



Unidad de Frecuencia Intermedia
para receptores de milimétricas
del CAY.
OAY 5

Alberto Barcia, Juan E. Garrido,
José Antonio Abad, Carlos Almendros,
Manuel Ruza

Informe Técnico CAY 1991-6

Índice de Materias

1	Introducción	1
2	Especificaciones	2
3	Diagrama de bloques	3
3.1	Aisladores	3
3.2	Amplificador 2	3
3.3	Amplificador 3	3
3.4	Atenuador variable	4
3.5	Filtro paso banda	4
3.6	Divisor de potencia	4
3.7	Mezclador para la segunda conversión	5
3.8	Segundo oscilador local	5
3.9	Atenuadores fijos	5
3.10	Amplificador 4	5
3.11	Detector cuadrático	6
3.12	Amplificador-adaptador	6
4	SALIDA LÍNEAS	7
4.1	Niveles de señal	7
4.1.1	Nivel mínimo	7
4.1.2	Nivel máximo	8
4.2	Bandas de paso y ganancia	8
5	SALIDA CONTINUO	9
5.1	Amplificador-adaptador	9
5.2	Linealidad	10
5.3	Ruido a la salida	11
6	Circuitos de alimentación y alarmas	12
6.1	Circuito de alarma indicadora del desenganche del OL 2	12
6.2	Fuente de Alimentación	13
7	Caja de la FI. Estabilidad térmica	13
8	Conexiones externas	15

1 Introducción

La Frecuencia Intermedia, unidad funcional del receptor, tiene dos misiones:

- Conversión de la señal de salida del primer mezclador, de la banda de 1000 a 1400 MHz a la banda de 100 a 500 MHz, con la correspondiente amplificación (“SALIDA LÍNEAS”).
- Obtención de un voltaje de continua proporcional a la potencia total en la banda de 1000 a 1400 MHz mediante detección cuadrática (“SALIDA CONTINUO”).

La “SALIDA LÍNEAS” es compatible con el banco de filtros de 256 canales y 50 kHz/canal y con el espectrómetro acusto-óptico del CAY.

2 Especificaciones

“ENTRADA”:

Banda: 1000-1400 MHz

Temperatura equivalente de ruido: 181 K

“SALIDA LÍNEAS”:

Banda: 100-500 MHz

Ganancia de la cadena: De 55 a 65 dB en pasos de 1 dB, ± 2 dB en toda la banda.

Nivel de entrada que satura la salida (1 dB de compresión): -45 dBm con el atenuador FI en 10 dB.

“SALIDA CONTINUO”:

Sensibilidad: $48,7 \pm 1,6 (\times 10^3 \text{ V}/\mu\text{W})$

Nivel de saturación: 9,5 V

Nivel de entrada que satura la salida: -57 dBm con el atenuador FI en 10 dB.

“ALARMA DESENGANCHE OL 2”:

Oscilador enganchado: $< 0,5$ V

Oscilador desenganchado: > 12 V

3 Diagrama de bloques

La figura 1 muestra la conexión de los bloques de la FI que quedan dentro de la llamada "caja de la FI". Se hace una breve descripción de los bloques a continuación:

3.1 Aisladores

Marca y modelo: Trak Microwave 60A1101

Banda: 1 – 2 GHz

Aislamiento mínimo: 15 dB

Pérdidas de inserción máximas: 0,6 dB

Potencia máxima de trabajo: 1 W

Coefficiente de onda estacionaria máximo: 1,4 : 1

3.2 Amplificador 2

Marca y modelo: Minicircuits ZEL-1217LN

Banda: 1,2 – 1,7 GHz (Es utilizable de 1 a 2 GHz)

Ganancia: 20 dB

Rizado de la ganancia en la banda: ± 1 dB

Potencia de salida para 1 dB de compresión de la ganancia: 10 dBm

Figura de ruido: 1,5 dB

Coefficiente de onda estacionaria: 2,5 : 1

Alimentación DC: 15 V / 60 mA (media)

3.3 Amplificador 3

Marca y modelo: Miteq AM-4A-1020

Banda: 1 – 2 GHz

Ganancia: 35 dB

Rizado de la ganancia en la banda: $\pm 0,75$ dB

Potencia de salida para 1 dB de compresión de la ganancia: 10 dBm

Figura de ruido: 2 dB

Coefficiente de onda estacionaria: 2 : 1

Alimentación DC: 15 V / 105 mA (media)

3.4 Atenuador variable

Marca y modelo: Alan 50SV10 SMA

Banda: 0 - 1,5 GHz

Margen de atenuación: 0 - 10 dB, en saltos de 1 dB

Pérdidas de inserción máximas: 0,2 dB

Precisión: $\pm 0,4$ dB

Potencia máxima: 1 W (media) / 250 W (de pico)

Coefficiente de onda estacionaria: 1,4 : 1

3.5 Filtro paso banda

Marca y modelo: K&L Microwave 5B120-1200/400-O/O

Número de polos: 5

Frecuencia central: 1200 MHz

Ancho de banda: 400 MHz

Pérdidas de inserción en el centro de la banda: 0,5 dB

Coefficiente de onda estacionaria: 1,5 : 1

3.6 Divisor de potencia

Marca y modelo: Minicircuits ZESC2-11

Banda: 10 - 2000 MHz

Aislamiento entre salidas: 16 dB

Pérdidas de inserción máximas sobre los 3 dB: 2,6 dB

Desquilibrio de amplitud máximo entre salidas: 0,5 dB

Desquilibrio de fase máximo entre salidas: 6°

3.7 Mezclador para la segunda conversión

Marca y modelo: Minicircuits ZFM-2000-S

Banda de OL y RF: 100 – 2000 MHz

Banda de FI: 600 MHz

Pérdidas de conversión máximas: 9,5 dB

Aislamiento OL-RF: 25 dB

Aislamiento OL-FI: 30 dB

Potencia óptima de OL: 7 dBm

3.8 Segundo oscilador local

Marca y modelo: EMF Systems 423043

Frecuencia de salida: 1500 MHz

Potencia de salida: 16 dBm (medida)

Frecuencia de la referencia externa: 10 MHz

Potencia óptima de la referencia externa: 0 dBm

Alimentación DC: ± 15 V / 150 mA (+), 60 mA (-)

3.9 Atenuadores fijos

Marca y modelo: Alan 50MP10 SMA (10 dB), Alan 50MP6 SMA (6 dB)

Banda: 0 – 18 GHz

Precisión: $\pm 0,3$ dB

Potencia máxima: 2 W (media) / 500 W (de pico)

Coefficiente de onda estacionaria: 1,2 : 1

3.10 Amplificador 4

Este amplificador está desarrollado en el CAY. Consta de dos módulos amplificadores WJ-A5, cuyas características son:

Marca y modelo: Watkins-Johnson A5

Banda: 5 – 500 MHz

Ganancia: 14,8 dB

Rizado de la ganancia en la banda: $\pm 0,7$ dB

Potencia de salida para 1 dB de compresión de la ganancia: 9 dBm

Figura de ruido: 4,5 dB

Coefficiente de onda estacionaria: 2 : 1

Alimentación DC: 15 V / 25 mA (media)

Por lo tanto, el amplificador 4 tiene una ganancia teórica de 29,6 dB. En la gráfica correspondiente a las medidas de ganancia en la banda (figura 2), se ve que se cumplen las especificaciones de ganancia y rizado en la banda, además de presentar una frecuencia de corte a 3 dB de 800 MHz. Estas medidas se efectuaron con el banco mostrado en la figura 3.

El diseño de la máscara para el circuito impreso se muestra en la figura 4 y el de la caja de aluminio en la figura 5.

3.11 Detector cuadrático

Marca y modelo: Alan 50D-1

Banda: 0,1 – 2500 MHz

Polaridad: Negativa

Sensibilidad ($R_L = 47 \text{ k}\Omega$): 680 mV/mW

Sensibilidad tangencial mínima: -40 dBm

Funcionamiento cuadrático hasta: -15 dBm

Potencia máxima de entrada: 180 mW

Coefficiente de onda estacionaria: 1,3 : 1

Rizado: ± 1 dB

3.12 Amplificador-adaptador

Para que el detector vea los 47 k Ω de impedancia óptima a su salida, se ha diseñado el amplificador-adaptador descrito más adelante en la parte de “Salida continuo”, circuito que además de la adaptación mencionada, proporciona una ganancia de 440 e invierte el signo de la señal, de modo que será positiva a su salida.

4 SALIDA LÍNEAS

4.1 Niveles de señal

Un canal del banco de filtros (filtro de 50 kHz + detector cuadrático), necesita un nivel a la entrada de -65 dBm, para dar una tensión de salida de 4 V. Trabajando en términos de densidad espectral de potencia y suponiendo ruido blanco y gaussiano a la entrada del receptor, la densidad espectral a la entrada de un canal es:

$$\begin{aligned} S_b &= P_b - B_b = \\ &= -65 \text{ dBm} - 10 \log(50 \times 10^3 \text{ Hz}) = -112 \text{ dBm/Hz} = -142 \text{ dBW/Hz} \end{aligned}$$

siendo P_b la potencia en el canal, y B_b la banda del canal.

La densidad espectral a la entrada del receptor es:

$$S_e = 10 \log k + 10 \log T_s$$

donde k es la constante de Boltzman y T_s la temperatura de sistema.

4.1.1 Nivel mínimo

Utilizando el programa INREL [1], para una temperatura en superficie de 17°C, y una elevación de 40,38° (la que presenta el satélite Olympus-1 desde Yebes), se obtiene una temperatura de brillo del cielo a la frecuencia de 29.5 GHz, $T_{a_{\text{mín}}} = 14,3^\circ\text{C}$.

Suponiendo el receptor refrigerado y con una temperatura equivalente de ruido $T_{r_{\text{mín}}} = 70 \text{ K}$, tenemos la temperatura de sistema mínima:

$$T_{s_{\text{mín}}} = T_{a_{\text{mín}}} + T_{r_{\text{mín}}} = 14,3 \text{ K} + 70 \text{ K} = 84,3 \text{ K}$$

La densidad espectral mínima a la entrada es:

$$S_{e_{\text{mín}}} = -228,6 \text{ dBW}/(\text{K} \cdot \text{Hz}) + 19,3 \text{ dBK} = -209,3 \text{ dBW/Hz DSB}$$

al hacer la mezcla en el primer mezclador, sin rechazo de la banda imagen:

$$S_{e_{\text{mín}}} = -206,3 \text{ dBW/Hz SSB}$$

La ganancia necesaria para tener el nivel adecuado en el banco de filtros es:

$$G_{\text{máx}} = S_b - S_{e_{\text{mín}}} = -142 \text{ dBW/Hz} - (-206,3 \text{ dBW/Hz}) = 64,3 \text{ dB}$$

la cadena debe tener esta ganancia, además de la atenuación necesaria para compensar cuando haya niveles mayores.

