

Medida de la fluctuaciones de  
fase en las unidades de RF y MW  
del PLL del receptor a 45 GHz

Alberto Barcia, Pablo de Vicente,  
Juan E. Garrido

Informe Técnico CAY 1991-2

## 1 Introducción

En las medidas del ruido de fase del OL del receptor a 45 GHz, hechas para caracterizar sus prestaciones para VLBI (referencias [1] y [2]), se detectó la presencia de una componente de modulación de red más importante que el propio ruido aleatorio de fase. La constatación de que esta componente dependía fuertemente de cómo se conectaba la salida S3 del terminal MK 2 al resto de los equipos que utilizaban la señal de referencia de 5 MHz (sintetizadores principalmente), llevó a sospechar que el origen de dicha modulación podría estar en el terminal MK 2 o en los sintetizadores.

En las medidas citadas, también se detectó una deriva lenta ( $360^\circ$  en varios minutos) difícil de explicar si se suponía originada en la parte de milimétricas del PLL.

El presente informe técnico describe pruebas efectuadas para intentar explicar (y, eventualmente, corregir) las causas de la modulación de red y la deriva mencionadas, mediante un estudio de las citadas partes del PLL. Básicamente, las pruebas consistieron en comparar las fases de los dos sintetizadores disponibles en aquel momento (Racal-Dana 3101 y Racal-Dana 9087) y que se utilizaron en las medidas del ruido de fase descritas en la referencia [2], y en estimar la influencia del montaje de medida utilizado sobre los resultados.

## 2 Modulación de la fase por la red

Se compararon directamente las fases de las salidas de los sintetizadores RD 9087 y RD 3101 a las frecuencias de 100 MHz y 1000 MHz, llevándolas a un mezclador doblemente balanceado (Anzac 113) que actuaba como detector de fase, y cuya salida de FI se representó mediante un registrador Y-t (HP 7090A) durante 100 milisegundos. Con una línea de retardo variable (Wiltron 3114) se ajustaba la fase a la entrada OL del detector de fase para ponerla en cuadratura con la de entrada RF y tener una tensión continua nula en la salida FI, haciendo que el detector de fase trabajase en su zona lineal y que el registrador Y-t se pudiese ajustar a su máxima sensibilidad.

La sensibilidad en fase (mV/rad) del sistema de medida, se calibró a las dos frecuencias desplazando 1 Hz la frecuencia de uno de los sintetizadores respecto de la del otro y midiendo la amplitud (mV) de la senoide resultante, registrada durante 3 s.

Manteniendo los dos sintetizadores a la misma frecuencia y desplazando la línea de retardo se comprobaba la simetría de la respuesta del detector de fase: a la frecuencia de 1000 MHz se comprobó la existencia de un *offset* de  $\sim 10$  mV, reflejado en que la excursión positiva y negativa de la tensión de salida no eran iguales. Se atribuyó a una descompensación de las características de los diodos y se ajustó el punto de trabajo manteniendo dicho *offset* a la salida de FI (asumiendo que éste era el punto correspondiente a la cuadratura de las dos señales

de entrada) y corrigiéndolo mediante un offset opuesto añadido a la entrada del registrador.

Se ensayaron tres montajes distintos (figuras 1, 2 y 3), según la forma de inyectar a los sintetizadores la frecuencia de referencia generada por el máser LHA 2. Los resultados correspondientes a estos montajes se recogen en las gráficas 12:07:27, 14:59:34 y 13:40:00 y sus correspondientes transformadas de Fourier. Los resultados obtenidos se resumen a continuación.

TABLA 1. Frecuencia 100 MHz

	Montaje 1	Montaje 2	Montaje 3
$k_d$ (mV/rad)	117	118	—
$\Delta\phi_{pp}$ (grados)	0.07	0.04	—

TABLA 2. Frecuencia 1000 MHz

	Montaje 1	Montaje 2	Montaje 3
$k_d$ (mV/rad)	90	91.6	90
$\Delta\phi_{pp}$ (grados)	0.6	0.33	0.46

Probablemente la menor sensibilidad  $k_d$  del sistema de medida a 1000 MHz se deba a las mayores pérdidas en las diferentes partes del mismo. Como cabía esperar, la fluctuación de fase es aproximadamente 10 veces mayor a 1000 MHz que a 100 MHz. Para el montaje 1, que es el más parecido al utilizado en las medidas de todo el PLL (véase [2]), las fluctuaciones de fase inducidas a 43 GHz serían de  $0.6 \times 43 = 25.8^\circ$  (compárense con los  $\sim 29^\circ$  medidos del Informe Técnico [2]), lo que parece confirmar la idea de que la modulación de red observada en dichas medidas se generan en, o transmiten a través de los sintetizadores RD que dan la referencia de  $\sim 1$  GHz para el PLL (RD 3101) y la señal de prueba (RD 9087), y no en el multiplicador  $\times 4$  o en el lazo del klystron.

Por otra parte, el nivel de las fluctuaciones de los montajes 2 y 3 es menor que en el 1 y tienen una proporción bastante más baja de componentes de red (véanse los espectros), de donde se induciría que la modulación de red observada en todo el PLL parece introducida por el montaje de control de los sintetizadores y quizás tiene que ver con el comportamiento de la salida S3 del distribuidor de la referencia de 5 MHz del terminal MK 2. A éste respecto, en el apartado 3 se describen medidas del espectro de dicha salida que parecen indicar la existencia de una saturación importante en algún amplificador de la misma.

En la figura 4 se muestra el montaje utilizado para determinar si las fluctuaciones de fase observadas en los montajes 1, 2 y 3 eran debidas a los sintetizadores o al resto del sistema. La sensibilidad obtenida fue de 72.5 mV/rad y la gráfica 11:06:37 indica una ausencia total de fluctuación atribuible al resto del sistema.

### 3 Espectro de salida S3 del terminal MK 3

Se observó el espectro de la señal de 5 MHz en la salida S3 del terminal MK 2 con el atenuador de RF del analizador de espectros fijado en 30 dB para minimizar la distorsión producida en su propio mezclador de entrada. Se ensayaron las cuatro configuraciones de conexión entre S3 y el analizador que se indican en la figura 5, con los resultados de niveles de potencia para el fundamental (5 MHz) y los dos primeros armónicos (10 MHz y 15 MHz) que se dan en la tabla siguiente:

TABLA 3. Niveles de potencia (dBm)

	5 MHz	10 MHz	15 MHz
Configuración I	17	3	-3
Configuración II	15	-3	-8
Configuración III	13	-1	-6
Configuración IV	13	-1	-6

En la gráfica 13:50:00 se da el espectro correspondiente a la configuración III, que es la utilizada en las medidas de la red PLL completa.

De las medidas parece deducirse un grado de saturación bastante apreciable en alguno de los amplificadores de la cadena de la señal S3 cuando la carga es de  $50 \Omega$  (configuraciones I, III y IV). Las configuraciones III y IV no mostraron ninguna diferencia en sus espectros, aunque sabemos que los resultados de las medidas de todo el PLL fueron mucho peores en la IV [1].

A efectos del grado de saturación, sin embargo, el condensador en serie con la salida S3 no parece tener ninguna influencia y se obtuvieron los mismos espectros con y sin él.

De las medidas descritas hasta este punto se deducen las siguientes conclusiones:

- La modulación de la fase del PLL total por la red es muy sensible a la presencia o no de un condensador en serie con la salida S3 del terminal MK 2.
- Parece haber un grado importante de saturación de la señal en dicha salida.
- Las fluctuaciones de fase relativas inducidas por la red entre dos sintetizadores análogos controlados a partir de la salida S3 son mucho mayores que cuando se controlan a partir de una mejor referencia de 5 MHz.

Parece, por tanto, razonable atribuir al comportamiento del distribuidor de los 5 MHz del terminal MK 2 la mayor contribución a la modulación de red observada en las medidas de todo el PLL del receptor a 45 GHz.

## 4 Deriva térmica

Se hicieron pruebas a 1000 MHz para estimar los efectos de las variaciones de temperatura sobre la deriva de fase entre los dos sintetizadores con objeto de determinar si ésta podría proporcionar una explicación a la deriva observada en las medidas de todo el PLL [1] y [2]. Se utilizó el montaje 2 (figura 2), registrándose la diferencia de fase entre los dos sintetizadores en el registrador Y-t a lo largo de 24 horas. La temperatura en la sala se registró en un termógrafo durante un intervalo, y se encendieron y se apagaron los acondicionadores para provocar cambios de temperatura, que llegaron a ser de  $\sim 9^\circ\text{C}$ .

El registro 09:32:03 muestra los resultados obtenidos, siendo los parámetros fundamentales de la medida los siguientes:

- Frecuencia: 1000 MHz
- $k_d$ : 90 mV/rad
- Posición de la línea de retardo:  $187^\circ$  ( $V_d = 0$  mV)
- $\Delta T_{pp} = 28.8^\circ\text{C} - 19.0^\circ\text{C} = 9.8^\circ\text{C}$
- $\Delta\phi_{pp} = 1.02$  rad =  $58.6^\circ$
- $\Delta\phi/\Delta T = 0.104$  rad/ $^\circ\text{C} \simeq 6^\circ/\text{C}$

La gráfica 14:29:55 es un registro similar hecho a lo largo de una hora con la temperatura de la sala estabilizada después de haberse apagado los acondicionadores (en la gráfica 09:32:03 se aprecia un “diente de sierra”, próximo al instante en que se apagaron los acondicionadores, causado por la entrada en funcionamiento de los mismos una vez alcanzada en la sala una temperatura próxima a la de regulación).

