

INFORME TECNICO CAY 1988-7

CARACTERIZACION DEL RECEPTOR REFRIGERADO A 45 GHZ

Pablo de Vicente, Adoración Perea
Alberto Barcia

Octubre 1988

El presente trabajo ha sido sufragado
por la CAICYT (proyecto 477/84).

INDICE

1. Introduucción
2. Respuesta en las bandas laterales
 1. Montaje de medida
 2. Método de medida
 3. Calibración del sistema de medida
 4. Resultados
3. Medidas de ruido
 1. Resultados
 2. Efecto de la temperatura ambiente
4. Curvas de respuesta en FI
5. Medidas del polarizador

1 INTRODUCCION

En este informe se describen las medidas efectuadas sobre el receptor refrigerado a 45 GHz dotado de un mezclador Honeywell modelo B5046N, S/N 4K04 y un amplificador FET con dos etapas de transistores NEC 710.

Se realizaron medidas de la ganancia relativa en las dos bandas laterales, ya que este parámetro es útil para la calibración de los espectros observados, y de la temperatura de ruido (doble banda lateral), en caliente y en frío, en toda la banda de FI y en puntos seleccionados de la misma. Asimismo se analizó la forma de la respuesta de la FI y el efecto del polarizador sobre la temperatura de ruido.

2 RESPUESTA EN LAS BANDAS LATERALES

El centro del banco de filtros de 50 KHz que se utiliza en las observaciones espectrales se corresponde con la frecuencia de 1296 MHz en la primera FI del receptor. En consecuencia, cada canal del banco de filtros ve simultáneamente dos frecuencias del cielo que están separadas aproximadamente $2 \times 1296 = 2592$ MHz. En un receptor ideal ambas frecuencias sufrirían la misma amplificación, pero en la práctica, la separación entre las dos bandas es suficientemente grande para que se noten los efectos de la limitación del ancho de banda y de las reflexiones en los distintos componentes de radiofrecuencia del sistema. Para la calibración de los espectros, en los que la señal entra por una sola de las bandas, es suficiente conocer la relación entre las respuestas del receptor en una y otra banda, y se procedió a medir este parámetro y no la respuesta absoluta en cada una, cuya determinación precisa es mucho más difícil.

Se efectuaron medidas repartidas dentro de la banda de sintonía del OL del receptor (42.5 GHz a 48.0 GHz), en particular sintonizando el OL a frecuencias correspondientes a rayas de interés astrofísico; en aquellos casos en que la raya se puede observar indistintamente en cualquiera de las bandas se hizo la medida en ambas posiciones del OL, lo que permitirá seleccionar la más conveniente para la observación.

2.1 Montaje De Medida

La fig.1 muestra el montaje utilizado en la medida, cuyo fundamento consistió en inyectar al mezclador, mediante una guía de ondas, señales a las frecuencias $f_{OL}-1296$ y $f_{OL}+1296$ y medir la potencia a la salida del receptor. Se prescindió de la unidad de FI OAN-00 que estaba instalada en el radiotelescopio -dado que la respuesta relativa en las bandas no depende de la cadena que sigue al amplificador FET- y en su lugar se utilizó el amplificador MITEQ AM-4A-1020.

Con el atenuador ALAN 50V10 se ajustó el nivel a la entrada de medidor de potencia HP432A (conectado al puente bolométrico HP 478A) de forma que se pudiesen efectuar todas las medidas utilizando únicamente la escala de 1 mW (lo que no exigía ajustes frecuentes del cero del aparato y eliminaba errores de cambio de escala). Aunque menos sensible, se prefirió medir la potencia a la salida del receptor con el puente bolométrico y no con un detector por su mejor linealidad.

Mediante el atenuador HUGHES 45722H-1000 se ajustó la potencia a la entrada del mezclador de forma que toda la cadena se comportase linealmente, lo que se comprobó introduciendo una atenuación adicional de 3 dB en dicho atenuador: con los niveles de potencia indicados en la fig.1 se obtuvo una linealidad mejor del 0.5%.

Con objeto de eliminar errores debidos a la variación de la respuesta con la frecuencia en la cadena de FI del sistema, se trabajó siempre de forma que la mezcla de la señal inyectada al receptor y el klystron OL resultase en una FI de 1296 ± 1 MHz, para lo cual se monitorizó dicha FI con el frecuencímetro digital HP 5352B conectado en paralelo con el bolómetro mediante un divisor de potencia HP 11667B.

La señal inyectada al mezclador procedía del generador HUGHES 47722H-1110 cuyo oscilador Impatt da una potencia creciente con la frecuencia: el conjunto formado por el atenuador THOMSON AV33-50, el acoplador direccional HUGHES 45322H-1010, el aislador HUGHES 45112H-1000 y el detector HP Q422A tenía por objeto controlar el valor de dicha potencia para poder referir las distintas potencias a la salida del receptor a los mismos niveles de entrada.

2.2 Método De Medida

El procedimiento de operación fué el siguiente:

1. Se ajustaba la frecuencia del generador HUGHES a la de la raya de interés mediante el ondámetro FLANN 23072.
2. Se ajustaba la frecuencia del OL del receptor 1296 MHz por encima o por debajo de la de la raya, según que se considerase observación por la banda lateral inferior o superior. Para ello se leía la frecuencia intermedia en el frecuencímetro digital HP.
3. Se ajustaba la potencia del generador para obtener una lectura de 40 mV a la salida del detector HP Q422A y se anotaba la potencia leída en el bolómetro a la salida del receptor.

4. Sin tocar la sintonía del klystron (mucho más estable en frecuencia que el oscilador Impatt) se reajustaba éste para obtener nuevamente 1296 MHz a la salida, pero esta vez inyectados por la otra banda lateral.
5. Se ajustaba nuevamente la potencia del generador con el atenuador THOMSON para volver a leer 40 mV en el detector HP Q422A y se anotaba la potencia leída en el bolómetro, cuyo cero se reajustaba periódicamente, aunque nunca entre dos medidas correspondientes a la misma posición del OL.

Las medidas anteriores se volvieron a efectuar en días diferentes para 11 de las frecuencias de OL de interés con resultados que se repitieron dentro de un margen del 1% en todos los casos.

Con el procedimiento de medida descrito, y si la respuesta del sistema de inyección de señal al mezclador fuese independiente de la frecuencia, el cociente de las potencias leídas a la salida del receptor en las dos bandas sería directamente la relación de respuestas entre ambas que se utilizaría en la calibración de los espectros. En su determinación estaría eliminado el error de respuesta no cuadrática del detector HP Q422A, al habersele hecho operar siempre con el mismo nivel. En la práctica, y debido sobre todo al acoplador direccional, al aislador y al detector, la potencia inyectada al mezclador no era la misma en las dos bandas aunque lo fuese la lectura de 40 mV en el detector, por lo que se hizo necesario calibrar el sistema y corregir las medidas con los resultados de esta calibración.

2.3 Calibración Del Sistema De Medida

En la fig.2 se indica el montaje utilizado para calibrar el sistema de medida. La calibración se efectuó haciendo oscilar al generador Impatt a las mismas frecuencias a las que se le sintonizó durante las medidas reales, frecuencias que se fijaron

con el mismo ondámetro FLANN 23072, colocado en la misma posición del sistema, tanto en las medidas reales como en las de calibración, con lo cual se eliminaron en gran parte los efectos de los errores sistemáticos del ondámetro. El atenuador THOMSON AV33-50 se ajustó para tener, una vez más, lecturas de 40 mV a la salida del detector en todos los casos, con lo cual se garantizaba que las potencias a la entrada del atenuador HUGHES 45722H-1000 fueran las mismas para la medida real y para la de calibración a cada frecuencia.

La potencia a la salida del sistema (equivalente a la entrada del receptor) se midió, como siempre, con el medidor de potencia bolométrico HP 432A, conectado a una cabeza HUGHES 45772H-1000; la potencia en este punto se ajustó con el atenuador HUGHES citado de forma que se pudiese trabajar siempre en la misma escala (0.3 mW), suficientemente alta para no tener que retocar el cero del aparato con demasiada frecuencia. En todas estas manipulaciones se adoptaron las mismas precauciones que en las medidas sobre el receptor.

De esta manera, el cociente entre las potencias medidas en el bolómetro en la banda inferior y en la superior para cada raya proporcionó un factor de calibración por el que dividir las medidas de ese mismo cociente obtenidas en el receptor (medidas sin corregir) para obtener la verdadera relación entre las respuestas en la banda inferior y la superior.

En el cálculo del factor de calibración se tuvo en cuenta la respuesta en frecuencia de la cabeza bolométrica mediante la tabla de calibración de la misma proporcionada por el fabricante. Asimismo, se comprobó que la relación entre las potencias a la salida del atenuador HUGHES en la banda inferior y en la superior (con la misma lectura en el detector HP del sistema de medida) era independiente del valor de la atenuación seleccionado en el mismo; esta comprobación resultó ser importante porque el valor de dicha atenuación era distinto en las medidas de calibración del sistema y en las del receptor a causa de la gran amplificación introducida

por éste. En la fig.3 se muestran los resultados de dicha comprobación (que se suponen extrapolables a todos los valores de la atenuación) y los de una medida análoga con las posiciones de los atenuadores HUGHES y THOMSON intercambiadas, en la que se observa que esa misma hipótesis no se verifica para este último atenuador, por lo que su utilización situándolo a la entrada del receptor habría falseado las medidas.

2.4 Resultados

La Tabla 1 resume los resultados de las medidas efectuadas a las 50 frecuencias de OL de interés. En ella se dan, para cada frecuencia, la relación de respuestas en ambas bandas sin corregir y corregidas por el factor de calibración, que también se muestra. Estos resultados se presentan gráficamente en las figs. 4, 5 y 6. La forma de la curva de calibración del sistema de medida sugiere la presencia de una resonancia que, a juzgar por la separación en frecuencias entre picos, bien puede originarse en el interior del acoplador direccional. La relación de respuestas banda inferior/banda superior es <1 a frecuencias bajas y >1 a frecuencias altas: el receptor responde mejor por la banda lateral superior cuando el OL se sintoniza en la parte baja de la banda, y por la inferior cuando se sintoniza en la parte alta, como cabría esperar del mezclador, cuya banda se centra alrededor de los 45 GHz.

3 MEDIDAS DE RUIDO

Se efectuaron medidas de la temperatura de ruido del receptor en caliente y en frío, con la señal entrando por las dos bandas laterales, y sintonizando el oscilador local a saltos de 0.5 GHz entre las frecuencias de 42.5 GHz y 48.0 GHz. El método empleado fué el del factor Y, utilizándose como carga fría un absorbente

sumergido en nitrógeno líquido encerrado en un recipiente de poliestireno expandido, cuya temperatura se estimó en 78 K, y como carga caliente un absorbente a la temperatura ambiente, la cual se comprobaba periódicamente. La carga fría estaba inclinada $\sim 30^\circ$ con objeto de eliminar los efectos de las reflexiones entre ella y el receptor.

Se hicieron medidas del ruido en toda la banda de FI, y de ruido "spot" en puntos seleccionados de la misma. Previamente se buscó la potencia de OL que optimizaba el ruido en toda la banda para cada frecuencia, y ese valor de la potencia se utilizó en las medidas definitivas. En las medidas en toda la banda la salida del amplificador FET estaba conectada a la Unidad de FI OAN-00, cuyo detector de continuo proporcionaba los voltajes utilizados en el cálculo del factor Y; en las medidas "spot", se conectó la salida del FET al amplificador MITEQ AM-4A-1020, cuya figura de 2 dB apenas contribuía al ruido total, y éste a un Medidor de Figura de Ruido HP 8970A, el cual calculaba directamente la temperatura de ruido medida. El citado Medidor se sintonizó dentro de la banda de FI en saltos de 50 MHz entre las frecuencias de 1000 MHz y 1500 MHz, con un ancho de banda de ~ 4 MHz alrededor de cada una de ellas.

3.1 Resultados

La Tabla 2 da las potencias de OL a las que se obtiene la mejor temperatura de ruido (toda la banda) con el receptor enfriado ($T_{amb} = 22$ K), así como las lecturas correspondientes del miliamperímetro (a 9° C y a 28° C) y las temperaturas de ruido obtenidas en esas circunstancias.