4.1.2 Nivel máximo

El nivel máximo en un canal se espera para la recepción de la portadora B_2 del Olympus-1, la potencia de recepción es [2]: $P_r = -124,9$ dBW . La atenuación necesaria para tener el nivel adecuado en el banco de filtros será:

$$\begin{aligned} L &= P_r + G_{m\acute{a}x} - P_b = \\ &= -124,9 \text{ dBW} + 64,3 \text{ dB} - (-95 \text{ dBW}) = 34,4 \text{ dB} \end{aligned}$$

Si lo que se recibe es ruido del Sol, el cual presenta una temperatura de brillo en milimétricas de unos 3600 K, con el receptor sin refrigerar ($T_r = 627$ K DSB):

$$S_{e_{m\acute{a}x}} = -189,3 \text{ dBW/Hz SSB}$$

La atenuación en este caso debe ser:

$$\begin{aligned} L &= S_{e_{m\acute{a}x}} + G_{m\acute{a}x} - S_b = \\ &= -189,3 \text{ dBW/Hz} + 64,3 \text{ dB} - (-142 \text{ dBW/Hz}) = 17 \text{ dB} \end{aligned}$$

4.2 Bandas de paso y ganancia

A la estructura mostrada en la figura 1 se llegó tras hacer medidas de la banda de paso y compararla con la de otras estructuras similares: sin el aislador posterior al filtro y con el divisor de potencia situado antes del filtro.

La banda correspondiente a la estructura seleccionada, con el atenuador variable en 0 dB, se muestra en la figura 6. Con una diferencia de unos 4 dB del principio al final de la misma (100 a 500 MHz), es la mejor de las medidas. Las frecuencias altas quedan realzadas respecto de las bajas, este efecto ecualizará parcialmente la atenuación del cable de bajada, que atenuará más las altas frecuencias. El banco de medida correspondiente es el mostrado en la figura 8.

Se midió también la banda correspondiente a la salida "PRUEBAS" (primera FI, previa al filtro), mostrada en la figura 7, en la que se aprecia que dentro de la banda de 1 a 1,4 GHz las frecuencias altas están atenuadas unos 3 dB respecto de las bajas, lo cual concuerda con la banda de la segunda FI (ésta está invertida respecto de la primera).

Veamos la ganancia medida. El nivel medio de salida, visualizado en la figura 6 es: $L_{sv} = -49$ dBm. Teniendo en cuenta que lo que medimos es ruido blanco gaussiano, hay que corregir este valor con los factores siguientes [3]:

$$L_s = L_{sv} + F_{aleat.} - F_{filtro} = -49 \text{ dBm} + 2,5 \text{ dB} - 0,79 \text{ dB} = -47,29 \text{ dBm}$$

donde $F_{aleat.}$ es el factor de corrección para aplicar cuando se mide ruido aleatorio y F_{filtro} es el factor que tiene en cuenta que la banda equivalente de ruido del

filtro de FI del analizador de espectros es 1.2 veces su banda a 3 dB, que es la cantidad indicada en la pantalla.

La temperatura de sistema en la medida (considerando la carga adaptada a la entrada a temperatura ambiente) es:

$$T_s = T_{amb} + T_e$$

donde T_e es la temperatura equivalente de la sección de FI:

$$T_e = T_{aislador} + L_{aislador} T_{ampli2} + \dots \simeq 43 \text{ K} + 1,15 \times 120 \text{ K} = 181 \text{ K}$$

luego:

$$T_s = 471 \text{ K}$$

La potencia a la entrada en una banda de 1 MHz (correspondiente al filtro del analizador de espectros en la medida mostrada en la figura 6), es:

$$L_e = 10 \log(kT_s B) = -112 \text{ dBm}$$

La ganancia es:

$$G \simeq L_s - L_e = 64,71 \text{ dB}$$

Se midió también la ganancia a partir de una senoide a la entrada, de 1250 MHz y un nivel de -70 dBm (no hay saturación), viéndose que $G = 64 \text{ dB}$, lo cual concuerda con las medidas a partir de ruido.

En resumen, la ganancia en el centro de la banda es variable entre 55 y 65 dB, en pasos de 1 dB. La variación hacia los extremos de la banda es de $\pm 2 \text{ dB}$. En la banda del banco de filtros (197,6 – 210,4 MHz) tenemos una ganancia entre 53 y 63 dB.

5 SALIDA CONTINUO

5.1 Amplificador-adaptador

En la sección "Diagrama de bloques" se exponen las características del detector cuadrático empleado. En la figura 9 se muestra el esquema del amplificador-adaptador, cuya misión es presentar al detector una impedancia para linealidad óptima, así como amplificar la tensión entregada por éste hasta valores adecuados para la conversión A/D.

La expresión de la ganancia es:

$$G = - \left(\frac{R_2 + R_3}{R_1} + \frac{R_2 R_3}{R_1 R_4} \right) = -440$$

En la sección de niveles de potencia se vio que $S_{e_{mín}} = -206,3$ dBW/Hz. De la gráfica de la figura 7, se deduce una densidad espectral de potencia media en la banda de -143 dBW/Hz, siendo que a la entrada hay una carga adaptada a 290 K ($S_e = -202$ dBW/Hz), teniendo en cuenta que las pérdidas desde el punto de pruebas hasta el detector son de unos 7 dB, la ganancia hasta la entrada del mismo es de 52 dB, si el atenuador variable se sitúa en 10 dB, la ganancia será de 42 dB. Suponiendo un Amplificador 1 con una ganancia de 28 dB, y un mezclador con unas pérdidas de 6 dB, tendremos una ganancia total $G_d = 64$ dB, y la potencia mínima a la entrada del detector será:

$$\begin{aligned} P_{d_{mín}} &= S_{e_{mín}} + G_d + 10 \log B = \\ &= -206,3 \text{ dBW/Hz} + 64 \text{ dB} + 86 \text{ dBHz} = \\ &= -56,3 \text{ dBW} = -26,3 \text{ dBm} \end{aligned}$$

lo cual proporciona una tensión en “SALIDA CONTINUO”:

$$\begin{aligned} V_{c_{mín}} &= P_{d_{mín}} \cdot S \cdot G = \\ &= 2,3 \times 10^{-6} \text{ W} \times 680 \text{ V/W} \times 440 = 0,7 \text{ V} \end{aligned}$$

Como la potencia máxima de entrada para funcionamiento cuadrático es -15 dBm, tendremos una tensión de salida máxima:

$$\begin{aligned} V_{c_{máx}} &= P_{d_{máx}} \cdot S \cdot G = \\ &= 31,6 \times 10^{-6} \text{ W} \times 680 \text{ V/W} \times 440 = 9,5 \text{ V} \end{aligned}$$

Se deduce que el margen dinámico a la entrada del detector es de $11,3$ dB. Para aumentar dicho margen se puede introducir un atenuador en la cadena, bien antes del detector, si queremos no alterar la “SALIDA LÍNEAS”, bien en la conexión externa “PRUEBAS”, si queremos atenuar ambas salidas.

El amplificador operacional utilizado es el LH0042, seleccionado debido a sus excelentes características en cuanto a deriva térmica del offset, así como a que presenta la posibilidad de corregir el offset mediante un potenciómetro.

La placa de circuito impreso está diseñada de modo que, en serie con la salida, se puede añadir una resistencia de 1 k Ω cuya misión es evitar posibles oscilaciones producidas al ver dicha salida, de muy baja impedancia, la elevada capacidad del cable conectado a ella, que, en general, será muy largo (bajada desde el receptor a la sala de control).

5.2 Linealidad

Para analizar la linealidad del detector se midieron las tensiones en “SALIDA CONTINUO” correspondientes a distintas potencias de entrada consistentes en

el ruido propio de la cadena y una portadora de 1200 MHz cuya potencia se iba variando. La posición del atenuador variable era de 0 dB. Con los resultados se ha confeccionado la siguiente tabla:

Pot. portadora entrada (dBm)	Tensión salida (V)		Salto (dB)
	Medida	Restando el ruido	
$-\infty$	0,25	0,00	-
-80	0,75	0,50	-
-79	0,89	0,64	1,04
-78	1,05	0,81	1,00
-77	1,26	1,01	1,00
-76	1,51	1,26	0,95
-75	1,83	1,58	0,98
-74	2,21	1,96	0,94
-73	2,71	2,47	0,99
-72	3,32	3,07	0,96
-71	4,06	3,81	0,94
-70	5,03	4,78	0,98
-69	6,38	6,13	1,10
-68	7,82	7,57	0,92
-67	9,56	9,31	0,90
-66	11,62	11,37	0,87
-65	14,15	13,90	0,87
-64	14,27	14,02	0,04

Se aprecia que a partir de -67 dBm a la entrada, deja de haber linealidad a la salida, debido al detector y, a partir de -65 dBm el amplificador operacional empieza a estar saturado.

5.3 Ruido a la salida

Vista la tensión de salida en el osciloscopio, con una sensibilidad de 5 mV/, se apreció un ruido que concuerda con el que corresponde a la banda del amplificador LH0042 trabajando en una configuración con una ganancia de 440: ~ 1 kHz. No se apreció la presencia de ruido introducido por la red (50 Hz).

6 Circuitos de alimentación y alarmas

6.1 Circuito de alarma indicadora del desenganche del OL 2

El OL 2, modelo 423043, marca E.M.F. Systems, consiste en un VCO de 1500 MHz con dos lazos de enganche de fase. El primero de ambos toma una referencia de 10 MHz. Incorpora dos salidas que permiten la medida de las tensiones de corrección de ambos PLL: E_1 y E_2 .

E_1 , tensión de corrección del primer lazo, se considera dentro de su rango (PLL enganchado y dentro del margen de *hold-in*) cuando su valor está entre 2 y 8 V.

