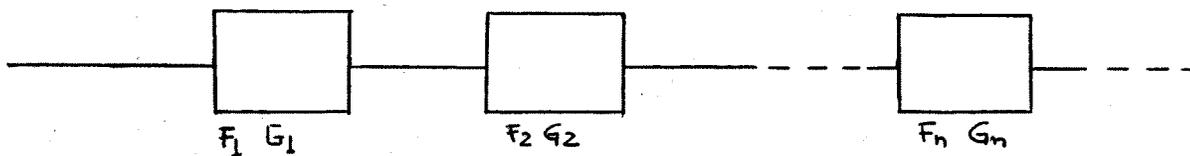
- a) Se pretende en primera instancia un interferómetro de continuo
- b) Desde el punto de vista del sistema debe diseñarse para observaciones de línea HI
- c) Frecuencia central 1420 MHz
- d) Receptores de SSB (simple banda lateral)
- e) Salida seno/coseno
- f) Retardos en FI completos
- g) Sistema acelerador de fase
- h) Que el receptor de cada antena sea posible utilizarlo para observaciones individuales.

### CABEZAL DEL RECEPTOR

Para la instalación del interferómetro se poseen dos reflectores parabólicos de 30 m de diámetro, montados sobre un eje polar y con movimientos de  $-10^\circ$  a  $90^\circ$  en declinación y  $-2$  a  $+2$  hs en ángulo horario. Uno de ellos está montado sobre una plataforma móvil, la que permite trasladarlo a distintas bases, pudiéndose variar la distancia entre antenas. Los alimentadores ① de cada cabezal recibirán la señal recolectada por cada uno de estos reflectores.

Los acopladores direccionales ② que permiten introducir el tubo de ruido ③ y las llaves Dicke ④ trabajarán sincrónicamente con los canales Dicke ⑤ (colocados en sala de control), permitiendo chequear cada rama del interferómetro. Con esto se logra obtener las posibles diferencias de ganancia que puedan tener los receptores, lo que dará un factor de corrección de la amplitud de las funciones correlacionadas.

La figura de ruido total  $F_r$  de un sistema de bloques colocados en cascada es

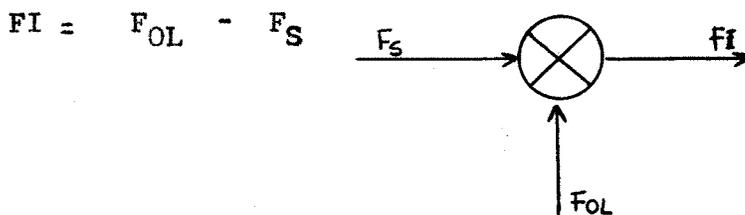


$$F_T = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 \dots G_{n-1}} \dots$$

Siendo F y G las figuras de ruido y ganancias de los bloques.

Esto nos dice que las primeras etapas cumplen un papel importante en la figura de ruido total del sistema. En nuestro caso la información vendrá enmascarada con mucho ruido, por lo tanto los amplificadores de RF (5) deben poseer buenas características de ganancia y figura de ruido, tratando de lograr condiciones adecuadas para entrar a las siguientes etapas.

Si bien la frecuencia intermedia FI originada en el mezclador es



Siendo

FI = frecuencia intermedia

$F_{OL}$  = frecuencia de oscilador local

$F_S$  = frecuencia de señal

Existe otra frecuencia superior a la del oscilador (frecuencia imagen) que origina la frecuencia intermedia y que no es deseable en un receptor de SSB (simple banda lateral)

$$FI = f_i - F_0$$

Siendo

$f_i$  = frecuencia imagen

Si ambas están dadas por

$$f_i = f_0 + FI \quad \text{y} \quad f_0 = FI + F_S$$

Entonces nos queda

$$F_i = F_s + 2 FI$$

Esta frecuencia debe ser eliminada por el filtro imagen (6) antes de que la señal entre al mezclador. Otra de las condiciones importantes que debe cumplir este filtro es:

Debe poseer la banda de paso necesaria para el trabajo en línea.

Con el fin de adaptar impedancia y reparar al mezclador de etapas anteriores se colocan circuladores (7). En los mezcladores doble balanceado (8) se produce la conversión a una frecuencia intermedia que permitirá el mejor transporte de la señal a la sala de control. Los multiplicadores (9) originarán con el ler OL (13) la frecuencia necesaria para la conversión.