Las figs. 7 y 8 muestran la variación de la temperatura de ruido del receptor en frío ($T_{amb} = 22$ K) con la potencia de OL; se ve que un nivel de ~ 10 mW para la misma es adecuado a todas las frecuencias y que no es crítico su valor para potencias más altas,

pero sí para más bajas de dicho nivel. La forma de las curvas a 43.0 GHz y a 48.0 GHz se debe a que a potencias bajas la temperatura obtenida fué muy alta, saliéndose de la escala de las figuras. Los valores óptimos para el receptor en caliente resultaron ligeramente mayores (~ 2 mW).

Las figs. 9 y 10 muestran las temperaturas de ruido obtenidas en toda la banda con las potencias de OL óptimas, en caliente ($T_{amb} = 300$ K) y en frío ($T_{amb} = 22$ K); las figs. 11, 12, 13 y 14 dan los resultados correspondientes del ruido "spot".

3.2 Efecto De La Temperatura Ambiente

Se midió la temperatura de ruido del receptor a medida que éste se iba enfriando con objeto de ver su evolución con la temperatura ambiente. Los resultados se dan en la fig. 15, en la que hay que señalar que el sensor de temperatura estaba fijado sobre la caja del amplificador FET NEC 710, por lo que la temperatura del mezclador era probablemente más alta que la indicada. Puesto que las medidas se hicieron mientras procedía el enfriamiento, sin dar tiempo al receptor a estabilizarse en cada temperatura, probablemente la temperatura física de los transistores del amplificador era también mayor que la indicada. Estas medidas se hicieron sólo a la frecuencia de 45 GHz y con una potencia de OL de 12 mW (óptima a 300 K).

4 CURVAS DE RESPUESTA EN FI

Se midieron también las curvas de respuesta de la FI en distintos puntos de la cadena, utilizando como entrada el propio ruido generado por el receptor y el de la carga caliente colocada delante de la bocina. Para medir se conectó el analizador de espectros HP8565A en cada uno de los puntos de interés y se

dibujaron las curvas obtenidas en el registrador XY HP7090A, conectado a aquel. Las medidas se realizaron en frío y en caliente, a la única frecuencia de OL de 45 GHz.

Las figs. 16, 17, 18, 19 y 20 dan los resultados obtenidos. En ellas la calibración absoluta de la escala vertical puede tener errores de hasta ~ 3 dB debido a que no se prestó especial atención al ajuste del nivel del registrador; la calibración relativa es correcta.

5 MEDIDAS DEL POLARIZADOR

Se midió también el efecto del polarizador sobre la temperatura de ruido del conjunto. Tales medidas se efectuaron 25 días después de las descritas en la sección 3, utilizando toda la banda de continuo, y se acompañaron de medidas de la temperatura de ruido sin polarizador para compararlas. El polarizador se colocó en tres posiciones:

- a. con líneas de meandros horizontales (recepción de polarización vertical)
- b. con líneas de meandros verticales (recepción de polarización vertical)
- c. con líneas de meandros inclinadas 45° (recepción de polarización circular a derechas). A algunas frecuencias se hicieron también medidas con la posición simétrica (recepción de polarización circular a izquierdas). Ambas polarizaciones dieron temperaturas prácticamente iguales.

La tabla 3 da los resultados de las medidas. En ausencia del polarizador se obtienen temperaturas análogas a las determinadas 25 días antes, indicando que las características del receptor se

mantuvieron estables a lo largo de todo el tiempo que duró el enfriamiento. Es notable la diferencia de temperaturas obtenidas entre las posiciones horizontal y vertical del polarizador, que podrían indicar una diferencia entre las pérdidas en una y otra posición. Asumiendo que el aumento de temperatura de ruido fuese debido únicamente a pérdidas disipativas en el polarizador, se pueden estimar dichas pérdidas mediante la ecuación:

$$\Delta T_r = (T_r + T_o)(L - 1)$$

donde

ΔT_r = incremento de la temperatura de ruido debido al polarizador.

T_r = temperatura de ruido sin polarizador.

T_o = temperatura ambiente (304 K).

L = pérdidas del polarizador ($L = P_{in}/P_{out}$).

En dicha hipótesis, y en el caso de polarización circular, L varía entre 1.05 (0.21 dB) y 1.06 (0.25 dB) en toda la banda de medida.

TABLA 1

Frec. O.L. (GHz)	B. Inf./ B. Sup. (sin corregir)	Calibración	B. Inf. / B. Sup. (corregido)
42.503	0.73	0.82	0.89
42.507	0.72	0.82	0.88
42.667	0.69	0.79	0.87
42.695	0.69	0.78	0.88
42.797	0.65	0.74	0.88
42.823	0.65	0.74	0.88
42.993	0.64	0.75	0.85
43.031	0.63	0.74	0.85
43.087	0.63	0.72	0.88
43.288	0.60	0.69	0.87
43.378	0.60	0.70	0.87
43.514	0.63	0.74	0.85
43.583	0.66	0.78	0.85
43.669	0.69	0.80	0.86
43.815	0.78	0.89	0.88
43.823	0.78	0.89	0.88
43.879	0.80	0.89	0.90
43.898	0.80	0.90	0.89
43.968	0.83	0.92	0.90
43.970	0.84	0.92	0.91
44.083	0.85	0.95	0.89
44.116	0.84	0.94	0.89
44.159	0.84	0.93	0.90
44.175	0.84	0.93	0.90
44.194	0.84	0.92	0.91
44.418	0.77	0.83	0.93
44.719	0.76	0.84	0.90
44.949	0.80	0.89	0.90
45.095	0.93	0.96	0.97
45.259	1.10	1.04	1.06
45.287	1.10	1.05	1.05
45.415	1.10	1.10	1.00
45.750	0.97	0.98	0.99
46.078	0.96	0.93	1.03
46.166	0.99	0.94	1.05
46.270	0.96	0.91	1.05
46.309	0.95	0.90	1.06
46.415	1.05	0.91	1.15
46.560	1.15	0.95	1.21
46.631	1.15	0.95	1.21
46.675	1.17	0.96	1.22
46.786	1.22	1.03	1.18
46.910	1.43	1.10	1.30
46.988	1.32	1.13	1.17
47.076	1.24	1.14	1.09
47.199	1.30	1.13	1.15
47.290	1.30	1.12	1.16
47.355	1.40	1.10	1.27
47.541	1.24	1.09	1.14
47.694	1.10	1.05	1.05

TABLA 2

RECEPTOR REFRIGERADO: POTENCIAS DE O.L. DE ÓPTIMO RUIDO.

Frecuencia del O.L. (GHz)	Lectura del milamperímetro		Potencia del O.L. (mW)	Temperatura de ruido (K)
	(9°C)	(28°C)		

42.5	0.30	0.45	14.5	88.6
43.0	0.27	0.40	11.2	84.3
43.5	0.24	0.35	11.3	80.8
44.0	0.20	0.30	9.9	78.5
44.5	0.27	0.40	10.9	75.0
45.0	0.21	0.30	8.7	74.6
45.5	0.21	0.30	9.7	78.4
46.0	0.21	0.30	8.6	82.1
46.5	0.25	0.35	8.8	87.6
47.0	0.23	0.30	8.1	90.4
47.5	0.23	0.30	8.2	83.8
48.0	0.31	0.40	9.2	85.7

TABLA 3

Frec. O.L. (GHz)	Sin polarizador	Polarizador horizontal	Polarizador 45°	Polarizador vertical
42.5	86.8	120.8	110.8	108.6
43.0	80.7	128.2	104.4	96.2
43.5	79.0	123.8	100.5	91.3
44.0	76.9	127.6	100.0	88.9
44.5	73.7	131.2	97.6	86.6
45.0	74.4	110.7	91.5	86.7
45.5	75.7	129.3	95.5	89.7
46.0	78.3	120.4	101.2	95.4
46.5	87.2	155.6	112.3	106.2
47.0	90.9	124.9	111.0	114.1
47.5	82.1	129.6	99.9	106.5
48.0	84.8	117.4	106.7	110.8