E_2 tiene forma de onda aproximadamente cuadrada de 32 Hz de frecuencia y excursión entre 2 y 13 V cuando OL 2 está desenganchado. La amplitud de la onda disminuye para frecuencias muy alejadas de la de enganche, efecto producido por el filtro del lazo, conservándose un valor medio fijo de 9,3 V, pero las variaciones de frecuencia esperadas para los cambios de temperatura posibles están lejanas de provocar una disminución tan drástica de la amplitud de la onda como para que ésta no sea apreciable.

El comportamiento de E_1 y E_2 , con los PLL enganchados, con la temperatura se refleja en la siguiente tabla:

t(°C)	E_1 (V)	E_2 (V)
21,2	4,4	4,4
33,0	4,6	4,6
42,0	4,8	5,4
53,0	5,1	6,1
57,0	5,1	6,5

La alarma debe activarse cuando E_1 indique ausencia de referencia (E_1 fuera del margen arriba indicado) o E_2 indique desenganche del segundo lazo, lo cual viene indicado por la presencia de la onda cuadrada. El circuito que realiza esta función se muestra en la figura 10.

El tratamiento de E_2 para activar la alarma correspondiente requiere eliminar la componente continua, rectificar y filtrar paso bajo la "onda cuadrada" y comparar con un nivel adecuado. Hemos elegido el nivel de comparación 0,4 V ya que conviene sea bajo para que la alarma tenga máxima sensibilidad, pero debe ser lo suficientemente alto como para que la probabilidad de activación de la alarma por un espúreo sea muy baja.

El circuito de alarma realiza una función OR teniendo como entradas las circunstancias de exceso de E_1 , defecto de E_1 y presencia de onda cuadrada en E_2 . Si cualquiera de los tres sucesos se produce, se activará la alarma, conectándose el

LED correspondiente y dando un nivel mayor de 12 V en el terminal de conexión exterior, que de lo contrario permanezca a 0 V.

Dado que la impedancia de salida de E_2 en el OL 2 es alta, fue necesario incorporar un buffer previo al circuito OR y a un inversor utilizado para la indicación de alarma compatible con la de la antigua FI, la cual proporcionaba una señal entre -2 y -12 V cuando el PLL estaba desenganchado. El esquema del circuito puede verse en la figura 11. La desventaja de emplear este sistema de compatibilización para las alarmas de la FI es que sólo empleamos E_2 , ocurriendo que cuando falta la referencia se desengancha E_1 pero no E_2 , con lo cual, este evento pasaría desapercibido en la sala de control. De todos modos, este montaje es provisional, pasando a tener plena información sobre desenganches cuando sea instalada la unidad OAY 06 como fuente de alimentación del PLL del OL 1 y concentrador de alarmas para la sala de control.

Se ha observado que el espectro de salida del OL 2 depende de la señal empleada como referencia. Podemos ver, en las figuras 13 y 14 los espectros para la salida 10MHz STD.OUT del sintetizador Racal-Dana 3101 ($P=0\text{dBm}$) y para la salida RF OUTPUT del mismo sintetizador ($f=10\text{MHz}$, $P=0\text{dBm}$), respectivamente, utilizadas como referencias. Cuando la señal empleada es el reloj del radiotelescopio, E_2 no se engancha. No está claro aún este comportamiento del OL 2.

6.2 Fuente de Alimentación

Se midió el consumo de la FI resultando de 340 mA para la fuente de $+15$ V y de 60 mA para la de -15 V. A estos valores habrá que añadir el consumo del circuito de alarma del OL2, situado en la misma caja que la fuente de alimentación, este consumo se estima de ~ 30 mA para $+15$ V y ~ 10 mA para -15 V.

Se muestra el esquema del circuito en la figura 11. La parte de $+15$ V permite una mayor corriente mediante el transistor de paso 2N3055 controlado por el regulador LM723 con una configuración que permite funcionamiento tipo *foldback limiting current*, de manera que, sobrepasado un cierto valor de la corriente, I_{knee} , ésta disminuye hasta un valor de seguridad, I_{limit} , en nuestro caso los valores medidos son:

$$\begin{aligned} I_{knee} &= 760 \text{ mA} \\ I_{limit} &= 140 \text{ mA} \end{aligned}$$

La parte de -15 V está controlada por el regulador LM7915, capaz de entregar sin necesidad de disipador unos ~ 100 mA. sólo van conectados a ella la parte de -15 V del OL 2, del amplificador-adaptador para el detector de continuo y del circuito de alarma.

7 Caja de la FI. Estabilidad térmica

Los componentes de la FI irán montados sobre una plancha de propiedades térmicas tales que haga que variaciones externas de la temperatura afecten lo más lentamente posible a la temperatura de trabajo de dichos componentes. El objeto de ésto es eliminar variaciones rápidas de la ganancia producidas por variaciones térmicas.

Para lograr ésto la plancha debe tener una elevada capacidad calorífica (análogo en transmisión de calor a la capacidad eléctrica en electromagnetismo) y estar lo mejor aislada posible térmicamente del exterior (análogo a presentar una elevada resistencia eléctrica). Es decir, se necesita $\tau = R_{th} C_{th}$ elevado para que los cambios en la temperatura ambiente (análogo a un generador de tensión) hagan la variación de la cantidad de calor (análogo a la corriente eléctrica) de la manera más lenta posible.

Veamos, en primer lugar, la resistencia térmica que habrá entre la plancha y el exterior. Suponemos que entre los componentes y la placa es cero, por ir éstos en contacto directo con aquélla. La caja exterior es de aluminio, forrada interiormente con poliexpan, luego podemos suponer que la resistencia térmica de las paredes de la caja es muy elevada, y en paralelo con la de los tornillos que sostendrán la plancha a 10 mm sobre el fondo de la caja y la de los cables de conexión. No la tendremos en cuenta.

Se ha utilizado cable semirrígido UT 85 con conductores de cobre, de Microcoax, y con una longitud media de 30 mm desde el componente correspondiente hasta la pared de la caja, siendo ϕ_{ext} y ϕ_{int} los diámetros exterior e interior respectivamente del conductor externo y ϕ_{cc} el diámetro del conductor central, tenemos:

Conductividad térmica: $1/k = 390 \text{ W}/(\text{m}^\circ\text{C})$

$\phi_{ext} = 2,20 \text{ mm}$

$\phi_{int} = 1,68 \text{ mm}$

$\phi_{cc} = 0,51 \text{ mm}$

Sección: $S = S_{ce} + S_{cc} = 1,79 \text{ mm}^2$

Resistencia térmica:

$$R_{th1c} = k \frac{l}{S} = \frac{1}{390 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}} \frac{30 \times 10^{-3} \text{ m}}{1,79 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 43^\circ\text{C}/\text{W}$$

Suponiendo el atenuador variable a temperatura ambiente, ya que va montado sobre la pared de la caja, tenemos ocho cables de conexión al exterior, en paralelo térmicamente, luego $R_{th8c} = 5,4 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$.

Veamos ahora la resistencia térmica de los tornillos de fijación de la plancha a la caja. Éstos son de acero inoxidable, cuya conductividad térmica es $1/k = 15 \text{ W}/(\text{m}^\circ\text{C})$, con $\phi = 4 \text{ mm}$ y $l = 10 \text{ mm}$, lo cual hace $R_{th1t} = 13,3 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$.

La resistencia térmica total será: $R_{th} = R_{th8c} // R_{th4t} = 2,05 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$.

Dadas las dimensiones y disposición de los componentes, se ha seleccionado como plancha, una de dimensiones $240 \times 240 \times 10$ mm, de Dural 2011, duraluminio de buenas propiedades mecánicas y térmicas. El calor específico del Dural 2011 es, aproximadamente, el del aluminio, $S = 870 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$.

La densidad es $\rho = 2,75 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3$.

La masa de la placa es $m = \rho V = 1584$ gramos.

La capacidad calorífica es $C_{th} = m S = 1378 \text{ J/}^\circ\text{C}$.

Así tenemos: $\tau = R_{th} C_{th} = 2825 \text{ seg} = 47 \text{ min}$

Como el valor final de la temperatura interna provocado por un escalón de la temperatura externa se alcanza, aproximadamente, en 5τ , tenemos que una variación térmica externa, tardará unas 4 horas en producir todos sus efectos sobre la ganancia de la cadena.

Dados los consumos de los elementos activos, se disiparán, aproximadamente, $P = V I = 15 \text{ V} \times (400 + 100) \text{ mA} = 7,5 \text{ W}$, que, transmitiéndose a través de $R_{th} = 2,05 \text{ }^\circ\text{C/W}$, provocan un incremento de temperatura: $\Delta\theta = P R_{th} \simeq 14^\circ\text{C}$ luego la plancha estará, para una temperatura ambiente constante, $14 \text{ }^\circ\text{C}$ por encima de la misma, esto es, para una temperatura ambiente máxima de 40°C , los componentes de la FI estarían a 54°C , valor aceptable.

Se muestra en la figura 12 un plano de la caja de aluminio de la FI, sin la tapa ni el fondo, donde irá atornillada la plancha soporte de los componentes.

Se detalla en la tabla siguiente la clase y el número de conectores SMA empleados en la interconexión de los elementos:

Clase	Cantidad
Pasamuros	6
Transiciones	6
Machos codo	12
Machos recto	7
Hembras recto	1

8 Conexiones externas

ENTRADA: SMA

SALIDA LÍNEAS: SMA

SALIDA CONTINUO: SMA

ENTRADA REF. 10 MHz: SMA

Clave de los pines de los conectores "D":

Pin	ALIMENTACIÓN Y ALARMAS	ALIMENT.	ALARMA
1	+15 V	+15 V	Tensión alarma
2	-	-	-
3	GND	GND	V_{al}^*
4	-	-	-
5	-15 V	-15 V	GND
6	E_1	E_1	-
7	-	-	-
8	-	-	-
9	E_2	E_2	-

El conector "ALARMA" permite extraer una alarma indicadora de desenganche del oscilador, hacia el exterior. Los conectores "ALIMENT." y "ALIMENTACIÓN Y ALARMAS" conectan la fuente de alimentación y la unidad de FI.

Los conectores SMA "PRUEBAS" permiten intercalar un aparato de medida o un atenuador adicional en la cadena, a la salida del amplificador 3.

V_{al}^* corresponde a la salida de alarma compatible con la antigua FI.

Referencias

- [1] Efectos de la atmósfera terrestre sobre la propagación de ondas electromagnéticas
J.E. Garrido, J. Martín-Pintado
Informe Técnico CAY 1990-4.

- [2] Construcción y medida de receptor para el radiotelescopio de Yebes en Banda Ka
J.E. Garrido
Proyecto fin de carrera
E.T.S.I. de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid. 1990.

