

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA

MECANICA Y ELECTRICA



**CONTRIBUCION AL ESTUDIO TEORICO Y PRACTICO
DE UNA ESTACION SISMOLOGICA DE PERIODO LARGO**

T E S I S

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRONICO**

MANUEL ANDRES CHANG CHING

PROMOCION 1975 - 2

**Lima . Perú
1982**

C O N T E N I D O

	Pag.
INTRODUCCION	6
CAPITULO I: TEORIA	
I.1.- Breves generalidades en el dominio de la sismología	11
I.2.- Importancia de los sismógrafos	19
I.3.- Problemas fundamentales en sismometría	20
I.4.- El péndulo horizontal	21
I.5.- El péndulo vertical	27
I.6.- Registro gráfico rectilíneo de señales sísmicas	35
CAPITULO II: PARTE EXPERIMENTAL	
II.1.- Generalidades	40
II.2.- Recepción de señales horarias codificadas	42
II.3.- Respuesta de los Registradores Streckeisen	46
II.4.- Respuesta de los amplificadores	56
II.5.- Cálculo de las constantes de los sismóme- tros	94
II.6.- Respuesta en amplitud y fase de todo el sistema por el método de la respuesta armónica	113
II.7.- Instalación temporal y ensayos de funcio- namiento	131
CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES	133

	Pag.
APENDICES	
A.- Long Period Vertical Seismometer SL210	140
B.- Long Period Horizontal Seismometer SL220	146
C.- Amplifier ST-LFV763 for Long Period Seismometer	152
D.- HAE-TYPE Recorder Gunar Streckeisen	154
E.- Pen motor torque motors MFE Corporation	156
F.- Une Horloge a remise à l'heure automatique par signaux horaires	160
G.- Programme graphique des valeurs numeriques Info-graplog	167
H.- Frequence reponse analyser 1174 Solartron (Schlumberger)	169
I.- Mini-ubiquitous: Spectrum analyzer	175
J.- Enregistreur Potentiométrique SERVOTRACE SEFRAM	191
BIBLIOGRAFIA	201

I N T R O D U C C I O N

Cuando un sismo se produce en el interior de la tierra, se generan una serie de ondas elásticas que se transmiten más o menos bien en el medio que circunda al hipocentro. El medio juega en algún modo el rol de un "espectrógrafo" modificando la propagación de las ondas sísmicas.

Estas ondas tendrán una frecuencia y en general una amplitud mayor mientras la distancia al epicentro sea menor.

Las estaciones sismológicas de periodo corto (1.0 - 12.5 Hz.) permitirán vigilar la sismicidad regional, mientras que los sismógrafos de periodo largo (20 s - 600s) registrarán, según la magnitud, sismos tan lejanos como las antípodas.

Cuando se instala una estación sismológica "standard" conforme a las convenciones internacionales, es indispensable obtener la curva de respuesta del sistema. Posteriores modificaciones experimentales no modificarán esencialmente esta curva que en ciertos coeficientes de ganancia y fase predeterminados.

El propósito de esta tesis consiste en encontrar las bases teóricas fundamentales que permitan comprender el funcionamiento de elementos (sismómetros) que conforman una estación sismológica de periodo largo, la realización de ciertos dispositivos auxiliares (recepción de la hora

internacional), la instalación de todo el conjunto y la evaluación de la respuesta de transferencia del sistema las cuales son necesarias para la puesta en servicio de una estación sismológica de periodo largo.

Al iniciar este trabajo no se contaba con la información adecuada y suficiente para precisar el comportamiento de cada uno de los elementos que conformarían la futura estación sismológica. Los importantes resultados de este trabajo serán la base de un programa posterior de investigaciones que automatizará una estación sismológica de periodo largo.

Este trabajo ha sido efectuado en el laboratorio ICR (Instrumentación para Componentes y Materiales) del Departamento de Tratamiento de Señales y Teoría de Sistemas de la Universidad de Rennes en Francia y en relación directa con el Laboratorio de Geofísica Interna de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Rennes I.

Varios stages en transcurso de este estudio fueron programados y efectuados en el Centro de Investigaciones Geofísicas (Centre de Recherches Geophysiques) del CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) en Darchy, centro de Francia, para completar conocimientos en el dominio de la instrumentación Tratamiento de la Información aplicados a la sismología.

Finalmente, este trabajo de investigación fue completado y corregido en el Perú con la coordinación directa del Programa de Electrónica de la Universidad Nacional de

Ingeniería y la colaboración del Instituto Geofísico del Perú.

Así pues, quisiera expresar todo mi reconocimiento al Profesor P.-Y. ARQUES por su acuerdo en el tema de investigación propuesto: Instrumentación y Tratamiento de la información aplicados a la Sismología.

Mi mayor agradecimiento al Profesor A. LE TRAON, mi Director de Investigaciones en Francia, que me ha aceptado en su laboratorio y me ha brindado todo el apoyo necesario para el mejor desarrollo de este proyecto.

Mi agradecimiento es también dirigido al Profesor N. BONHOMMET quien fue el primero en proponer este tema de investigación y al Ing. P. BALTENBERGER, sismólogo en Garchy, por su valiosa ayuda en el dominio de la sismometría.

Mi profunda y sincera gratitud al Ing. DARIO BIELLA y al Dr. RONALD WOODMAN por su valioso apoyo y verdadero interés en este tema de investigación. Quisiera también imprimir mi siempre agradecimiento a los Ings. CARLOS VIVAS y CARLOS SANCHEZ por haber aceptado, el primero, en dirigir y asesorar esta tesis y por contar siempre de ambos con su desinteresada ayuda y colaboración, la misma que me ha permitido efectivizar este trabajo.

Finalmente quisiera agradecer muy sinceramente a aquellas personas que de alguna u otra manera han colaborado en la realización de este estudio, entre ellos muy especialmente

al Ing. JEAN LANAT y al Ing. MATEO CASAVARDE. Así también al Ing. GONZALO FERNANDEZ de quien he recibido mis primeras experiencias en la especialidad de instrumentación para la sismología.

I.- T E O R I A

I.- T E O R I A

I.1.- Breves generalidades en el dominio de la sismología.

Según Richter|1| la sismología, ciencia que forma parte de la geofísica, estudia esencialmente los sismos ó temblores de tierra y los fenómenos ligados a ellos. El estudio de los fenómenos mecánicos fundamentales puestos en juego y algunos fenómenos físicos secundarios nos aportan los conocimientos relacionados con la predicción y prevención de los sismos |2| .

La Sismología se encuentra así en relación directa con el estudio del origen y la propagación de las ondas elásticas en el interior de la tierra.

El origen de la mayoría de sismos es atribuido a una ruptura superficial o profunda de las rocas. Cuando el sismo ha dejado trazas sobre el terreno, se descubre usualmente que dos áreas superficiales anteriormente unidas se han deslizado una en relación a la otra, sin desplazamiento relativo apreciable a lo largo de una superficie denominado falla, groseramente plana o tal vez cilíndrica.

Podría imaginarse un fenómeno sísmico de la siguiente manera: Deformaciones lentas en la región de interés donde se acumulan los esfuerzos se preceden más o menos elástica~~a~~mente, hasta la ruptura de las rocas en un punto interior de la tierra, este punto se conoce comunmente como hipocentro

del sismo y el punto en la superficie vertical al hipocentro es el epicentro.

Cuando un sismo o una explosión se produce en el interior de la tierra una parte de la energía liberada crea un sistema de ondas elásticas que se propagan en todas las direcciones con velocidades que dependerán de la densidad y de los módulos de elasticidad para cada punto de su recorrido. Dos grandes categorías de ondas sísmicas se generarán: Las ondas de volumen y las ondas de superficie.

Las ondas de volumen siguen las leyes de la óptica geométrica y serán reflejadas y refractadas en las interfaces donde se localizan las variaciones de velocidad de propagación ligadas al medio. Ellos se componen de las ondas longitudinales ó P (ó de compresión) y de las ondas transversales ó S (ó ondas de distorsión). Las ondas P, conocidas como primarias, desplazan las partículas de la tierra en una dirección radial a la fuente, es decir, en dirección de la propagación; las ondas S, conocidas como ondas secundarias, desplazan las partículas en el plano perpendicular a la dirección de la propagación.

Los tratados de elasticidad nos demuestran que:

-Los módulos de elasticidad son función del coeficiente de Poisson σ [2][4] y las velocidades V_P y V_S de las ondas P y S son dadas por las expresiones siguientes:

$$V_p = \left(\left(K + \frac{4}{3} \mu \right) / \rho \right)^{1/2} ; \quad V_s = (\mu / \rho)^{1/2} ; \quad \sigma = K / 2(\mu + K) \quad (1)$$

donde:

ρ es la densidad

K compresibilidad del medio (en inglés: bulk modulus)

μ la rigidez ó segundo coeficiente de Lamé (en inglés: Shear modulus).

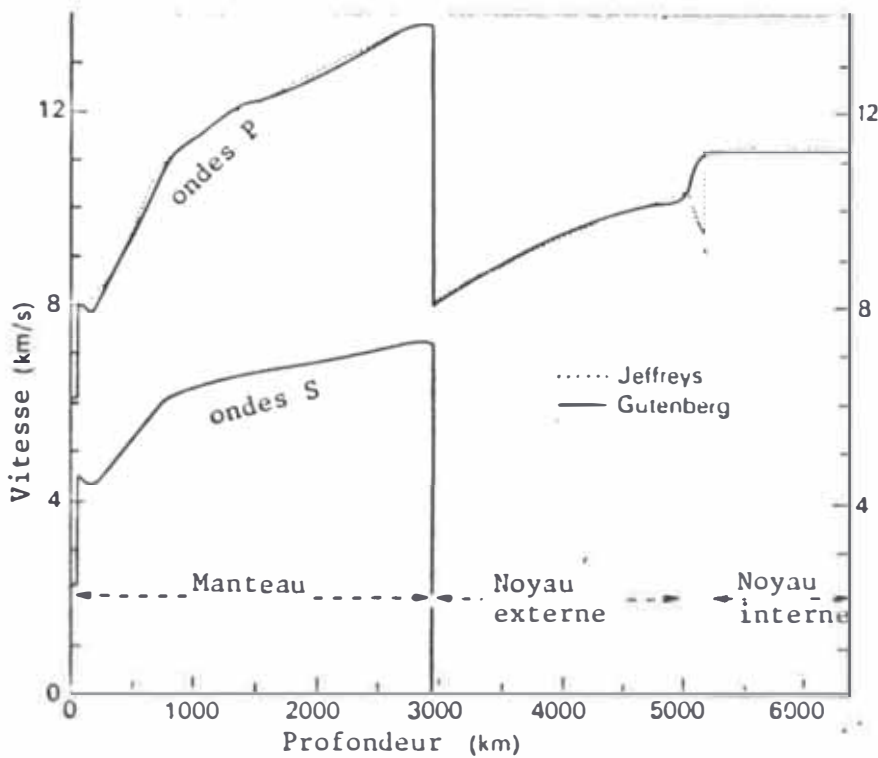


Fig. 1

Curvas de JEFFREYS (1939) y GUTENBERG (1959).
Relación de las velocidades de las ondas P y S en función de la profundidad.

Para muchos minerales $K \approx \mu$, el valor de σ es aproximadamente 1/4 y la relación $\frac{V_p}{V_s}$ cercano a 3.

Se concluye según la fórmula (1) que las ondas P son más rápidas que las ondas S y que éstas últimas no pueden propagarse en un medio líquido (fig. 1).

Si el sismo es superficial [5] después de los 1000 km., las "fases" P y S (ondas de volumen) son bien separadas y generalmente bien diferenciadas en el registro, se comenzará a distinguir una tercera fase de aspecto diferente: Contrariamente a las dos primeras (de tipo impulsional), ella se presenta bajo la forma de una sucesión de oscilaciones relativamente regulares. Para periodos largos ($T > 20$ sec) la amplitud, inicialmente pequeña crece aparentemente al mismo tiempo que su periodo aparente disminuye, después de un máximo en su amplitud puede observarse al final del tren de ondas sísmicas una serie de señales de forma compleja (Figs. 2.1 y 2.2).

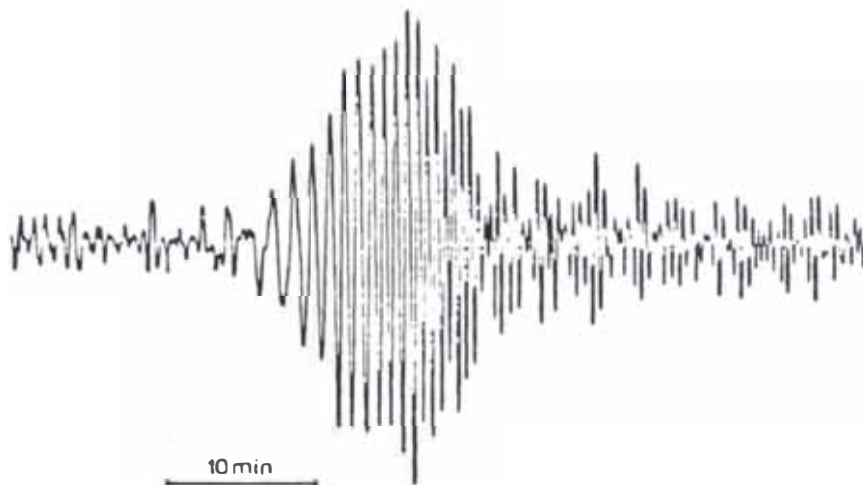
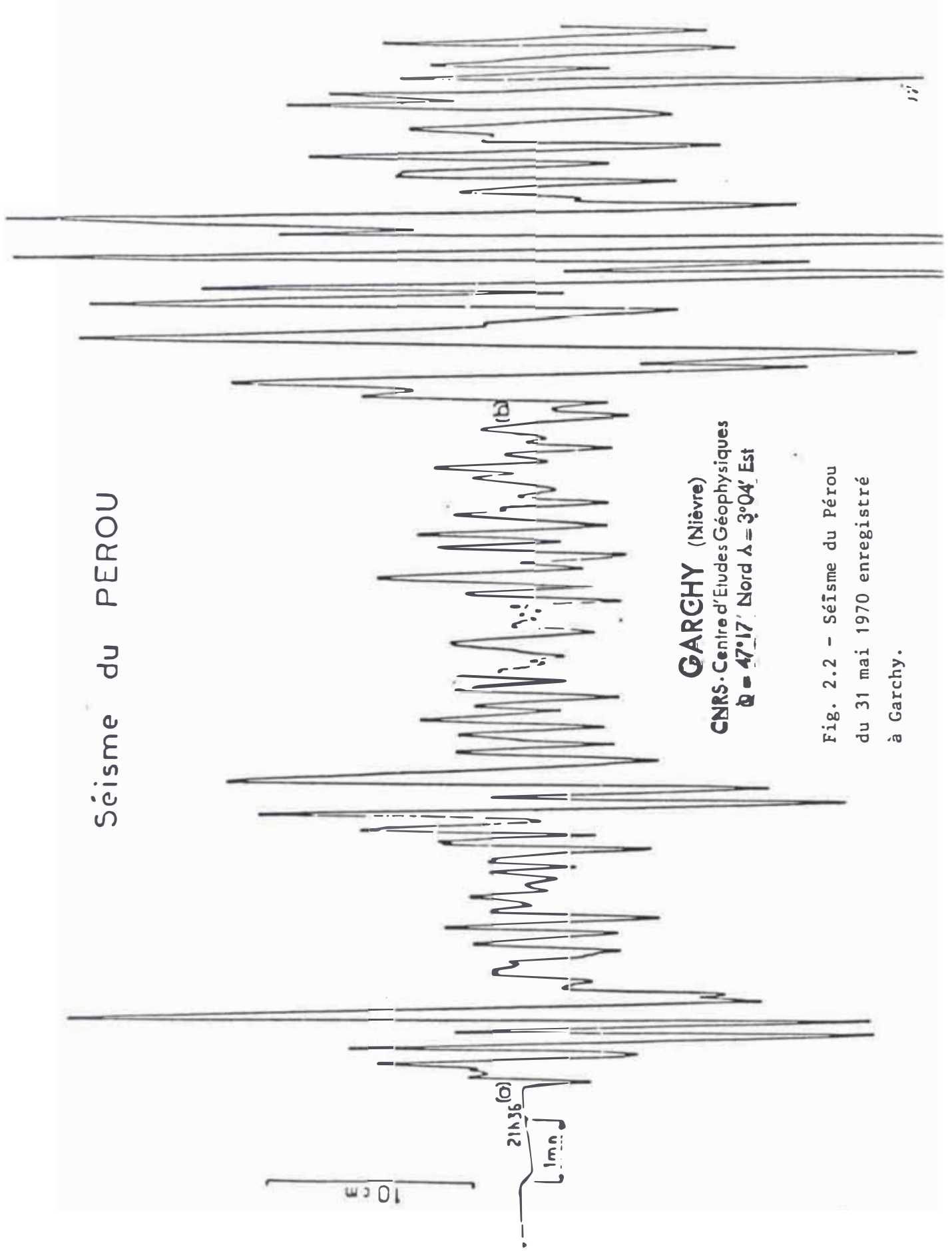


Fig. 2.1-Diseño del registro numérico de la onda de Love del sismo de Nueva Irlanda del 28-12-1970, a Villiers-Adam. $\Delta = 14\ 434$ km.

Séisme du PEROU



GARCHY (Nièvre)
CNRS - Centre d'Etudes Géophysiques
Q = 47°17' Nord Δ = 3°04' Est

Fig. 2.2 - Séisme du Pérou
du 31 mai 1970 enregistré
à Garchy.

Las ondas de superficie (Tabla 1) limitadas a las proximidades de la superficie terrestre, transmiten la mayor cantidad de energía en los sismos poco profundos.