Montaje de medida del receptor

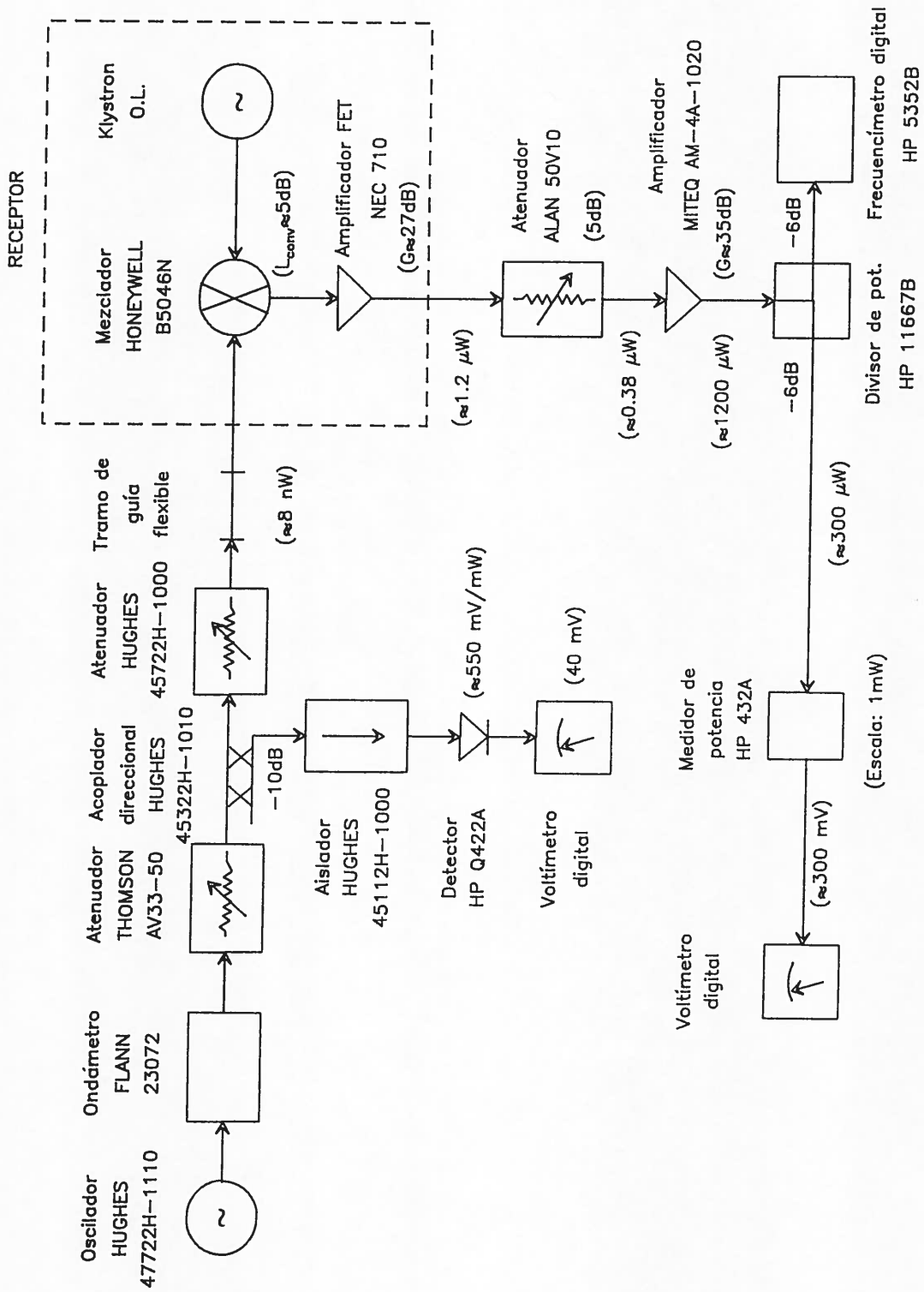


Fig. 1

Montaje de calibración del sistema de medida

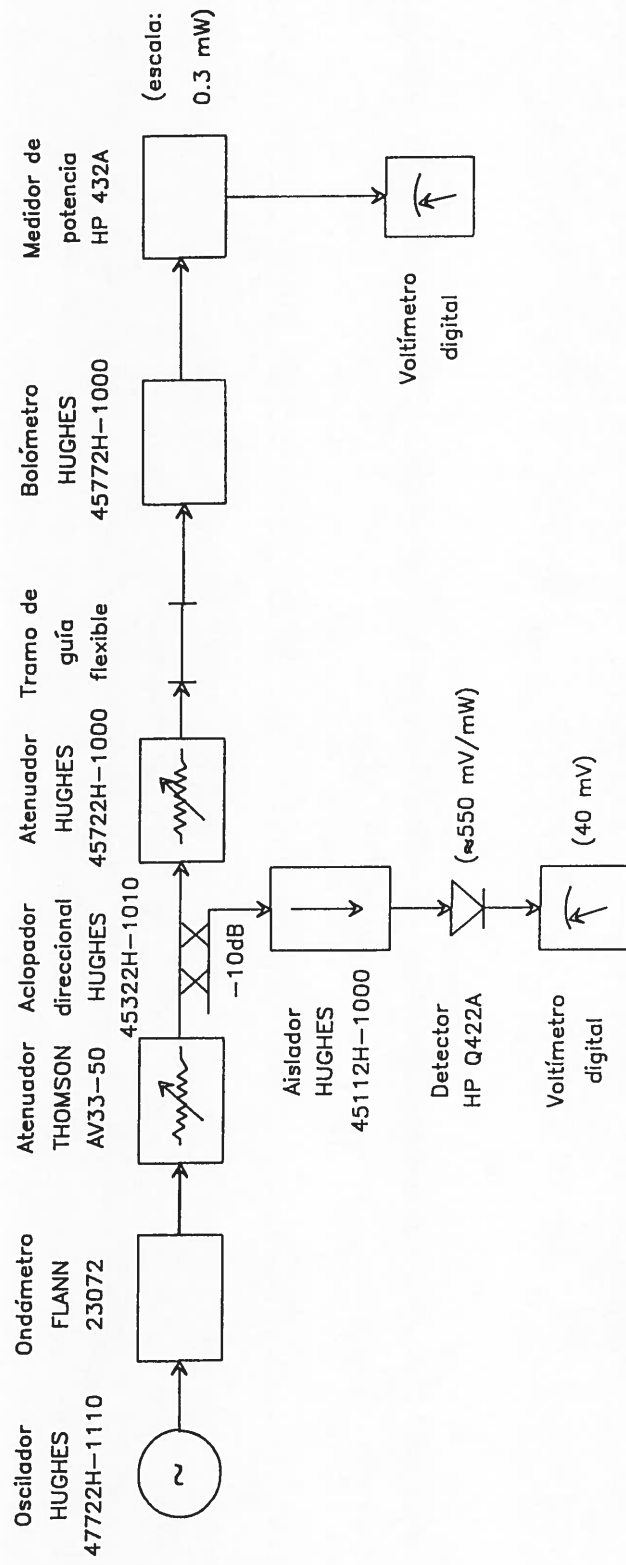


Fig. 2

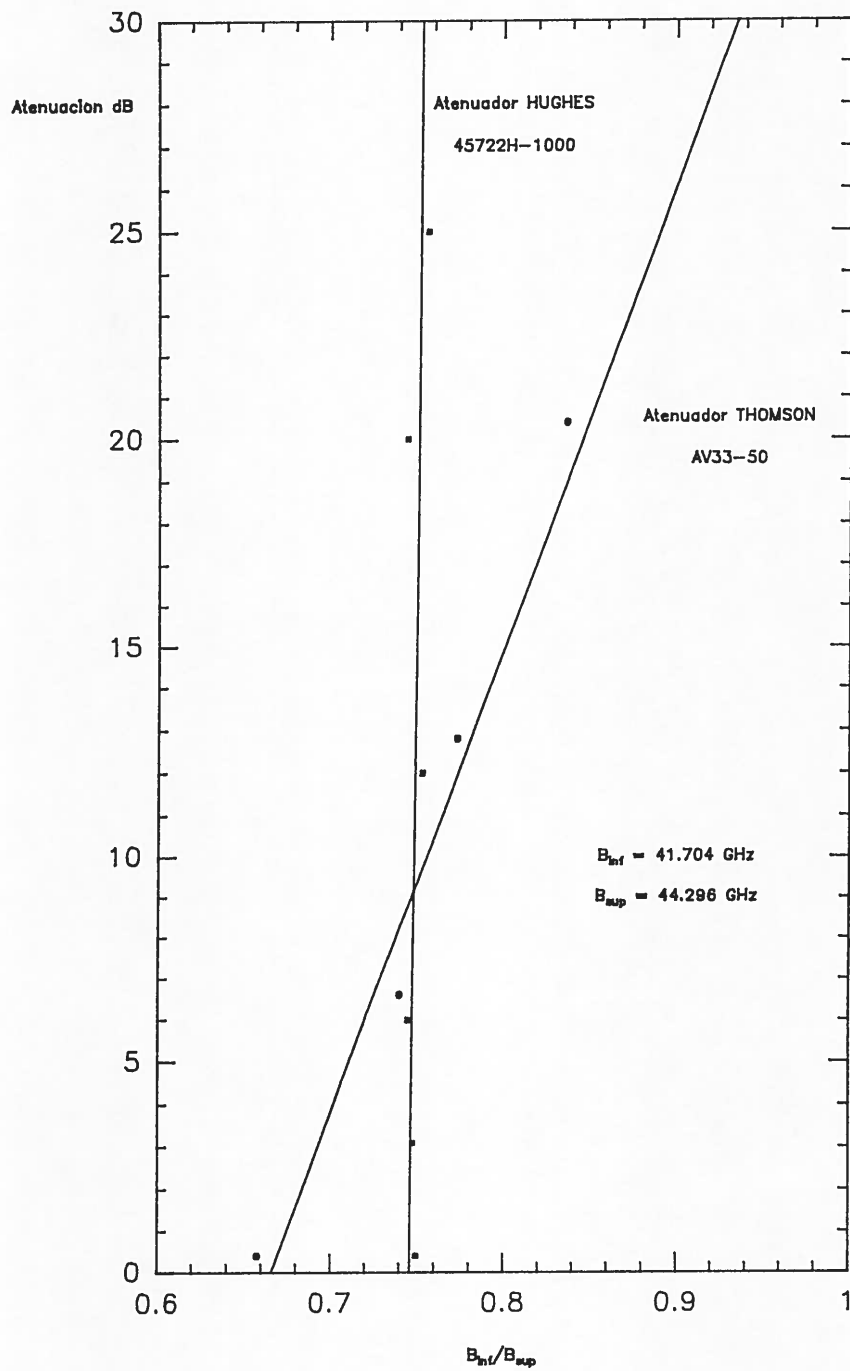


Fig. 3

Medida de la ganancia de las bandas del receptor sin corregir (con guía de ondas)

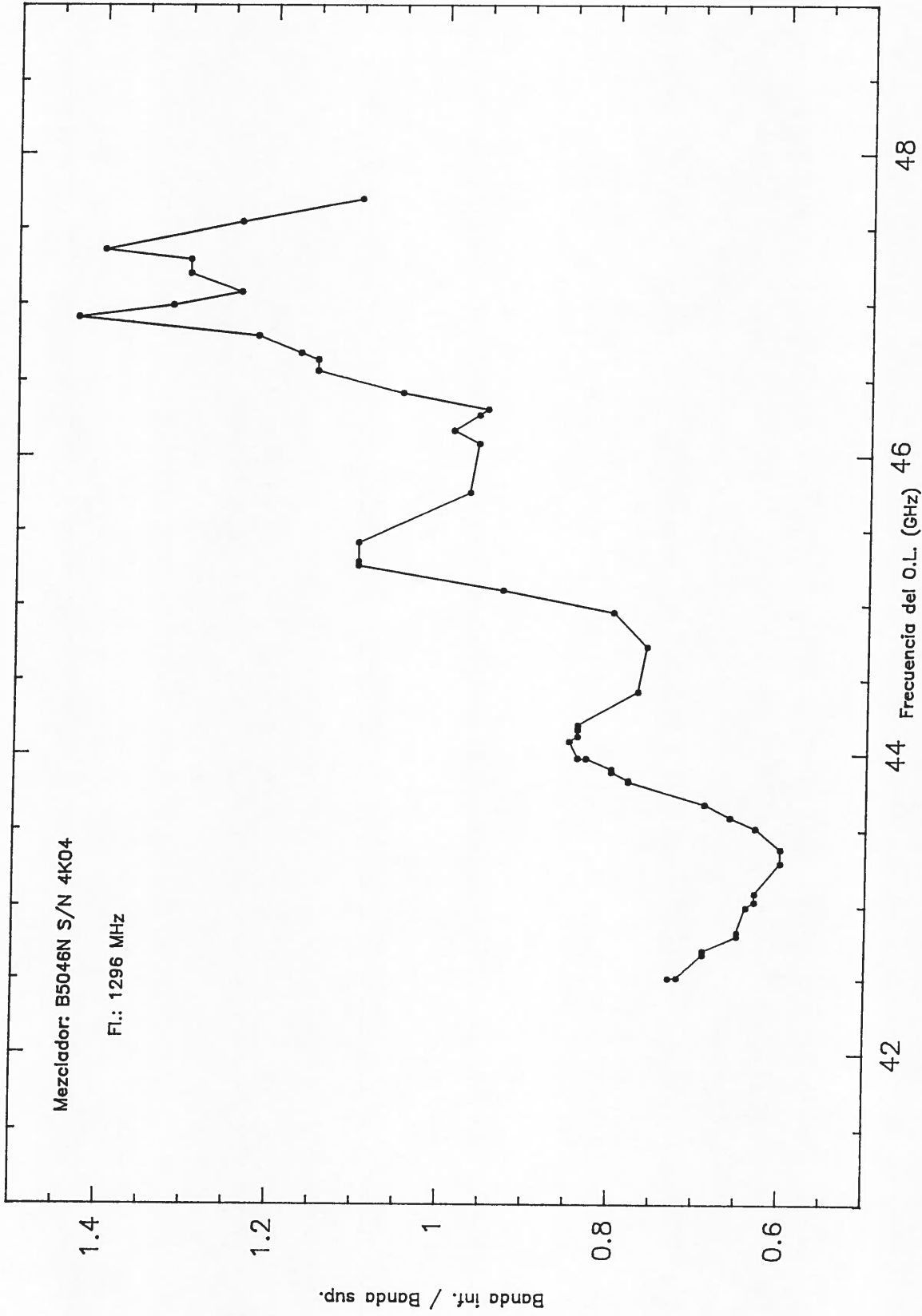


Fig. 4

Medida de la ganancia de las bandas del receptor (con guía de ondas)