- [3] Spectrum analysis. Noise measurements
Spectrum analyzer series. Application note 150-4
Hewlett-Packard. April 1974.

Figuras

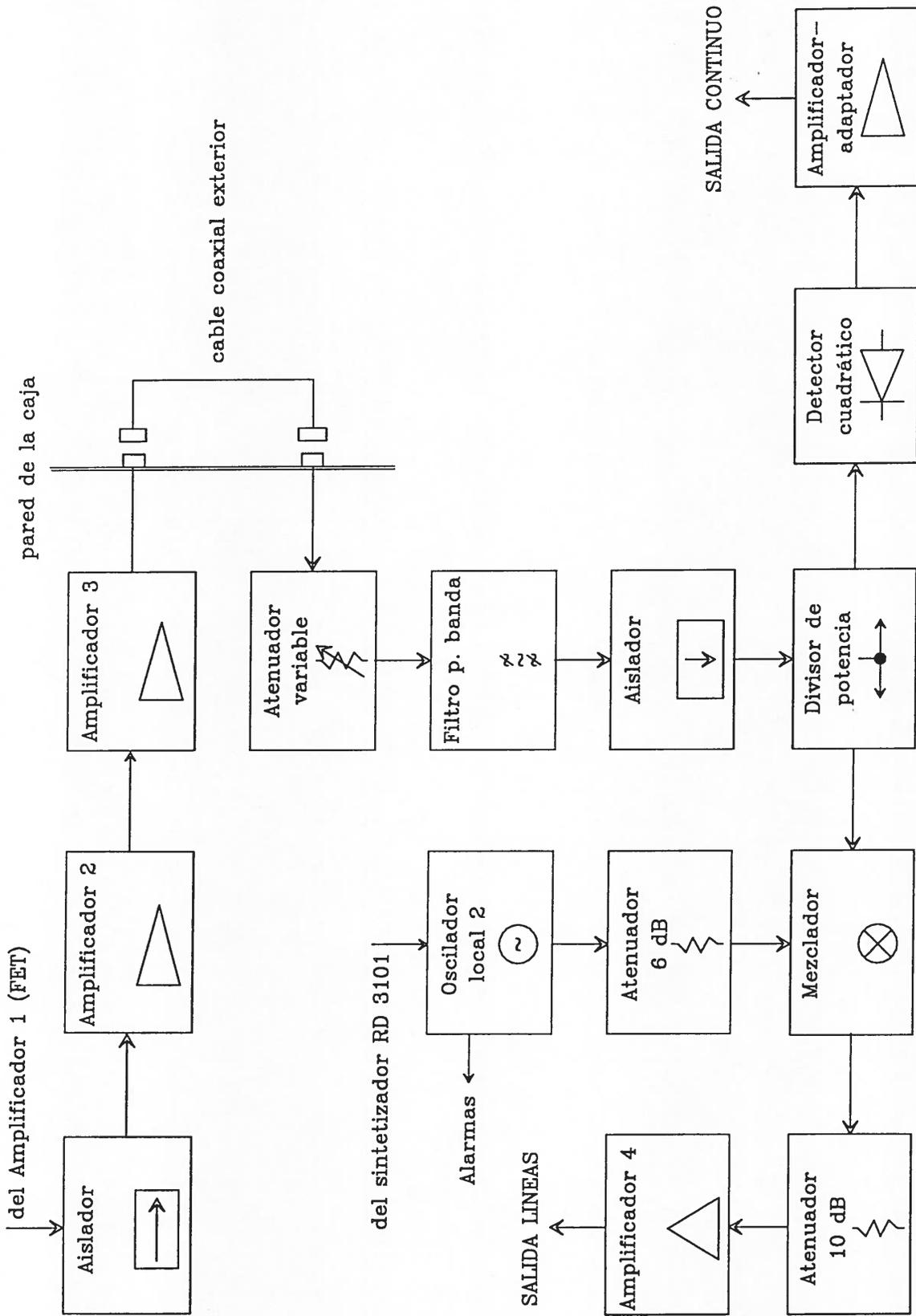


Figura 1. FRECUENCIA INTERMEDIA

CH2: B -M + 29.63 dB
1.0 dB/ REF + 30.00 dB

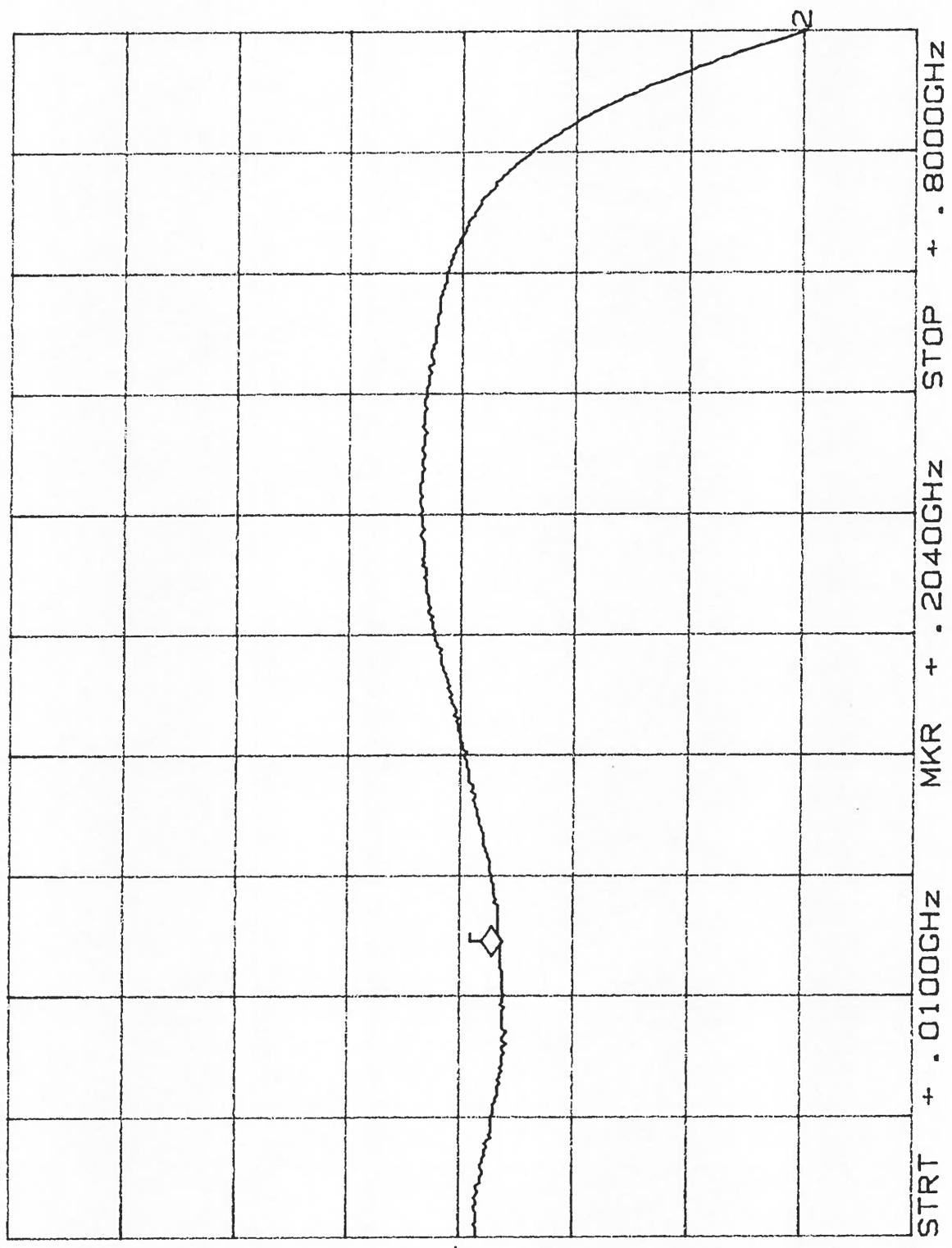


Figura 2. Banda del Amplificador 4 (AMPLI FI 2)