El motivo de estos multiplicadores es el siguiente: permiten conducir por las líneas coaxiales (11) frecuencias de oscilador local mas bajas, evitando cualquier efecto de irración que se puedan producir al transmitir frecuencias altas.

Deben colocarse líneas coaxiales (11), tanto para el traslado de señal de FI como de oscilador local, que posean buenas características de atenuación y de estabilidad de fase, mejorandose aún mas instalando estas líneas en cañerías bajo tierra para que no se encuentren expuestas a las variaciones de la temperatura ambiente.

Por último en el cabezal de los receptores se encuentran los amplificadores de FI (10) que deben cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Llevar la señal a niveles adecuados para su conducción a la sala de control.
- b) Todos los elementos del cabezal de los receptores deben estar instalados en cajas aisladas térmicamente del medio ambiente y estabilizadas en temperatura para evitar variaciones de ganancia y de figura de ruido que producirían inestabilidades en el sistema.

#### SALA DE CONTROL Y ANALISIS DEL PROCESO DE LA SEÑAL

La señal al llegar a la sala de control pasa por los amplificadores de FI para entrar con un nivel apropiado al 2do. mezclador (12).

El objetivo de realizar tres conversiones es poder lograr frecuencia

intermedia lo más alta posible para que la frecuencia imagen, dada por la ecuación

$$f_i = f_s + 2 FI$$

vista anteriormente, caiga lo más lejos posible de la banda de paso de frecuencia central. Por otro lado esta frecuencia intermedia debe ser conducida por los cables coaxiales a sala de control, por lo tanto deben conducirse por dichas líneas frecuencias lo más bajas posibles para evitar cambios de fase con la temperatura, que afectarían la sensibilidad del instrumento como se verá a continuación.

Cabe destacar que este factor de compromiso con respecto a la lera frecuencia intermedia puede ser solucionado realizando la segunda conversión en el cabezal del receptor.

La función normalizada de salida de un interferómetro de SSB (simple banda lateral), sin tener en cuenta ninguna compensación, es la siguiente

$$F(\zeta) = \underbrace{\frac{\text{sen } \pi \Delta \beta \zeta}{\pi \Delta \beta \zeta}}_{\text{Envuelta}} \underbrace{\cos W_s \zeta}_{\text{Portadora}}$$

Donde

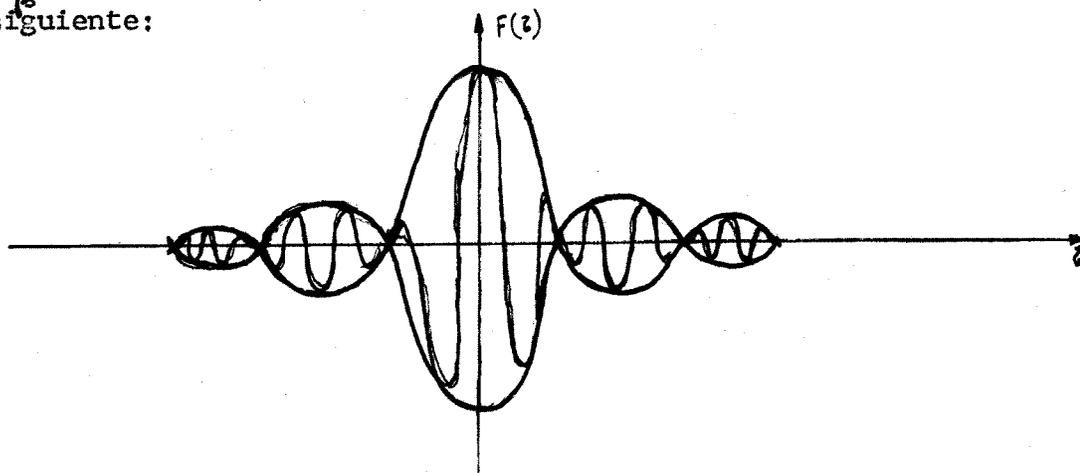
$\Delta \beta$  = ancho de banda

$\zeta$  = diferencia de fase entre las señales recibidas

$W_s = 2\pi f_s$

$f_s$  = frecuencia de señal

Vemos que la función  $F(\zeta)$  está formada por un  $\cos$  modulado por un  $\text{sen } \beta$  siendo  $\alpha$  y  $\beta$  dependientes de  $\zeta$  y su representación gráfica es la siguiente:



La amplitud y la fase de la senoide de salida de un interferómetro nos dan las componentes de Fourier de frecuencias espaciales  $u$  y  $v$ ; datos de interés para realizar la síntesis de la distribución de brillo de una radiofuente.