Para estimar la contribución del sistema de medida a la deriva descrita, se repitieron las mismas pruebas con el montaje de la figura 4, en el que no intervinieron los sintetizadores. Se hicieron dos registros de la deriva de fase, uno con una longitud de 11 m. de cable RG58/U y otro con 1.5 m. representados en las gráficas 14:02:04 y 16:50:28 y cuyos resultados se resumen en la tabla que sigue:

TABLA 4. Medidas sobre el cable

L.cable	frec.	$k_d$	$\Delta T_{pp}$	$\Delta\phi_{pp}$	$\Delta\phi/\Delta T$	Lín.ret.
11 m	1000 MHz	78 mV/rad	$9.0^\circ\text{C}$	$44^\circ$	$-4.9^\circ\text{C}$	$302^\circ$
1.5 m	1000 MHz	158 mV/rad	$9.0^\circ\text{C}$	$2.4^\circ$	$-0.27^\circ\text{C}$	$400^\circ$

De la comparación de ambas medidas se induce que las variaciones térmicas en la fase se producen sobre todo en el cable, más que en la línea de retardo o en el mezclador balanceado.

Esto es razonable pues un sencillo cálculo muestra que las variaciones de longitud eléctrica de los elementos debidas a dilataciones son despreciables a la frecuencia de 1 GHz y en el margen de 9°C, y la línea de retardo Wiltron 3114 (de tipo trombón) tiene dieléctrico aire.

Las variaciones de longitud eléctrica en un cable con dieléctrico de polietileno debidas a la variación de  $\epsilon'$  con la temperatura son mucho mayores ( $\Delta l/l = -145$  ppm/°C para cable RG58/U,  $\epsilon' = 2.26$ , según [3]). Para una longitud de 11 m. corresponderían a  $\Delta\phi = -2.9^\circ/\text{C}$ , relativamente próximo al valor medido.

En consecuencia, se puede concluir que la deriva de  $6^\circ/\text{C}$  obtenida con el montaje 2 (figura 2) es debida en su mayor parte a los sintetizadores o a los cables y los sintetizadores, y está presente, por tanto, en las medidas del PLL completo, a nivel del cual darían lugar a una deriva de  $\sim 6 \times 45 = 270^\circ/\text{C}$ , coherente con lo observado.

A propósito de la gráfica 14:02:04, se observa en ella que la tensión de salida del detector,  $V_d$ , aumenta al aumentar la temperatura. Se comprobó que para la posición utilizada de la línea de retardo ( $302^\circ$ ), dicha tensión también aumentaba al alargar ésta, lo cual indica que se estaba produciendo un acortamiento eléctrico del cable al aumentar la temperatura (de ahí el signo - en el valor de  $\Delta\phi/\Delta T$  de la tabla anterior), resultado que coincide con la predicción derivada del valor negativo de  $\Delta l/l$  citado más arriba. En las medidas que se hicieron para obtener la gráfica 16:50:28, también  $V_d$  aumentaba al alargar la línea de retardo para la posición  $400^\circ$  de la misma. En la curva, sin embargo,  $V_d$  disminuye al aumentar la temperatura: en este caso, la longitud total de los cables de unión de la T con la línea de retardo y de ésta con el mezclador era mayor de 1.5 m. y predominó el acortamiento de éstos sobre el del cable de 1.5 m.

#### Conclusión:

Las pruebas descritas en este apartado sugieren que los efectos de las variaciones de temperatura dentro del radomo sobre los sintetizadores y los cables pueden explicar las derivas de fase observadas en el PLL de 45 GHz.

## 5 Conclusiones

### • Modulación de la fase por la red

- La modulación de la fase del PLL total por la red es muy sensible a la presencia o no de un condensador en serie con la salida S3 del terminal MK 2.
- Parece haber un grado importante de saturación de la señal en dicha salida.
- Las fluctuaciones de fase relativas inducidas por la red entre dos sintetizadores análogos controlados a partir de la salida S3 son mucho mayores que cuando se controlan a partir de una mejor referencia de 5 MHz.

- **Deriva térmica**

- Las pruebas descritas en este apartado sugieren que los efectos de las variaciones de temperatura dentro del radomo sobre los sintetizadores y los cables pueden explicar las derivas de fase observadas en el PLL de 45 GHz.

## **Referencias**

- [1] Medidas del ruido de fase del oscilador local del receptor refrigerado a 45 GHz del CAY  
P. de Vicente, A. Barcia, J.D. Gallego  
Informe Técnico CAY 1990-3
- [2] Nuevas medidas del ruido de fase del oscilador local del receptor refrigerado a 45 GHz del CAY  
A. Barcia, P. de Vicente, J.E. Garrido  
Informe Técnico CAY 1991-1
- [3] "Semiflexible coax finds increased use for interconnects"  
R.D. Perelman, W.H. Stansfield  
Microwaves & RF, Vol. 28, No. 9, September 1989, pp. 119-126