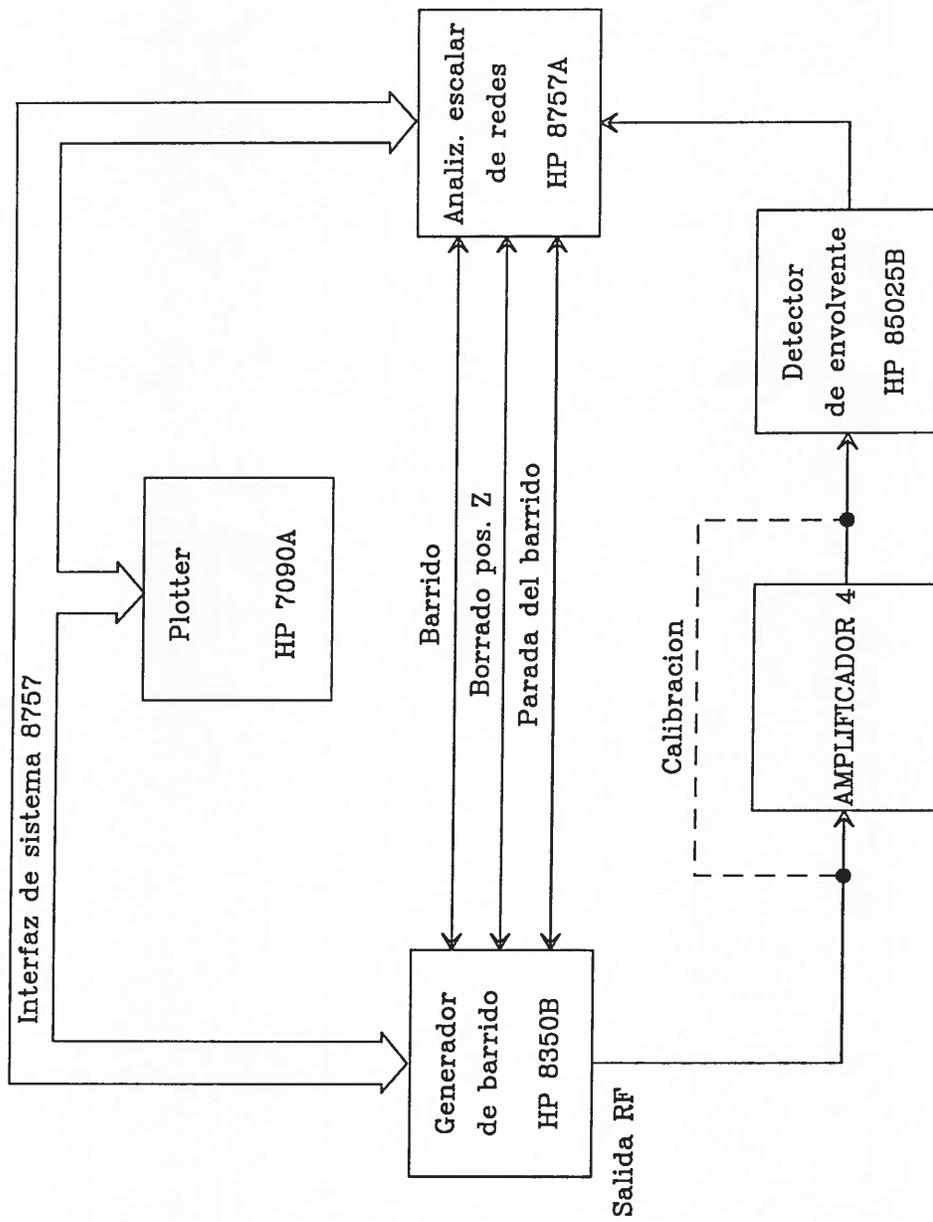
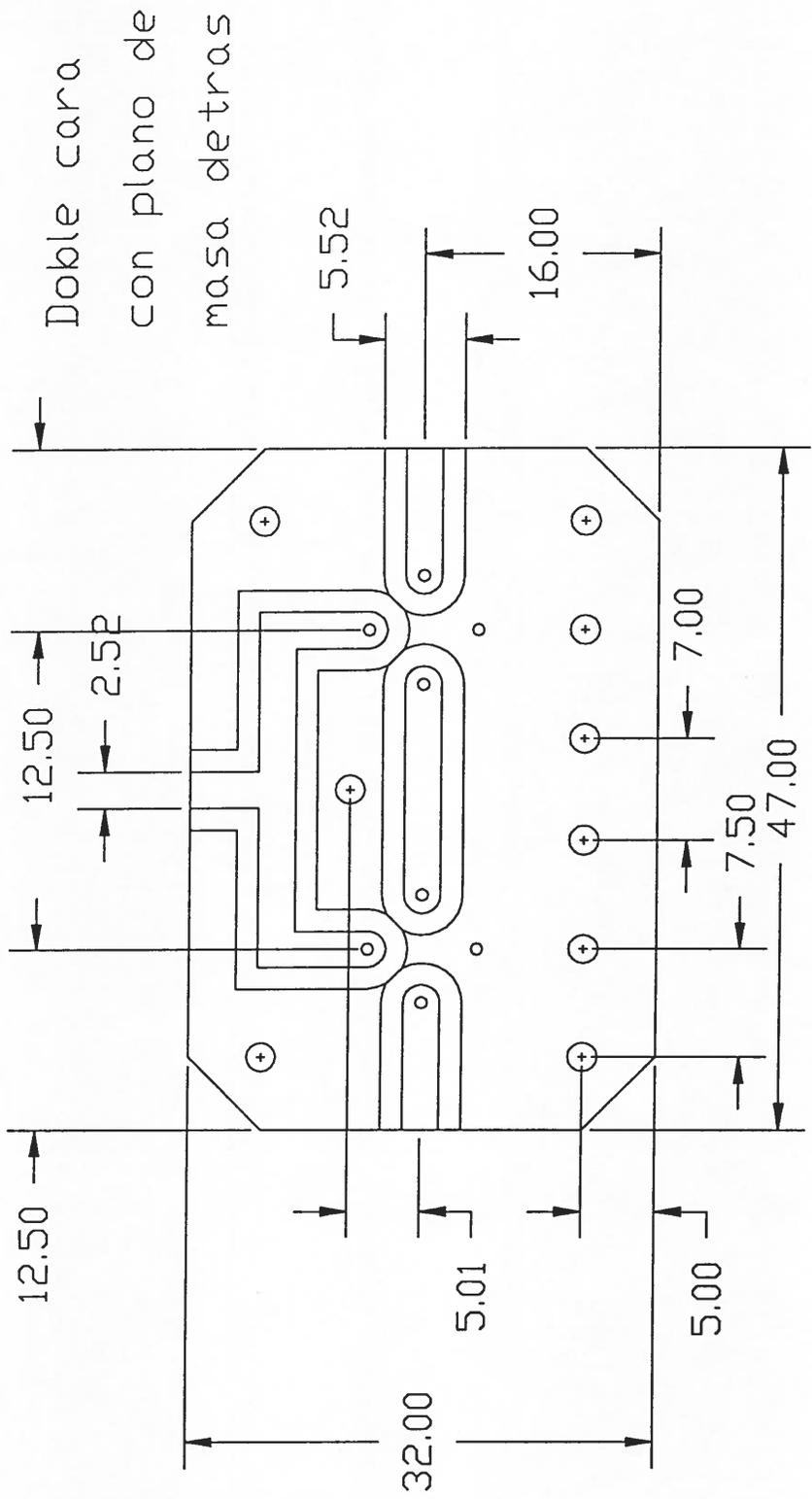
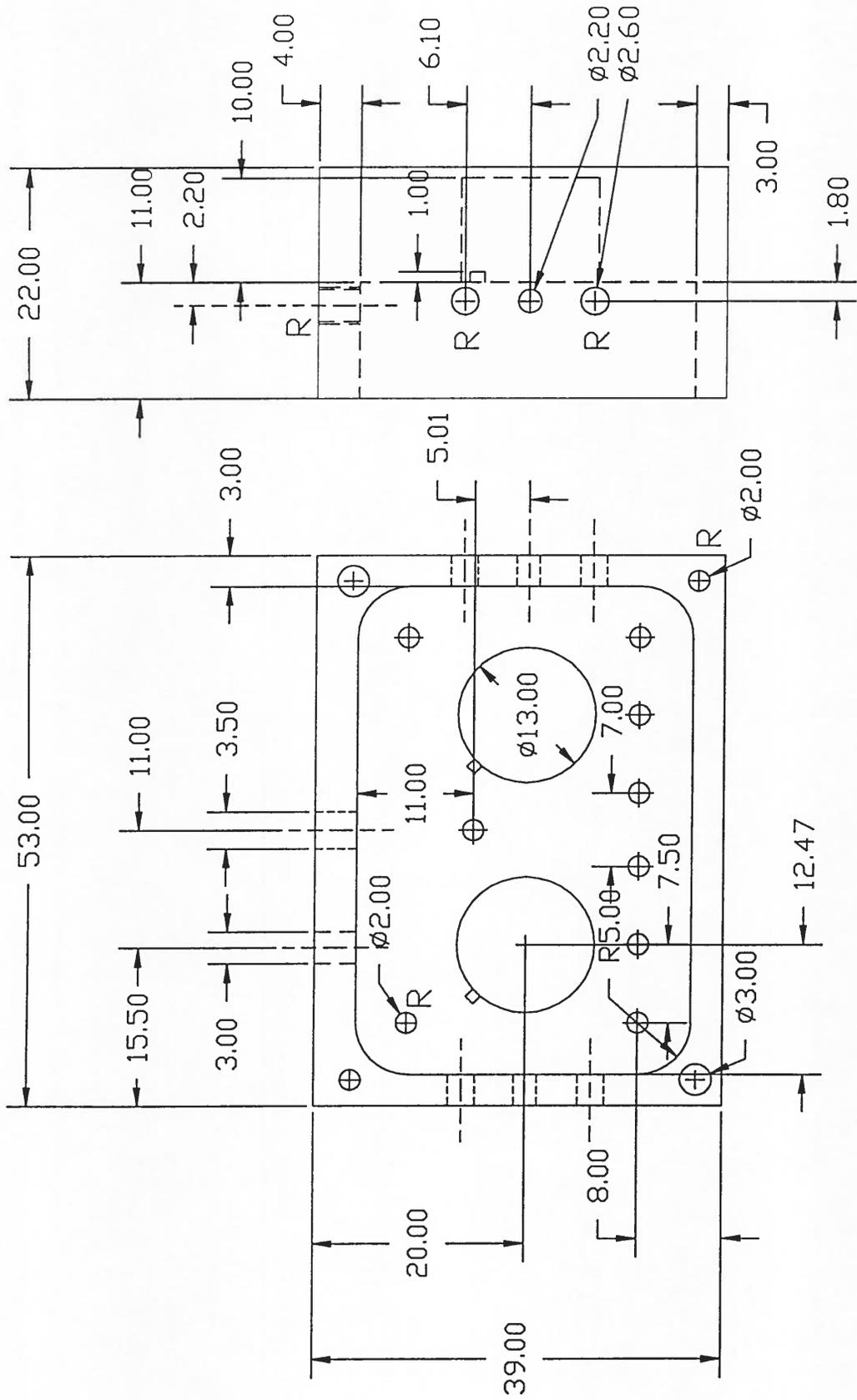


Figura 3. BANCO DE MEDIDA DE LA BANDA DE UN AMPLIFICADOR



Circuito impreso para ampli. WJ-A5

Figura 4.



Caja para amplificador WJ-A5

Figura 5.