Esto nos indica que para poder procesar en forma correcta la amplitud de la función de salida, debe hacerse máxima la envuelta de dicha función. Por tal motivo se colocan líneas de retardo  $\zeta_d$  (14) que compensen la diferencia de fase  $\zeta$  que traen las señales, con lo cual la función  $F(\zeta)$  se ve afectada de la manera siguiente

$$F(\zeta) = \underbrace{\frac{\text{sen } \pi \Delta \theta (\zeta - \zeta_d)}{\pi \Delta \theta (\zeta - \zeta_d)}}_{\text{Envuelta}} \underbrace{\cos (W_s \zeta + W_{FI} \zeta_d)}_{\text{Portadora}}$$

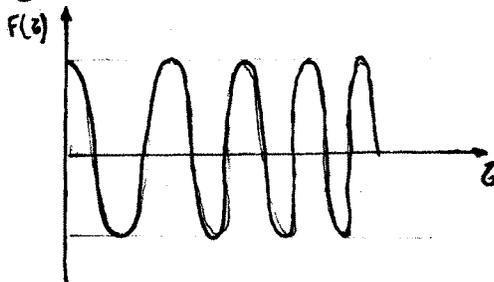
Siendo

$\zeta_d$  = retardos de compensación

$f_{FI}$  = frecuencia intermedia

$$W_{FI} = 2\pi f_{FI}$$

Y su representación gráfica será



Para no alterar la información de fase que contiene la portadora, los retardos  $\zeta_d$  que se coloquen deben ser múltiplos de longitudes de onda de frecuencia intermedia.

Los ecualizadores (14) deben fijar el ancho de banda de trabajo y

compensarán las pérdidas en las líneas coaxiales (11) y en las líneas de retardo (14) llevando la señal a niveles adecuados para entrar a los 3dos. mezcladores (18). Estos realizan la conversión de la señal a una frecuencia intermedia mas baja, para evitar interacción entre las señales de entrada al multiplicador que provocarían pérdidas de eficiencia del sistema.

Debido a que la fase  $\zeta$  que se genera con un interferómetro con orientación NS provocan a la salida sinusoides muy lentas, para facilitar el proceso de la señal, se coloca un rotador de fase (20) en el 3do oscilador local (22) que acelerará las sinusoides de salida del correlador, quedando la función  $F(\zeta)$  como

$$F(\zeta) = \frac{\sin \pi \Delta B (\zeta - \zeta_d)}{\pi \Delta B (\zeta - \zeta_d)} \cos (W_S \zeta + W_{FI} \zeta_d + \varphi)$$

Siendo  $\varphi$  = rotación de fase introducida en el 2do oscilador local. Los desplazadores de  $90^\circ$  (19) colocados en el 2do. oscilador local (22) permiten afectar la portadora de un desfase de  $90^\circ$ , lograndose a la salida componentes seno y coseno de la función de salida, que mejoran la sensibilidad en  $\sqrt{2}$  y permiten obtener la fase con mayor exactitud.

Para generar la función  $F(\zeta)$  que hasta este momento se ha venido analizando, las señales recibidas en ambas antenas deben entrar a los multiplicadores e integradores (28). Cabe destacar que el integrador dejará pasar componentes de ruido no deseado que enmascaran las componentes de amplitud y fase de  $F(\zeta)$  que se desean obtener, por lo tanto la señal debe ser tratada en forma especial para la perfecta detección de los datos.

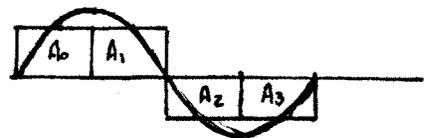
### ANÁLISIS DEL MUESTREO DE LA SEÑAL DE SALIDA DEL INTERFERÓMETRO

La estimación de la amplitud y fase de una senoide está dado por una función compleja  $F$  que se expresa de la siguiente forma (Análisis de Fourier).

$$F = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{\frac{2\pi i n}{N}} \quad (1)$$