## Figuras

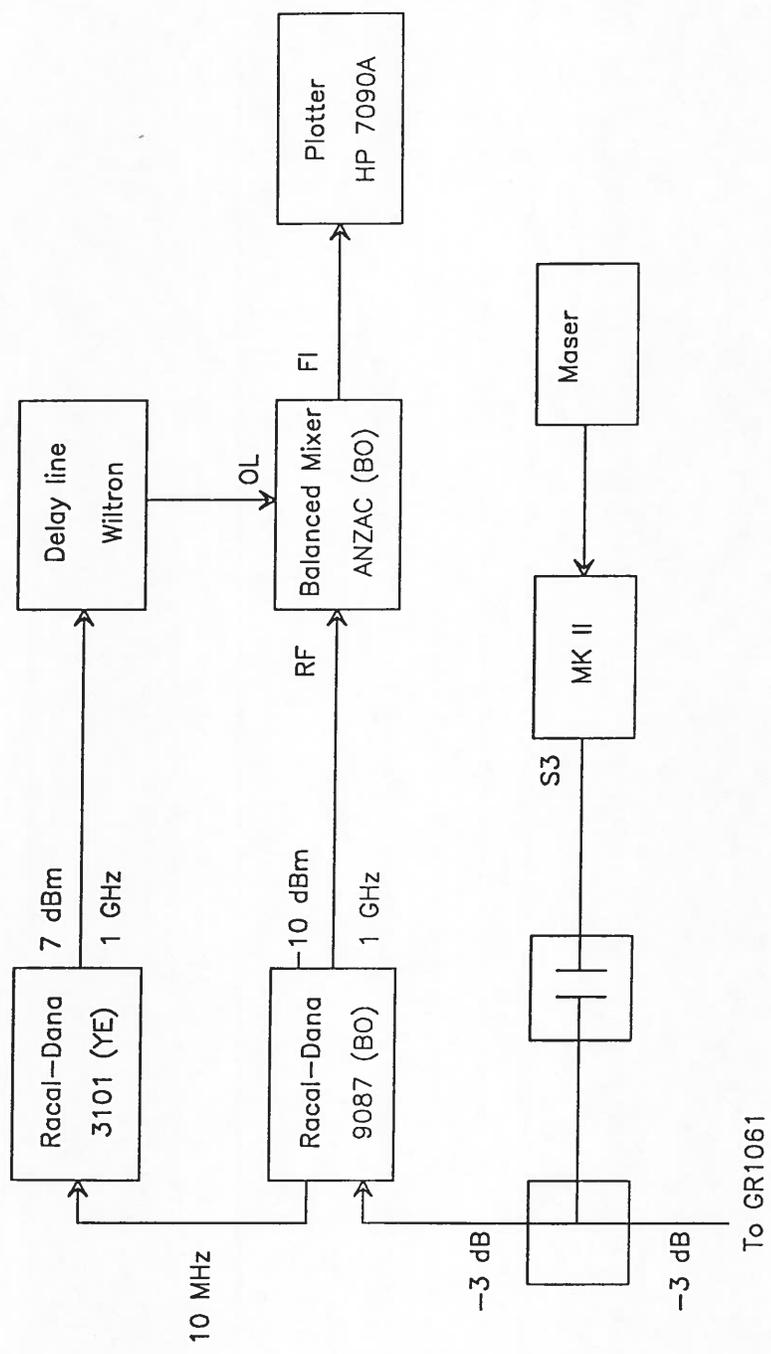


Figure 1

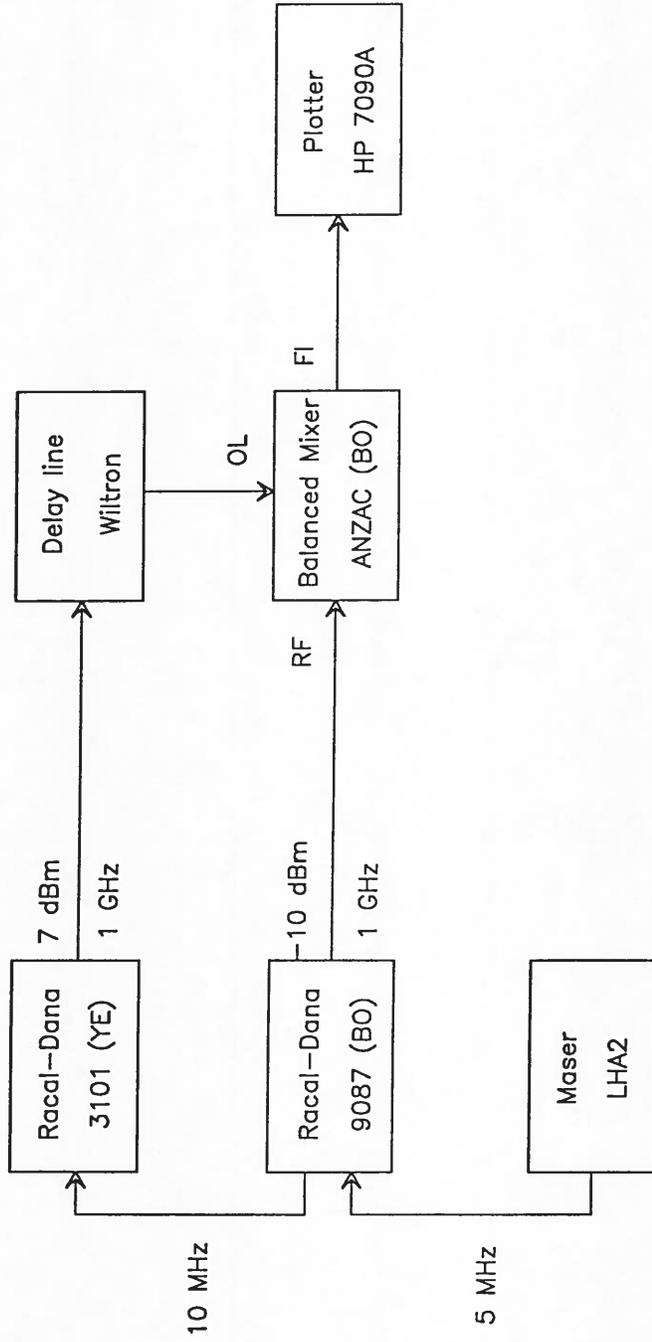


Figure 2

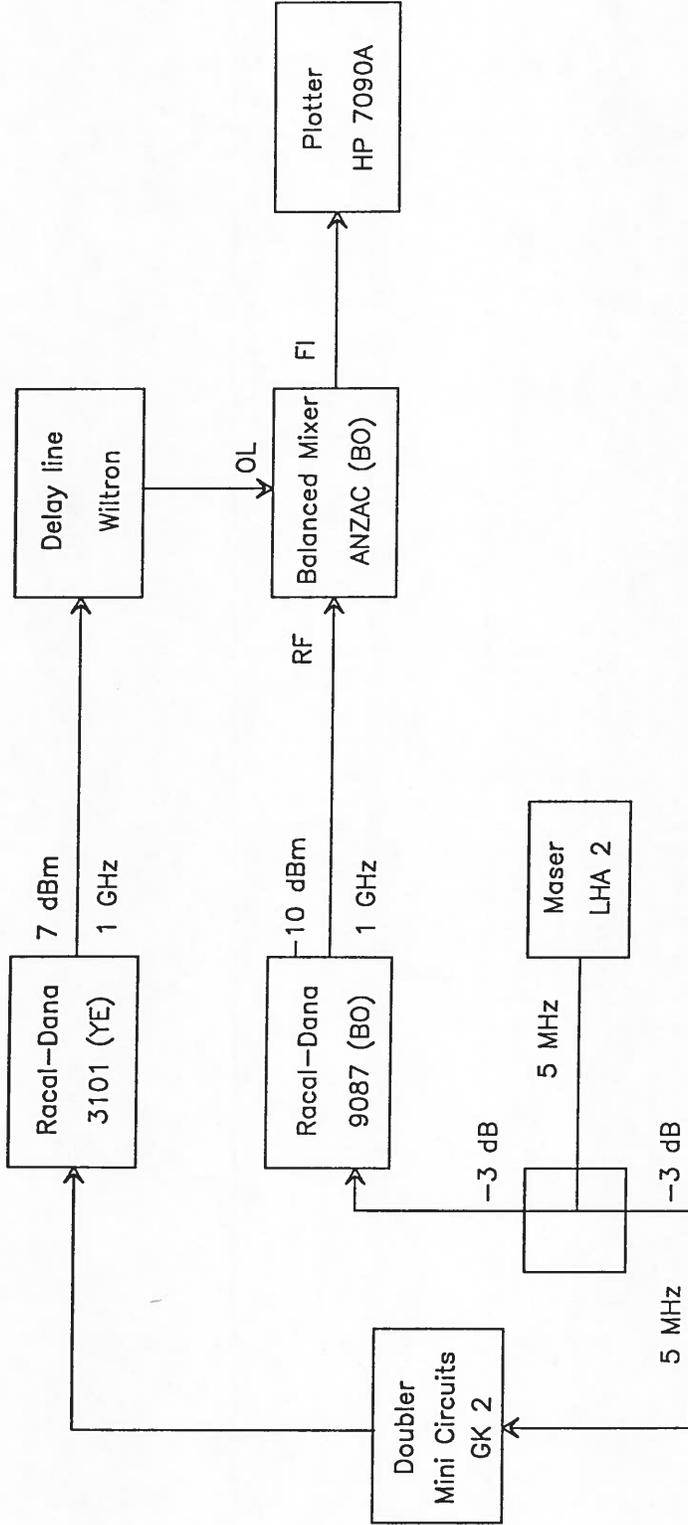


Figura 3

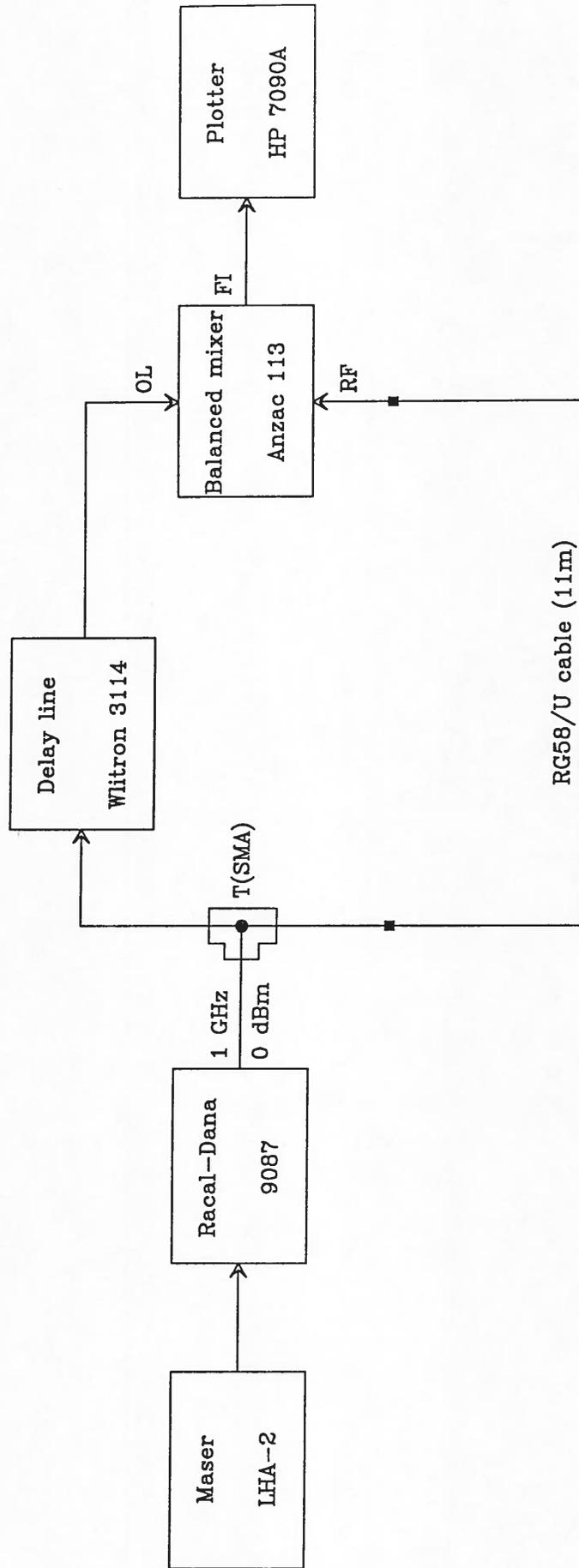
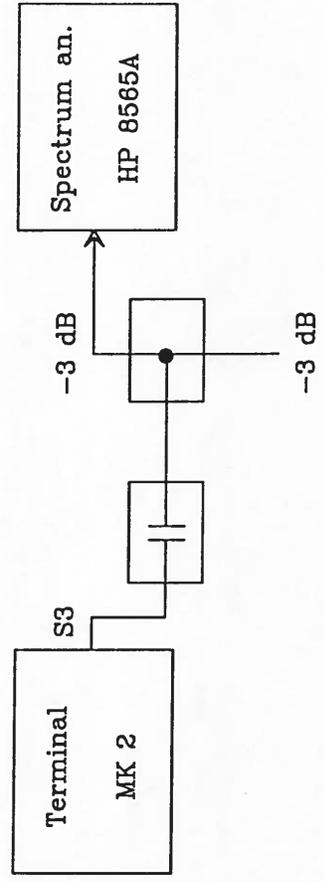
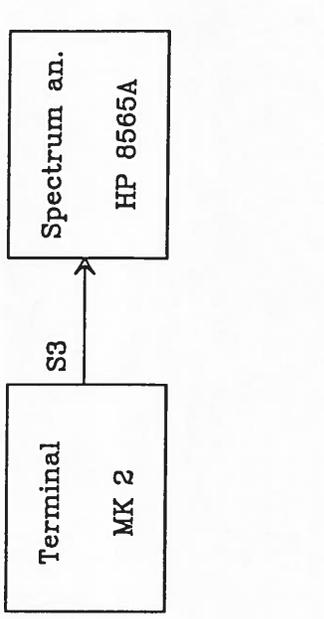