Mezclador: B5046N S/N 4K04

Fl.: 1296 MHz

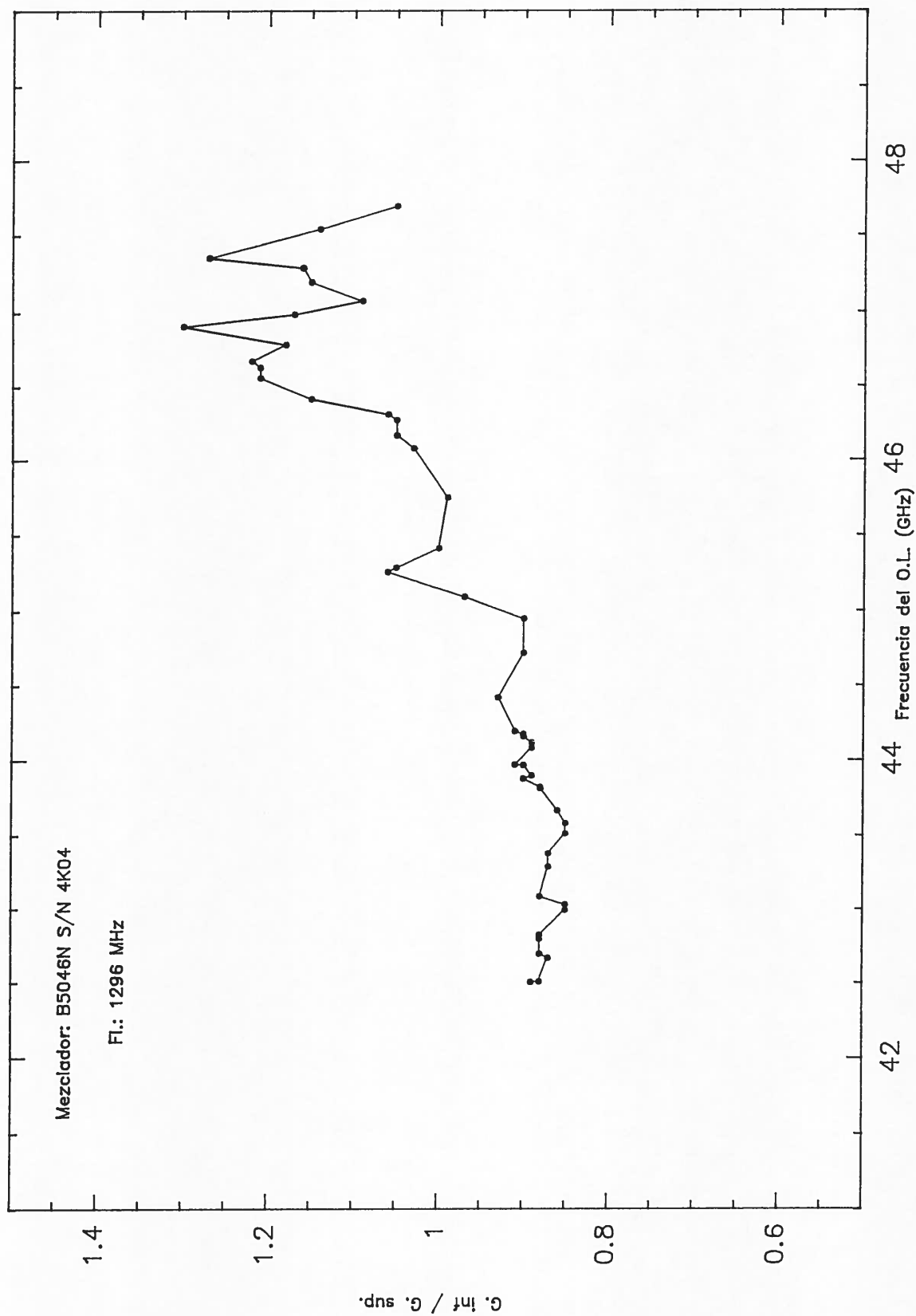


Fig. 5

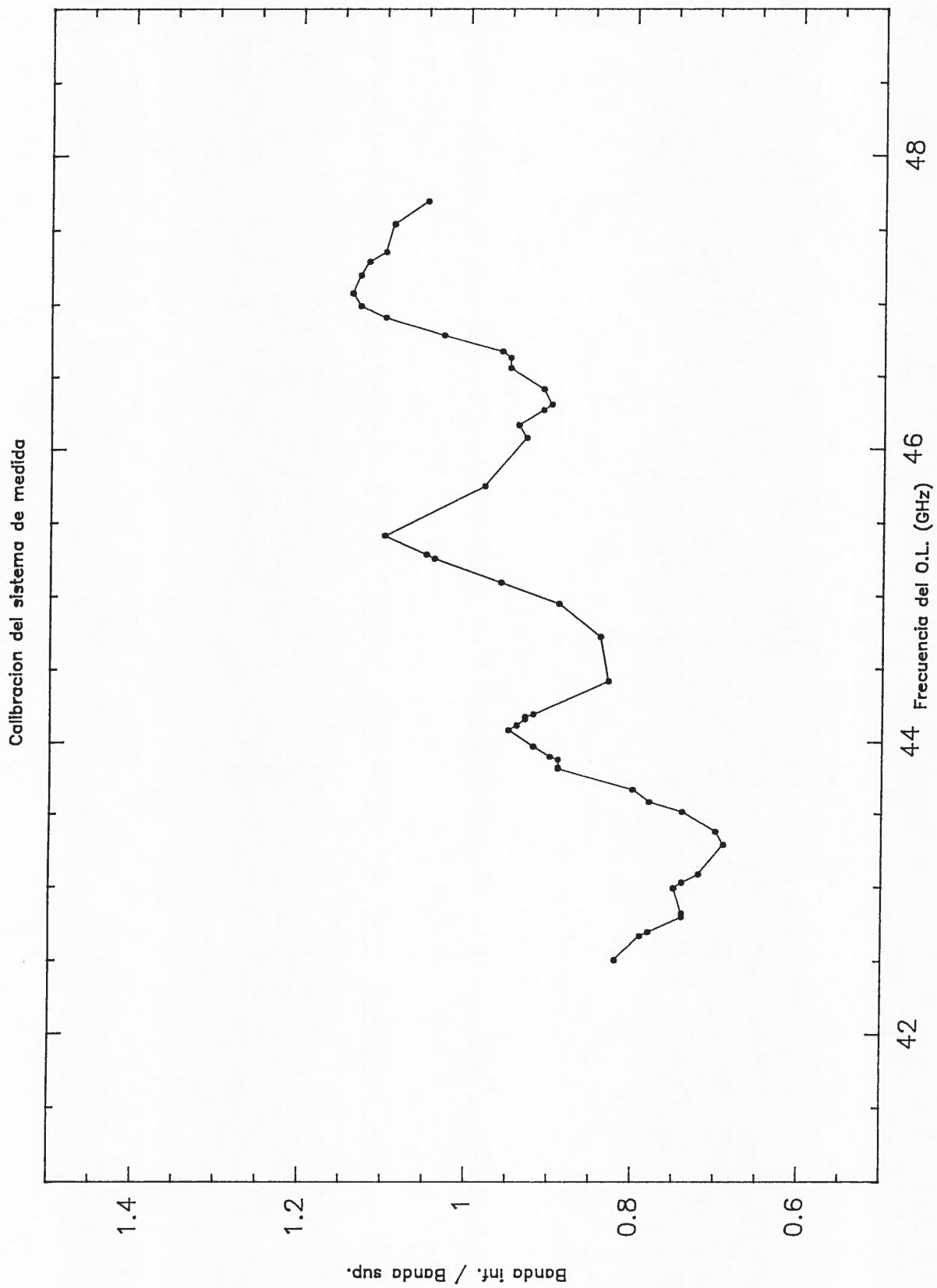


Fig. 6

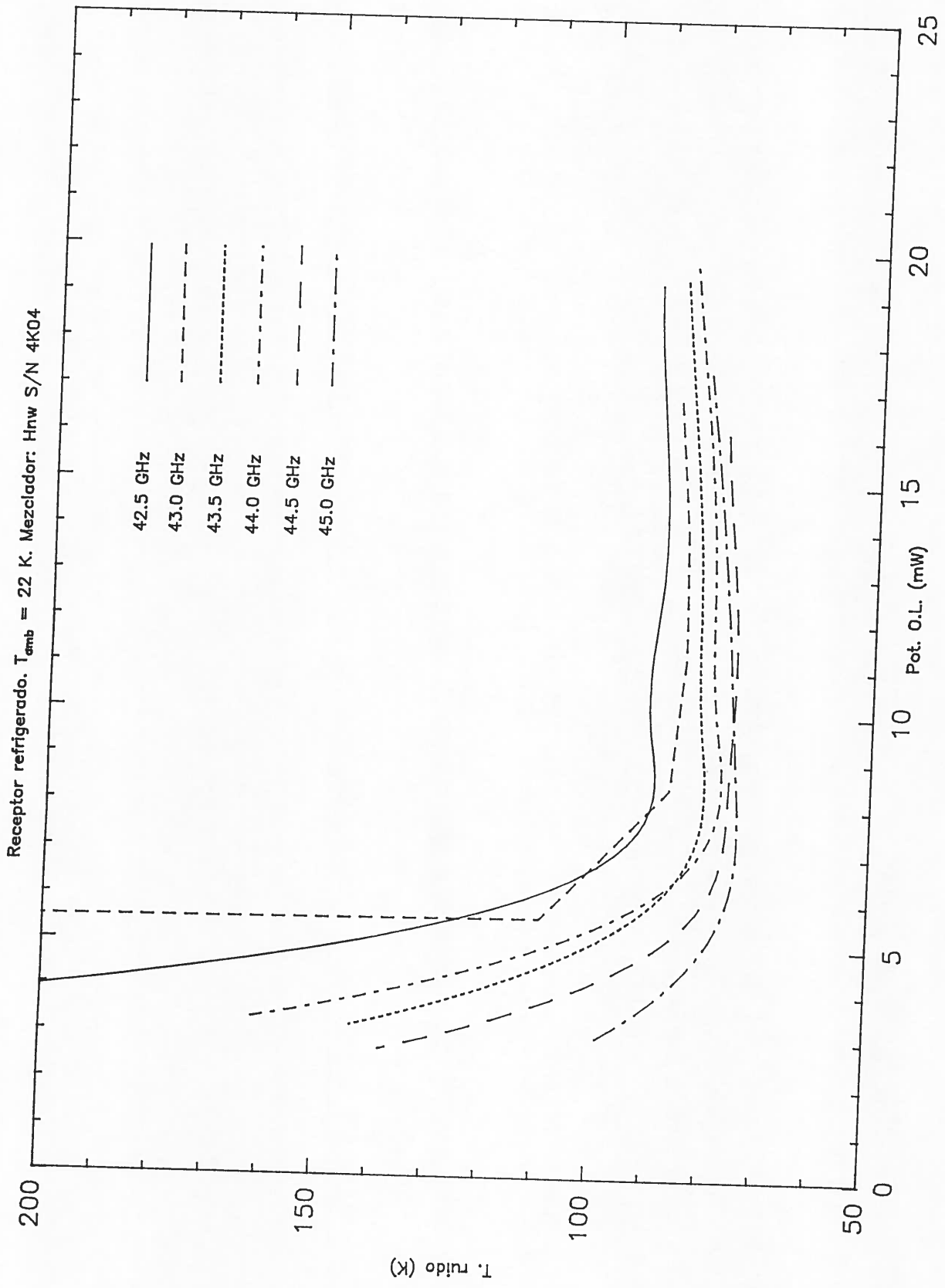


Fig. 7

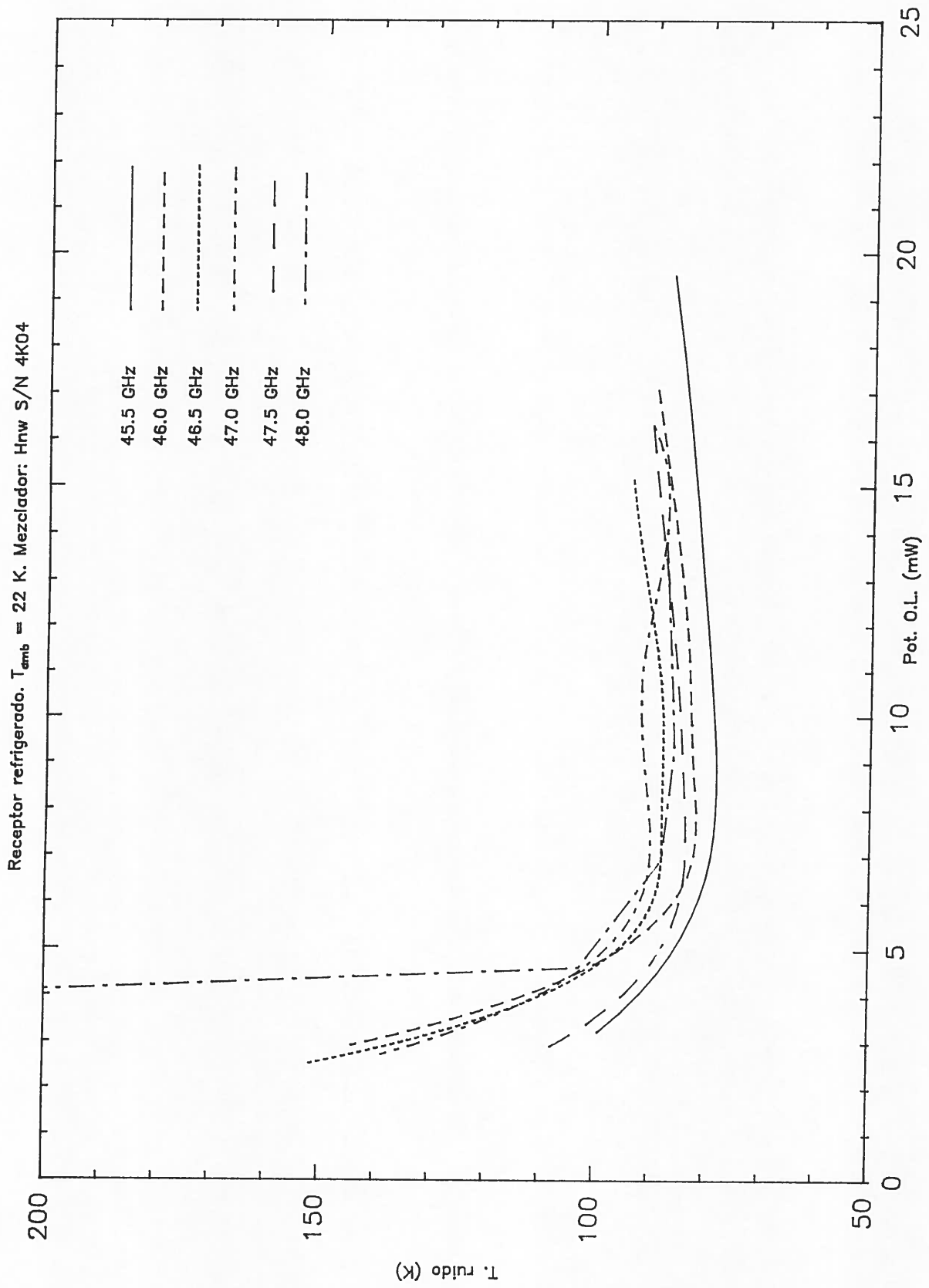


Fig. 8

Receptor refrigerado. $T_{amb} = 300$ K. Mezclador: Hnw S/N 4K04