Période en secondes						
0,01	0,1	1	10	100	1000	
Vibrations industrielles	Agitation industrielle, Explosions rapprochées	Explosions lointaines, Seismes très proches *	Ondes de volume des seismes, Agitation naturelle permanente	Ondes superficielles directes	Ondes superficielles indirectes (ondes du manteau)	Vibrations propres de la Terre, Marées terrestres

Tabla 1

Los dos principales tipos de ondas de superficie son las ondas de LOVE y las ondas de RAYLEIGH, las ondas de Love más rápidas (4.3 Km/s en promedio) son registradas solamente en los sismógrafos horizontales [5] y son de tipo puramente transversales. La onda de Rayleigh (R), un poco más lenta (4 km/s) dá lugar al momento de su pasaje, a un desplazamiento del suelo en el plano vertical de su propagación, siguiendo una trayectoria retrógrada para un observador situado en forma tal que las ondas progresan a su diestra. Dos sismógrafos horizontales convenientemente orientados con relación al epicentro podrían separar la componente longitudinal de la onda de Rayleigh y la onda de Love; se observa luego un desfase de un cuarto de periodo entre los registros longitudinal y vertical si la onda de Rayleigh está muy bien definida de manera que pueda aparentar un aspecto periódico (Fig 3).

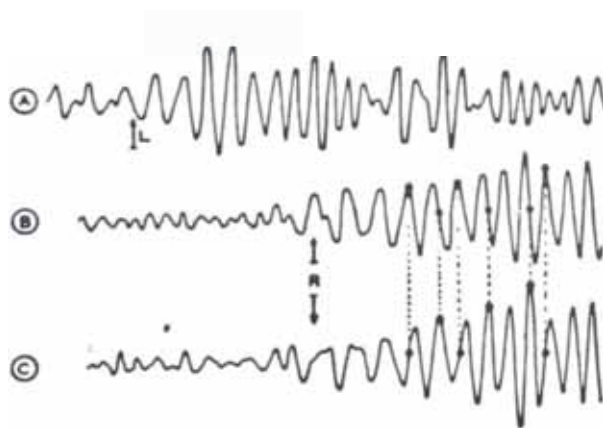


FIG. 3 — Séisme du 4-03-1924, enregistré à Strasbourg par des pendules Galitzine.

A = Composante transversale, onde de love L.
B = Composante longitudinale } Onde de Rayleigh R.
C = Composante verticale }

D'après Y. DAMMAN, 1927.

En un medio uniforme para el cual el coeficiente de Poisson es igual a $1/4$, la velocidad de las ondas de Rayleigh es igual a $0.9194 V_s$ y el movimiento de las partículas alcanza su mayor amplitud en la superficie y disminuye en función de la profundidad, según la relación $e^{2\pi\lambda/d}$ donde λ es la longitud de onda.

El medio juega finalmente en cierta forma, el rol de un espectrógrafo dando a cada componente espectral una velocidad característica de su periodo, de manera que sus componentes se separan en transcurso de su propagación: es el fenómeno de la DISPERSION la que transforma un choque inicial en una serie de oscilaciones.

Las ondas elásticas son detectadas por aparatos denominados sismógrafos, ellos pueden responder a los desplazamientos ó velocidades de los movimientos de suelo. Los instrumentos de periodo corto (aproximadamente 1 s) son utilizadas para detectar las ondas de volumen mientras que los instrumentos de periodo largo (15 s ó más) sirven para

registrar las ondas de superficie.

Una estación sismológica completa necesitará entonces de sismógrafos de periodo corto y largo y cada uno de ellos deberá tener tres componentes no coplanares, generalmente dos horizontales orientados N-S y E-O y una componente vertical.

Se nota pues, que para el caso de periodos largos (Long period) las ondas de Love, siendo puramente transversales, no pueden ser registradas que por solamente los sismógrafos horizontales, mientras que, las ondas de Rayleigh, más lentas (4 Km/s) que aquellas de Love (4.3 Km/s) originarán al momento de su pasaje por la estación sísmica, un desplazamiento de suelo en la componente vertical.

I.2.- Importancia de los Sismógrafos.

- Localización precisa de hipocentros y epicentros:
La distribución de focos sísmicos en el espacio y tiempo aportan una contribución preciosa al conocimiento del origen de los terremotos, a la descripción de las zonas sísmicas y al estudio de los fenómenos dinámicos en la corteza y en el manto superior.

La distribución de los hipocentros pueden así conducir al conocimiento de otros factores tales como los factores de riesgo sísmico y las previsiones adecuadas a tomar en cuenta para el diseño y la construcción de nuevas obras en ingeniería civil.

- Desde el punto de vista de la física, son fundamentalmente importantes el pasaje de las ondas elásticas a través del núcleo. Puesto que ellas son afectadas por las altas presiones del interior de la tierra, ellas pueden contribuir a determinar la estructura interna de la tierra a todo lo largo del recorrido de la onda sísmica desde el foco mismo hasta su llegada a la estación sismológica.

- Es particularmente importante remarcar la contribución que los países "asísmicos" pueden aportar a la investigación en sismología, pues, una plataforma relativamente calma y estable en una región geológica no perturbada es la principal condición para obtener buenas observaciones sismológicas a gran distancia.

I.3.- Problemas fundamentales en sismometría.

La detección segura y absoluta de movimientos de suelo y el registro eficaz de señales sísmicas es constante interés de los sismólogos . El detector es un circuito que responde y convierte los movimientos del suelo produciendo una señal eléctrica equivalente y susceptible de ser registrada. El registrador "memoriza" de manera permanente las señales detectadas permitiendo así el análisis e interpretación posterior de los datos ó señales sísmicas.

Al registrarse las señales sísmicas debe tenerse en cuenta la referencia del tiempo absoluto (lo que implica la recepción de señales horarias de la hora internacional) de manera que sea posible comparar y coordinar los resultados con otros sismógrafos que forman parte de la red internacional de estaciones sismológicas.

El rango de frecuencias de movimiento del suelo que interesan en sismología están comprendidas entre 100 Hz y 0.00025 Hz (1 ciclo por hora) y las amplitudes cubren la gama desde milésimas de micrones hasta algunos milímetros. Las especificaciones ideales del sistema de detección y de registro corresponden entonces a un rango de amplitud y frecuencia de 120 dB y 6 décadas.

El estado actual de la técnica permite obtener captos res, llamados sismómetros, portátiles y muy eficaces pero con un ancho de banda muy reducido, por consecuencia, con

un efecto selectivo sobre el tipo de onda sísmica a detectar. Su principio es la conversión de los movimientos de suelo en movimiento de masas pendulares que comportan a la vez el desplazamiento de un captor inductivo que convierte las señales mecánicas en señales eléctricas. Por otro lado, la técnica de circuitos integrados permite construir amplificadores y filtros para señales de periodo largo y los registradores fotográficos han sido desplazados por los registradores electromecánicos a pluma eléctrica ó tinta y papel sensible o común. Los motores que desplazan la hoja de papel de registro son controladas a cristal y los datos son directamente numerizados y memorizados para el posterior tratamiento de la información.

I.4.- El Péndulo horizontal.

1.4.1.- Cálculo de la longitud reducida:

El péndulo horizontal es utilizado para registrar los movimientos horizontales del suelo. Está compuesto esencialmente de una masa móvil M que gira alrededor de un eje de rotación inclinado un pequeño ángulo i de la vertical. Si L es la distancia del eje al centro de gravedad de la masa y ϕ es el ángulo de desviación del péndulo (Fig. 4) el momento de gravedad del péndulo con relación al eje de rotación será:

$$\mathcal{M}_O = K \ddot{\phi} = -(Mg L \sin i) \sin \phi \quad (2)$$

Donde k es el momento de inercia alrededor del eje O

Puesto que ϕ e i son pequeños, puede escribirse:

$$M\ddot{\phi} = K \ddot{\phi} = -(Mg L i) \phi$$

Nota: El plano definido por el eje vertical de rotación y el punto C se denomina plano neutro.

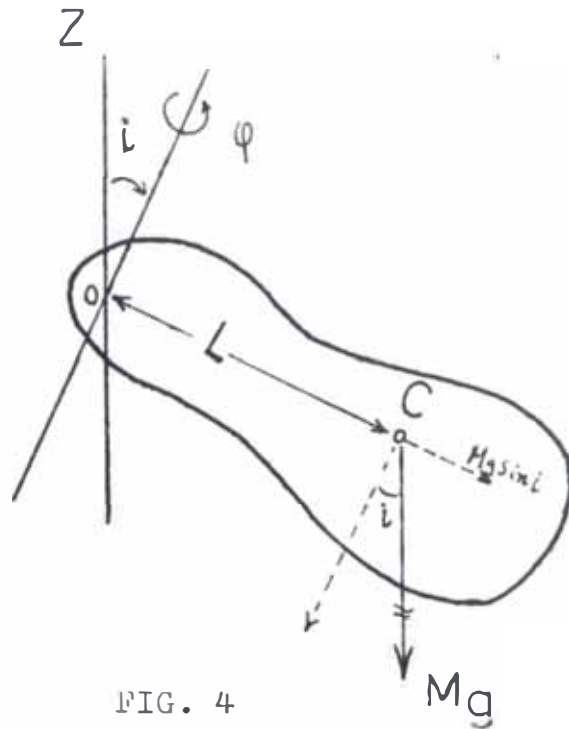


FIG. 4

Sin amortiguamiento ni acciones exteriores, la ecuación de movimiento será:

$$K \frac{d^2 \phi}{dt^2} + Mg L i \phi = 0 \quad (3)$$

La solución de la ecuación diferencial nos dá un movimiento oscilatorio donde:

$$\omega^2 = (Mg L i) / K \quad \text{y} \quad T = 2\pi \sqrt{K/Mg L i} \quad (4)$$

$\frac{K}{ML}$ es la longitud reducida l del péndulo

donde:
$$T = 2\pi \sqrt{l/g i} \quad (5)$$

Este periodo es el mismo del péndulo simple donde la longitud sería (l/i) , esta relación es más grande mientras el ángulo i sea menor. La anulación del ángulo i corresponde a un periodo infinito traduciéndose como un equilibrio indiferente, para i negativo el periodo sería imaginario (Físicamente: equilibrio inestable).

La longitud reducida se define entonces por la siguiente ecuación:

$$l = \frac{T^2 g}{4\pi^2} \quad ,$$

1.4.2.- Efecto producido al inclinar la plataforma del péndulo en equilibrio:

Si se inclina la plataforma un ángulo ψ alrededor de un eje horizontal situado en el plano de equilibrio o neutro del péndulo (Fig. 5), la orientación del plano neutro cambiará. El péndulo girará alrededor del eje de rotación hasta que el centro de la masa C se sitúe en el nuevo plano neutro.

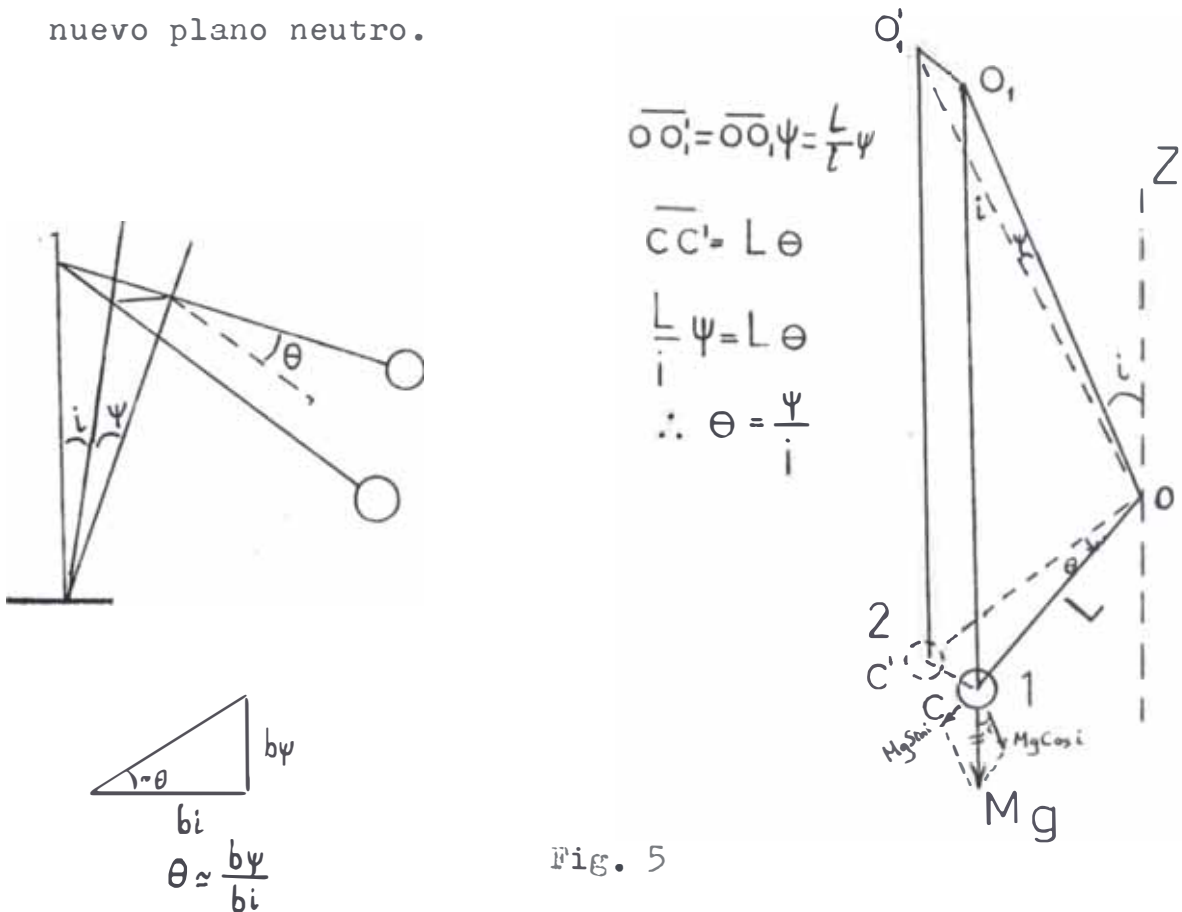


Fig. 5

Supongamos que el ángulo ψ sea pequeño y que el ángulo i no haya cambiado. El ángulo θ de desplazamiento del péndulo será $\theta \approx \psi/i$ y según la fórmula (5)

$$\theta = \frac{gT^2}{4\pi^2 l} \psi$$

Cuando el periodo del péndulo es muy grande y el ángulo pequeño, la posición de equilibrio cambia muy rápidamente

con la inclinación de la plataforma del péndulo. Así también, la sensibilidad aumenta con el cuadrado del periodo del péndulo. Si el sismógrafo registra directamente el desplazamiento $Z = l\theta$, su respuesta podrá ser seriamente perturbada con la inclinación de la plataforma, se preferirá entonces tratar de registrar la velocidad Z .

Para evitar la utilización de péndulos de gran periodo se preferirá aumentar el periodo del sismógrafo aumentando a un péndulo de periodo medio un galvanómetro de periodo largo, haciendo de esta manera un sistema más estable a los periodos largos.

1.4.3.- Ecuación general del movimiento.

Aumentando a la ecuación (2) los términos de amortiguamiento obtendremos la ecuación completa del sistema.

El término del amortiguamiento comprende factores debidos al amortiguamiento mecánico, debido éste a acciones mecánicas en el péndulo, y al amortiguamiento debido a una acción exterior, mecánico ó electromagnético.

El segundo término se escoge de manera que el par de fuerzas $D_1 \frac{d\phi}{dt}$ creado sea proporcional a la velocidad del péndulo; supongamos que el primer término, que es mucho más pequeño crea igualmente un par de fuerzas $D_0 \frac{d\phi}{dt}$ proporcional a la velocidad. El término del amortiguamiento total será entonces:

$$- D \frac{d\phi}{dt} = - (D_0 \frac{d\phi}{dt} + D_1 \frac{d\phi}{dt}) = - (D_0 + D_1) \frac{d\phi}{dt}$$

Puesto que el momento debido a las fuerzas exteriores es $ML \frac{d^2\psi}{dt^2}$ la ecuación será:

$$K \left(\frac{d^2\phi}{dt^2} \right) + D \frac{d\phi}{dt} + Mg Li \phi = ML \frac{d^2\psi}{dt^2} \quad (6)$$

Si $\frac{D}{K} = 2\beta\Omega_0$ y $\frac{g l}{l} = \Omega_0^2$; Ω_0 frecuencia que corresponde al periodo del péndulo sin amortiguamiento.

Donde Ω_0 y β son la pulsación y el amortiguamiento del péndulo. La ecuación (6) se escribe entonces:

$$\frac{d^2\phi}{dt^2} + 2\beta\Omega_0 \frac{d\phi}{dt} + \Omega_0^2 \phi = \frac{1}{l} \frac{d^2\psi}{dt^2} \quad (7)$$

el movimiento será amortiguado, amortiguado a crítico o sobre amortiguado según que β sea inferior, igual o superior a 1.

1.4.4.- Solución de la Ecuación general.

Haciendo $S = L_1 \phi$ y reemplazándolo en la ecuación (7) se tiene:

$$\frac{d^2S}{dt^2} + 2\beta \Omega_0 \frac{dS}{dt} + \Omega_0^2 S = V \frac{d^2x}{dt^2} \quad (8)$$

$V = L/l$ se define como amplificación estática.