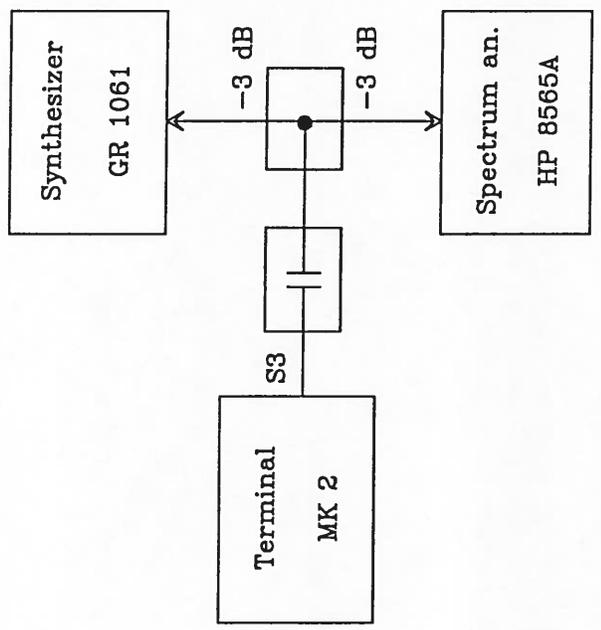
Figura 4



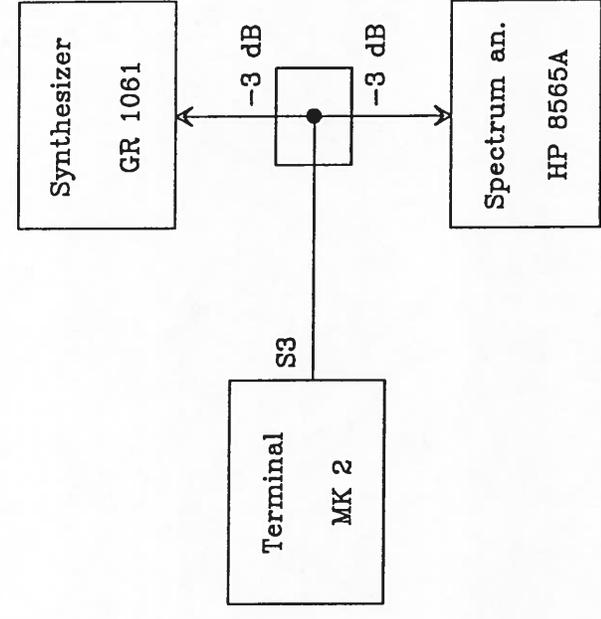
CONFIGURACION I



CONFIGURACION II



CONFIGURACION III



CONFIGURACION IV

Figura 5

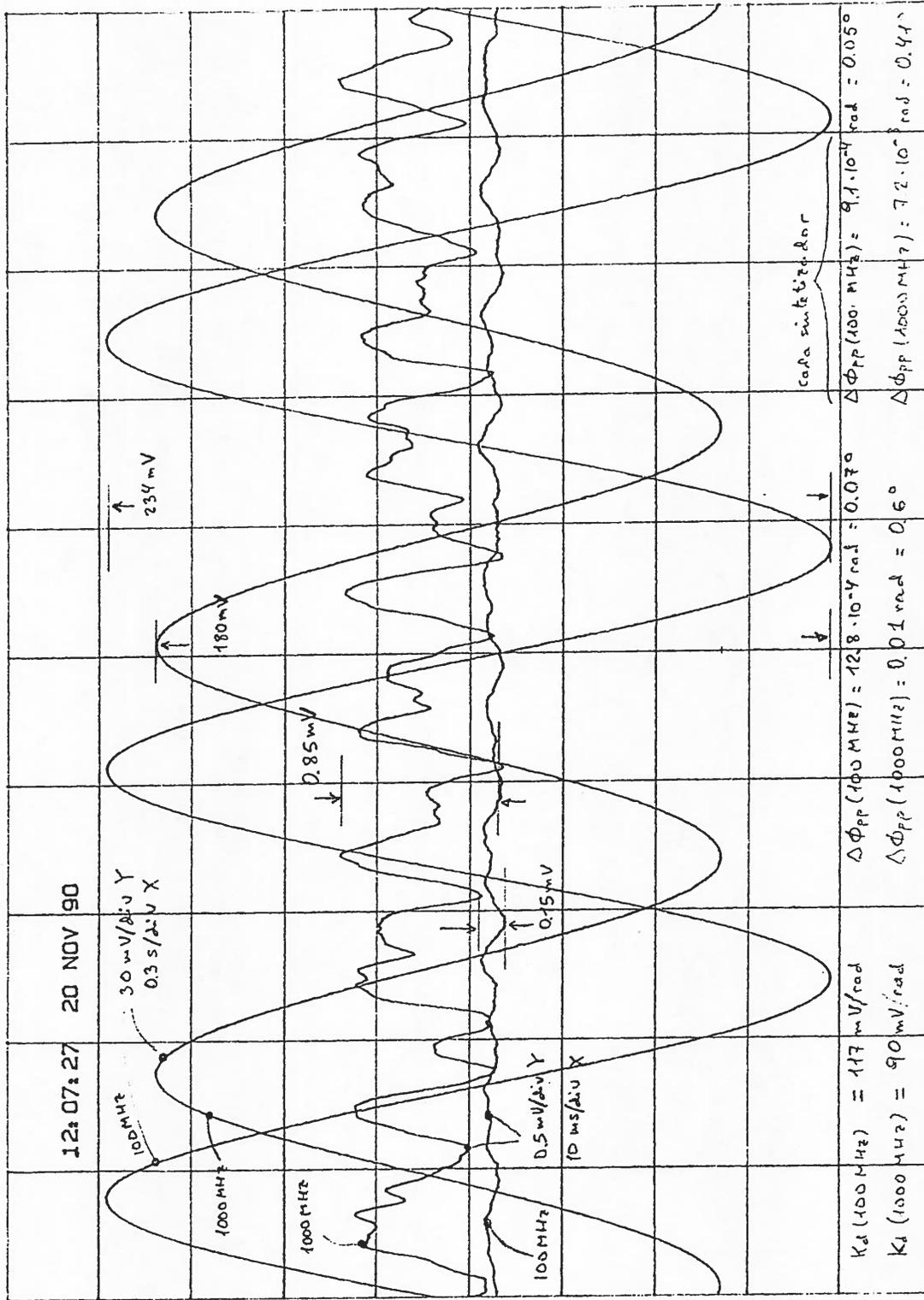


Figure 6

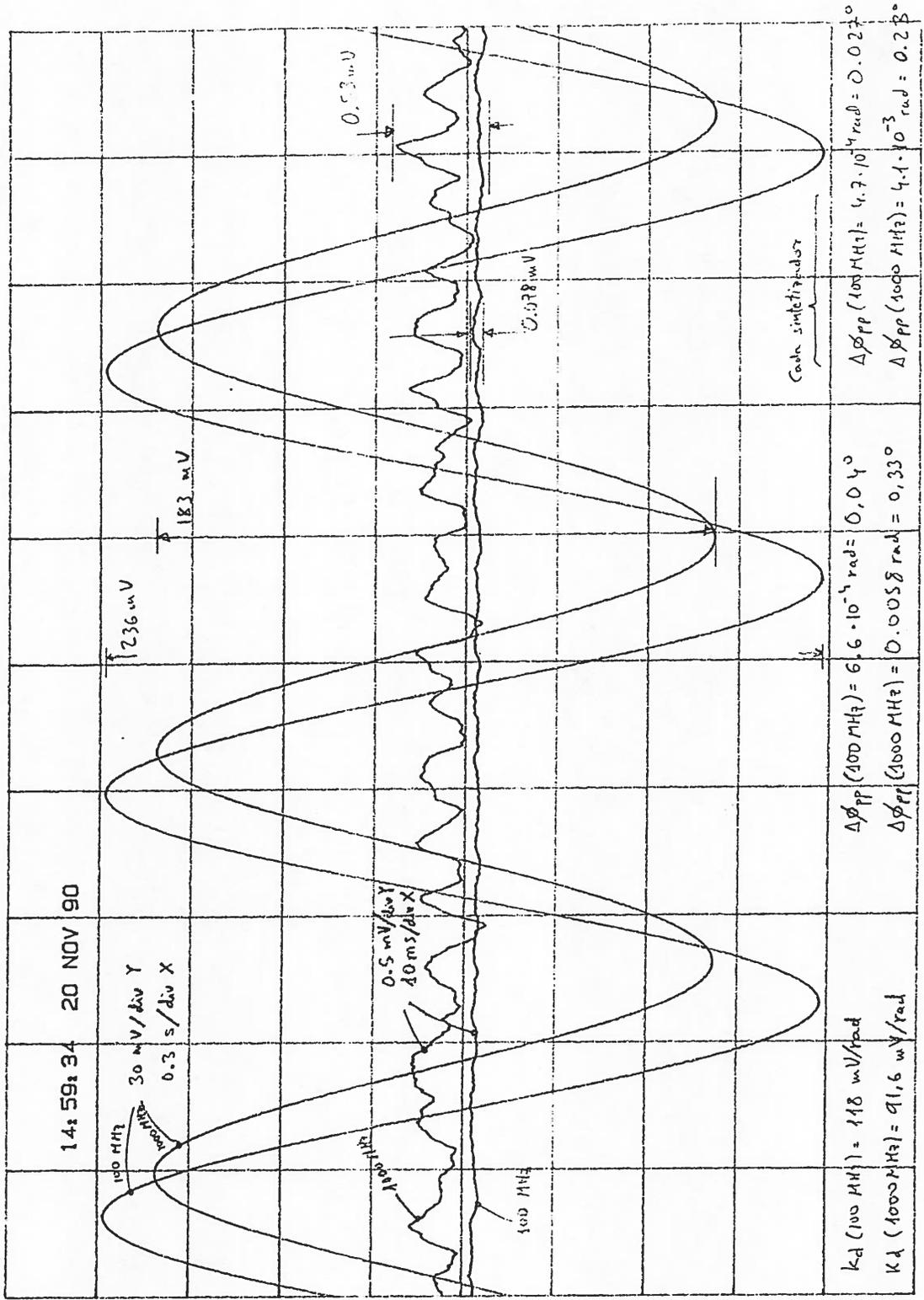


Figura 7

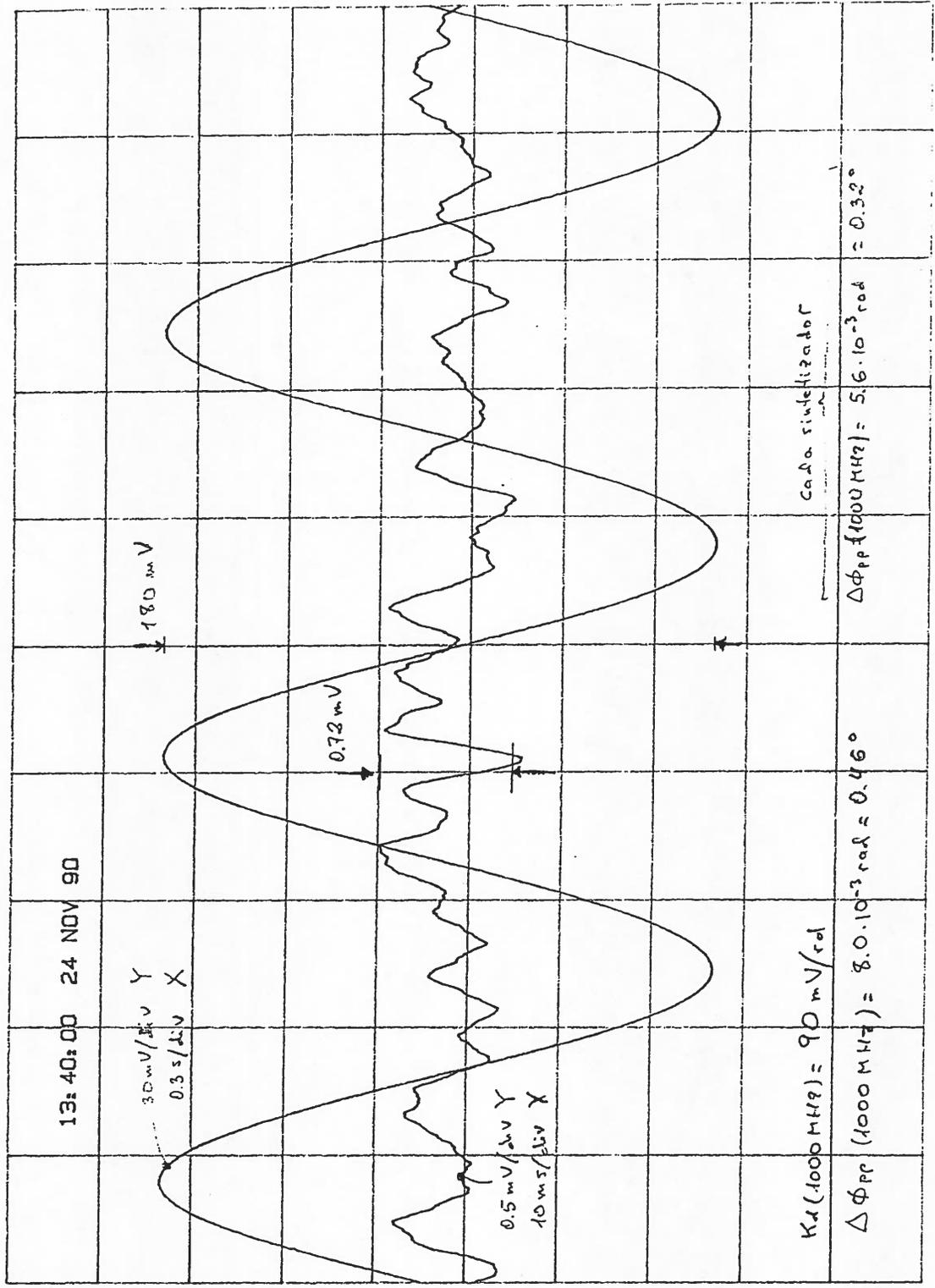


Figure 8

Grafico 12:07:27 (montaje 1): Transformada de Fourier (1000 MHz)