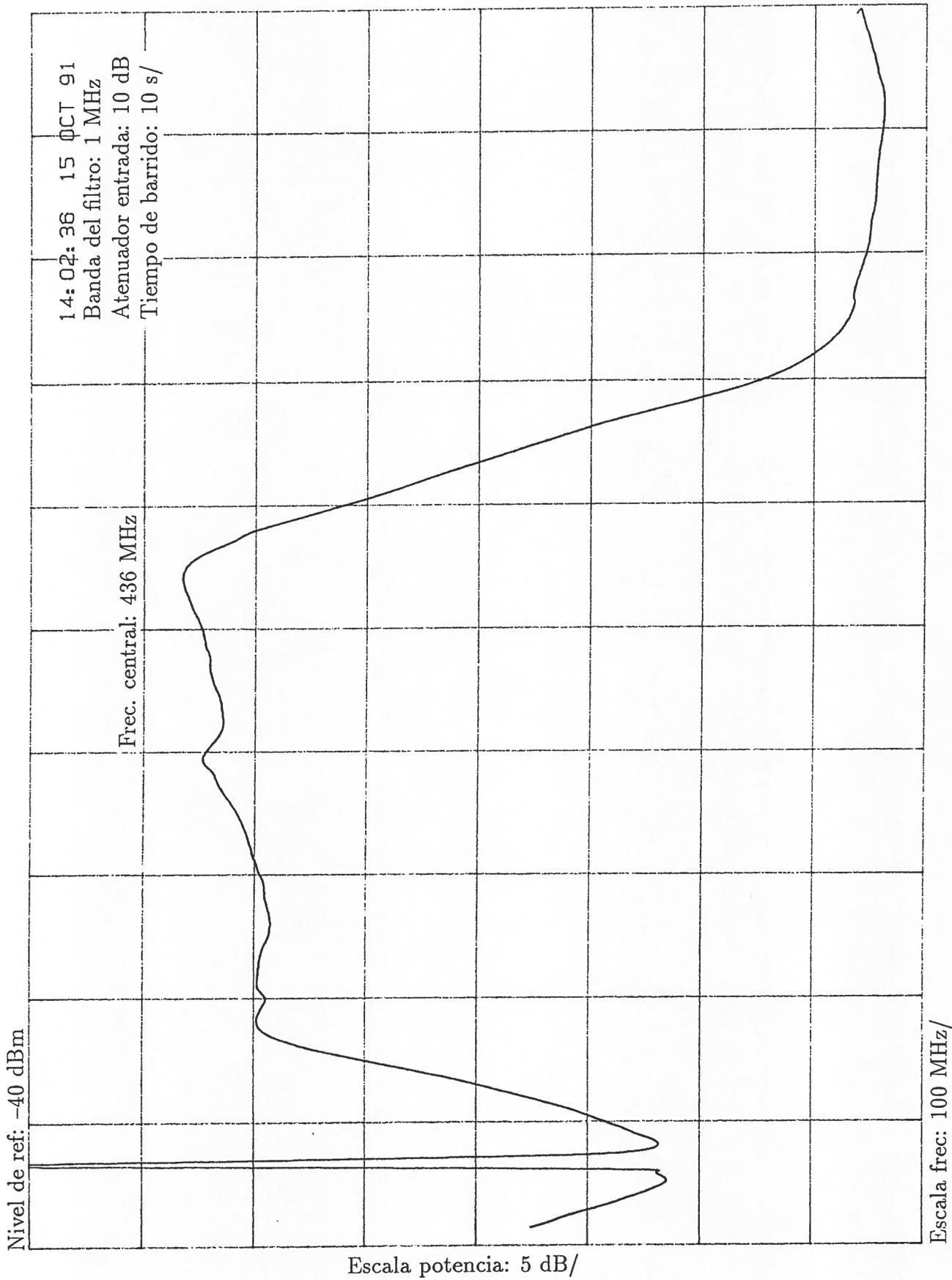


Figura 6. Banda de la FI 2, "SALIDA LÍNEAS"

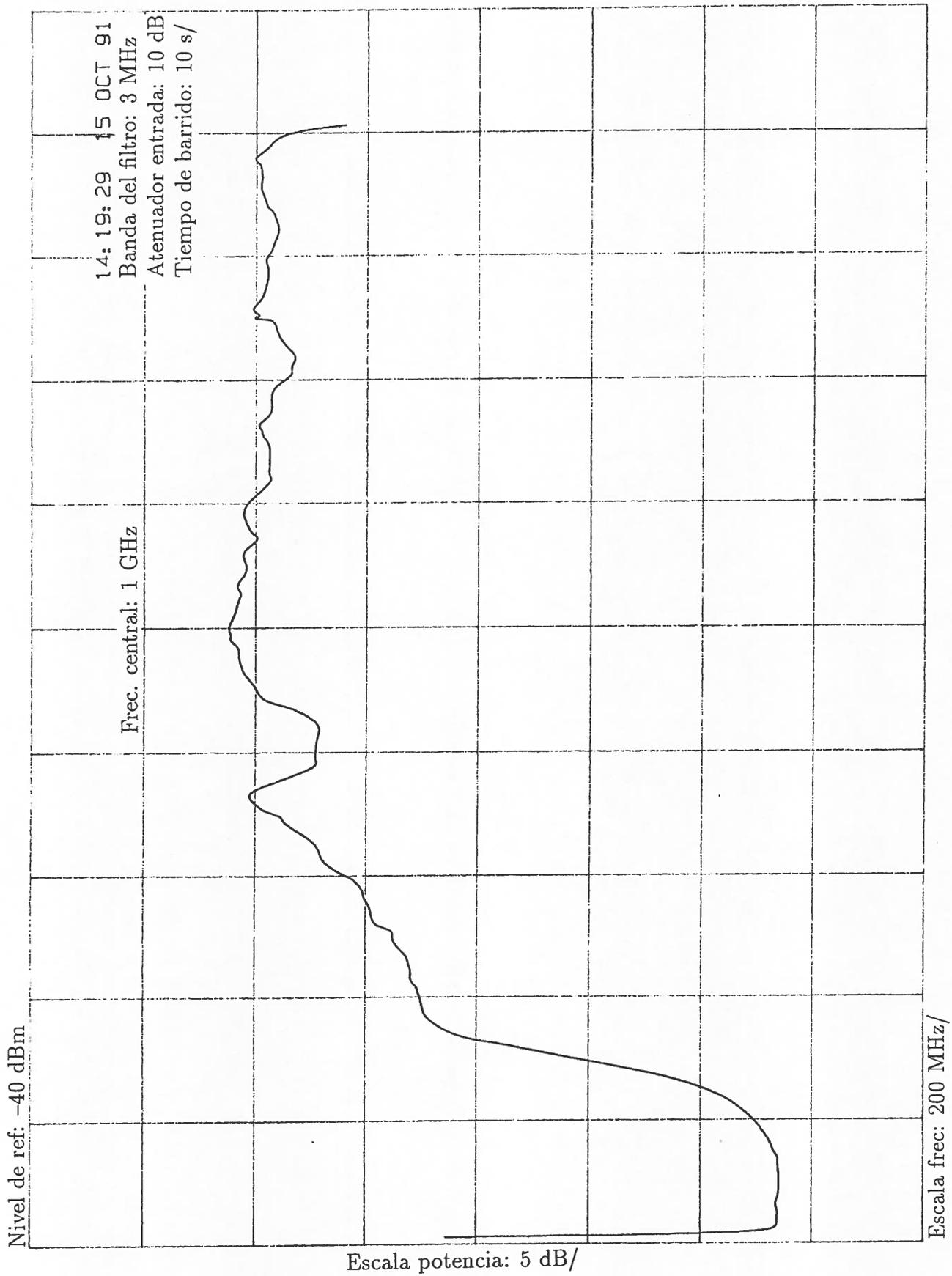


Figura 7. Banda de la FI 1, salida "PRUEBAS"