El registro de velocidades de movimientos sinusoidales está dado por la ecuación siguiente:

II.- PARTE EXPERIMENTAL

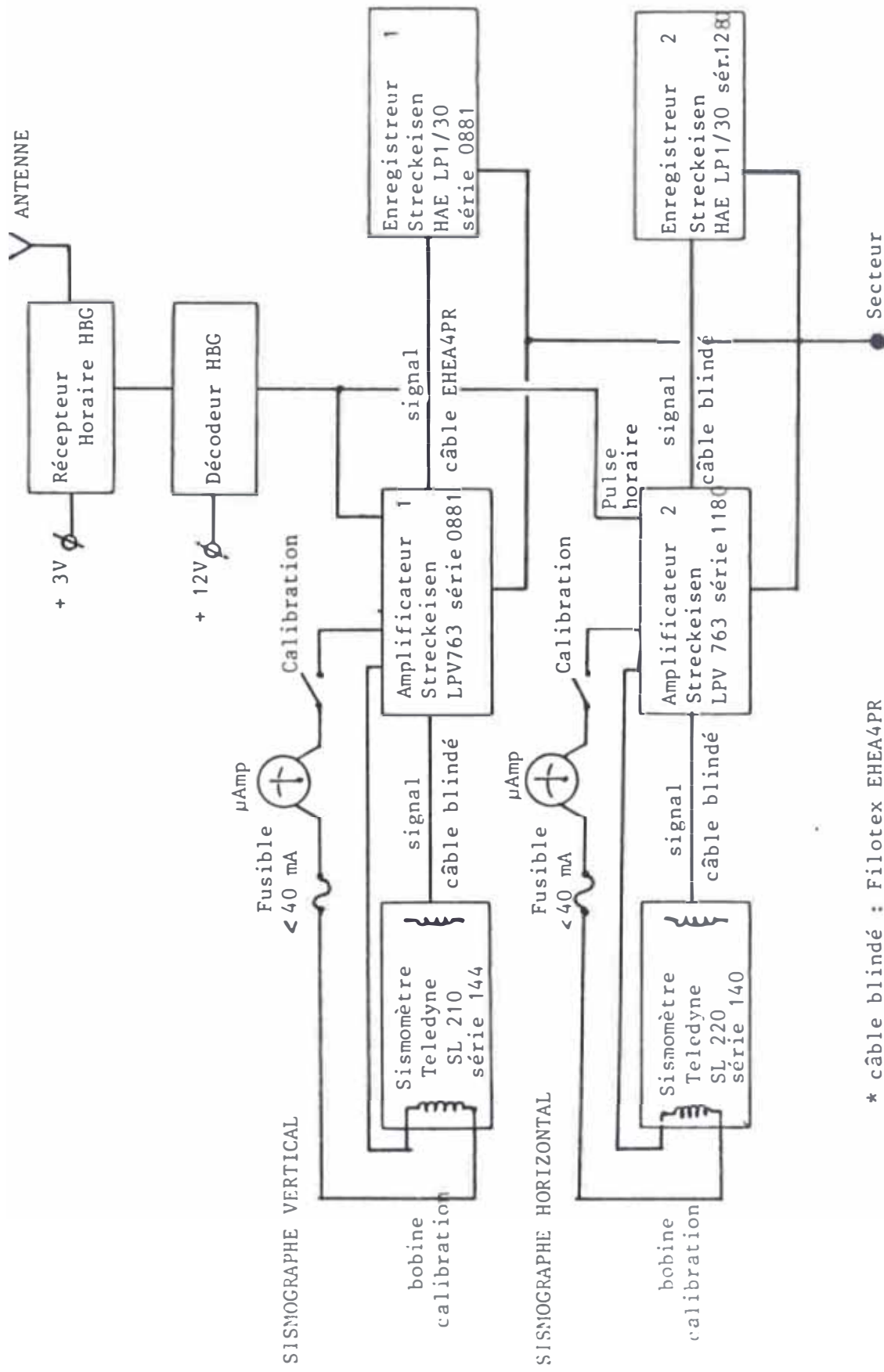
I I.- P A R T E E X P E R I M E N T A L

II.1.- Generalidades

La figura No. 12 nos presenta en diagrama de bloques el sistema que reúne dos sismógrafos vertical y horizontal. Cada sismógrafo está compuesto de un sismómetro Teledyne modelo SL 210/220 unido a amplificadores y registradores Streckeisen modelos LPV 763 y LPI/30. Los sismómetros SL 210/220 son esencialmente transductores electromecánicos que transforman los movimientos vertical/horizontal de muy baja frecuencia en salidas eléctricas proporcionales. Estos sismómetros trabajan por el principio de bobinas móviles (en velocidad). Su periodo natural puede ser ajustado entre 10 y 30 segundos |12| ,|13|.

El amplificador Streckeisen ST-LPV 763 ha sido diseñado para amplificar y filtrar señales de periodo largo de un sismómetro transductor de velocidad. Tenemos con ellos la posibilidad de filtrar las señales con ventanas entre 0,2s -330s , 100s -370s y 200s -330s . Podemos así también amplificar señales entre 1000 y 4000000 sea 60 dB y 132 dB |11|.

Los registradores Streckeisen LPI/30 son registradores galvanométricos, rectilineales de una sola componente. El registro se efectúa mediante una pluma a tinta sobre un papel de dimensiones 1,80 m x 0,30 m y existe la posibilidad de cambiar fácilmente la velocidad de movimiento del papel (3, 6, 12, 30, 60, 120 y 330 mm/min) así como el



* câble blindé : Filotex EHEA4PR

FIG. 12

espaciamiento entre líneas (0, 2, 4, 8, 16 mm).

El receptor y decodificador horarios permiten recibir y registrar las señales horarias de la radio Suiza HBG centrado en la frecuencia de 75 KHz. El receptor funciona con dos pilas de 1,5 V mientras que el decodificador es alimentado con +12 voltios.

Por otra parte, los amplificadores y registradores son alimentados por corriente alterna 220 V.

II.2.- Recepción de Señales horarias codificadas

Trabajar en algunos dominios de la investigación en Sismología exigen intercambiar sistemáticamente los resultados entre las diferentes estaciones sismológicas pertenecientes a una red mundial. Se quisiera entonces que un sismógrafo trabaje en la medida de lo posible, con características llamadas normalizadas ó standarizadas. Es importante, entre otras, registrar exactamente el instante de llegada de las ondas sísmicas, lo que implica recibir y registrar señales horarias codificadas denominadas patrón.

Ciertas estaciones emiten señales horarias con una frecuencia portadora comandada por patrones atómicos. Si F_0 es la frecuencia nominal de la portadora, las señales a frecuencia 1Hz comenzarán exactamente todos los F_0 periodos de la portadora. Las señales horarias pueden ser transmitidas sea por métodos telegráficos (todo ó nada HBG por ejemplo) sea por modulación de amplitud de una onda portadora [14] [22]. Las estaciones sismológicas instaladas en

$$\frac{d^2S}{dt^2} + 2\beta \Omega_0 \frac{dS}{dt} + \Omega_0^2 S = v \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right)$$

$$\frac{S_0}{x_0'} = \frac{v j \omega}{(j\omega)^2 + 2\beta \Omega_0 j\omega + \Omega_0^2} \quad (9)$$

Donde $\left| \frac{S_0}{x_0'} \right| = \frac{v}{2\beta \Omega_0} \frac{1}{u'} ; u' = \sqrt{1 + \frac{1}{4\beta^2} \left(u - \frac{1}{u} \right)^2} ; u = \frac{\Omega_0^2}{\omega^2}$

la fase es: $\psi' = \text{arc tg } \frac{u^2 - 1}{2\beta u}$

el instrumento reproducirá las velocidades del suelo si:

$$u' \cong 1 \quad \text{y} \quad \psi' \cong 0$$

La realización de estas condiciones nos aportan que:

a: $u^2 \cong 1$ en todo el dominio de utilización $T_{\min} \leq T \leq T_{\max}$

y $T_0 \cong \sqrt{T_{\min} T_{\max}}$

El periodo propio del péndulo debe ser sensiblemente igual a la media geométrica de los valores extremos de los periodos de movimiento del suelo.

b : Si δ' es la desviación admisible sobre U' , tal que

$|U' - 1| \leq \delta'$ esto conduce a que β tenga valores tales que:

$$\beta \geq \frac{1}{\sqrt{8\delta'}} \left(\frac{1}{U_{\min}} - U_{\min} \right) = \frac{1}{\sqrt{8\delta'}} \left(U_{\max} - \frac{1}{U_{\max}} \right)$$

Cuando las condiciones a y b se cumplen:tenemos:

$$S \cong \frac{v}{2\beta \Omega_0} \frac{dx}{dt}$$

I.5.- Péndulo vertical: Teoría del sismómetro vertical
Teledyne SL-210. FIG. 6

El estudio preciso de este sismómetro ha sido efectuado por J. Dorel [9]. Presentaremos los principales resultados de este estudio: La ecuación del movimiento (6) puede ser escrita de la siguiente manera:

$$K \frac{d^2 \phi}{dt^2} + \Delta \frac{d\phi}{dt} + M_0(\phi) = M L_o \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (10)$$

- K : momento de inercia alrededor del eje de rotación.
- Δ : coeficiente de amortiguamiento.
- $M_0(\phi)$: momento resultante.
- M : masa del péndulo (parte móvil).
- x : desplazamiento del suelo.
- ϕ : ángulo de rotación del brazo del péndulo a partir de su posición de equilibrio.

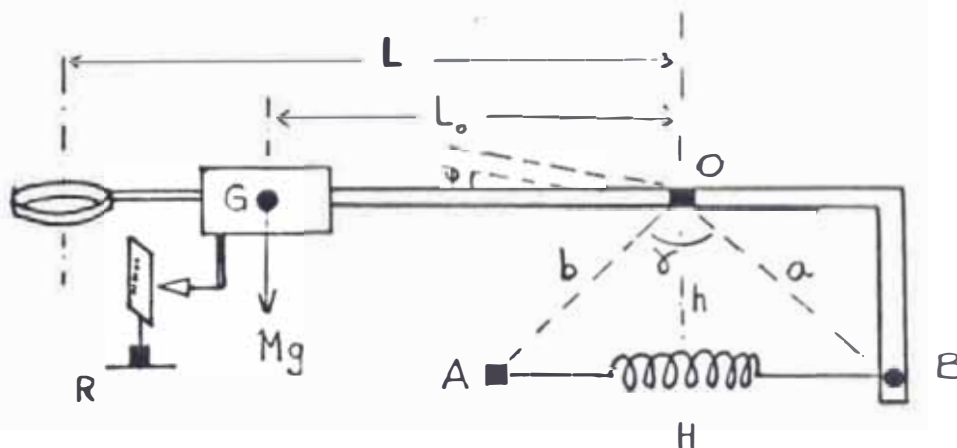


Fig. 6

O : eje de rotación del brazo. Los puntos R, O y A son solidarios al chasis.

Constantes provistos por el constructor:

$$L_0 = 19,5 \text{ cm} \quad L = 28 \text{ cm} \quad M = 2 \text{ Kg.}$$

$$\text{Longitud reducida} \quad l = 20,5 \text{ cm}$$

$$\text{Imán} \quad B = 1700 \text{ gauss} = 0,17 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Bobina de señal} : N = 3360 \text{ vueltas, } \varnothing \text{ media} = 3,97 \text{ cm}$$

$$\text{Bobina de calibración} : N = 1 \quad \varnothing \text{ media} = 4,52 \text{ cm}$$

J. Dorel [9] obtiene la siguiente ecuación para \mathcal{M}

$$\mathcal{M}(\phi) = \left[F_0 \left(\frac{ab \cos \gamma - h_0^2}{\xi_0} \right) + h_0^2 \left(\frac{dF}{d\xi_0} \right) \right] \phi + \left[\frac{3h_0}{\xi_0} (h_0^2 - ab \cos \gamma) \left(\frac{F_0}{\xi_0} - \left(\frac{dF}{d\xi_0} \right) \right) + h_0^3 \left(\frac{d^2 F}{d\xi_0^2} \right) \right] \frac{\phi^2}{2} \quad (11)$$

donde ξ es la longitud del resorte AB.

En la ecuación (10), cuando \varnothing cambia de signo a $-\varnothing$ es necesario que $\mathcal{M}(\varnothing)$ cambie de signo si se desea que no exista desigualdad en el movimiento de la posición de equilibrio, esto implica que el término \varnothing^2 sea nulo en la expresión (11) de $\mathcal{M}(\varnothing)$

$$\text{Sea} \quad \frac{3h_0}{\xi_0} (h_0^2 - ab \cos \gamma) \left(\frac{F_0}{\xi_0} - \left(\frac{dF}{d\xi} \right)_0 \right) + h_0^3 \left(\frac{d^2 F}{d\xi^2} \right)_0 = 0 \quad (12)$$

es suficiente para ello que:

$$\frac{F_0}{\xi_0} - \left(\frac{dF}{d\xi} \right)_0 = 0 \quad (13)$$

lo que significa que: $F = K \xi$

La expresión (12) nos dice que la tensión del resorte es proporcional a su longitud. De otra manera si no se ejerce ninguna fuerza sobre el resorte su longitud debe ser nula.

Resorte de longitud inicial nulo:

Sea l_0 la longitud de un resorte sin aplicación de fuerza externa y sea l la longitud del resorte si se ejerce una fuerza F , se tiene:

$$F = k (\xi - l_0) \quad (14)$$

Luego si es posible por alguna técnica especial de realizar un resorte de manera tal que cuando éste se encuentre en reposo (longitud l_0) una fuerza f_0 se ejerza para unir las espiras una contra las otras, y que por consecuencia sea necesario ejercer una fuerza f_0 antes de separar las espiras.

La ecuación de equilibrio será:

$$F = f_0 + k (\xi - l_0)$$

o bien:

$$F = k \left[\xi - \left(l_0 - \frac{f_0}{k} \right) \right]$$

haciendo l_{iR} , longitud inicial del resorte $l_{iR} = l_0 - \frac{f_0}{k}$

$$F = k [\xi - l_{iR}] \quad (15)$$

si se hace $f_0 = k l_0$ $l_{iR} = 0$ donde $F = k \xi$

Se ha realizado de esta manera un resorte de longitud inicial nulo. En la práctica es difícil de realizar exactamente f_0 y en general se crea una fuerza mayor f_1 .

Se tiene entonces:

$$F' = f_1 + k(\xi - l_0) = k \left(\xi - \left(l_0 - \frac{f_1}{k} \right) \right) \quad (16)$$

Considerando como anteriormente $l_{iR} = l_0 - f_1/k$ como $f_1 > f_0$ se tiene: $l_{iR} < 0$.

agregando entonces al resorte una varilla rectilínea de

longitud l_1 , la relación de equilibrio será:

$$\begin{aligned} F &= f_1 + k(\xi - (l_0 + l_1)) \\ &= k \left(\xi - \left(l_0 + l_1 - \frac{f_1}{k} \right) \right) \\ &= k [\xi - l_i] \end{aligned}$$

con $l_i = l_0 + l_1 - \frac{f_1}{k}$ longitud inicial del resorte más la varilla rectilínea

$$l_i = l_1 + l_{iR} \quad l_{iR} < 0$$

entonces para obtener una longitud inicial nula será suficiente que la longitud de la varilla l_1 sea igual a l_{iR} .

Nota: El coeficiente k del resorte está dado por la siguiente relación:

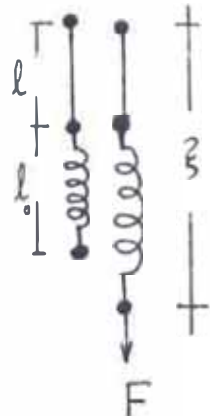
$$k = \frac{\mu r^4}{4nR^3}$$

n = número de espiras

μ = módulo de Coulomb

r = radio del conductor empleado

R = radio de la espira helicoidal



Volviendo a la fórmula (11) con la condición (12) se tiene:

$$\mathcal{M}(\phi) = \left[F_0 \left(ab \cos \gamma - \frac{h_0^2}{\xi_0} \right) + h_0^2 \left(\frac{dF}{d\xi} \right)_0 \right] \phi$$

$$\left(\frac{dF}{d\xi} \right)_0 = \frac{F_0}{\xi_0} = k$$

$$\mathcal{M}(\phi) = \left[k(ab \cos \gamma - h_0^2) + k h_0^2 \right] \phi$$

$$\mathcal{M}(\phi) = k ab \cos \gamma \phi$$

(17)

Puede observarse que si $\gamma = \pi/2$ $\mathcal{M}(\phi) = 0$

el brazo del péndulo se encuentra entonces en equilibrio indiferente.

Para obtener $\mathcal{M}(\phi) = 0$ y positivo es necesario que el ángulo de γ se aproxime a $\pi/2$ para valores inferiores.

Hagamos $\gamma = \frac{\pi}{2} - \epsilon$ con ϵ pequeño

$$\mathcal{M}(\phi) = k ab \cos \left(\frac{\pi}{2} - \epsilon \right) \phi$$

$$\mathcal{M}(\phi) = k ab \sin \epsilon \phi$$

sustituyéndolo en la ecuación (10) se tiene:

$$K \frac{d^2 \phi}{dt^2} + \Delta \frac{d\phi}{dt} + (k ab \sin \epsilon) \phi = ML_0 \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (18)$$

sea

$$U = k ab \sin \epsilon$$

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{K}{k ab \sin \epsilon}} \quad (19)$$

Regulación del periodo

Supongamos que el brazo del péndulo sea horizontal. Sea δ el ángulo de OA según la horizontal (fig 7)

se tiene que

$$\gamma + \alpha + \delta = \pi$$

con

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \epsilon, \quad \alpha \text{ cte}$$

de donde

$$\begin{aligned} \epsilon &= -\frac{\pi}{2} + \alpha + \delta \\ &= \delta - C \end{aligned}$$

haciendo

$$C = -\alpha + \frac{\pi}{2} > 0$$

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{K}{k ab \sin(\delta - C)}}$$

(20)

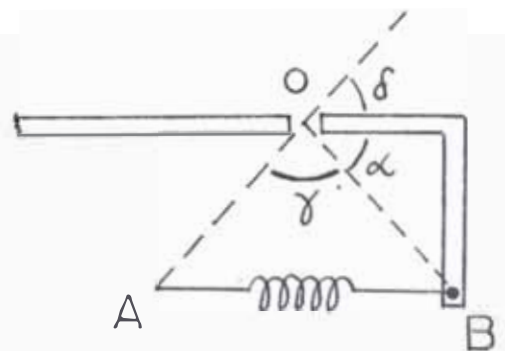


FIG. 7

Nota: Para aumentar el periodo del sismómetro es necesario disminuir ϕ luego de levantar la parte delantera del chasis con relación a la parte posterior. El ángulo no podrá evidentemente ser menor que el valor límite C. Notemos que el levantar la parte delantera del chasis provocará un desplazamiento hacia arriba de la escala original, lo que implicará una regulación de la horizontalidad del brazo.