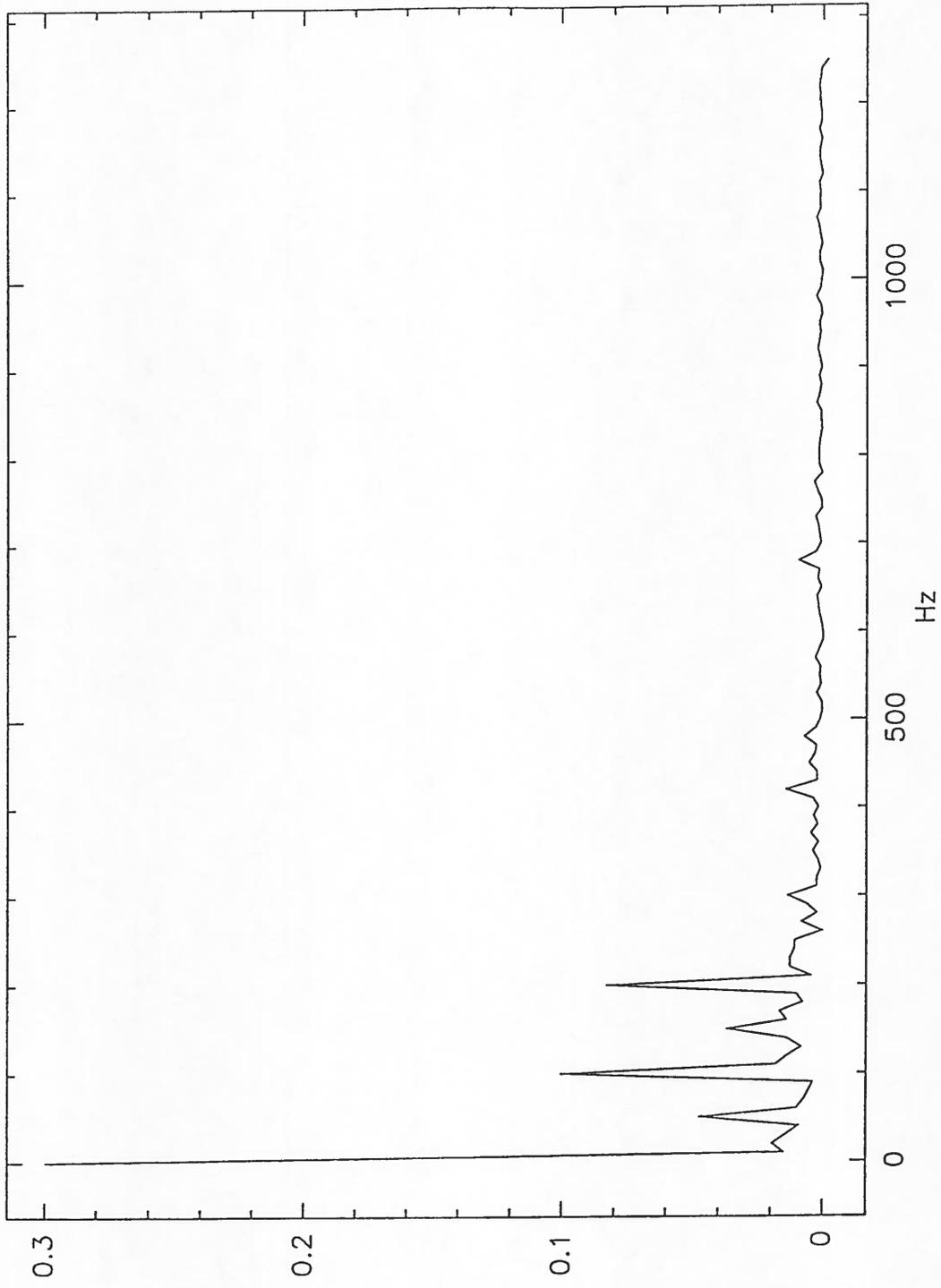


Figura 9

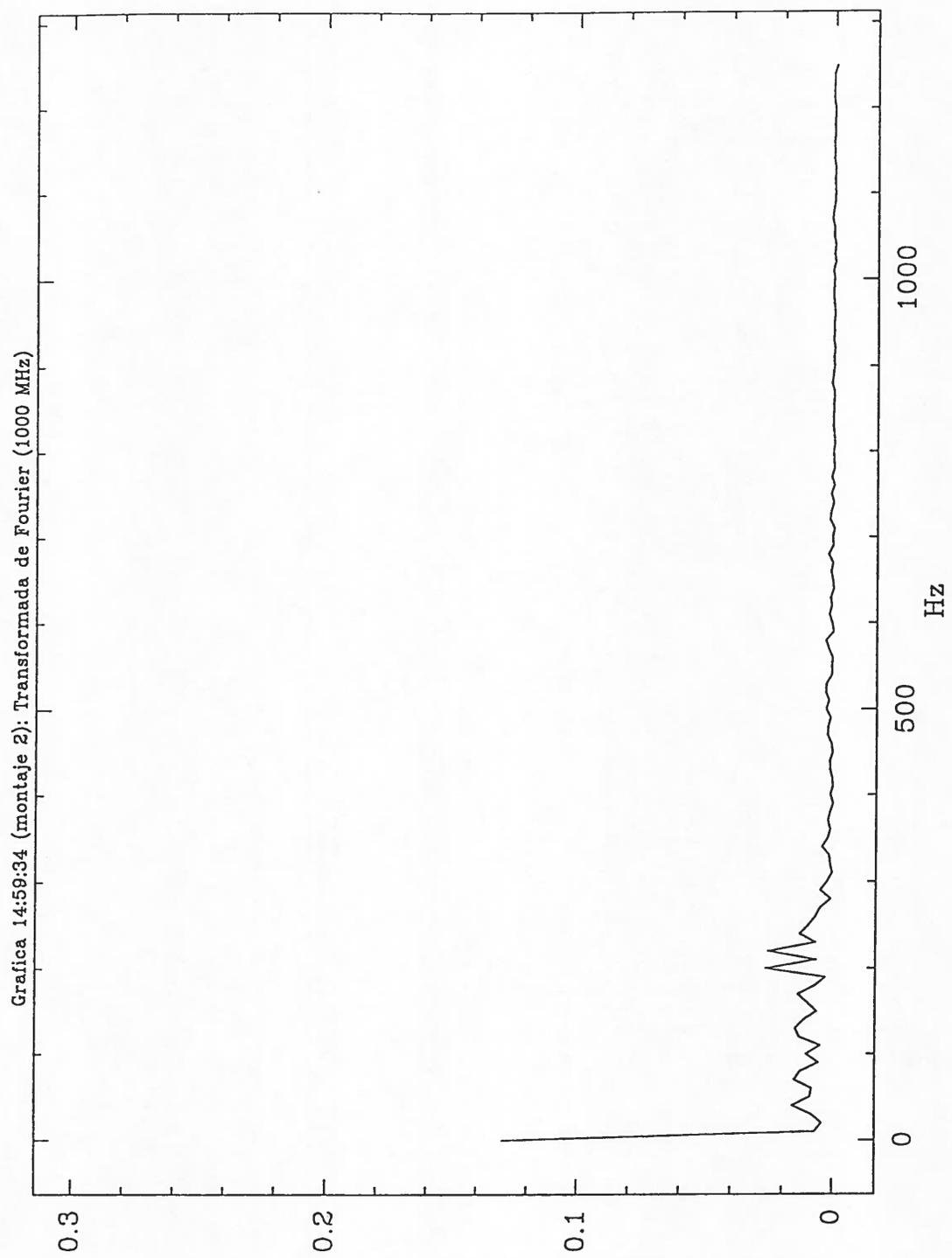


Figura 10

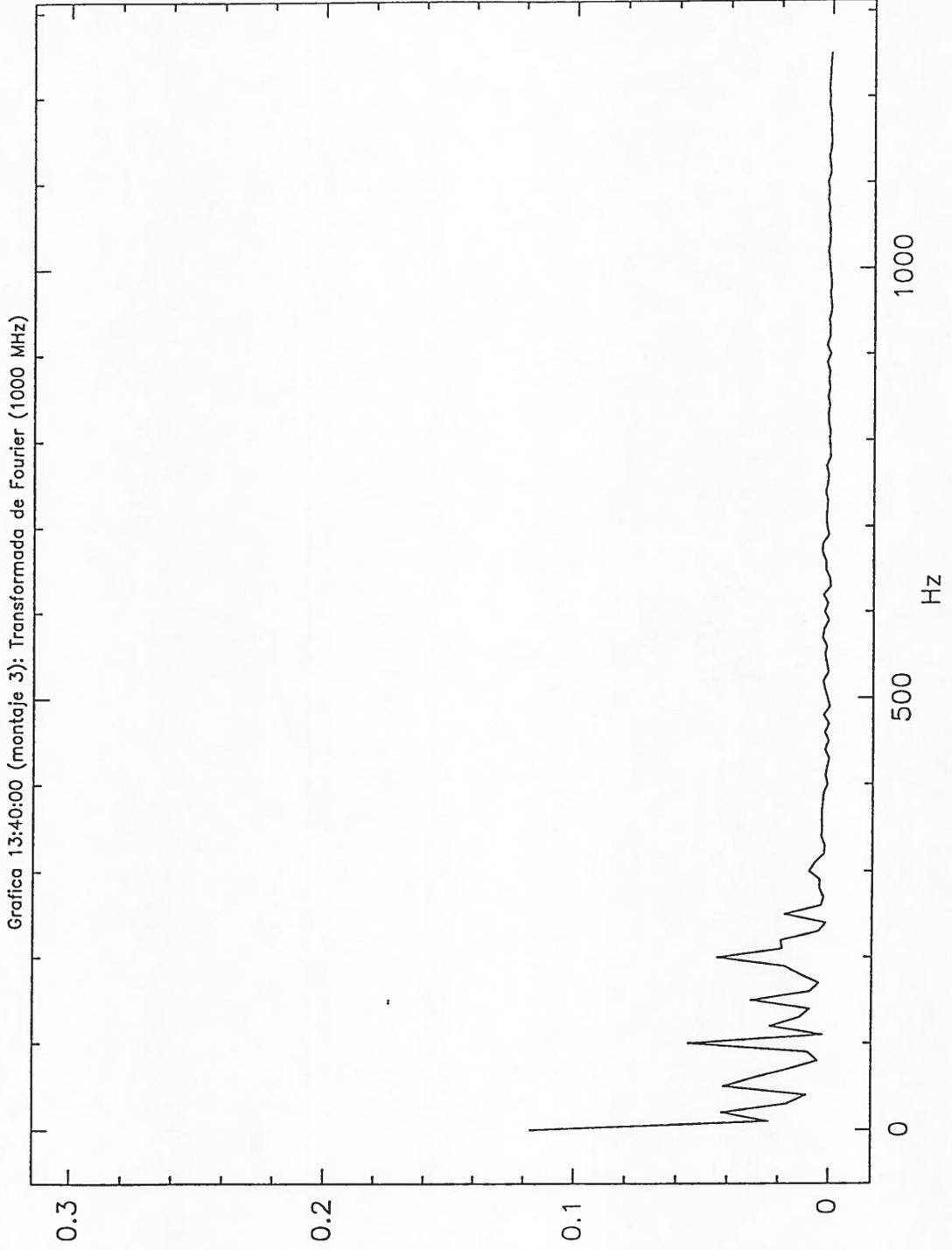