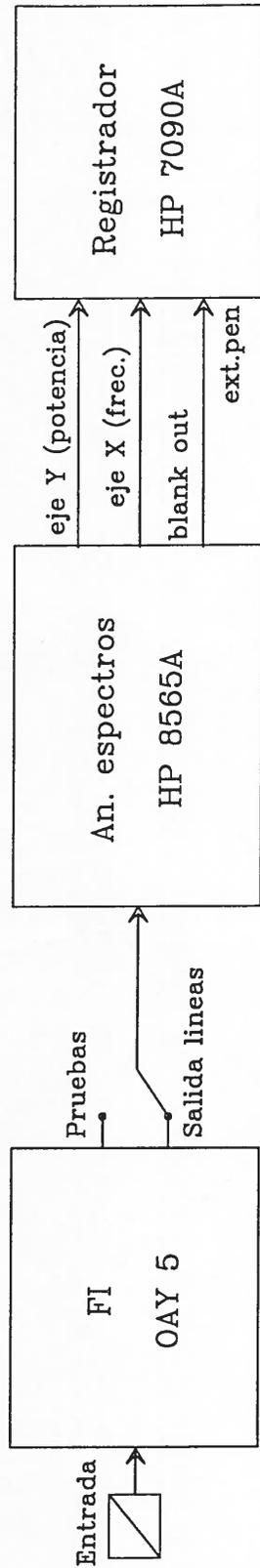
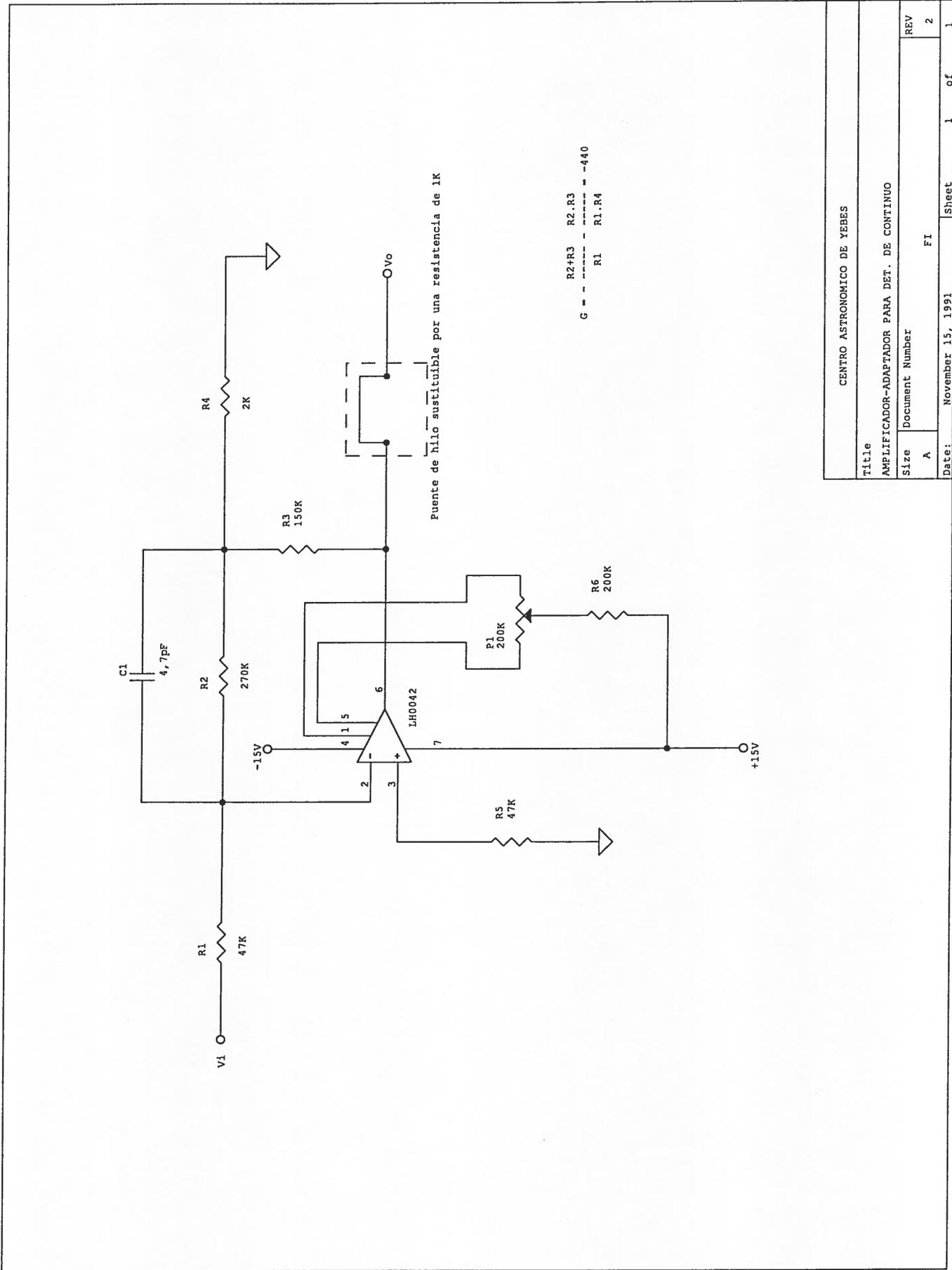
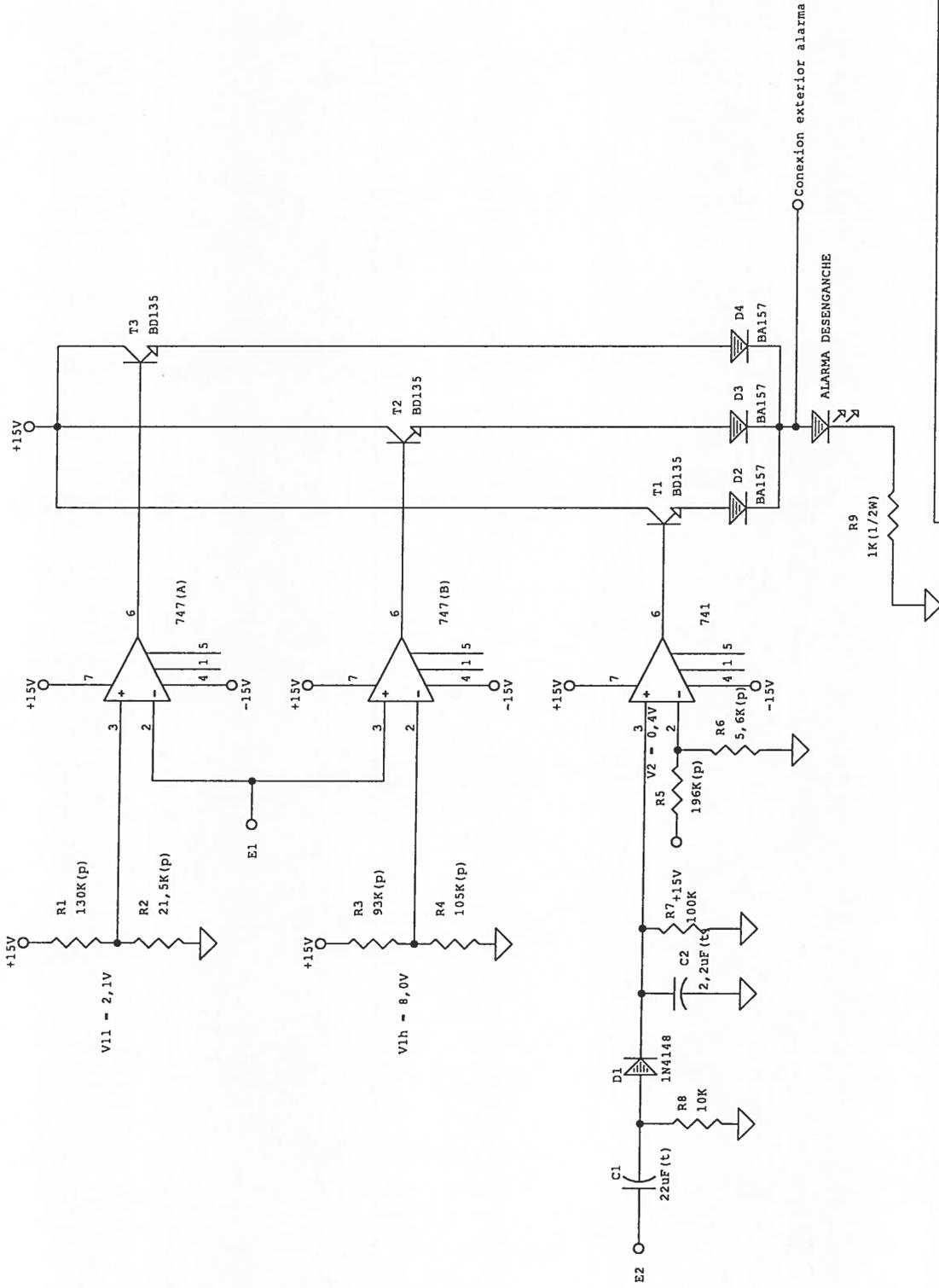


Figura 8. BANCO DE MEDIDAS DE LAS BANDAS DE PASO EN LA FI



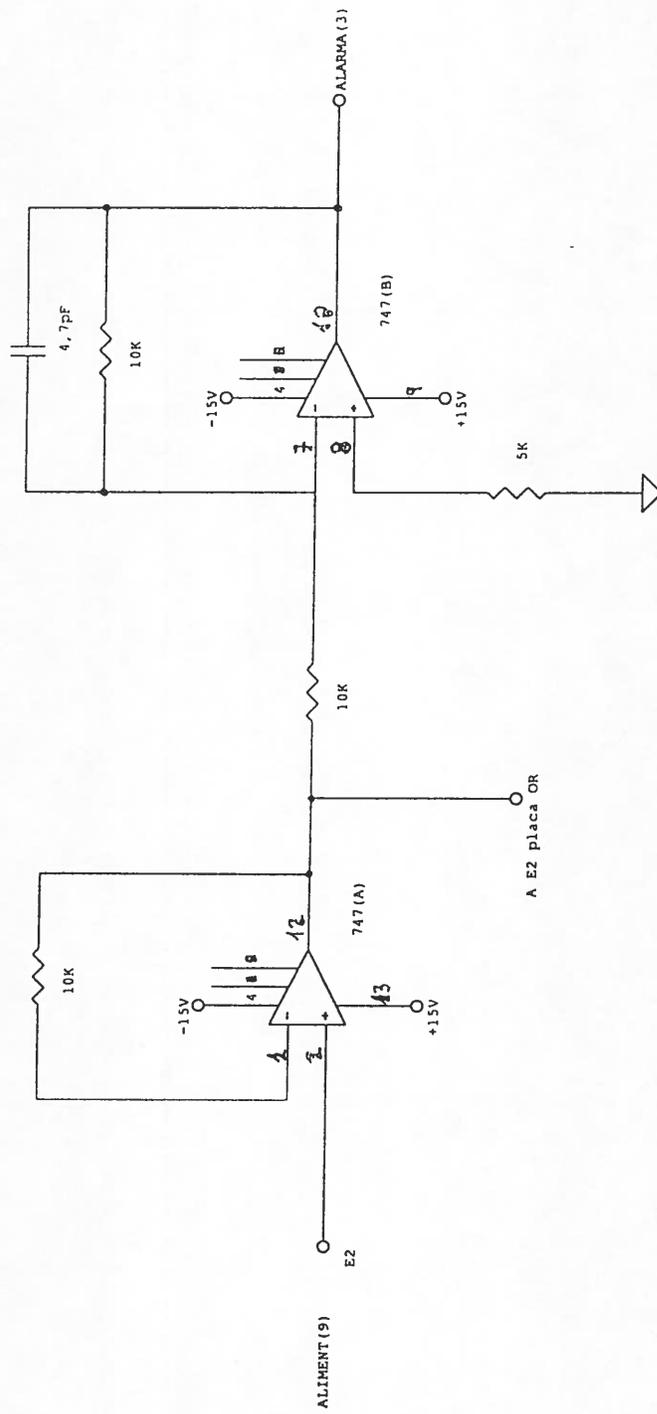
CENTRO ASTRONÓMICO DE YEBES	
Title AMPLIFICADOR-ADAPTADOR PARA DET. DE CONTINUO	
Size A	Document Number FI
Date: November 15, 1991	Sheet 1 of 1
REV 2	

Figura 9.



CENTRO ASTRONOMICO DE YEBES	
Title	
ALARMA DESENGANCHE O.L. 2	
Size	Document Number
A	FI
Date:	October 18, 1991
Sheet	1 of 1
REV	1

Figura 10.



CENTRO ASTRONÓMICO DE YEBES	
Title BUFFER E INVERSOR PARA LA SENAL E2	
Size A	Document Number FI
Date: May 8, 1992	REV 1
Sheet 1	of 1

Figura 11.