Caso cuando la longitud inicial l_i sea diferente de CERO

Considerando la relación (13) se tiene:

$$F = k(\xi - l_i)$$

Existirá disimetría en el movimiento cuando el término en ϕ^2 en la ecuación (11) no sea nulo. Para ϕ suficientemente pequeño podemos dejar de considerar a ϕ^2 y ver así la influencia de l_i sobre el periodo del péndulo.

El término en ϕ en (11) sera:

$$k\left(1 - \frac{l_i}{\xi_0}\right)(ab \cos \gamma - h_0^2) + k h_0^2$$

reemplazando $\gamma = \frac{\pi}{2} - \epsilon$, se tiene:

$$\mathcal{M}(\phi) = k ab \sin \epsilon \left[1 - \frac{l_i}{\xi_0} + \frac{l_i}{\xi_0^3} \frac{ab \cos \epsilon}{\operatorname{tg} \epsilon} \right] \phi$$

sea

$$U = k ab \sin \epsilon \left[1 - \frac{l_i}{\xi_0} + \frac{l_i}{\xi_0^3} \frac{ab \cos \epsilon}{\operatorname{tg} \epsilon} \right]; \quad \mathcal{M} = U\phi$$

El periodo siendo inversamente proporcional a \sqrt{U} (ver más adelante), una longitud inicial positiva disminuirá el periodo.

De la ecuación (18)

$$K^2 \frac{d^2\phi}{dt^2} + \Delta \frac{d\phi}{dt} + U\phi = ML_0 \frac{d^2x}{dt^2}$$

El periodo puede ser definido con la relación siguiente:

$$\Omega_0^2 = \frac{4\pi^2}{T_0^2} = \frac{U}{K} = \frac{k ab \sin \epsilon}{K}$$

Ecuación de desplazamiento del péndulo

Según Dorel [9] la fórmula de desplazamiento del péndulo puede ser definido de la siguiente manera:

$$\frac{d^2S}{dt^2} + 2 \Omega_0^2 \beta \frac{dS}{dt} + \Omega_0^2 S = \frac{L}{l} \frac{d^2x}{dt^2} \quad (21)$$

se define así la ecuación en tensión del péndulo:

$$\frac{d^2V}{dt^2} + 2 \Omega_0 \beta \frac{dV}{dt} + \Omega_0^2 V = G \frac{L}{l} \frac{R}{R + \rho} \frac{d^2x}{dt^2} \quad (22)$$

V : tensión a la salida del sismómetro.

G : Constante electrodinámica de la bobina definida por $G = Bl$, donde B: campo del imán; l: longitud del conductor de la bobina,

- β_0 : Amortiguamiento mecánico
- β_1 : Amortiguamiento eléctrico
- $\beta = \beta_0 + \beta_1$ Amortiguamiento total
- $\Omega_0^2 = \frac{U}{K}$ Frecuencia propia del péndulo
- $l = \frac{K}{ML_0}$ longitud reducida
- $S = L\phi$ desplazamiento de la bobina
- ρ : resistencia de la bobina del sismómetro
- R : resistencia de amortiguamiento

La solución de la ecuación (22) para un movimiento sinusoidal del suelo será:

$$\frac{V}{x} = \frac{GL}{l} \frac{R}{R + \rho} \frac{\omega}{\sqrt{\left(\frac{\Omega_0^2}{\omega^2} - 1\right)^2 + 4\beta^2 \frac{\Omega_0^2}{\omega^2}}} \quad (23)$$

y para la fase:

$$\phi = \frac{\pi}{2} - \text{arc tg} \frac{2\beta \Omega_0 \omega}{\Omega_0^2 - \omega^2} \quad (24)$$

Para la velocidad de movimiento de suelo $v = \omega x$ la solución a la ecuación (22) será:

$$\frac{v}{v_{sol}} = \frac{GL}{l} \frac{R}{R + \rho} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\Omega_0^2}{\omega^2} - 1\right)^2 + 4\beta^2 \frac{\Omega_0^2}{\omega^2}}} \quad (25)$$

$$\phi = - \text{arc tg} \frac{2\beta \Omega_0 \omega}{\Omega_0^2 - \omega^2}$$

Nota: Generalmente se hace

$$\beta_1 = \frac{1}{2\Omega_0} \frac{G^2 L^2}{K(R + \rho)}$$

R_T , resistencia total

$$R_T = R + \rho$$

$$C = \frac{G^2 L^2}{2\Omega_0 K} \quad (26)$$

y
$$C_1 = \frac{G^2 L^2}{4\pi K} \quad (27)$$

de donde (28)

$$\beta_1 = \frac{C}{R_T} = \frac{C_1 T_0}{R_T}$$

I.6.- Registro gráfico rectilíneo de señales sísmicas.

Estudio del registrador modelo HAE-LPI/30

El registrador está compuesto de:

Un galvanómetro con pluma inscriptora.

Un mecanismo de movimiento del papel en el registro.

- El movimiento del papel.-

El papel de registro se superpone a un tambor cilíndrico de manera que constituye una banda de registro sin fin. Este tambor gira con un movimiento de rotación uniforme gracias a un motor cuya velocidad es controlada a cristal. El mecanismo consta también de un segundo motor que efectúa un desplazamiento lineal y uniforme del galvanómetro a lo largo del eje paralelo al tambor cilíndrico, de manera tal que en la ausencia de señales en el galvanómetro la pluma genera una línea de base helicoidal sobre el tambor mismo, la que define una pista de registro de gran duración. Este movimiento lineal se obtiene con la ayuda de un perno sin fin puesto en movimiento gracias al segundo motor.

- El galvanómetro.-

El galvanómetro (Pen motor MFE modelo R4-155) transforma la corriente de entrada en un par mecánico proporcional. Una corrección mecánica en factor tangente permite convertir el movimiento angular inicial en un movimiento rectilíneo. La nota técnica del fabricante MFE indica que

la linealidad es de $\pm 0.5\%$ del máximo de desviación.

La curva corriente-deflexión se presenta en la figura 8. El deslizamiento de la pluma sobre el papel es grandemente mejorado al sumársele una vibración de 50 Hz y de amplitud sensiblemente igual al espesor de la línea de base. Este arti

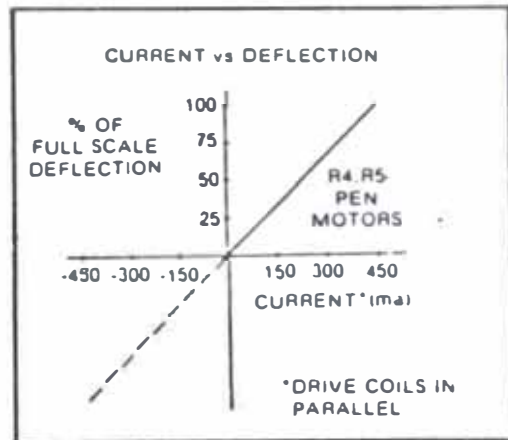


Fig. 8

ficio mejora sensiblemente la respuesta en fase del registrador. Wieland y Mitronovas [7] muestran la influencia de la fricción mecánica en estos tipos de galvanómetros (fig 9) : X indica el retardo observado con referencia a la línea de base para una señal sinusoidal de periodo 20 segundos y para diferentes amplitudes de entrada (el espesor de la línea de base es de 4 mm.). Los puntos o muestran los resultados de una señal de 20 segundos y una señal alterna de 50 Hz, el espesor de la línea de base es aumentada a 0.5 mm.. Los puntos o llenos nos muestran la misma experiencia con una señal alterna más importante y un espesor de línea de base de 0.7 mm.

La linealidad en el registrador puede ser representada en función de un error ϵ función del desplazamiento (ver figs. 10 y 11)

$$\epsilon = (C + B) \cos \alpha - C \cos \theta - B \quad (\alpha)$$

Además:

$$C \sin \theta = D \sin \alpha \quad (\beta)$$

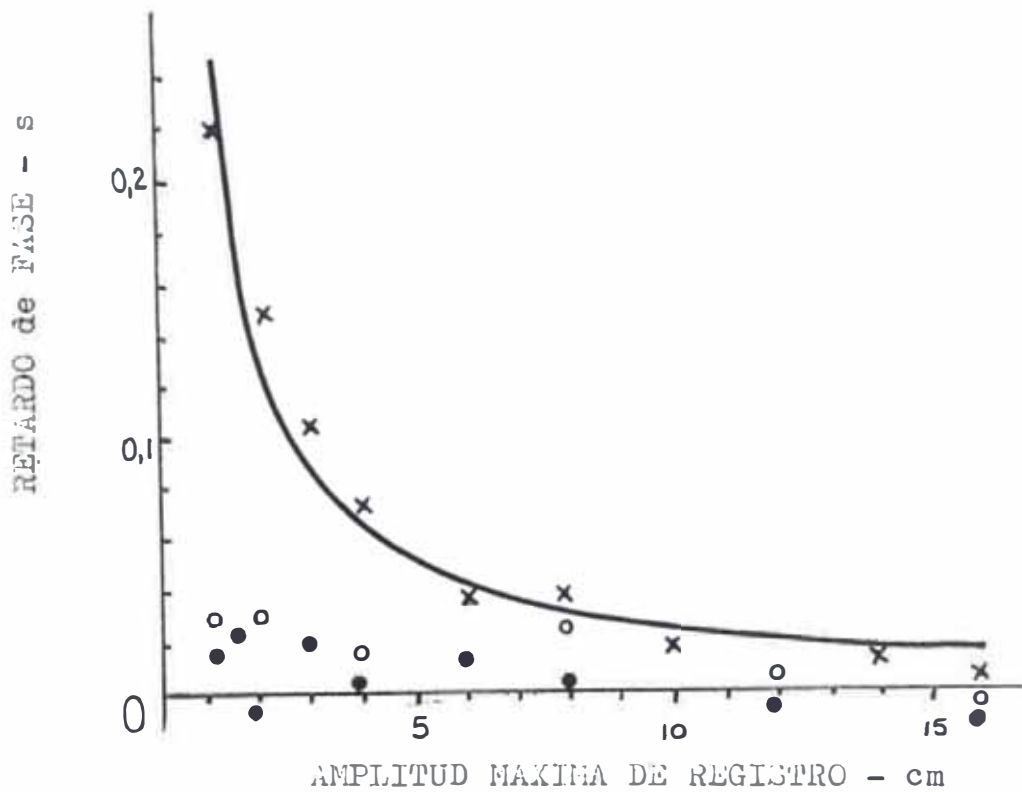


Fig. 9.

de (α) y (β)
$$\epsilon = (C + B)\left(1 - \frac{C^2}{D^2} \sin^2 \theta\right)^{1/2} - C \cos \theta - B$$

Calculando
$$\epsilon' = \frac{d\epsilon}{d\theta} = 0 \rightarrow C^2 \left(\frac{C + B}{D}\right)^2 \cos^2 \theta + C^2 \sin^2 \theta = D^2$$

de donde:
$$D = (C(C + B))^{1/2}$$

La última fórmula obtenida nos muestra la relación que existe para B, C y D para un error nulo, sea en desplazamiento lineal de la pluma perpendicular a la línea de base.

El registrador Streckeisen tiene las siguientes medidas:

$B = 7,5 \text{ cm}$, $C = 13,33 \text{ cm}$ y $D = 16,67 \text{ cm}$.

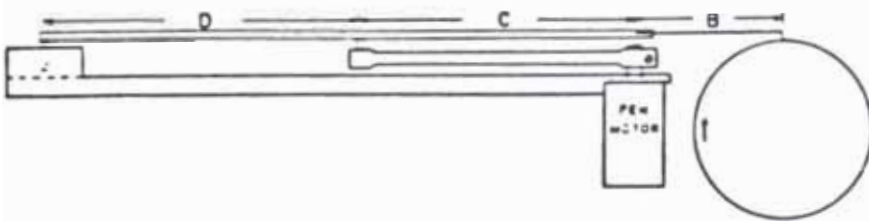


FIG. 10

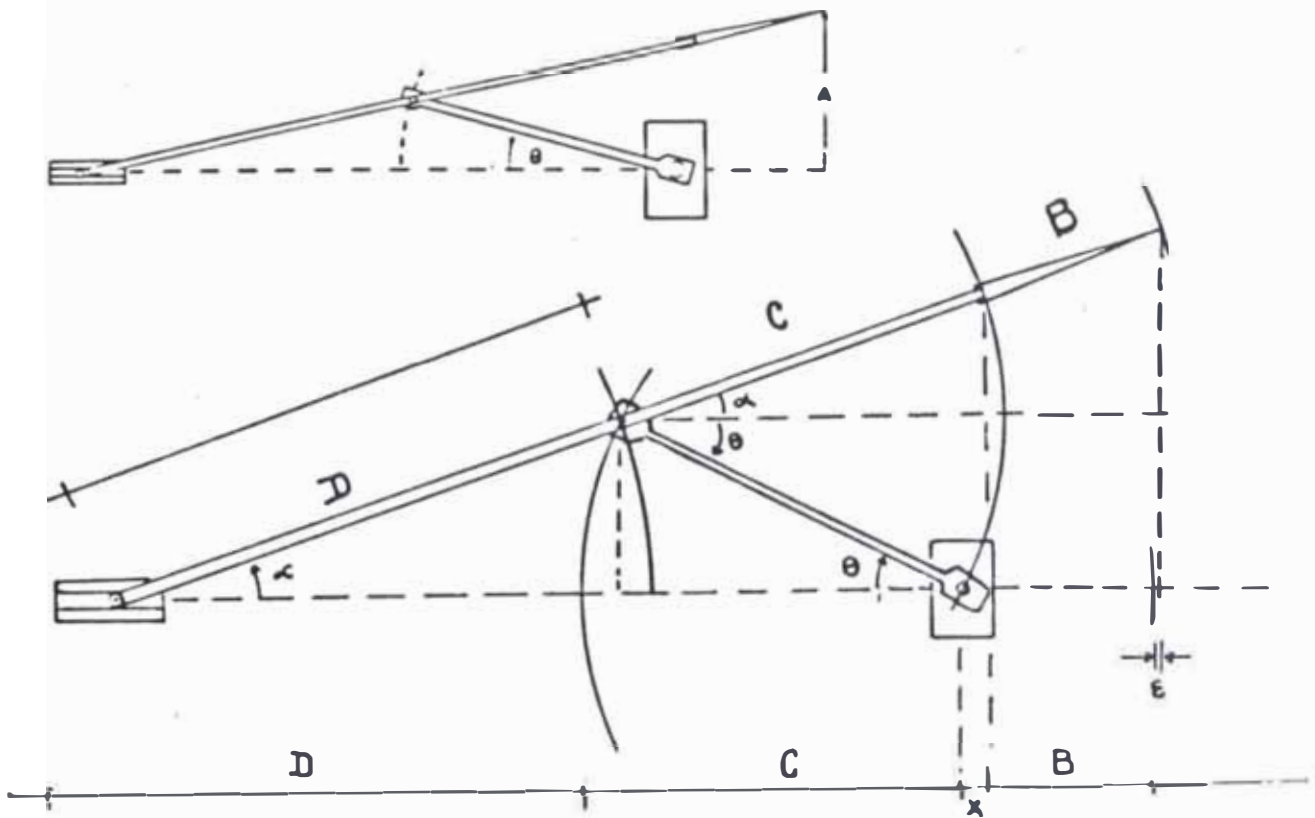


FIG. 11

América del Sur usualmente trabajan con emisores horarios centrados en las frecuencias de 5, 10 ó 15 MHz, mientras que en Europa se prefiere trabajar con emisores en las frecuencias de 50 a 200 KHz.

Como Francia no disponía hasta estos últimos años de un emisor de señales horarias de funcionamiento permanente [15] o casi permanente, la mayoría de interesados en recibir estas señales horarias en el territorio francés utilizan una emisora extranjera tal como HBG (Prangins 70 kHz, Suiza), MSF (Rugby 60 KHz, Inglaterra) o DCF 77 (Mainflingen 77,5 KHz RFA) [23] (ver tabla inferior).

Tabla 2

Emetteurs de signaux horaires. Stations couramment reçues en France

Indicatif fréquence (kHz)	Position géographique	Puis- sance (kW)	Arrêt pour maintenance	Forme des signaux	Impre- cision sur fréquence porteuse (x 10 ¹⁰)	Code DUT 1
MSF 60	52°22' N 1°11' W	50	Premier mardi de chaque mois, 11 à 15 h	Porteuse interrompue pendant 100 ms au début de chaque seconde, pendant 500 ms au début de chaque minute*.	0,1	Doublement
HBG 75	46°24' N 6°15' E	20	Rares interruptions irrégulières	Porteuse interrompue pendant 100 ms au début de chaque seconde. Interrup- tions doubles pour les minutes, triples pour les heures, quadruples midi- minuit.	0,1	Neant
DCF 77,5	50°01' N 9°0' E	38	Deuxième mardi de chaque mois, 5 à 9 h	Porteuse réduite à 25 %, pendant 100 (ou 200) ms au début de chaque seconde, sauf à la 59 ^e de chaque minute. Entre secondes 17 et 58, transmission codée, par tops prolongés, de minute, heure, date, jour de semaine.	0,1	Neant

* Pendant les 500 ms, transmission codée de minute, heure, jour de l'année.