Figura 11

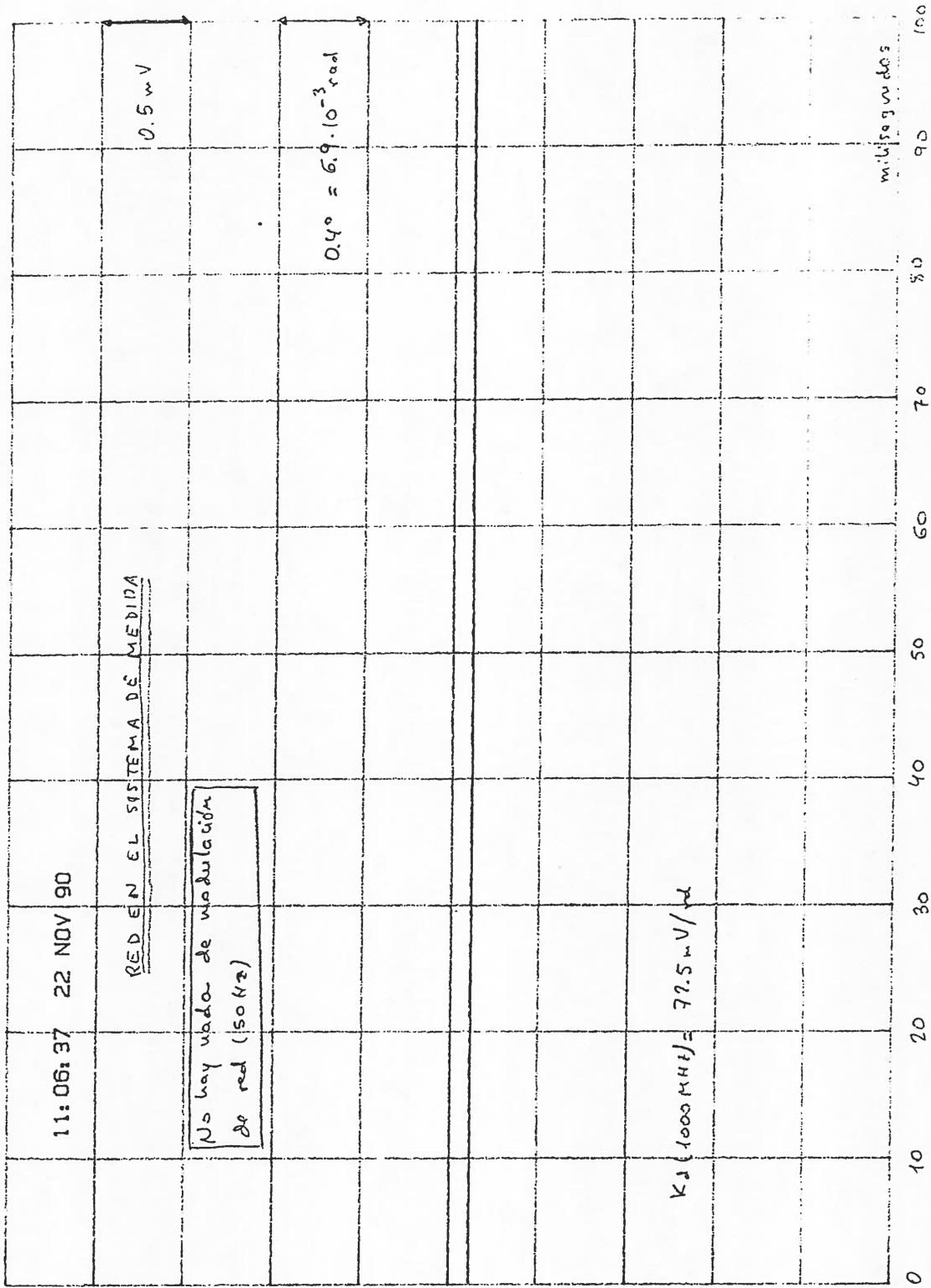


Figura 12

OUTPUT FROM MK2 DISTRIBUTION BOX (S3 CONNECTOR)