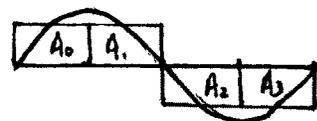
Siendo  $A_n$  los  $n=0, \dots, N-1$  puntos muestreados de la sinusoides, además el número de muestras  $N$  debe ser igual a un número par de períodos de la senoide fundamental. Si aplicamos la ecuación (1) al caso sencillo de una senoide donde  $N=4$  nos queda que

$$F = A_0 - A_2 + i (A_1 - A_3),$$

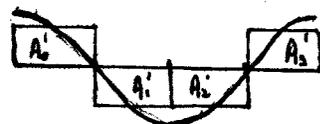


Aplicando esto a dos sinusoides generadas por el mismo efecto, pero desplazadas entre sí  $90^\circ$  tendremos

$$P = \frac{1}{2} (A_0 + A_1 - A_2 - A_3)$$



$$Q = \frac{1}{2} (A'_0 - A'_1 - A'_2 + A'_3)$$



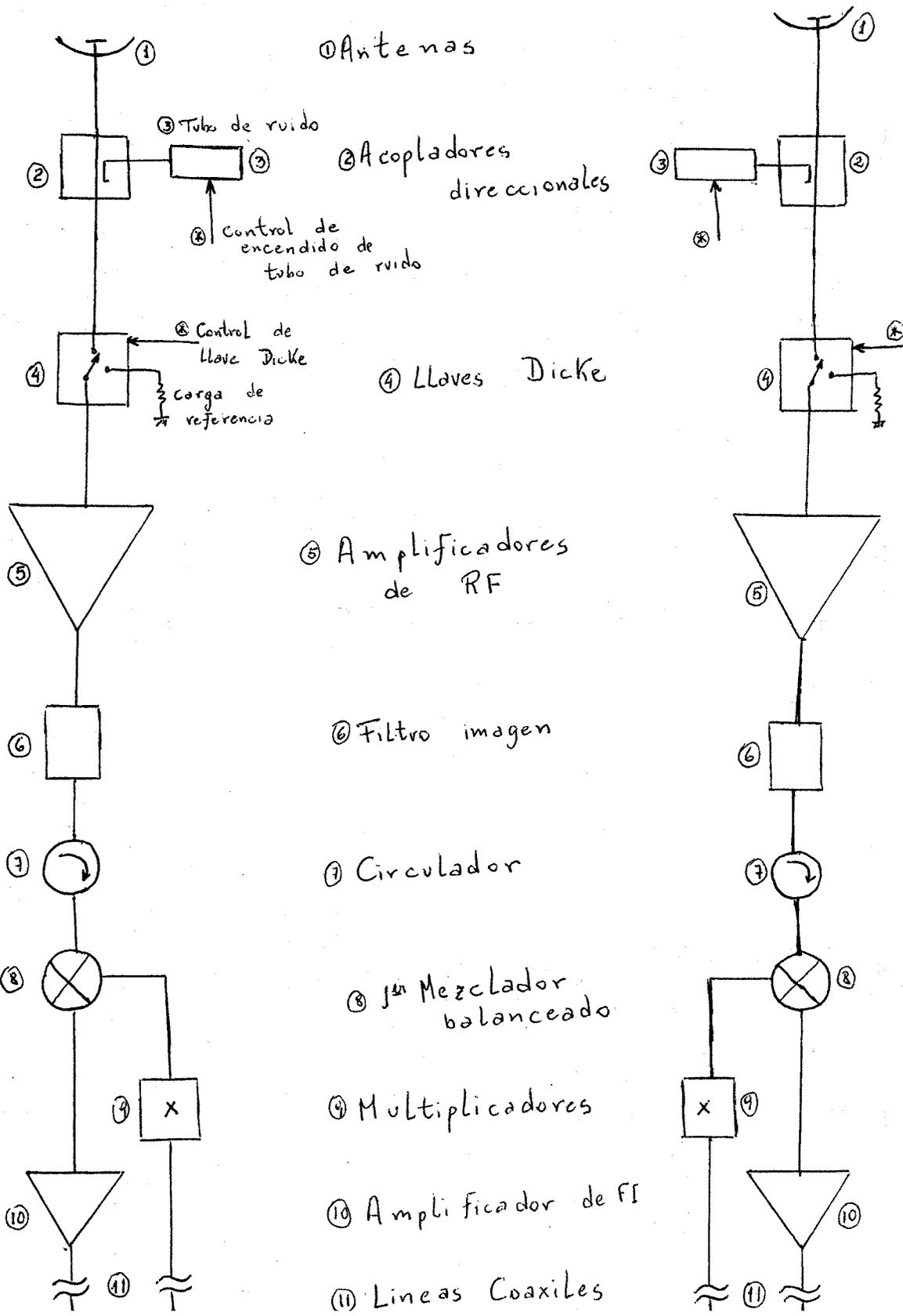
$$F = (P + Q) + i (P - Q)$$

De esta forma se obtiene la función compleja  $F$  cuyo módulo y argumento es la amplitud y fase respectivamente de la senoide de frecuencia conocida. Volviendo al diagrama en bloques vemos que es nuestro objetivo lograr lo propuesto muestreando la señal con el multiplexer (29)

y convertirlos a la forma digital para la posterior integración y almacenamiento de datos por intermedio del microprocesador 31. Cabe señalar que a mayor muestreo de la señal mayor será la exactitud de medida de amplitud y fase.