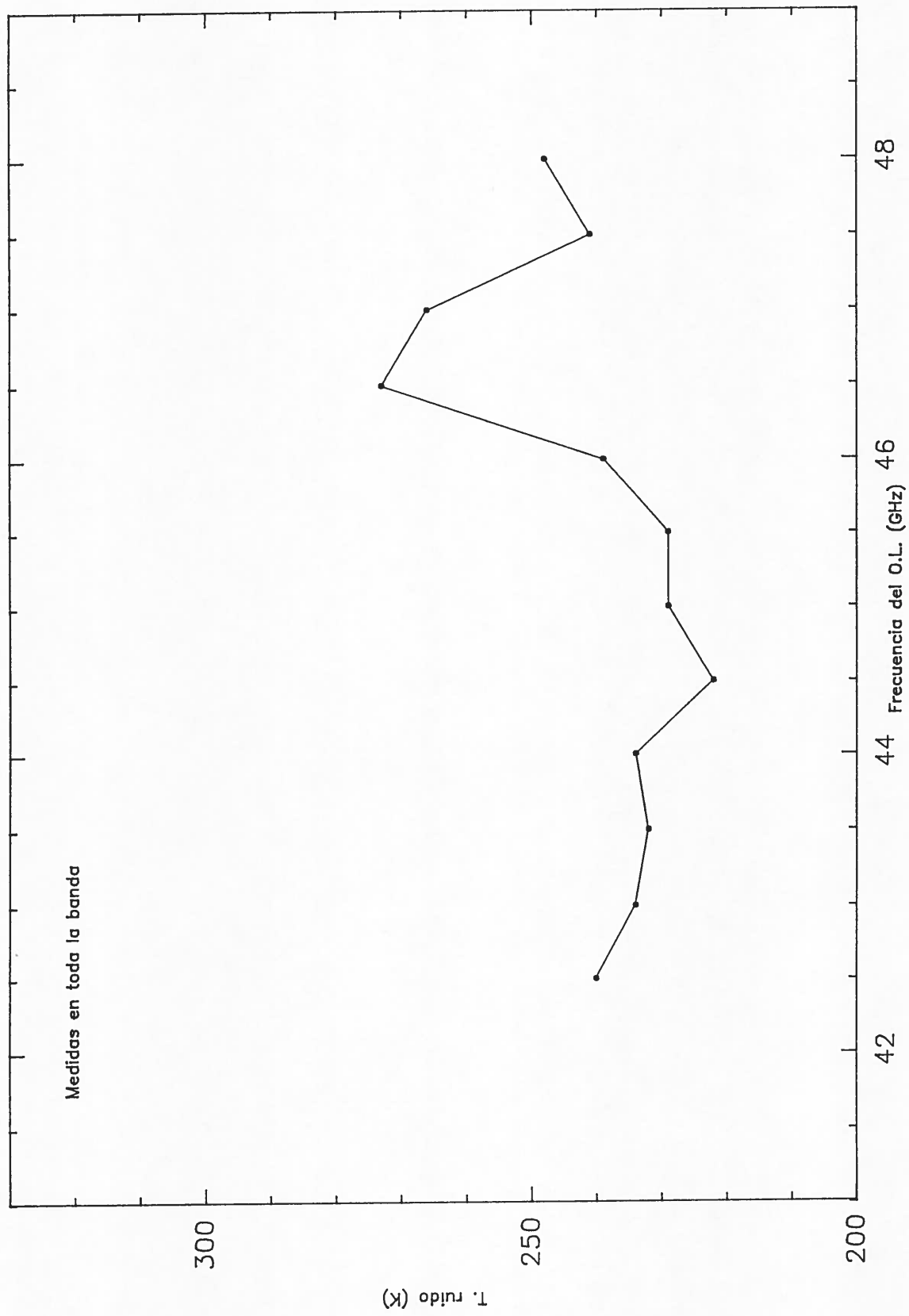


Fig. 9

Receptor refrigerado. $T_{amb} = 22$ K. Mezclador: Hnw S/N 4K04

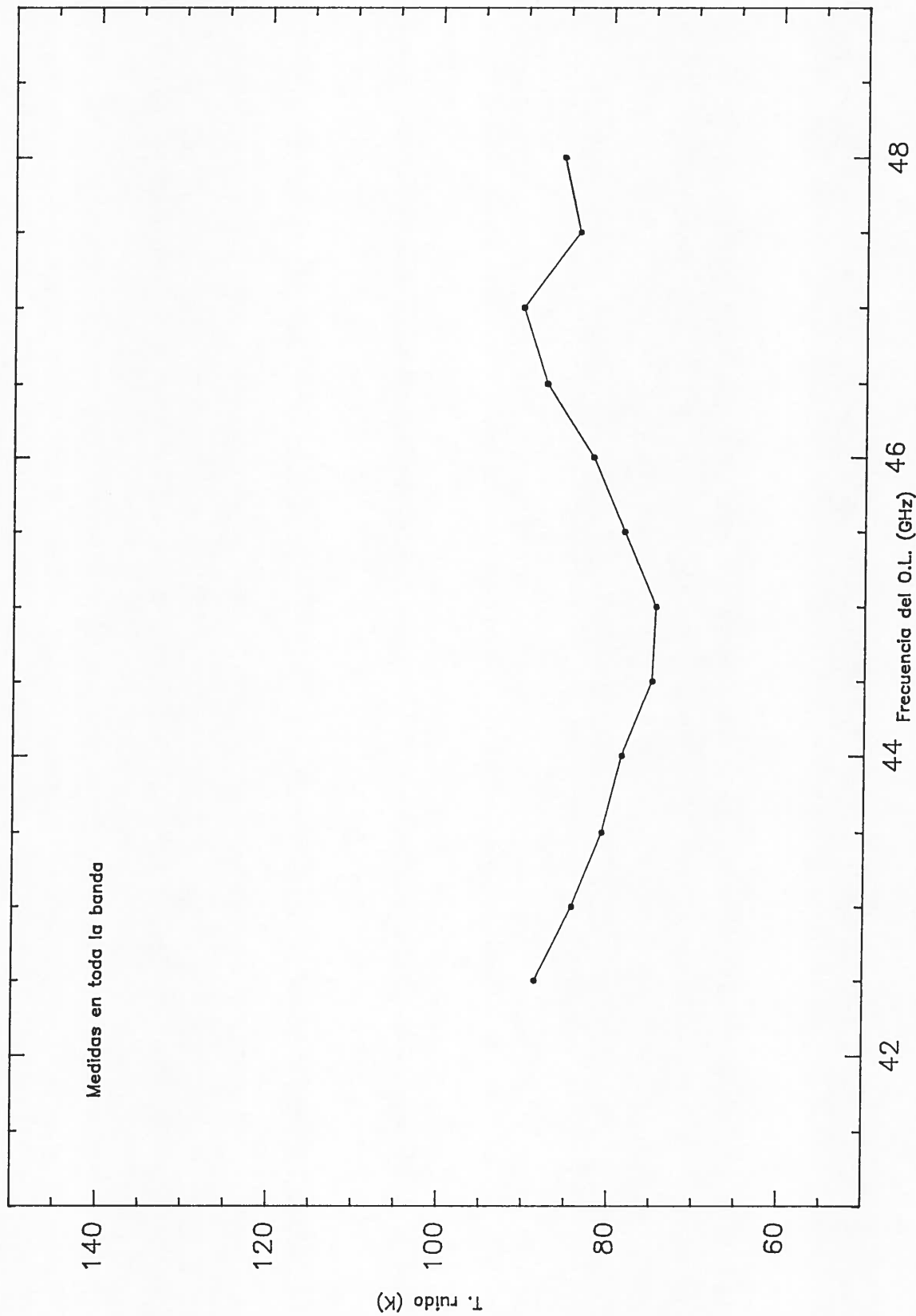


Fig. 10

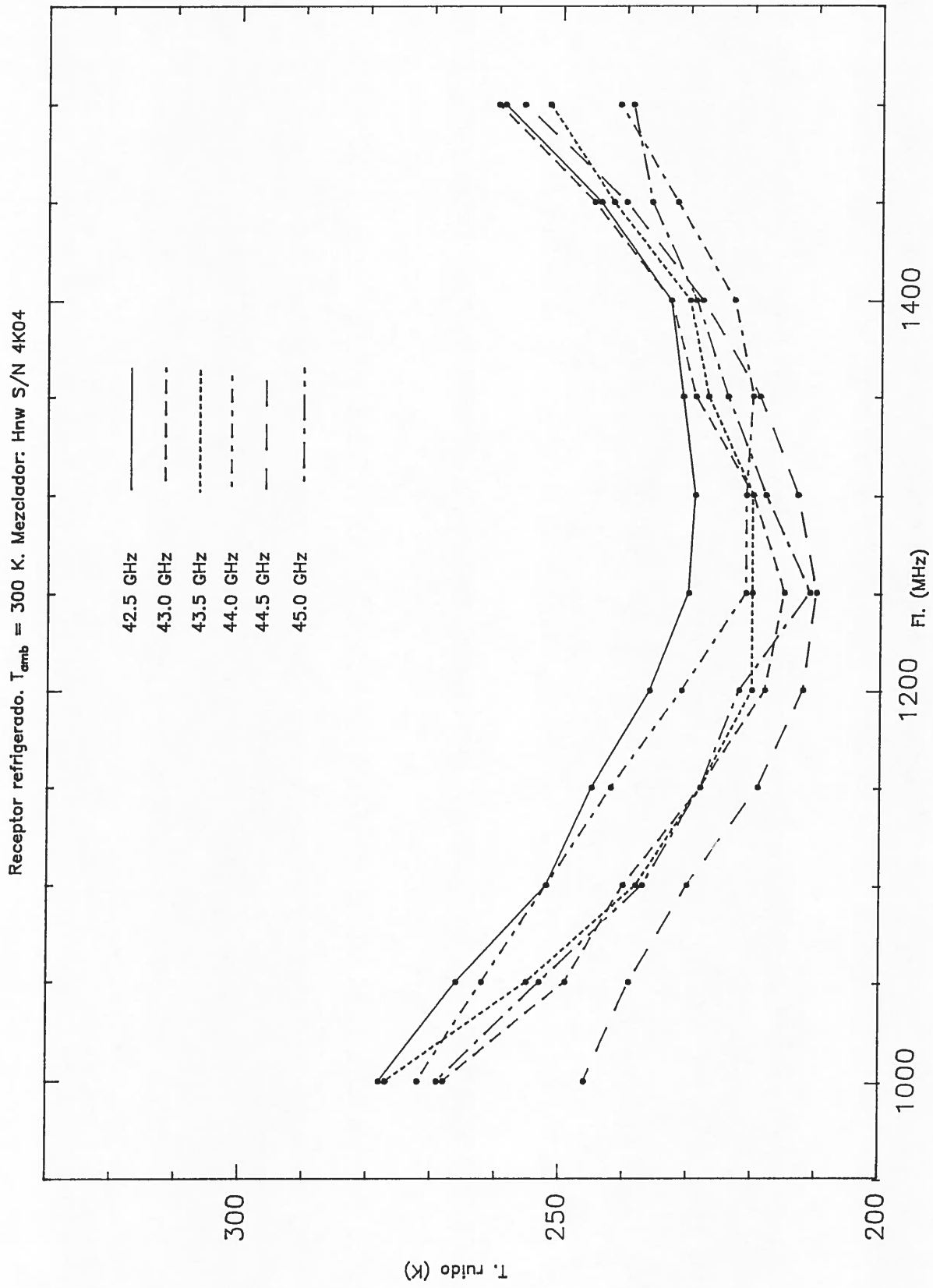


Fig. 11

Receptor refrigerado. $T_{amb} = 300$ K. Mezclador Hnw S/N 4K04