Es solamente despues de marzo de 1980 que el C.N.E.T. (Centre National d'Etudes des Télécommunications) con el acuerdo de TDF (Télédiffusion de France) y la colaboración del Bureau National de Métrologie que se ha puesto a punto,

con éxito, un emisor de radiodifusión de gran cobertura del territorio francés, utilizando las instalaciones de la radio France Inter en 163,84 KHz [15] y trabajando con una modulación triangular de fase [16] para la difusión de señales de tiempo codificado. Una estadística sobre la dispersión del retardo de las impulsiones de segundo nos da, con este nuevo tipo de codificación, una mejor desviación de 0,16 ms.

Numerosas publicaciones han aparecido en estos últimos años sobre la puesta a punto y la construcción de receptores, de codificadores y dispositivos de sincronización de relojes con la ayuda de microprocesadores [18] [19] .

Nosotros decidimos, para facilitar la puesta en servicio de la estación sismológica, construir un receptor HBG (Neuchatel 75 KHz) siguiendo las indicaciones de J. BONANOMI [20] . El emisor HBG emite permanentemente señales horarias en 75 KHz, el inicio de cada segundo y minuto es identificado por una doble interrupción de 0,0 a 0,1 y de 0,2 a 0,3 s. La interrupción triple o cuádruple de la portadora nos señalará la hora de llegada y de las horas 00 o 12 respectivamente.

El receptor es de tipo superheterodino con una amplificación máxima de 130 dB, sensibilidad 0,3 Microvoltios y banda pasante de 12 Hz. La consumación es muy pequeña gracias a la utilización de circuitos CMOS y es de 5 a 25 μ W. Se obtiene una duración de vida superior a 12 meses con 2 pilas de 1,5 V de alimentación.

El decodificador HBG construido y puesto a punto por el CRG de Garchy [21] nos permite, accionando ciertos relés, tener las señales horarias que a través de los amplificadores LPV 763 son registrados en los registradores LP1/30 paralelamente a las señales sísmicas. La alimentación de éste decodificador (12 Vdc) puede ser directamente acoplado a la fuente del amplificador Streckeisen. Es necesario tener en cuenta el retardo constante que existe entre la llegada de las señales horarias codificadas y la salida del decodificador (0,325s promedio) en el nivel del registrador mismo (ver fig. 13)

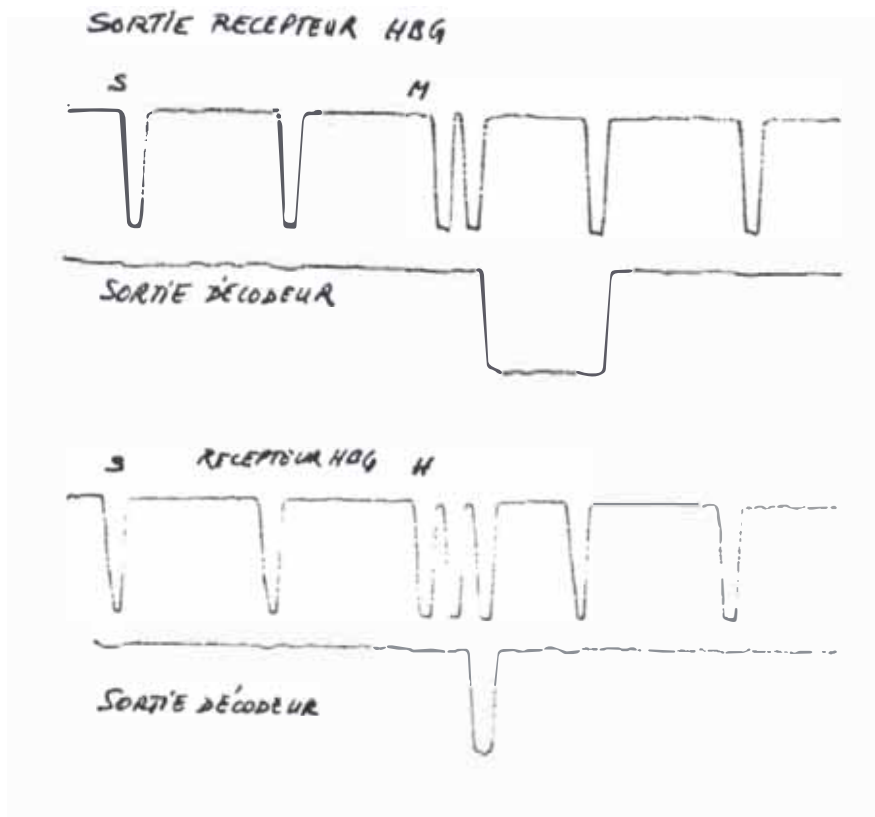


FIG. 13

II.3.- Respuesta de los registradores Streckeisen

II.3.1.- Objetivo y metodología:

Las experiencias 1A y 2A (ver tablas números 3 y 4) nos permiten observar la linealidad en amplitud de los registradores Streckeisen $|10|$ (ver figs. 14 y 17). Las señales de entrada son señales sinusoidales de amplitud variable y frecuencia fija a 0,3 Hz y a 1 Hz. Ellas son generadas por el generador HP modelo 3310A y controladas por el osciloscopio Philips modelo PM 3310.

Las experiencias 1B y 2B, con la misma instrumentación y para una amplitud fija (ver figuras 15 y 18) nos entregan las respuestas en frecuencia de los registradores. Se ha duplicado esta segunda experiencia (1C y 2C) con el generador Schlumberger (figs 16 y 19).

II.3.2.- Resultados y conclusiones:

a) La linealidad de los registradores es verificada por el método de los mínimos cuadrados, ello conduce a la ecuación de una recta que pasa por el origen:

$Y = 9,528 x$ (Para el registrador de serie No. 0881)
con un error $r^2 = 0,9996$

$Y = 8,325 x$ (para registrador de serie No. 1280)
con un error $r^2 = 0,99976$

b) Las curvas de respuesta en frecuencia corresponden, en buena aproximación a un filtro de segundo orden con una respuesta plana hasta 1 Hz.

Las figuras 15 y 16 (registrador de serie 0881) nos muestran una frecuencia de resonancia de aproximadamente 7 Hz. El factor de amortiguamiento puede ser calculado con la ayuda de las fórmulas dadas por Kisslinger [5] para un sistema lineal con un grado de libertad y amortiguamiento viscoso:

$$\frac{X_m}{X_{ST}} = \frac{1}{\left[\left(1 - \left(\frac{\omega_e}{\omega_n}\right)^2\right)^2 + \left(2h \frac{\omega_e}{\omega_n}\right)^2 \right]^{1/2}} \quad (29)$$

Para resonancia se cumple que: $\frac{X_m}{X_{ST}} = \frac{X_r}{X_{ST}} = \frac{1}{2h}$ de donde obtenemos los resultados siguientes:

Para el registrador 0881 el factor de amortiguamiento es 0,2526 (fig. 15) y 0,1354 (fig. 16). Las figuras 18 y 19 del registrador 1280 nos dá una frecuencia de resonancia de aproximadamente 6 Hz y una factor de amortiguamiento de 0,252 y 0,128.

Nota: Los 2 valores encontrados para el amortiguamiento (experiencias 1B y 2B figuras 15 y 18, experiencias 1C y 2C figuras 16 y 19), provienen de 2 valores de resistencias internas de los generadores utilizados ($R_1 = 50 \text{ Ohm}$ y $R_0 = 1000 \text{ Ohm}$).

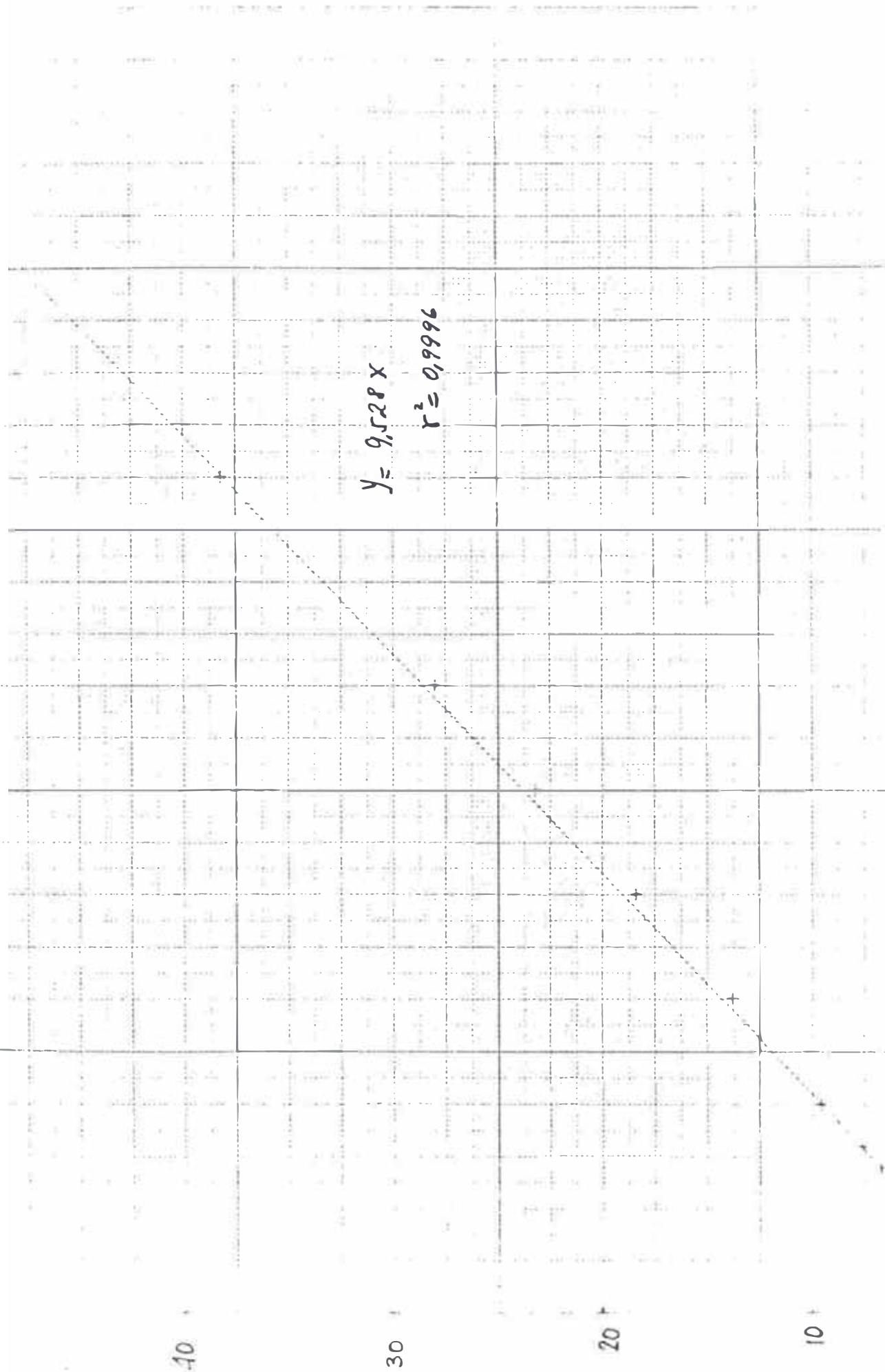
La fase puede ser obtenida según la fórmula siguiente:

$$\phi = \text{tg}^{-1} \frac{-2h(\omega_e/\omega_n)}{1 - (\omega_e/\omega_n)^2} \quad (30)$$

Así tenemos que el desfasaje para señales de periodo largo es relativamente pequeño y del orden de 0,0282 grados para $\omega_e = 0,01 \text{ Hz}$.

EXPERIENCE N° 1		REMARKES :			
BUT : LINEARIDAD Y RES - PUESTA EN FRECUENC. DEL REG. SCHUMBLER 0881		- Exp. 1A (a 0,3 Hz) y 1b (a 1 Vpp) con generador HP 3310 y oscilosc. FT. 3310 - Exp. 1C con generador Schlumberger a 1,344 Vpp. / amp =amplitud registro			
1A: Vent pp	1A: Amp. sal mm pp	1B f en Hz	1B Amp pp mm	1C f en Hz	1C Amp mm pp
0.2	2	0.2	9.6	0.02	13.5
0.3	3	0.3	9.6	0.01	13.4
0.4	3.8	0.4	9.6	0.1	13.0
0.5	4.8	0.5	9.6	0.2	13.0
0.6	5.8	0.6	9.6	0.5	13.0
0.7	6.7	0.7	9.6	1.0	13.0
0.8	7.6	0.8	9.6	2.0	13.8
1.0	9.6	0.9	9.6	3.0	16.0
1.5	13.8	1.5	9.8	4.0	19.6
2.0	18.4	2.0	10.1	5.0	28.2
2.5	23.2	2.5	10.8	6.0	45.2
3.0	28.2	3.0	11.2	7.0	48.0
4.0	38.2	4.0	12.6	8.0	25.5
5.0	48.6	5.0	15.0	9.0	15.2
		6.0	17.6	10.0	10.6
		7.0	19.0	11.0	8.2
		8.0	15.5	12.0	6.0
		9.0	11.2		
		10.0	8.5		
		11.0	6.2		
		12.0	5.0		

Tabla 3



$y = 9,528x$
 $r^2 = 0,9996$

EXPERIENCE 1A:
RAPPORT VOLTAGE D'ENTREE À AMPLITUDE
D'ENREGISTREMENT MM. CRÊTE À CRÊTE

FIG. 14

AMP, MM
CRACK 30

EXP 1B

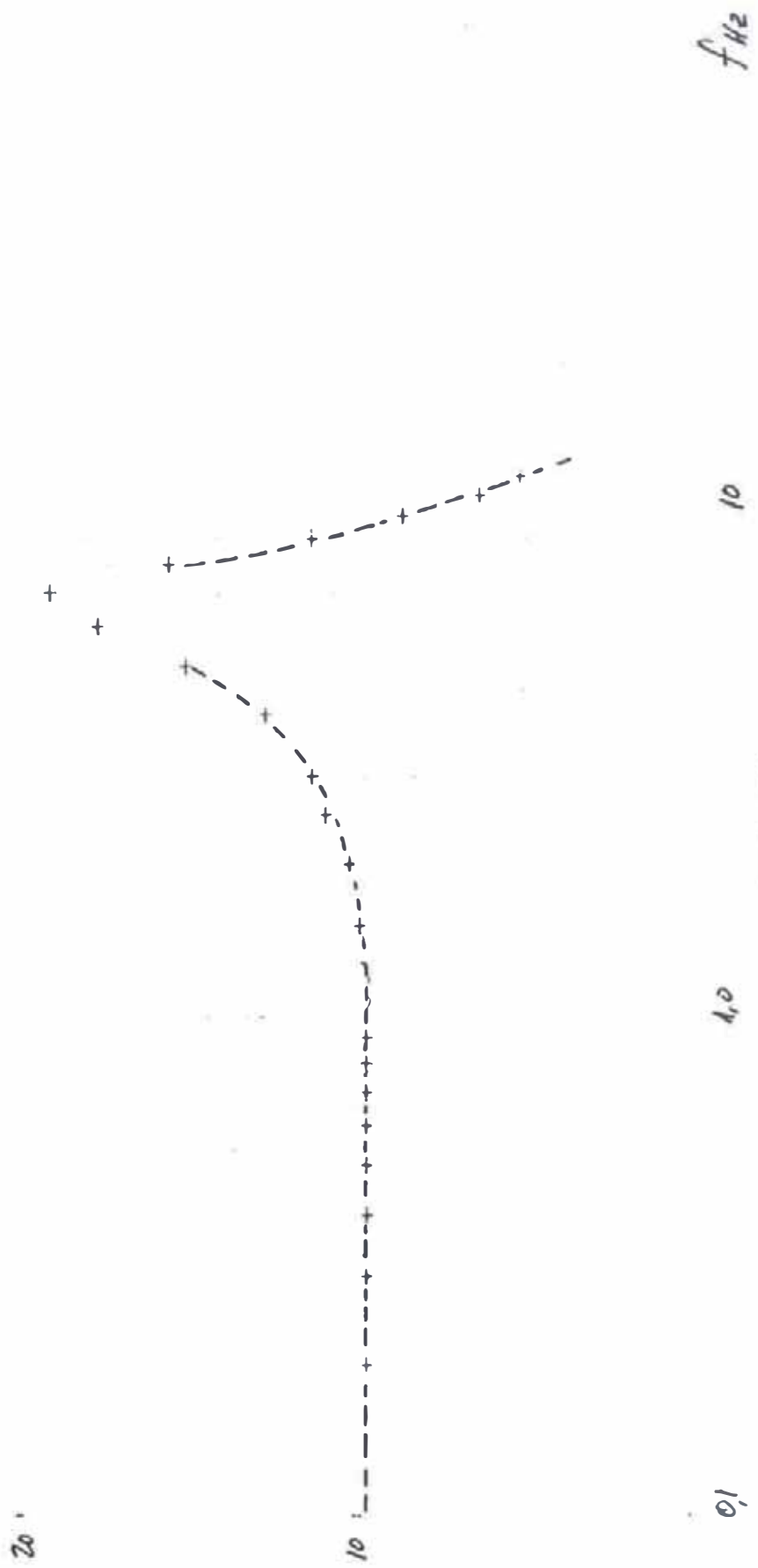
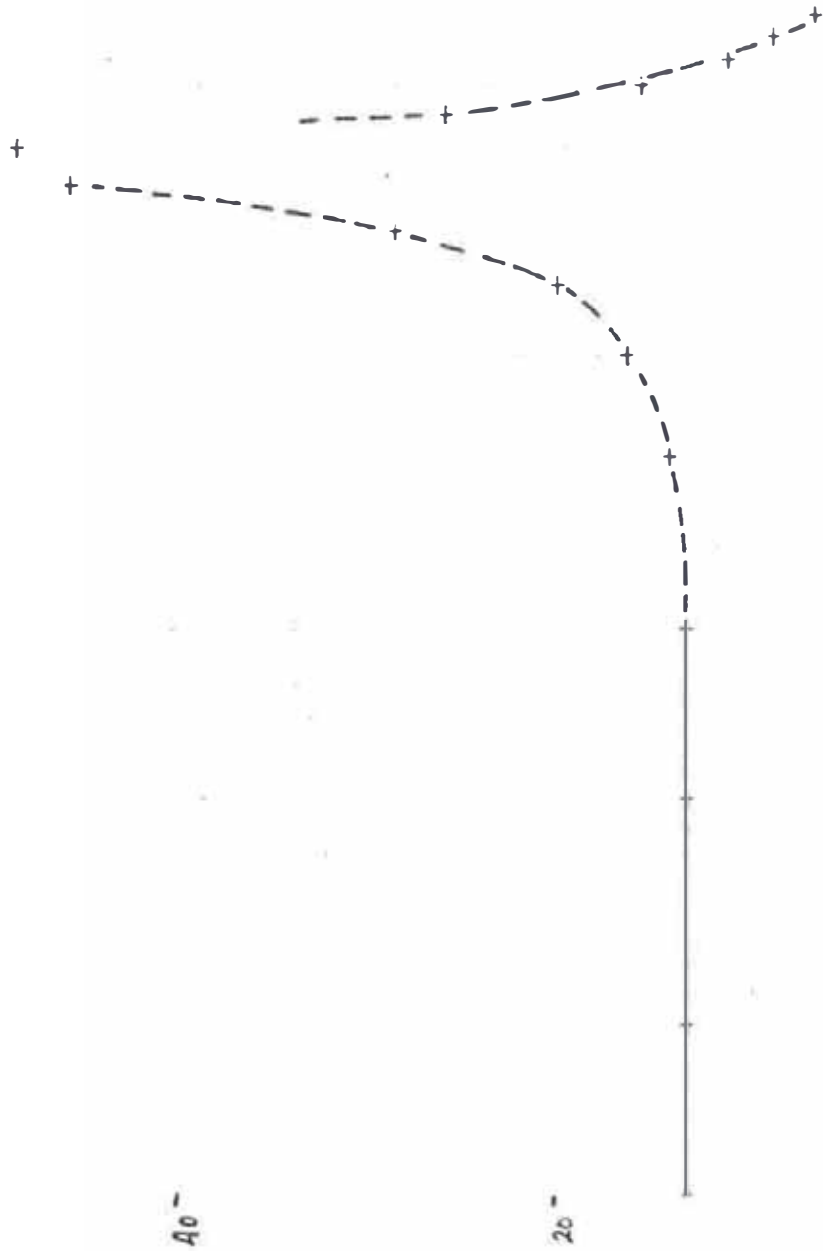