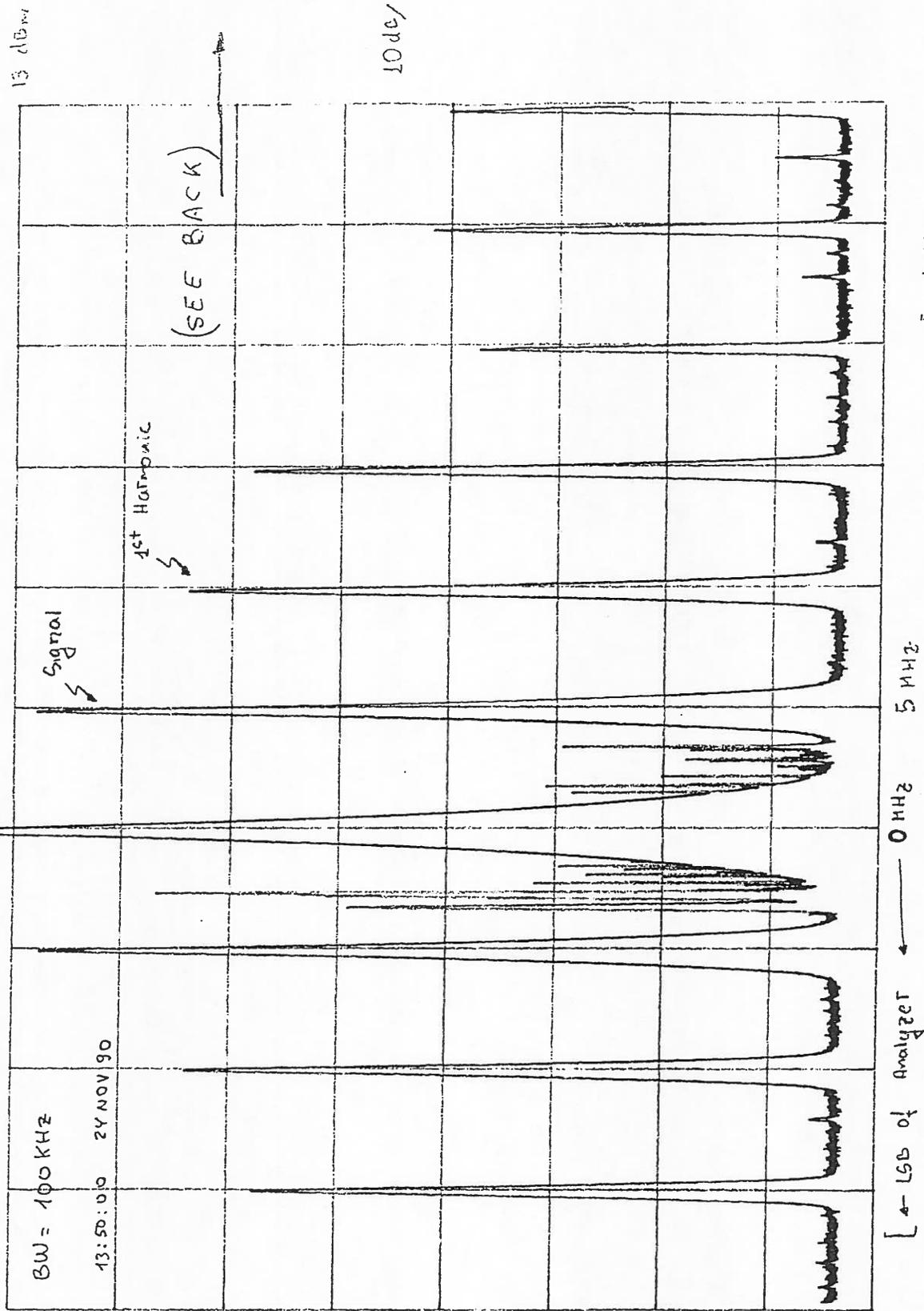


Figure 13

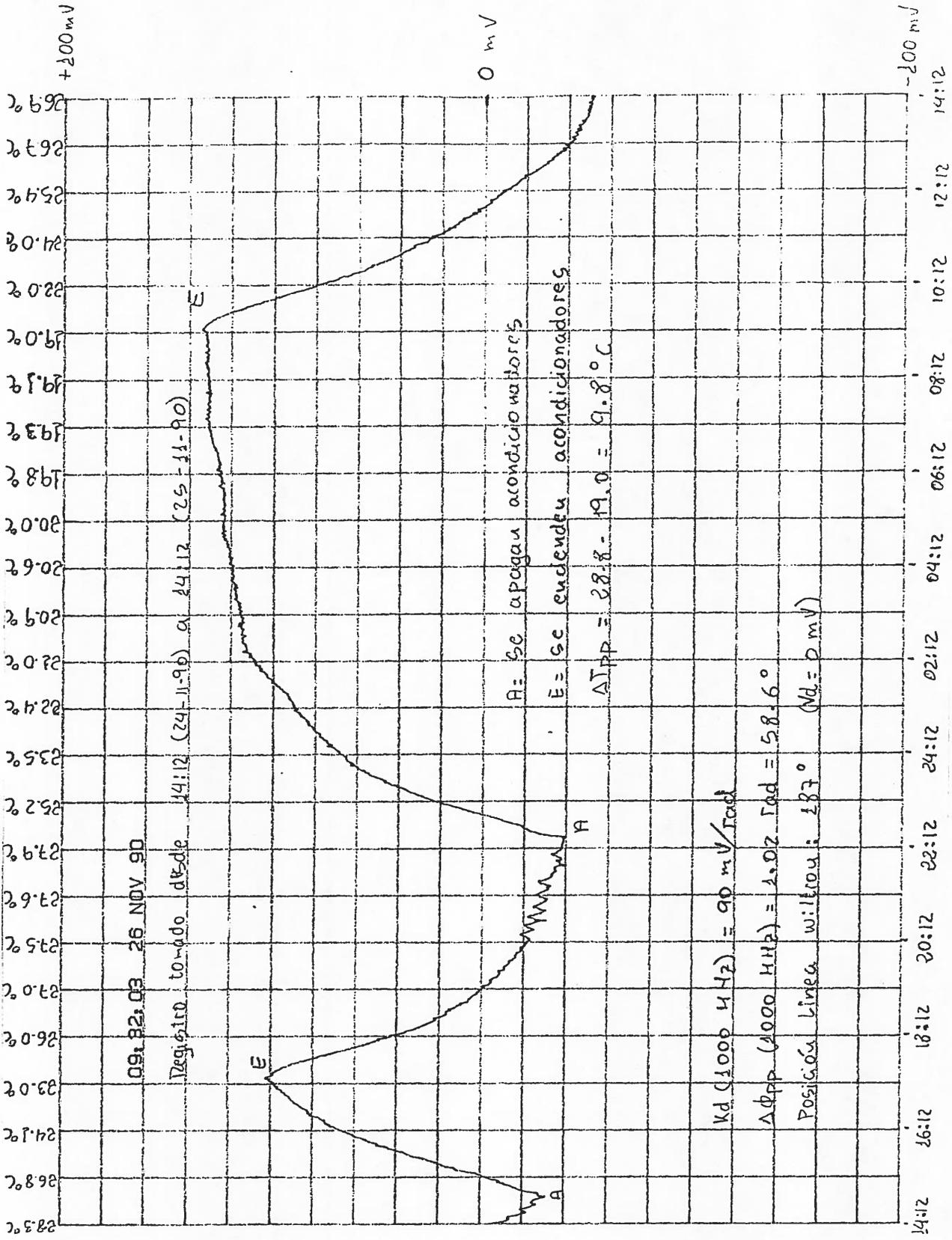


Figura 14

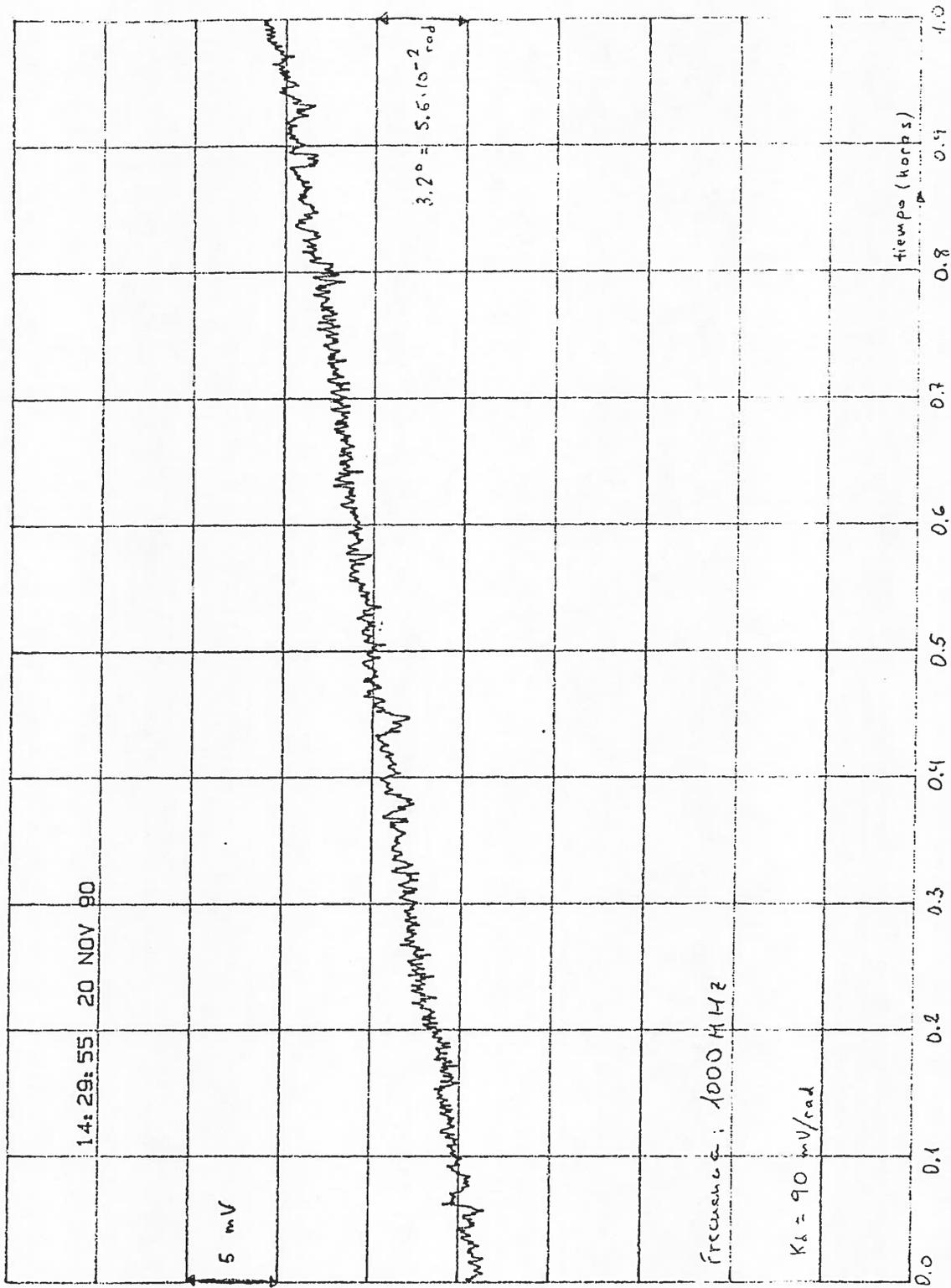