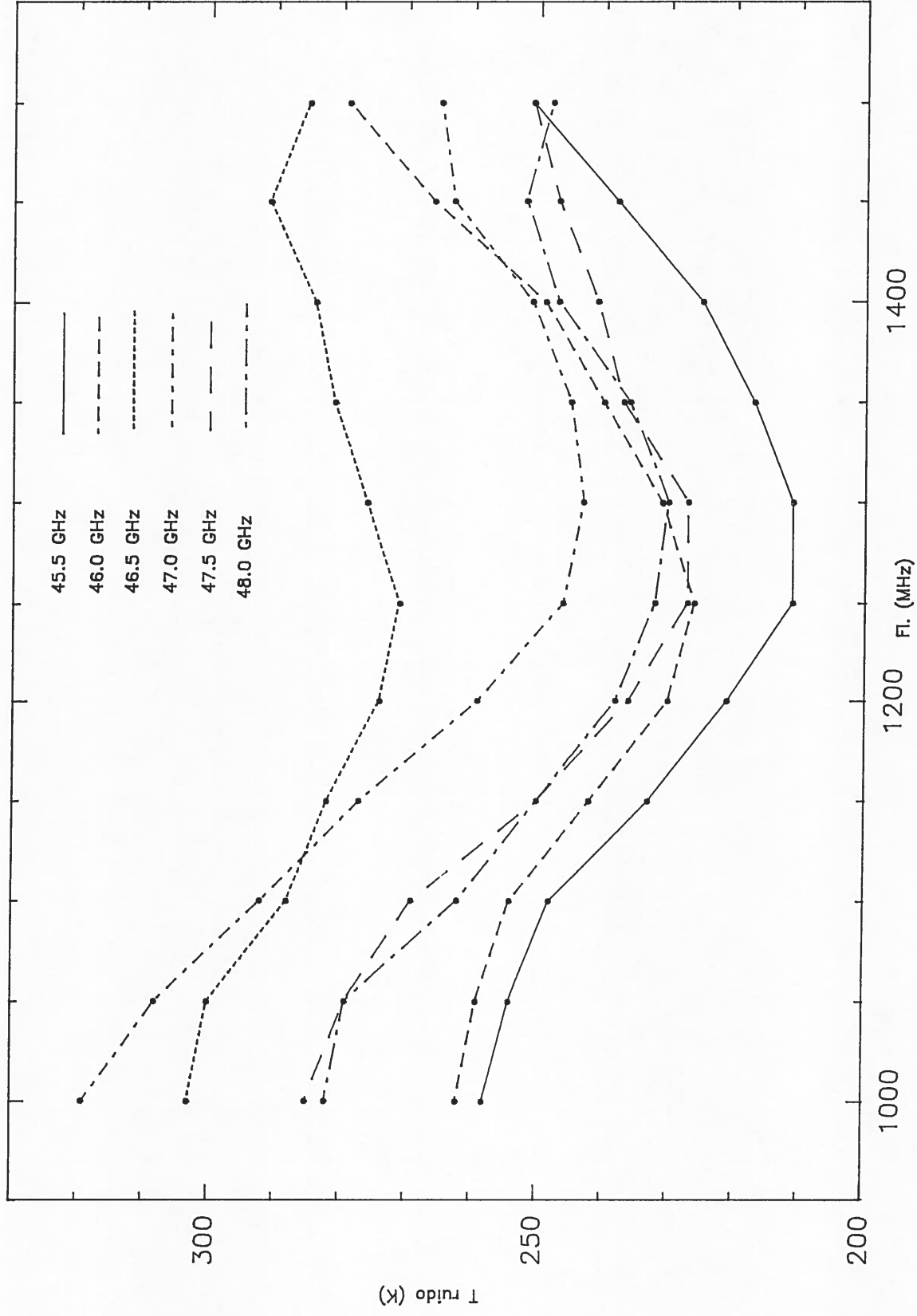


Fig. 12

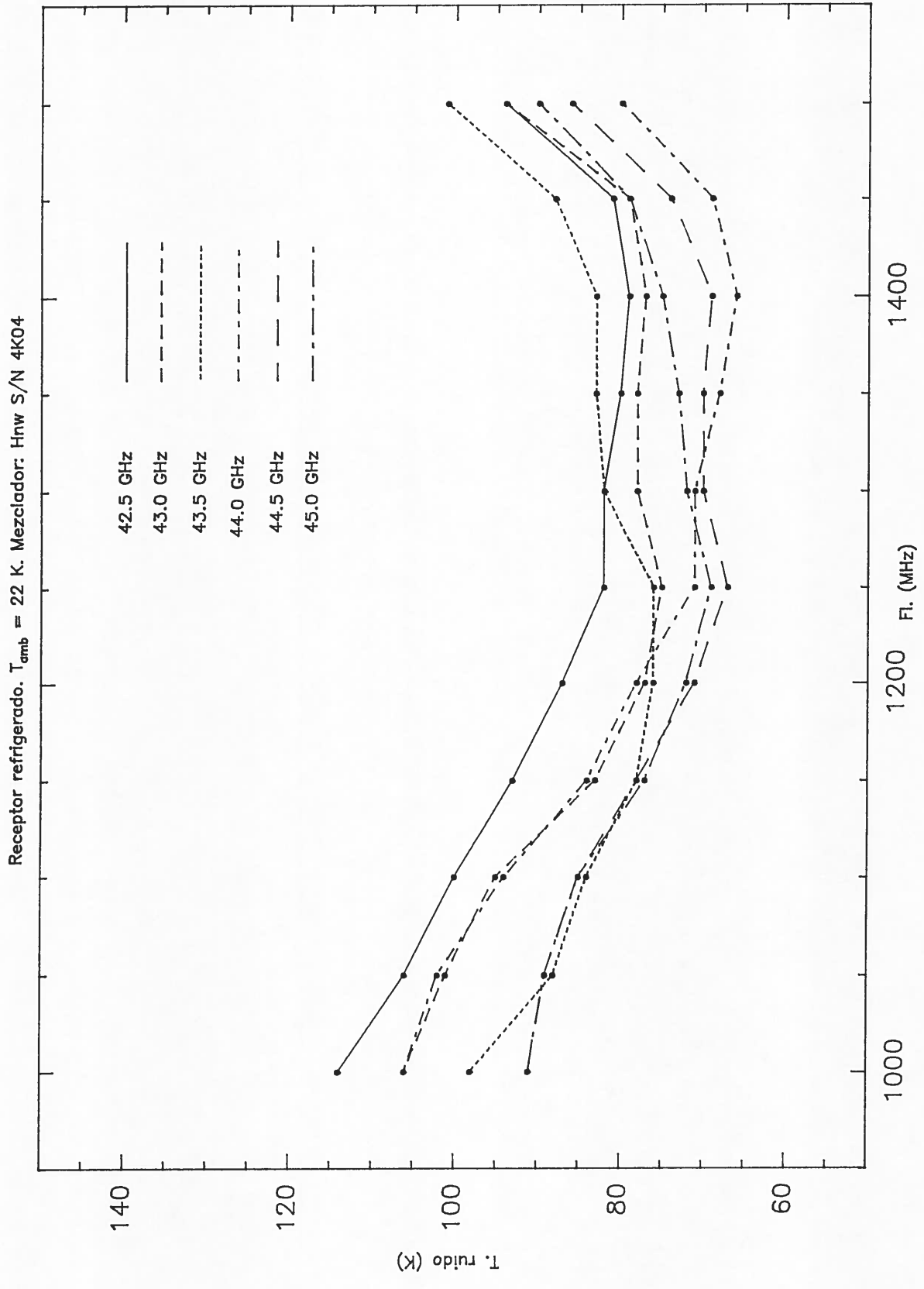


Fig. 13

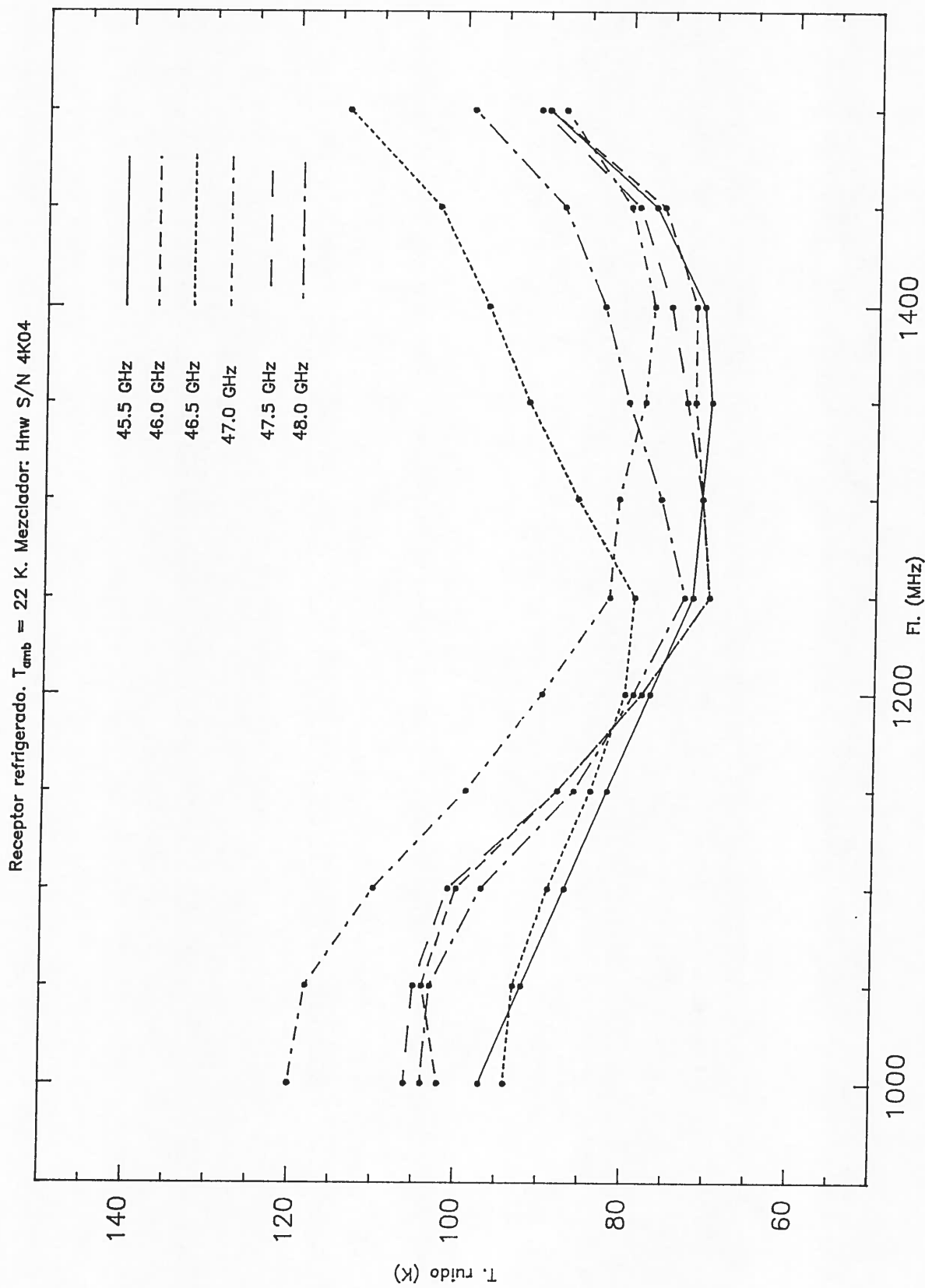


Fig. 14

Receptor refrigerado. Mezclador: Hnw S/N 4K04

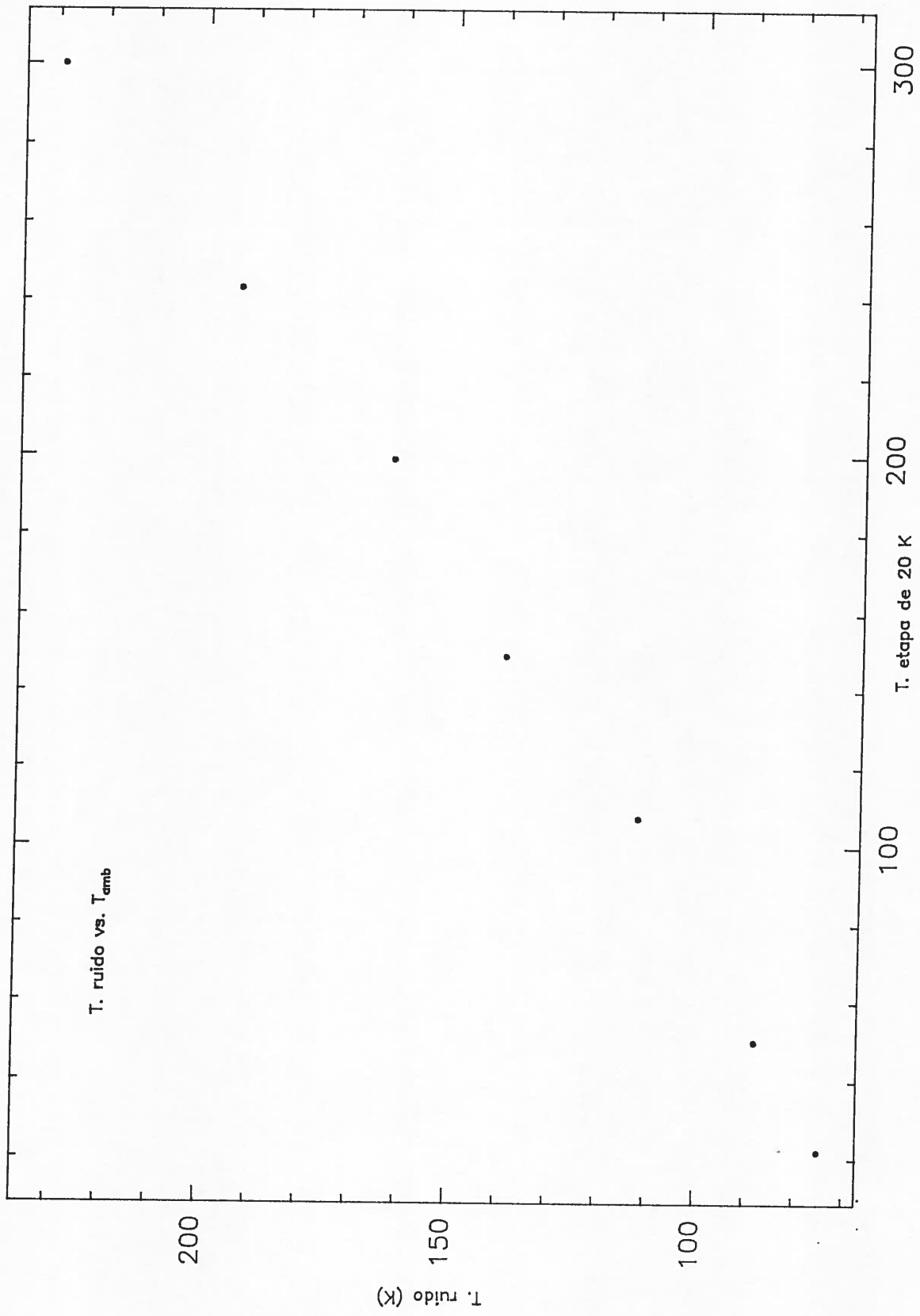


Fig. 15