FIG. 15

AMP. MM
Grid
60 -

Exp 1C



0,1

1

FIG. 16

10

Hz

EXPERIENCE N° 2		REMARQUES :			
BUT : LI		- exp 1 a 1 Hz., 1B a 1 vpp (Gen. 119-10)			
S. 133. 137-139 (119)		- exp 10 a 1,588 vpp (Gen. Schlumberger)			
2A	Vent. pp	2B	fent lz	2C	2D
0.1	1.0	0.02	7.2	0.01	12.2
0.16	1.5	0.05	7.2	0.02	11.7
0.2	1.8	0.1	7.2	0.1	11.7
0.3	2.7	0.2	7.2	0.2	11.7
0.4	3.5	0.3	7.2	0.5	11.5
0.5	4.4	0.4	7.2	2.0	13.0
0.6	5.2	0.5	7.2	3.0	16.0
0.8	7.2	1.0	7.2	4.0	22.0
1.0	8.5	2.0	8.0	5.0	39.0
1.2	10.2	3.0	9.8	6.0	45.6
1.6	13.6	4.0	11.0	7.0	21.5
2.0	16.8	5.0	13.0	8.0	12.0
2.5	20.5	6.0	15.5	9.0	8.0
3.0	24.5	7.0	14.0	10.0	6.8
4.0	33.5	8.0	11.0		
5.0	41.5	9.0	6.8		
		10.0	6.0		
		11.0	5.0		
		12.0	4.0		

Tabla 4

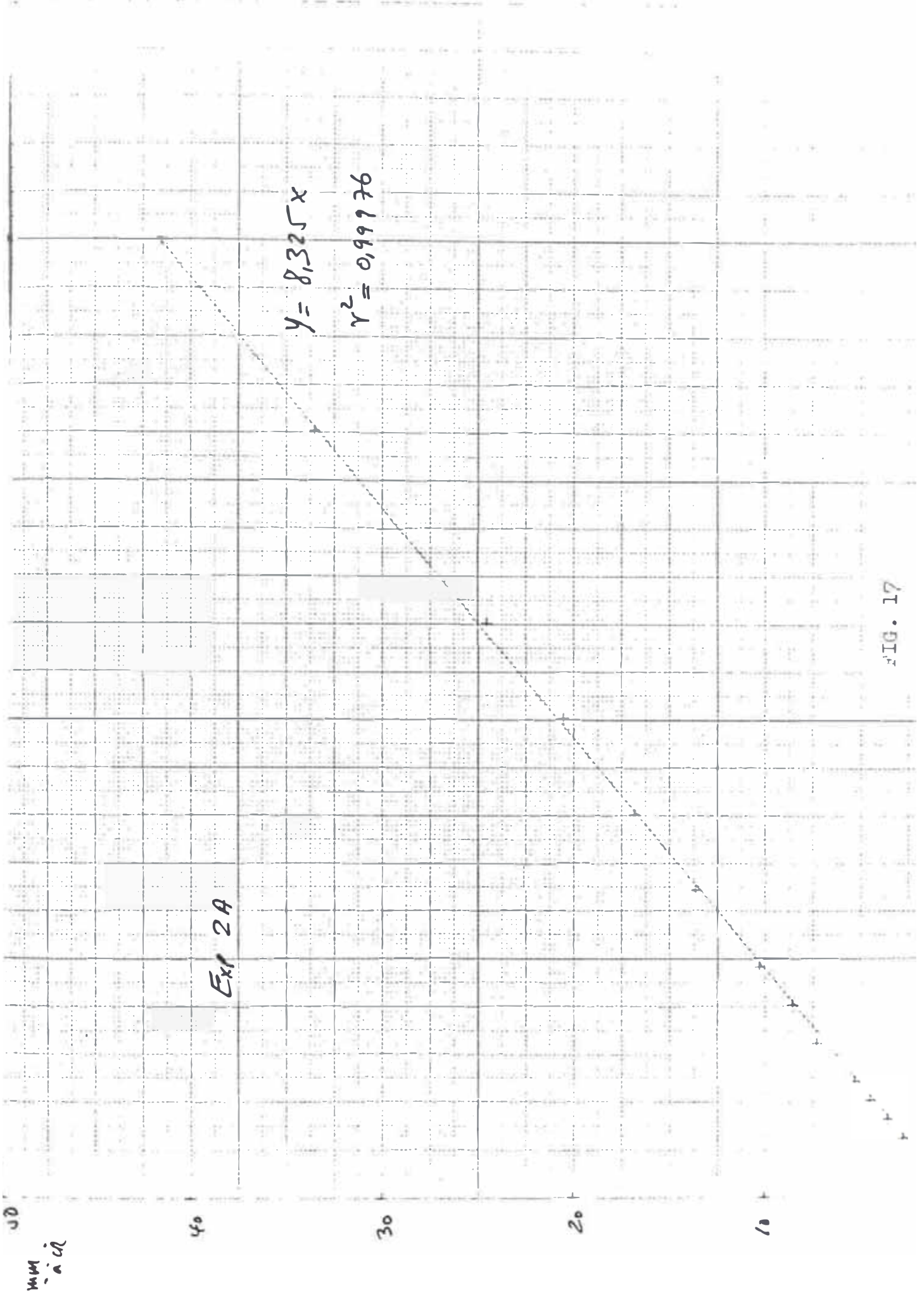


FIG. 17

mm
m²

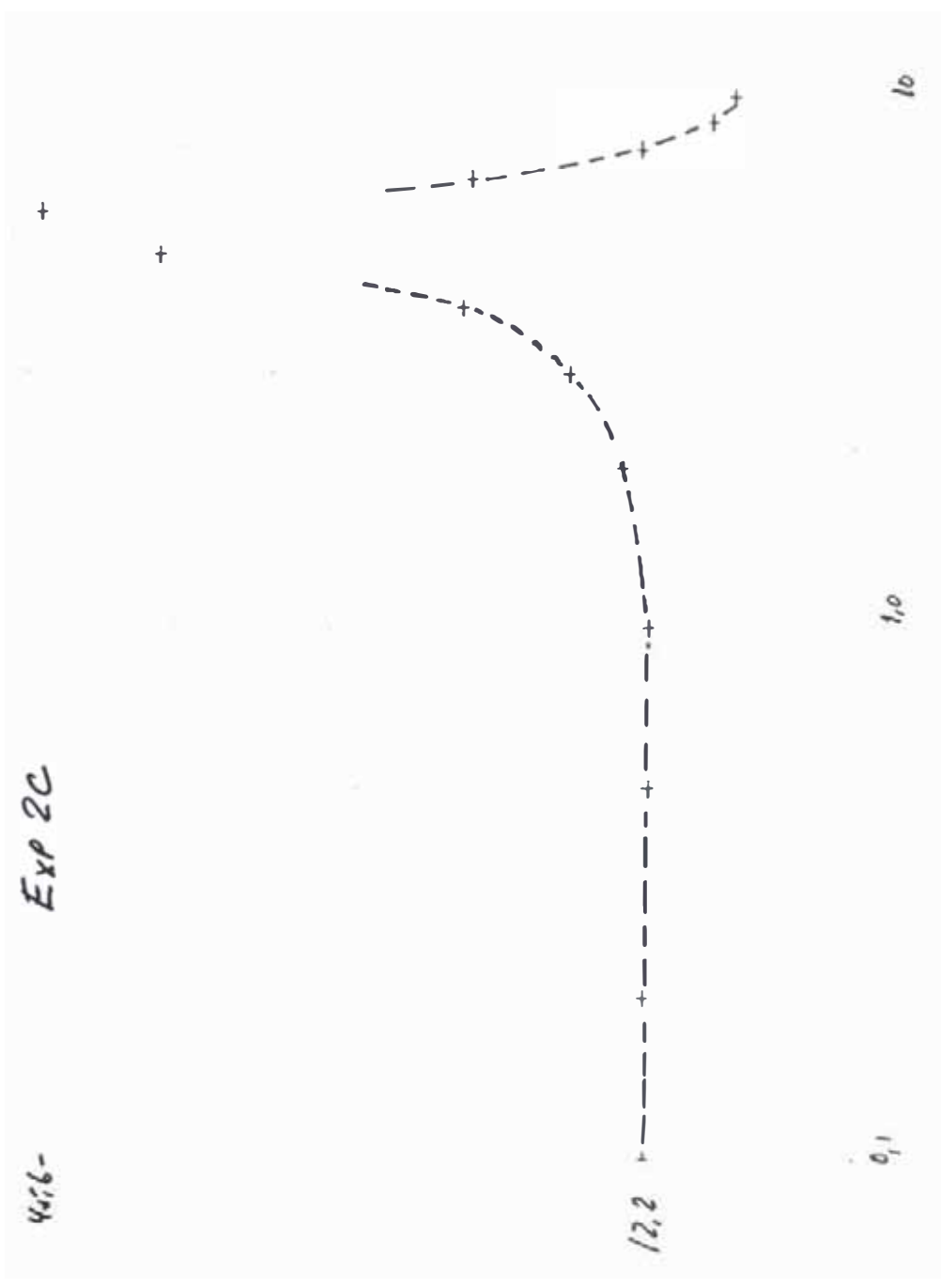


FIG. 19

11.4.- Respuesta de los amplificadores:

El amplificador de precisión modelo LPV 730 [11] permite amplificar señales de periodo largo hasta 100 da. Hay 2 posibilidades de entrada: a pequeña y gran potencia, ésta última a través de un amplificador Chopper de resistencia de entrada de 2000 Ohm (ver figura 20 diagrama de bloques).

Experiencia no. 3.- Características del amplificador de entrada Chopper (ver figura 21).

Con la ayuda del analizador de frecuencia Solartron 1170 y aplicando un método indirecto de puente resistivo se verifica la resistencia de entrada y la amplificación del "Chopper".

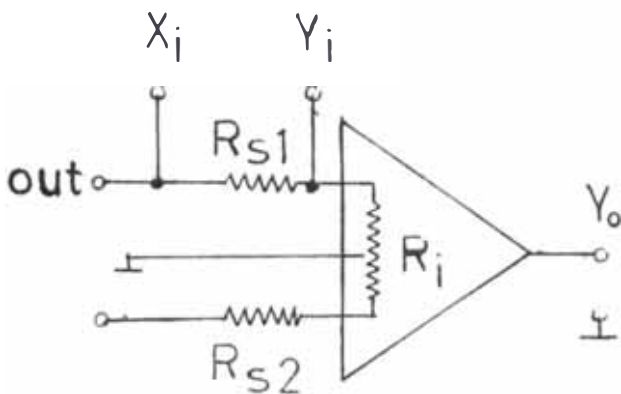


Fig. 20 Diagrama de bloques del amplificador de entrada Chopper Solartron 1170.

FIG. 20

Conclusión: Los resultados de la tabla de la tabla 5 nos dan para:

Amplificador 0661:

Resistencia de entrada: 1960 Ω

Amplificación del Chopper:

25,83 dB

Desfase:

180°

Amplificador 1170:

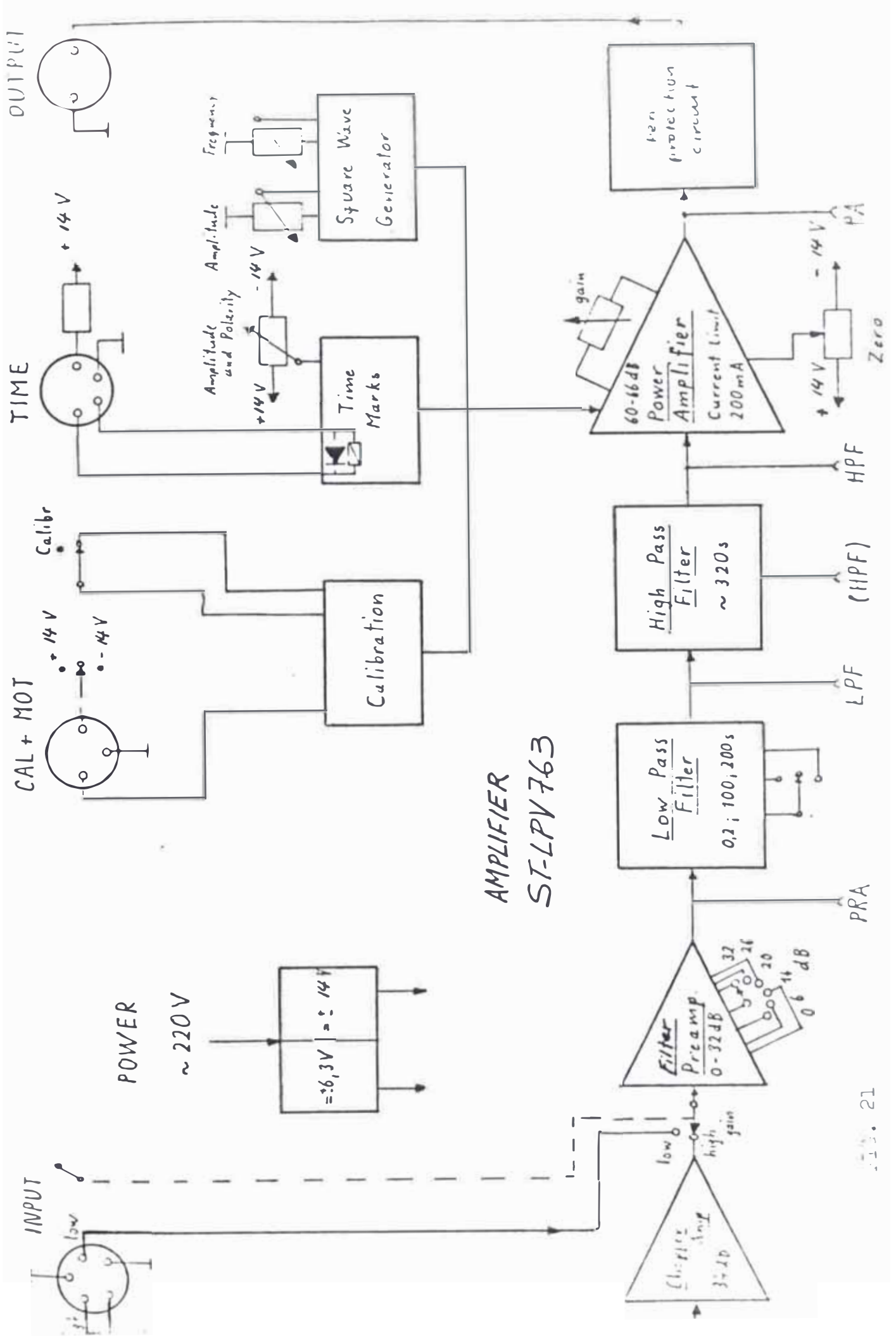
Resistencia de entrada: 2084 Ω

Amplificación del Chopper:

25,83 dB

Desfase:

180°



AMPLIFIER
ST-LPV 763

FIG. 21

Experiencias No. 4 y 5.- Estudio: respuesta en amplitud y fase de toda la cadena de amplificación con filtro pasabanda entre 100 y 330 s, y ganancia a 100 dB, con la ayuda del analizador de respuesta de frecuencia (Frequency Response Analysers) Solartron 1170.