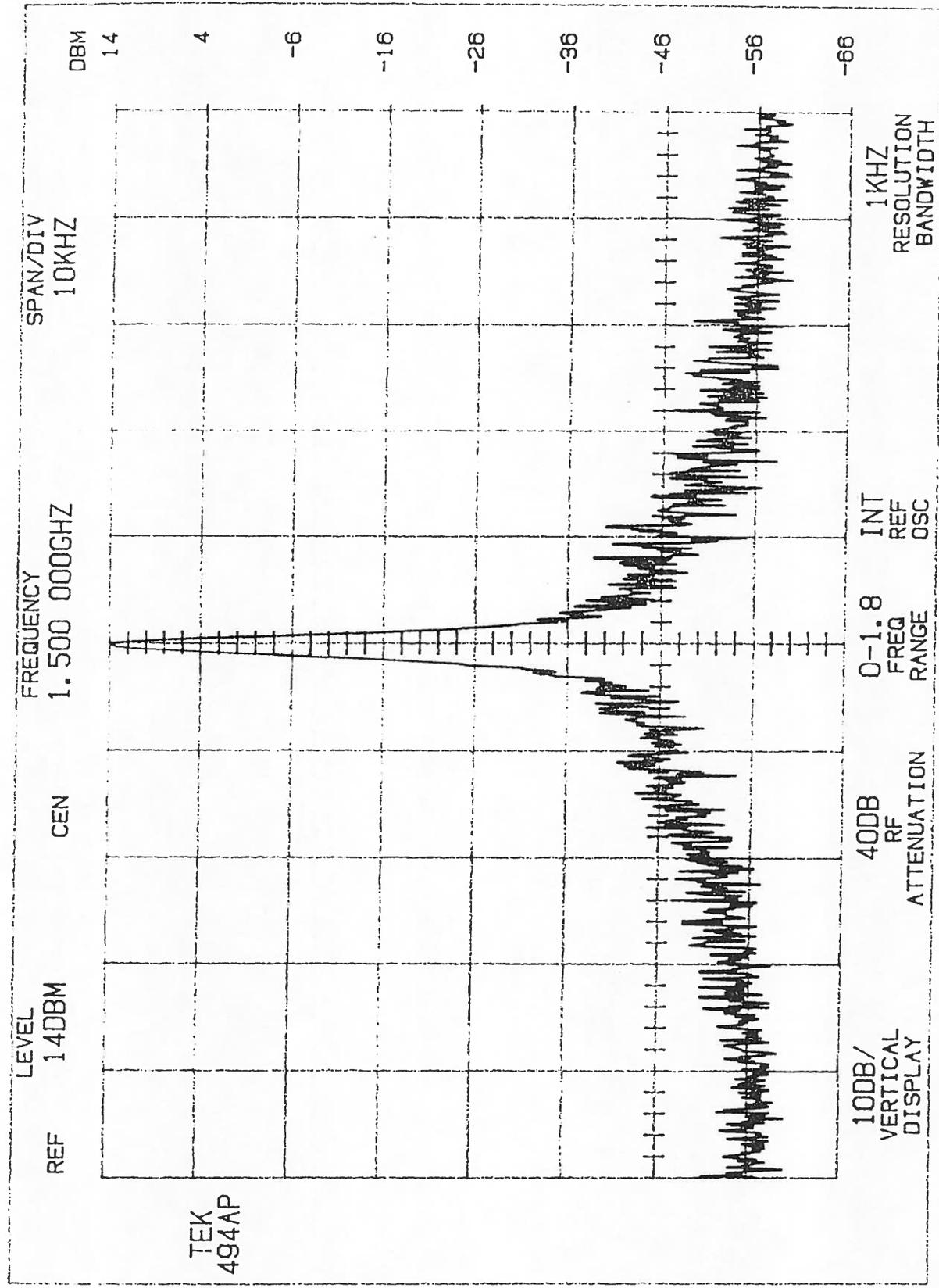


Figura 13. Espectro de la salida del OL 2. Referencia: 10MHz STD.OUT (RD 3101)

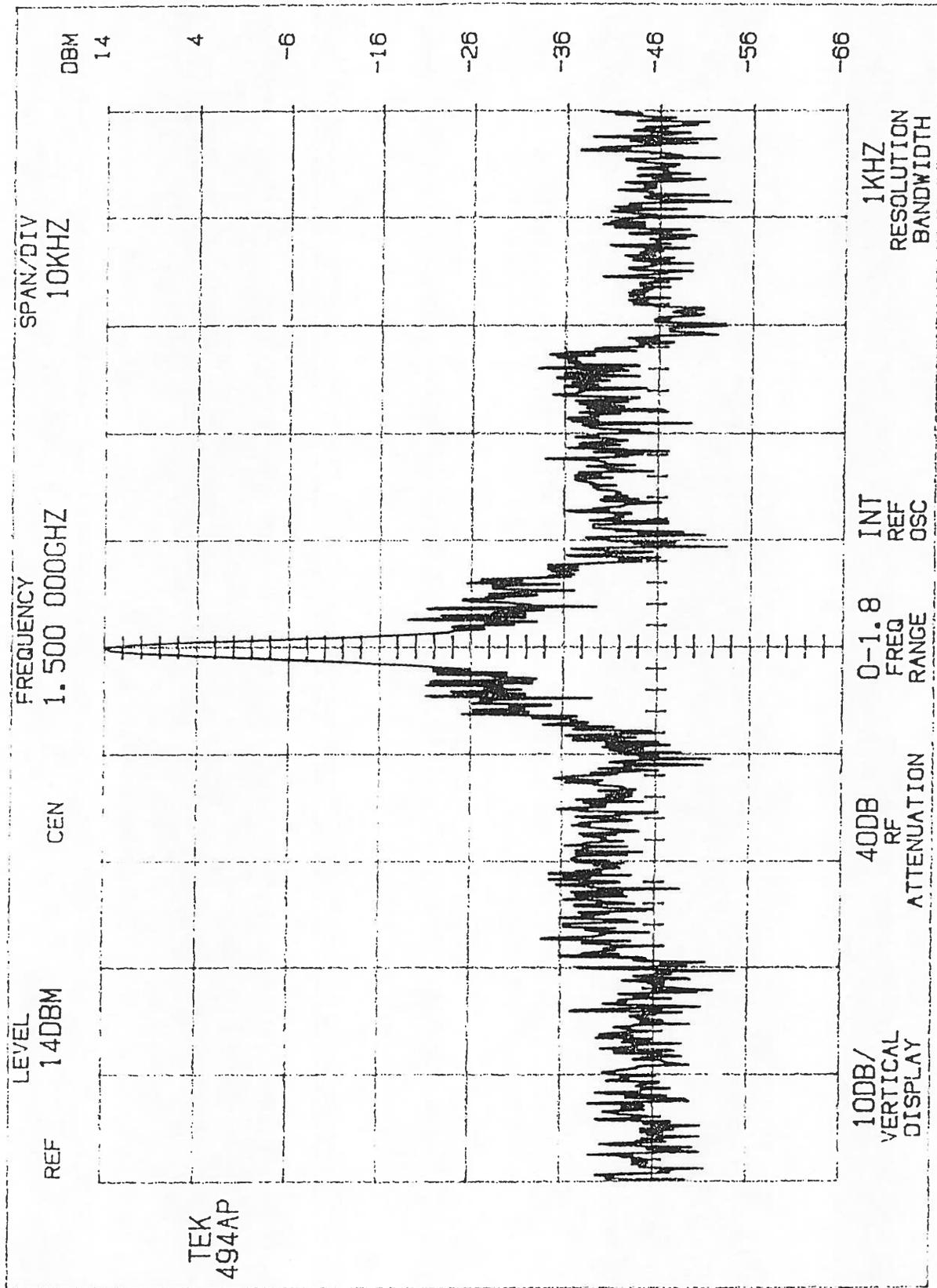


Figura 14. Espectro de la salida del OL 2. Referencia: RF OUTPUT (RD 3101)

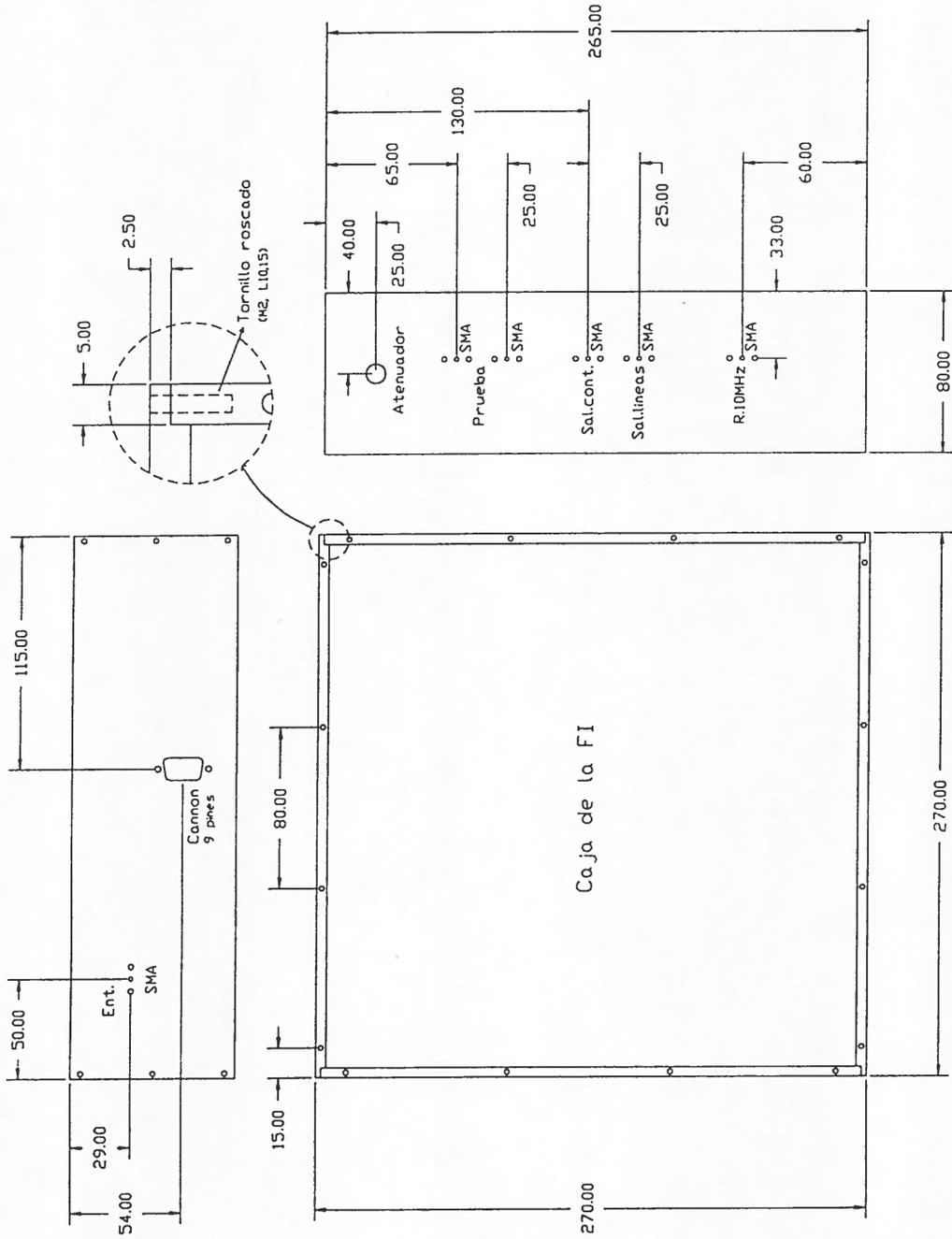


Figura 15.