-40 dBm
5 dB/

11:20:16 29 AUG 88

Unidad FI OAN-00
Salida: 1.1-1.4
 $T_{amb} = 299\text{ K}$

Res. BW: 3MHz
Filtro de video: Noise Av.

$T_{hot} = 299\text{ K}$

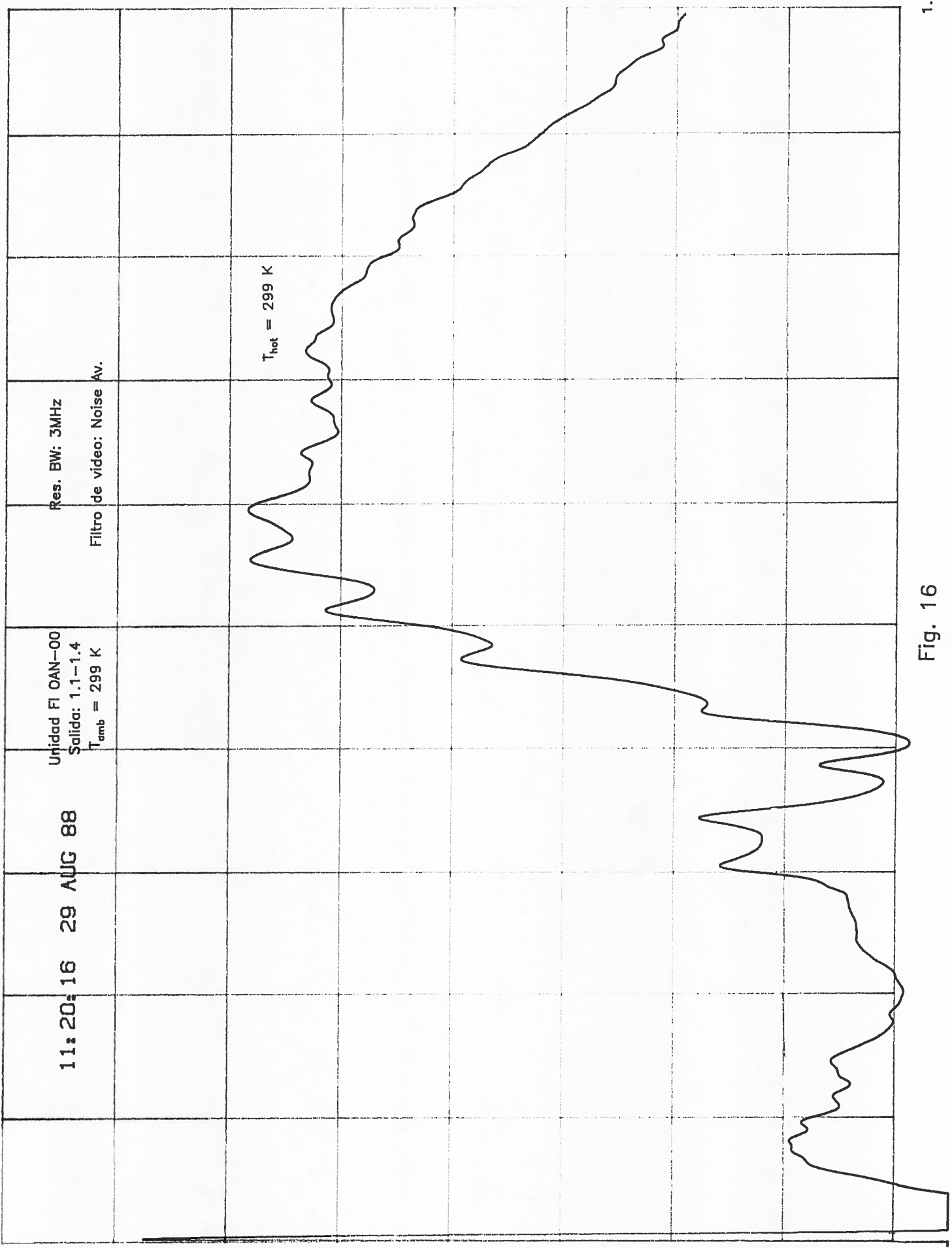


Fig. 16

1.8 GHz

-36 dBm
5 dB/

Res. BW: 3MHz
Filtro de video: Noise Av.