Condición inicial: Una resistencia de entrada $R_{S_1} = R_{S_2}$ de 15 M Ω nos dará una atenuación de 83,7 dB para los amplificadores 0881 y 1180 respectivamente. Los resultados se indican en las tablas números 6 y 7

Conclusión: Las figuras 22 y 24 nos dan las respuestas en amplitud con referencia al periodo en segundos, los resultados han sido aproximados a curvas de segundo grado:

Amplificador 0881:

$$y = -0,14764 x^2 + 0,664188 x + 1,217629$$

Un máximo de amplificación de 92,17 dB para 177,5s

Amplificador 1180:

$$y = -0,135 x^2 + 0,6306 x + 1,228659$$

Un máximo de amplificación de 92,91 dB para 110,05s

Los desfases están comprendidos entre 0 y 300° (ver figuras 23, 25 y 28).

EXPERIENCE N°

4

REMARKES :

- $RS_1 \approx RS_2 \approx 15 M\Omega < >$ ATENUACION DE 83,7 dB

- CON EL ANALIZADOR SOLARTRON TIPO DE SCHLUMBERGER

OUT : RESPUESTA EN AMPLITUD Y FASE DEL AMPLIFICADOR N°1
SERIE 0881, FIL 100-330 S

f_i MHz	T_i SEG	γ_{mV}	$\varphi^\circ(\gamma)$	X_{mV}	$\varphi^\circ(x)$	γ/x dB	γ/x	$\Delta^\circ(\gamma/x)$	γ/x dB (real)
1.0	1000	30	36.8	100	358.2	-9.75	325.3 E-03	38.5	73.95
1.6	650	80	59.1	100	359.8	-1.23	867.3 F-03	59.3	82.47
2.0	500	130	75.4	100	359.1	2.48	1.331	76.3	86.18
2.5	400	190	94.4	100	0.6	5.6	1.913	93.7	89.30
3.0	330	230	113.5	96.3	359.8	7.56	2.389	113.6	91.26
4.0	250	290	144.9	100	0.2	9.3	2.90	144.7	93.0
5.0	200	320	169.9	100	359.9	10.1	3.20	170.0	93.8
6.6	151.5	310	201.1	100	0.3	9.8	3.0	200.7	93.5
10.0	100	240	247.4	100	358.9	7.4	2.40	248.6	91.1
13.33	75	160	275.6	100	0	4.2	1.640	275.6	87.9
20.0	50	80	306.2	100	0.1	-1.9	796.6 E-03	306.6	81.8
33.0	30.3	30	328.5	100	359.8	-10.4	301.0 E-03	328.6	73.3
50.0	20.0	10	340.0	100	0	-17.7	129.0 F-03	339.9	66.0
100.0	10.0	30	350.4	1000	359.9	-29.7	32.45E-03	350.5	54.0
200.0	5.0	8.0	355.7	1000	0	-41.8	8.12E-03	355.7	41.9

$$y = a_0 X^2 + a_1 X + a_2$$

$$a_0 = -0,14764$$

$$a_1 = 0,664188$$

$$a_2 = 1,217629$$

92,172dB Max @ 177,50 SEC

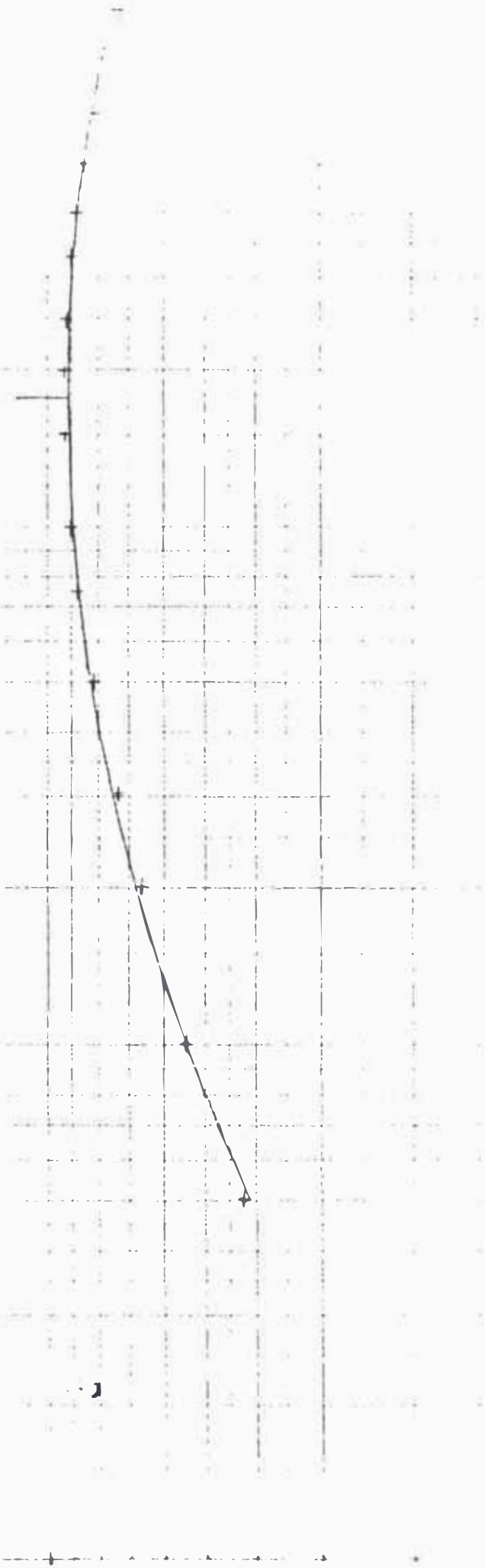


FIG. 22

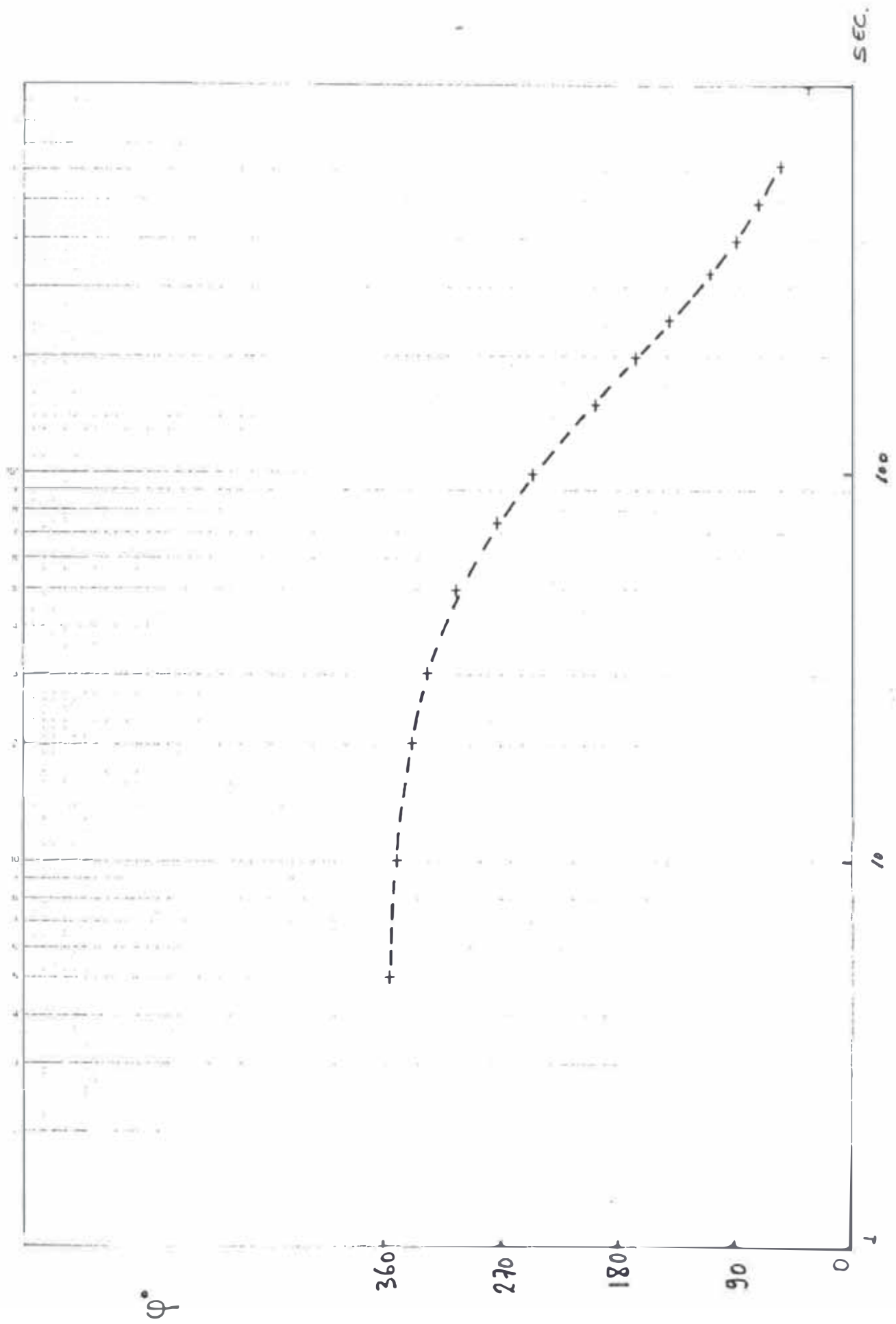


FIG. 23

$$Y = -0,13506X^2 + 0,6306X + 1,229659$$

$$X = \log T$$

$$Y_{dB} = \text{anti log } Y$$

max 92,21 dB à 216,07 Sec

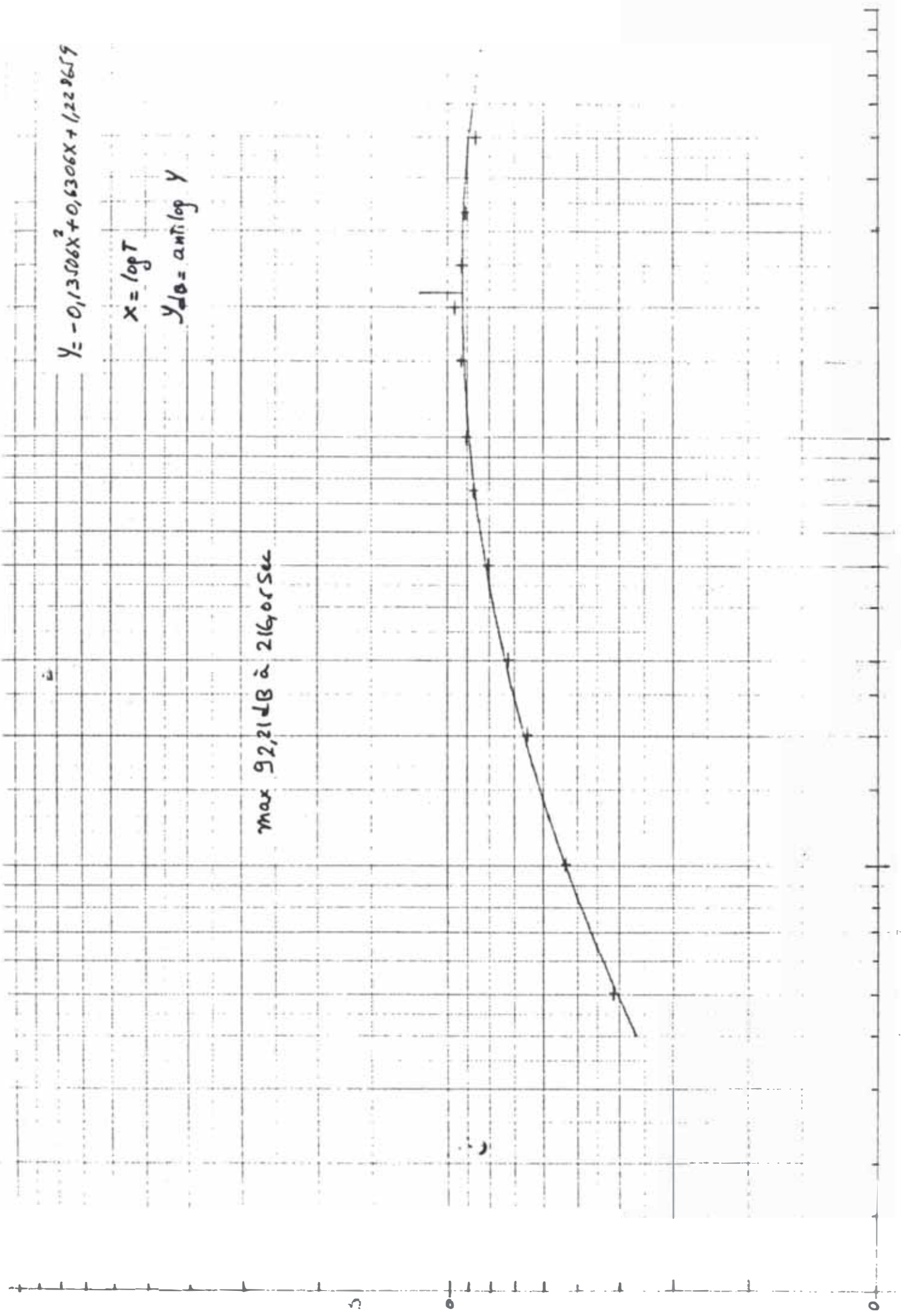


FIG. 24

PHASE 1180

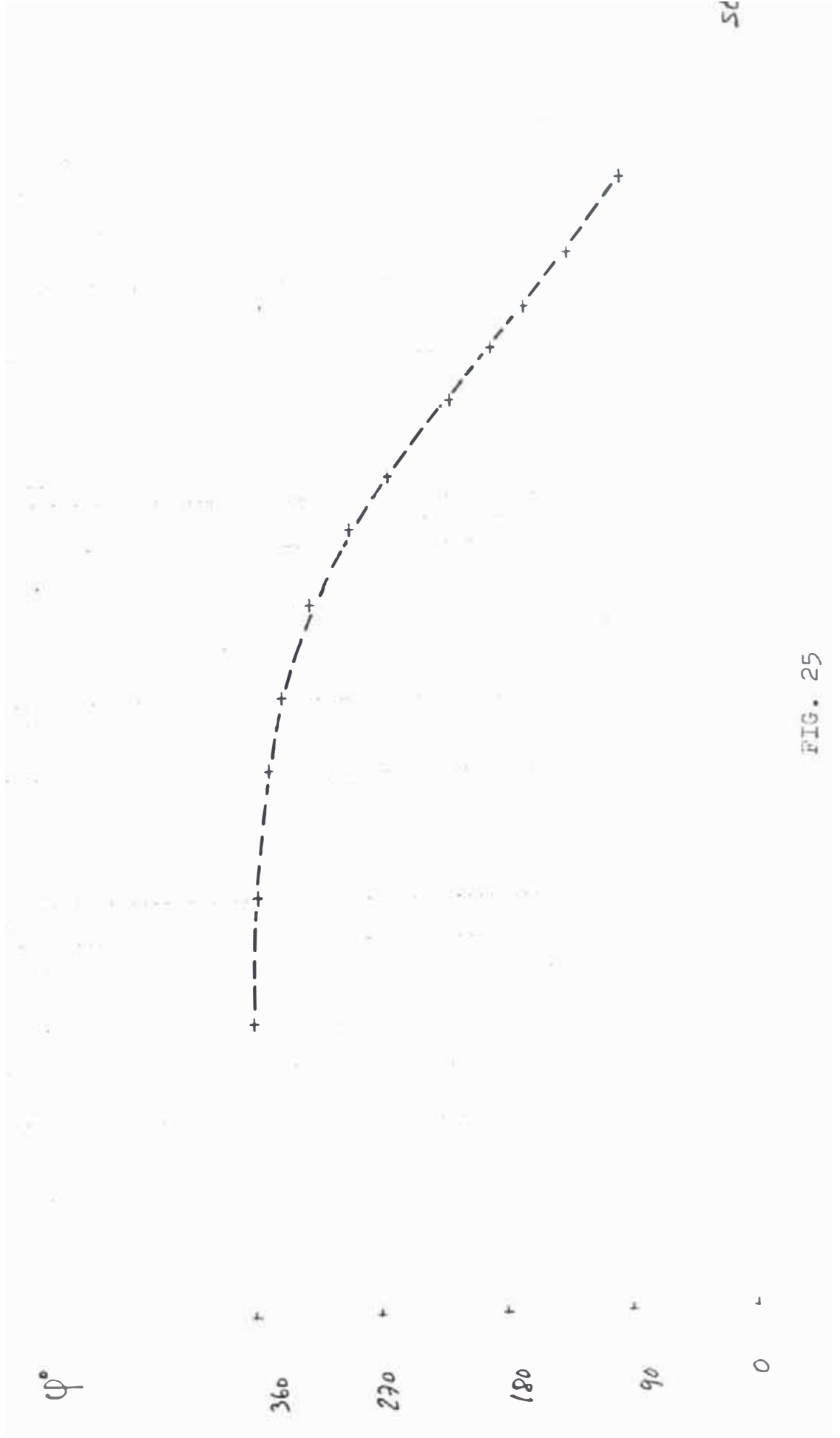


FIG. 25

φ_A : AMPLIFICATEUR 1180
 φ_B : " " 881



FIG. 26

f
mHe

Experiencia No. 6.- Densidad espectral de potencia (R^2) en los amplificadores Streckeisen:

Objetivo y metodología:

Para el estudio de señales aleatorias, cuyo contenido espectral se encuentra distribuido y concentrado en regiones angostas del espectro, es usual describir el espectro en términos de una densidad de distribución normalizado a un hertz. Para definir el espectro debe tenerse en cuenta la resolución ó el ancho de banda del analizador.