Figura 15

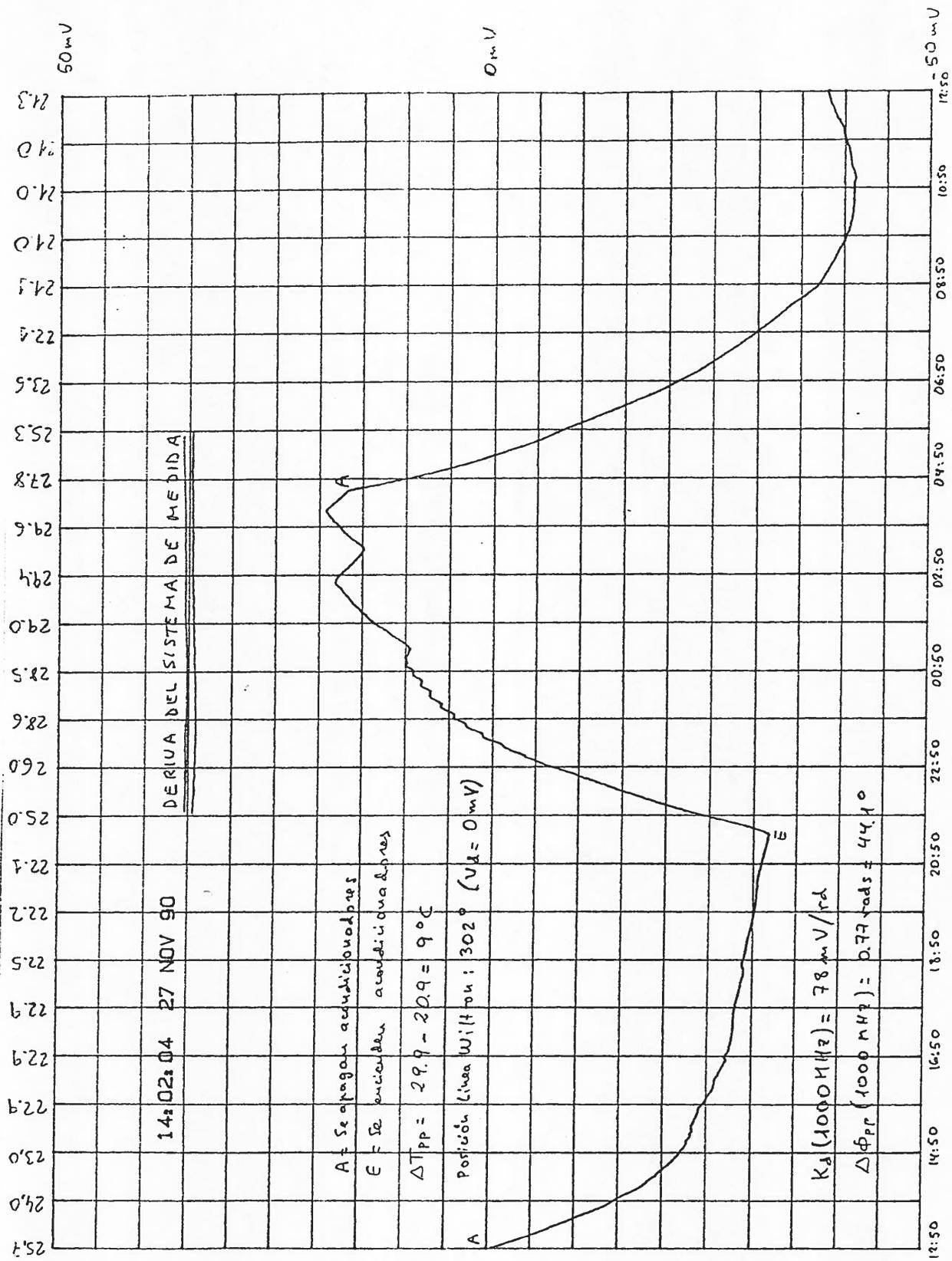


Figura 16

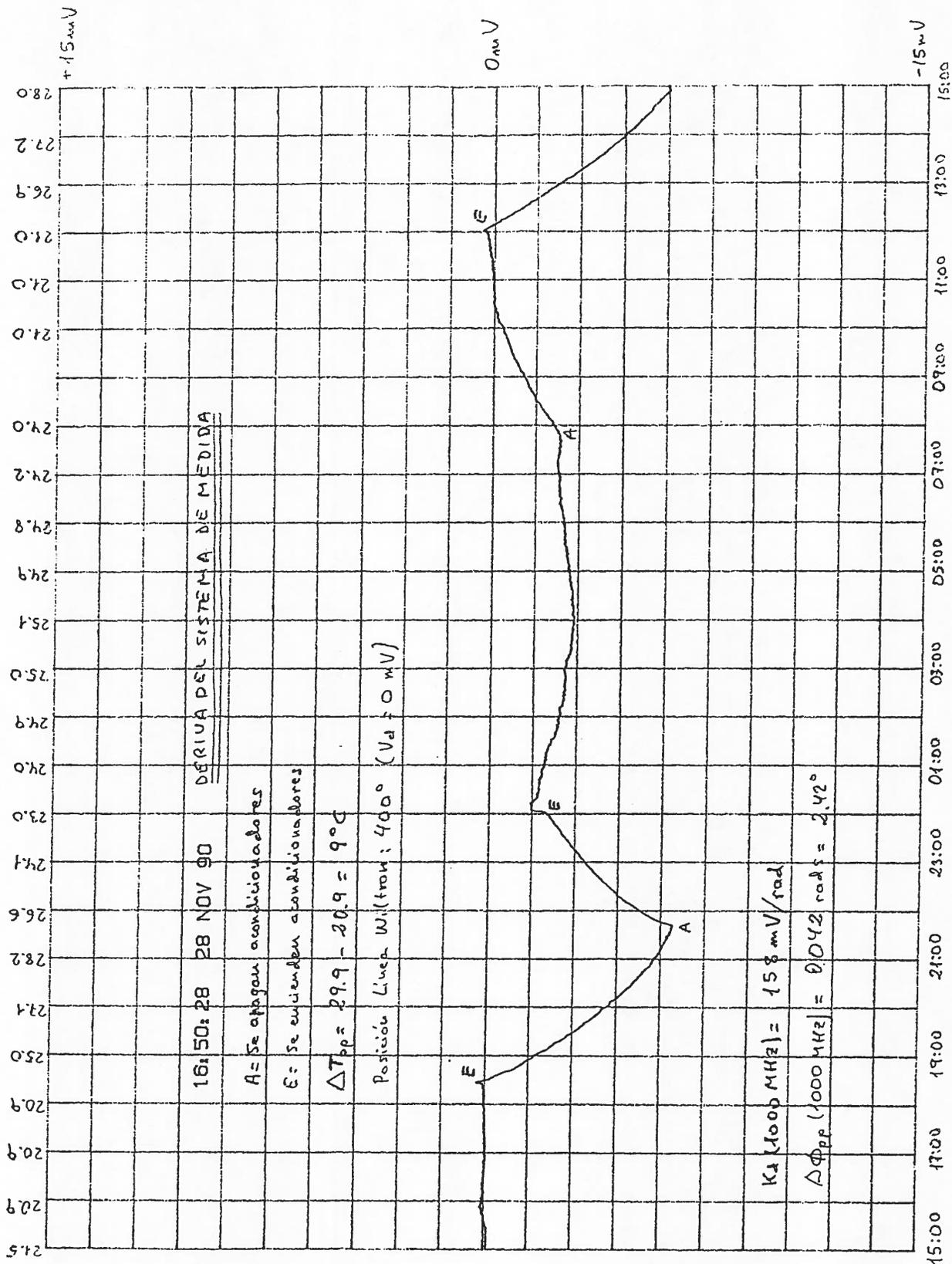


Figura 17