Unidad FI OAN-00
Salida: 1.1-1.4
 $T_{amb} = 22\text{ K}$

$T_{hot} = 298\text{ K}$

09:58:57 30 AUG 88

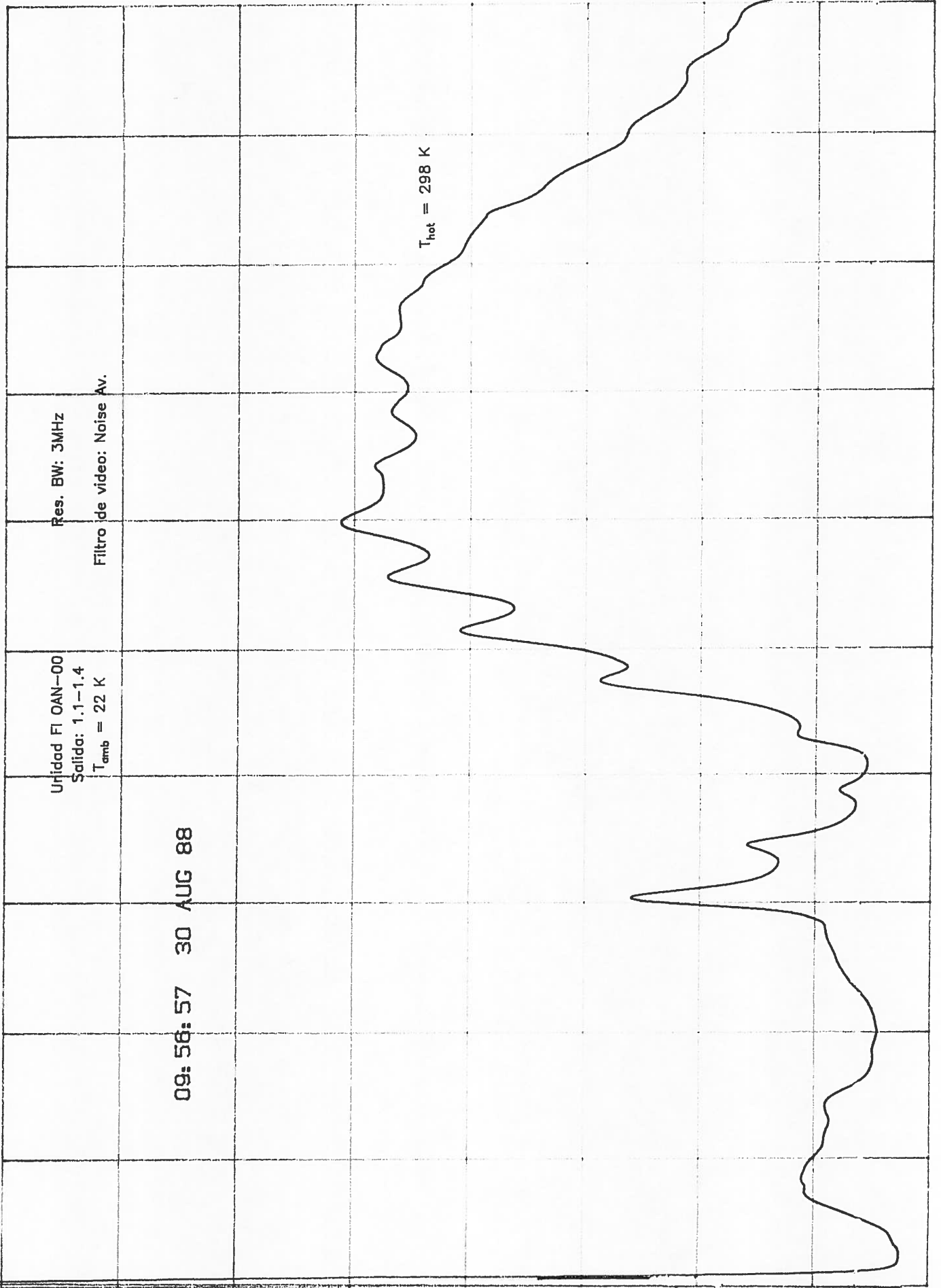
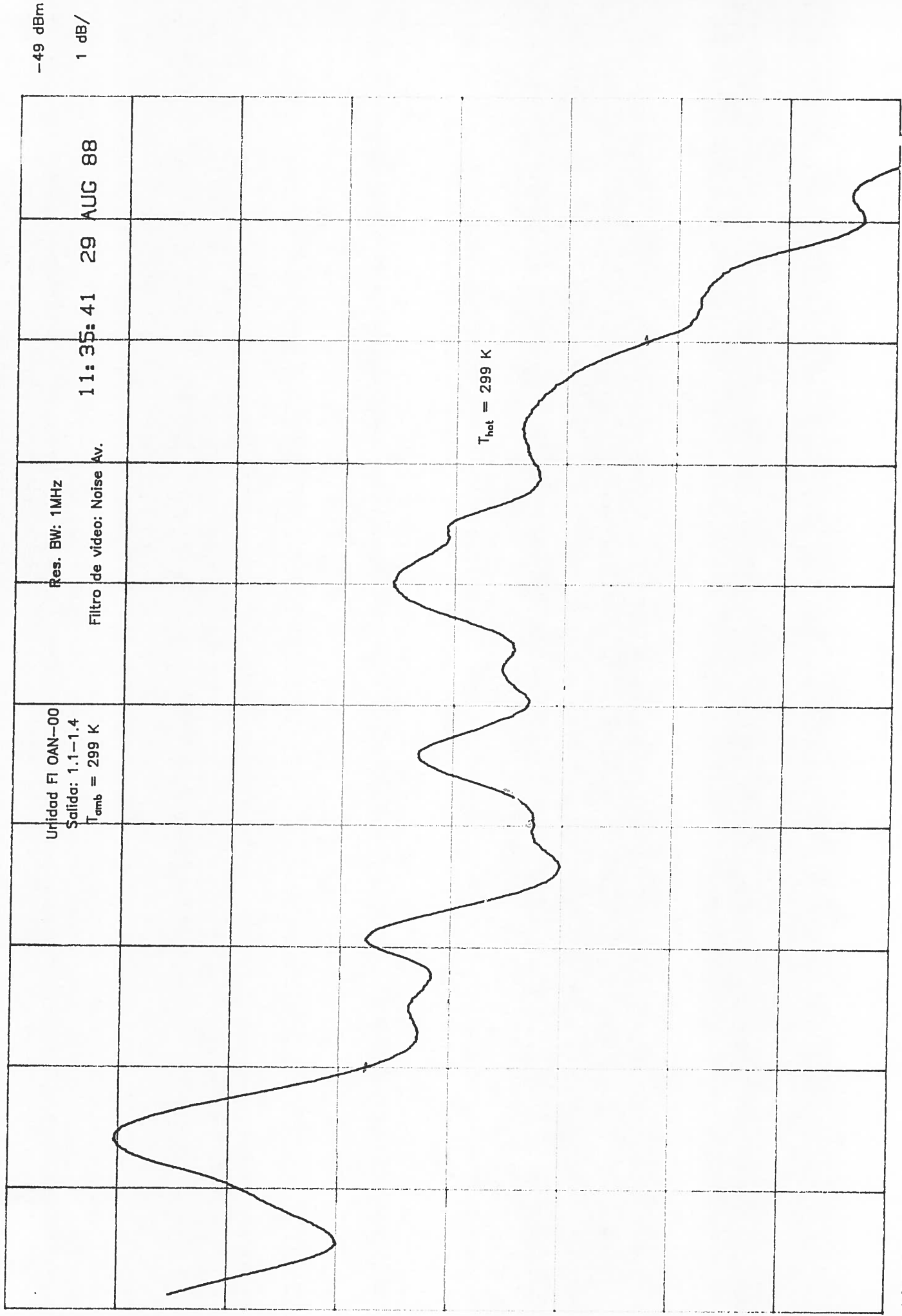


Fig. 17

1.8 GHz

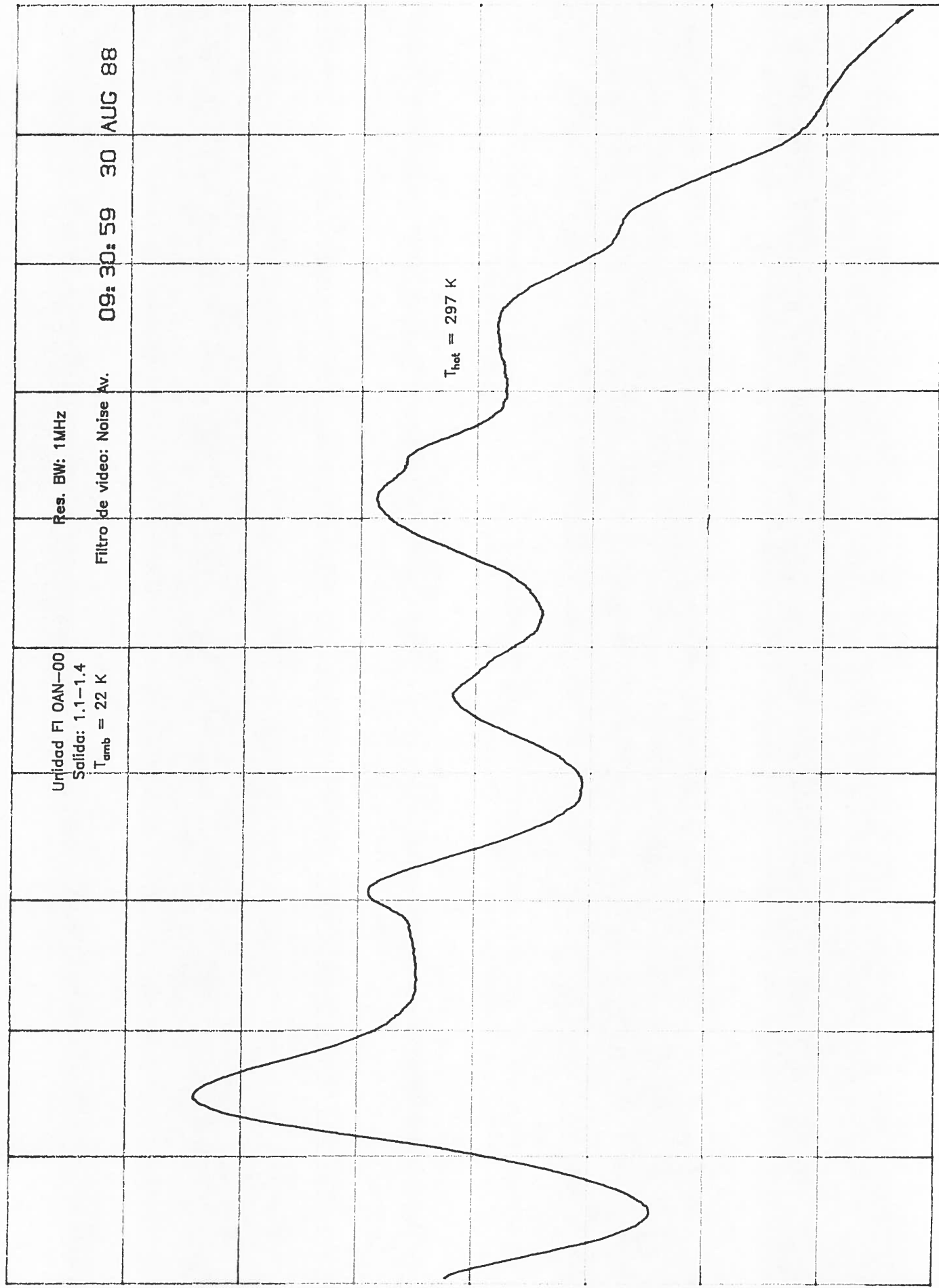
0



1.0 GHz

Fig. 18

1.5 GHz



-52 dBm

1 dB/

Unidad FI OAN-00
Salida: 1.1-1.4
 $T_{amb} = 22\text{ K}$

Res. BW: 1MHz

Filtro de video: Noise Av.

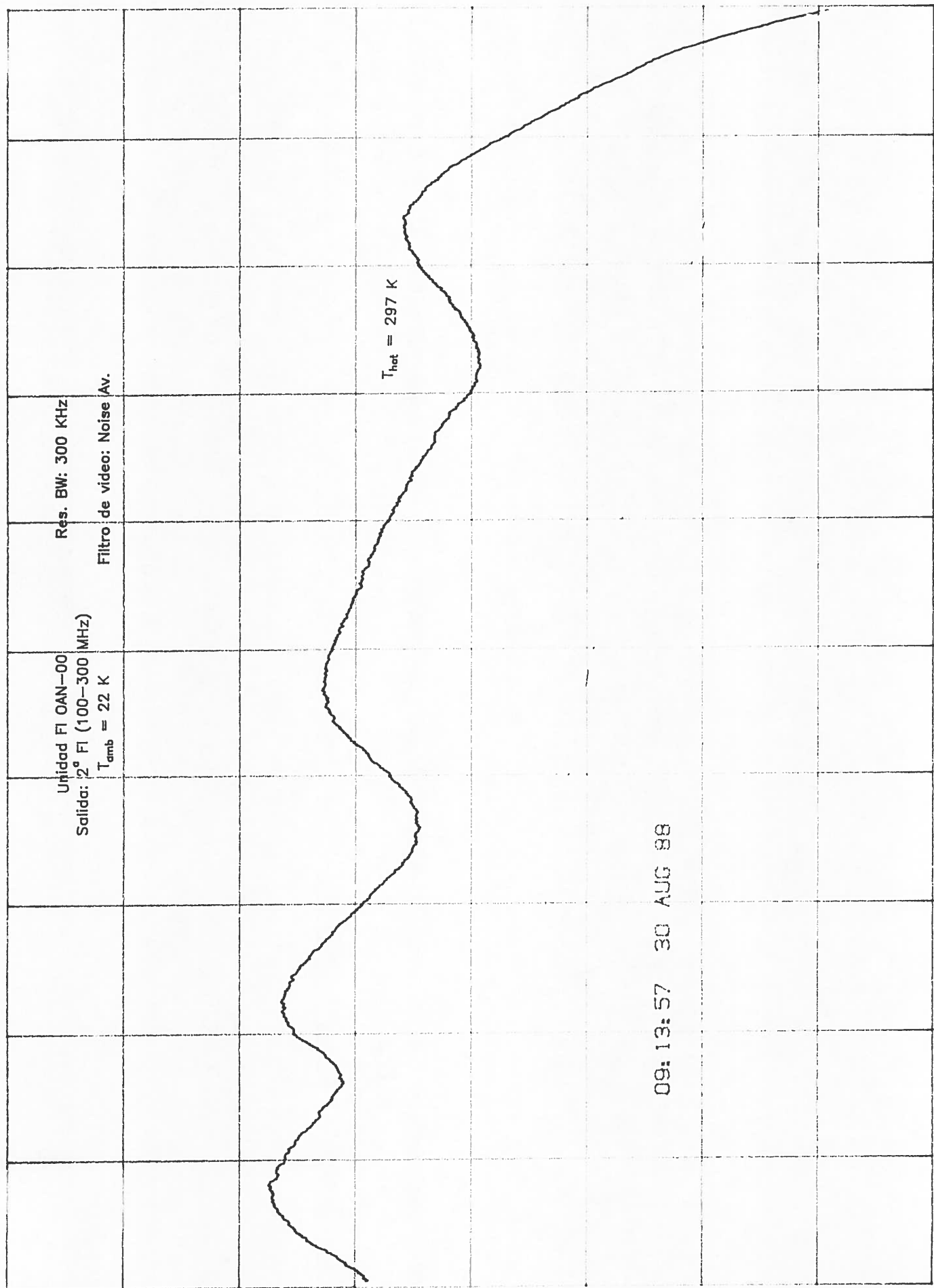
09:30:59 30 AUG 88

$T_{hot} = 297\text{ K}$

1.0 GHz

Fig. 19

1.5 GHz



09:13:57 30 AUG 88

Fig. 20