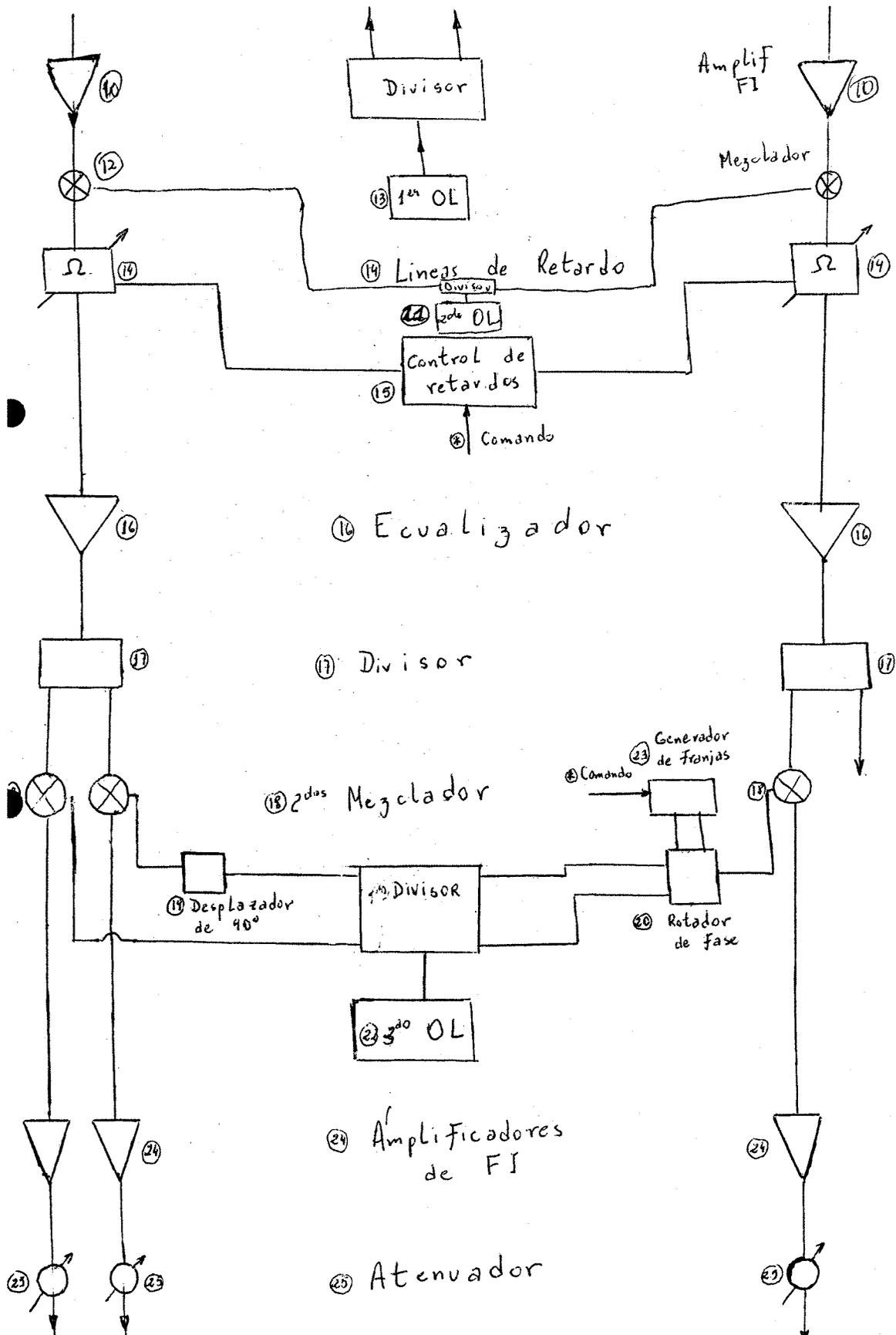
# Cabezal del receptor

(2)



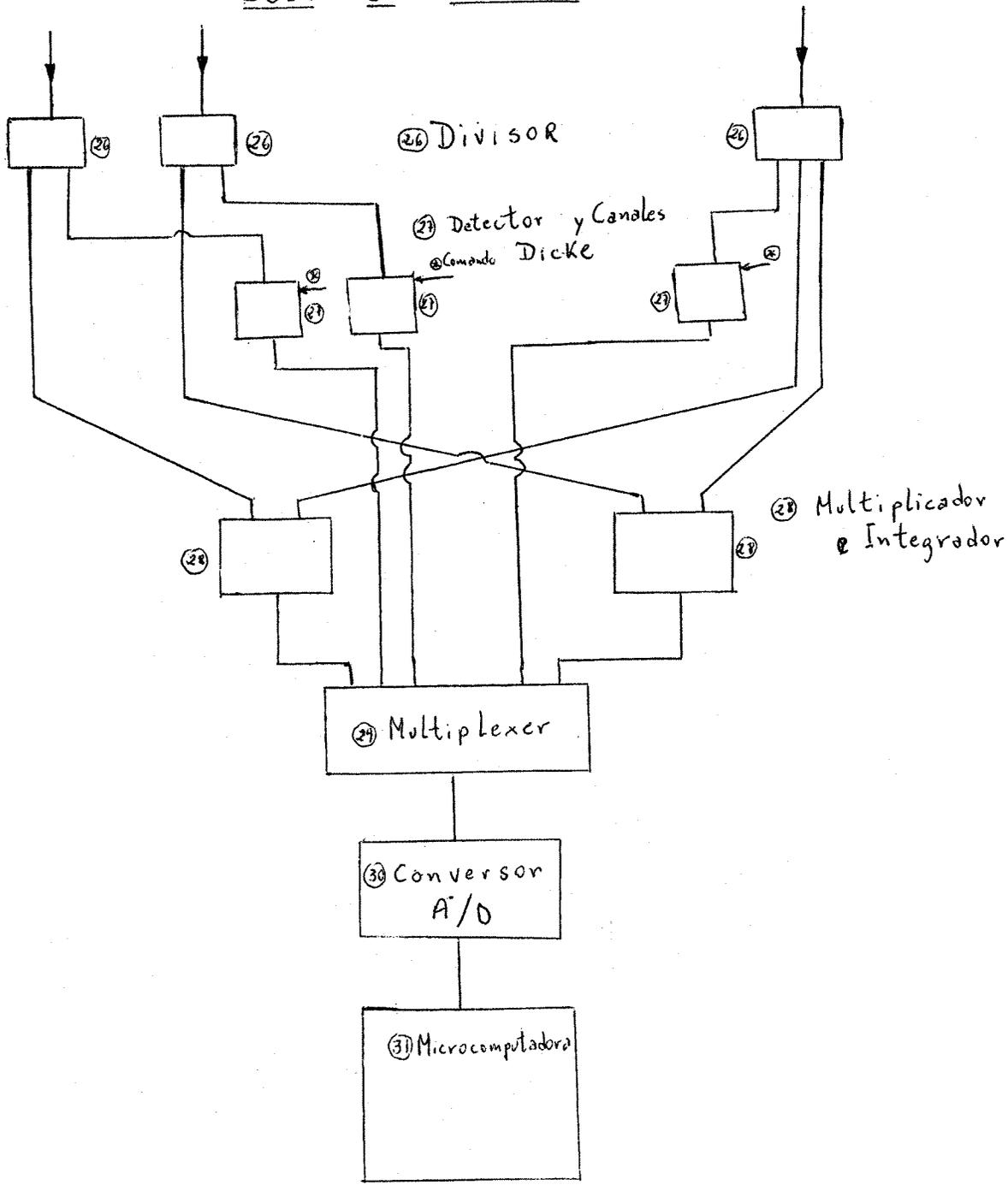
Sala de Control

(3)



Sala de Control

④



## REFERENCIAS

- Proyecto del receptor para el interferómetro del IAR  
E.Bajaja - E.Filloy - A.Bava
- Annual Report : The development of an interferometer for millimeter wavelengths  
R.Hills - W.Hoffman - M.Janssen - D.D.Thornton - S.Silver - W.J.Welch  
University of California, Berkeley
- The Synthesis Radio Telescope at Westerbork- A Collection of reprints  
from Astronomy and Astrophysics.
- Annual Report NRAO