La potencia de salida para una frecuencia particular visto en el espectro generado por un procesador FFT es igual a:

$$V_{out}^2 = V^2/Hz \times B_n, \text{ donde } B_n = \text{ancho de banda del sistema.}$$

Es decir: El espectro de salida es igual a la densidad espectral de potencia multiplicado por el ancho de banda de ruido del filtro del analizador. Para el analizador 444 A Nicolet utilizado en esta experiencia el ancho de banda de ruido es igual a: $\frac{1,5}{400} \times (\text{Rango de análisis})$.

Para determinar la densidad espectral de potencia PSD (V^2/Hz) o la densidad espectral (V/\sqrt{Hz}) es necesario fijar en el instrumento la constante V/R según tablas del constructor Nicolet y después de seleccionar el rango del análisis, escoger un número suficiente de promedios espectrales ó de iteraciones (generalmente 32 ó más).

Esta experiencia tiene por finalidad calcular el PSD

para cada amplificador en high gain ($R_{in} = 2Kohm$) y low gain ($R_{in} = 0$) y esto para cada ventana de filtro en el amplificador (Ver figuras 27 al 43) algunos valores de las curvas se muestran en las tablas correspondientes a los numeros del 8 al 23. El programa utilizado para graficar los valores experimentales [27] puede consultarse en apéndice.

DENSITE SPECTRALE DE L ANALYSEUR DE SPECTRE
NICOLIT 440A, SENS 100 MV, CTE 866E-03 U/R
N=32 IT, BN=0.75 HZ, 251E-06 RMS

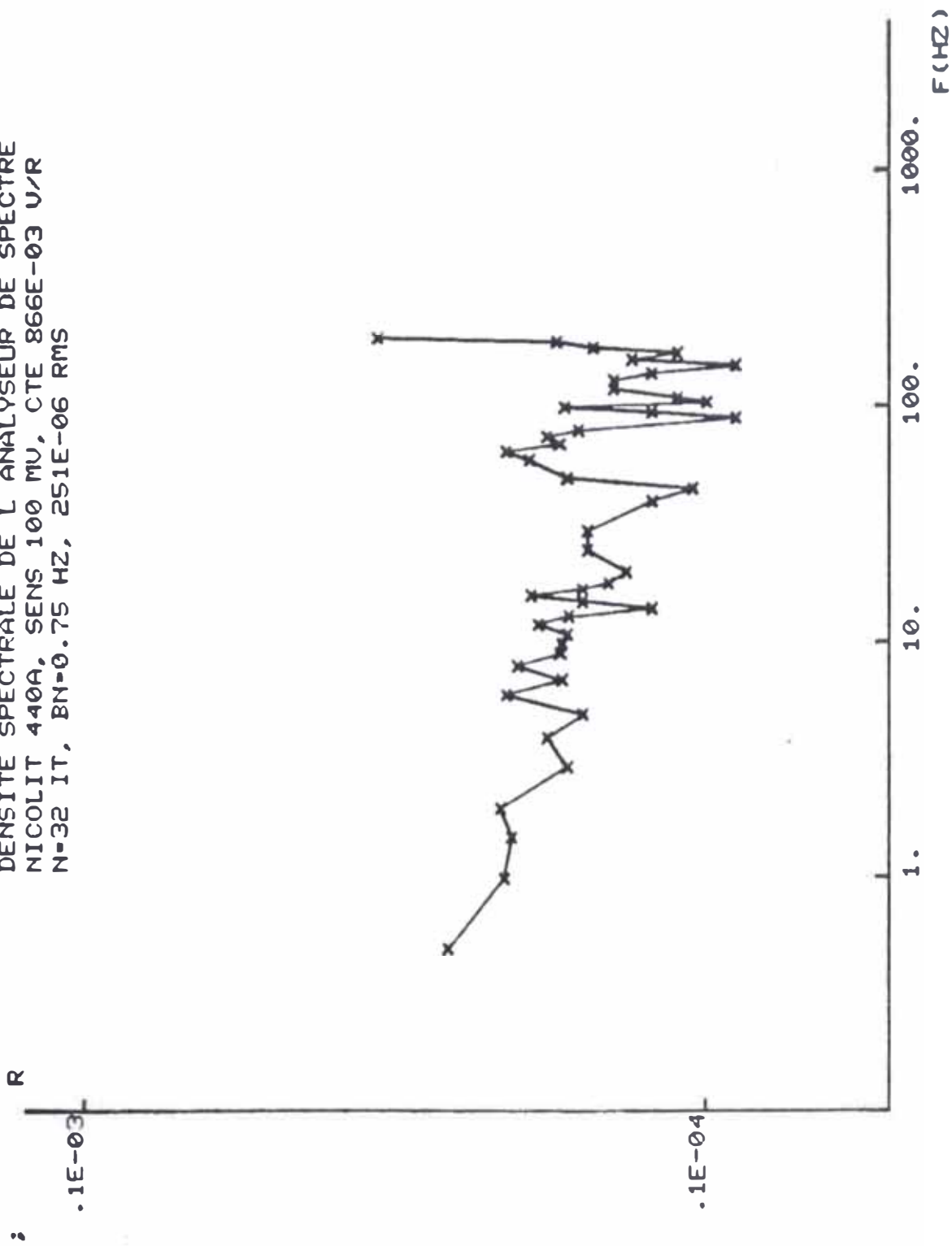


FIG. 27

DSP AMPLI CHOPPER DU AMPLI STRECK.
ST LPU 763/881 ,PIN=2.K-OHM
34DB, 433.E-03 U/R, N=64
BN=0.188 HZ, 1.01E-03 RMS

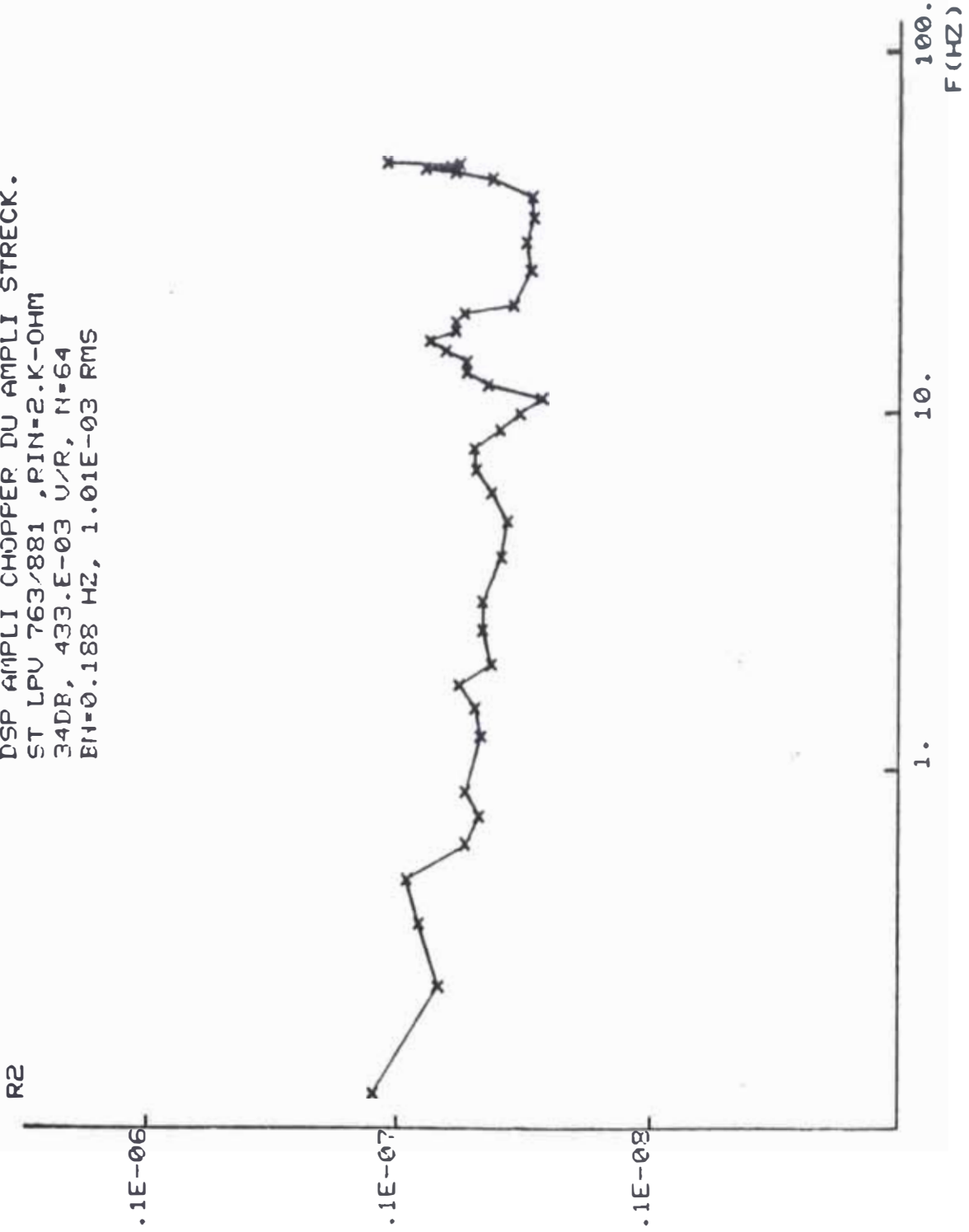


FIG. 28

AMPLIF STRECKEISEN ST LPU 763/881
DENSITE SPECTRALE DE PUISSANCE
FILT 100-330, HIGH GAIN, RIN 2K-OHM
126DB, 61,2E-03V/R, 178E-03 RMS, N=32

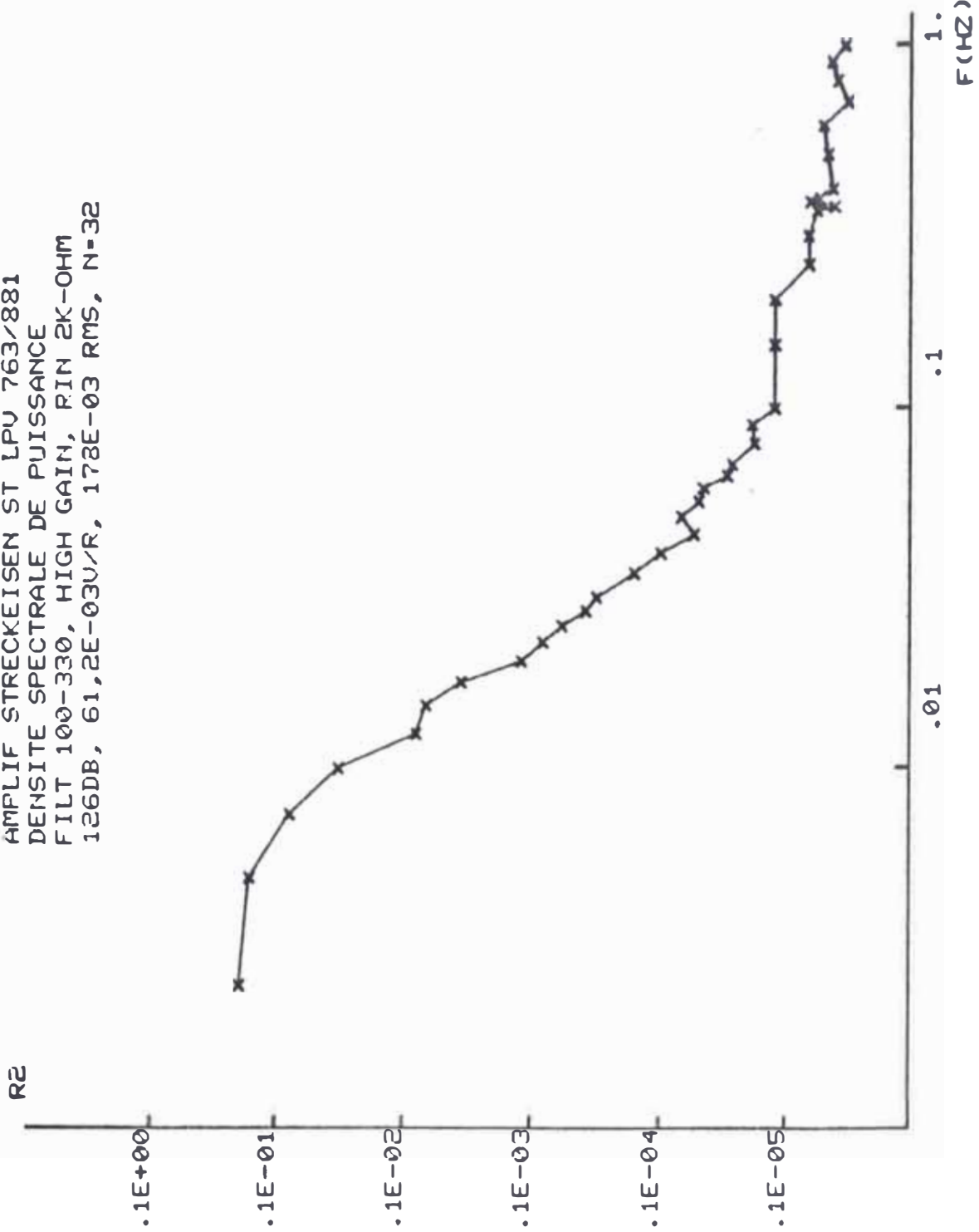
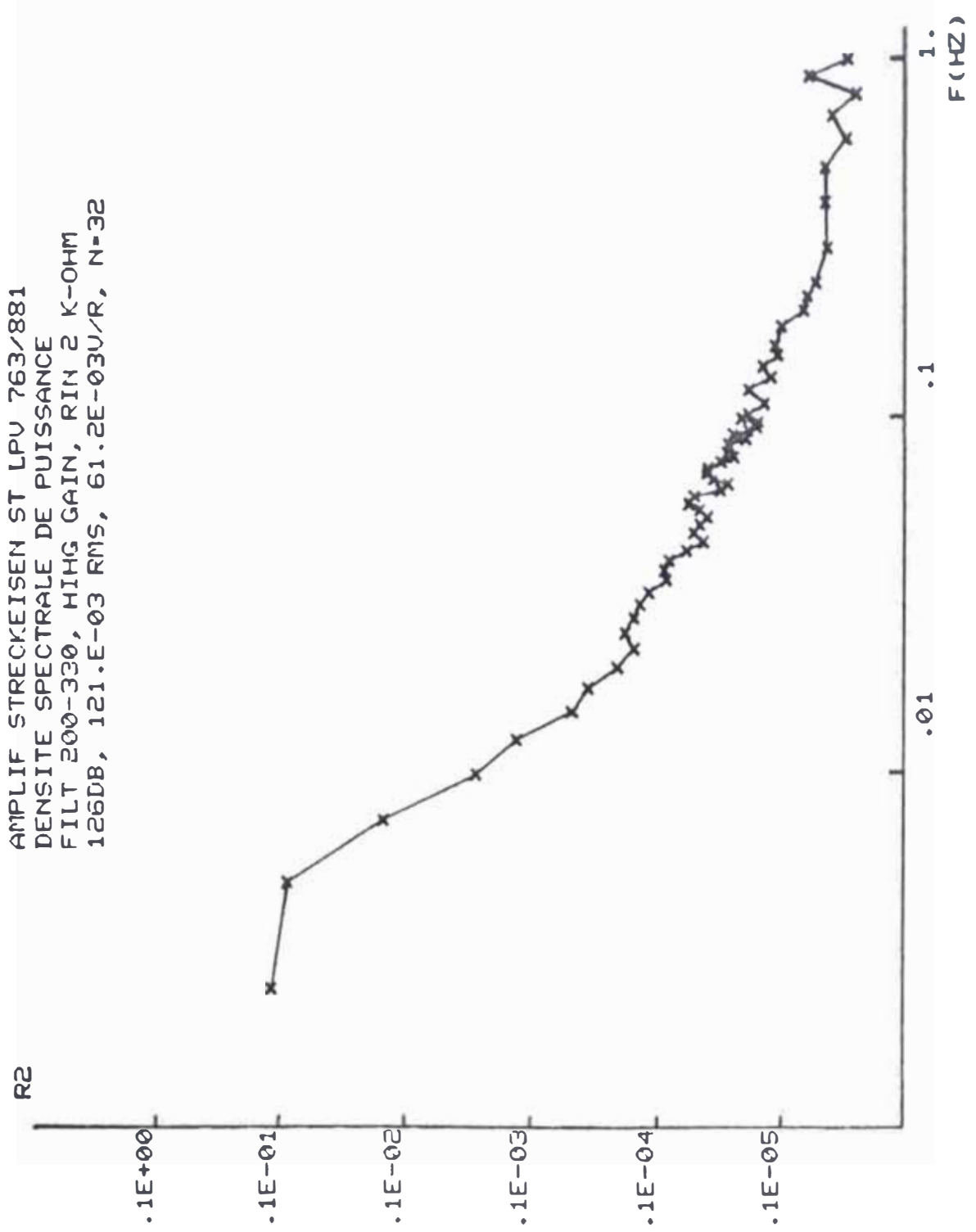


FIG 25

AMPLIF STRECKEISEN ST LPU 763/881
DENSITE SPECTRALE DE PUISSANCE
FILT 200-330, HING GAIN, RIN 2 K-OHM
126DB, 121.E-03 RMS, 61.2E-03U/R, N=32



DSP. AMPLI STRECK ST LPU 763/881
FILT 0.2-330. SEC, HIGH GAIN ,N-64 IT
433.E-03 U/R, 123.E-03 RMS
BN =0.188 HZ

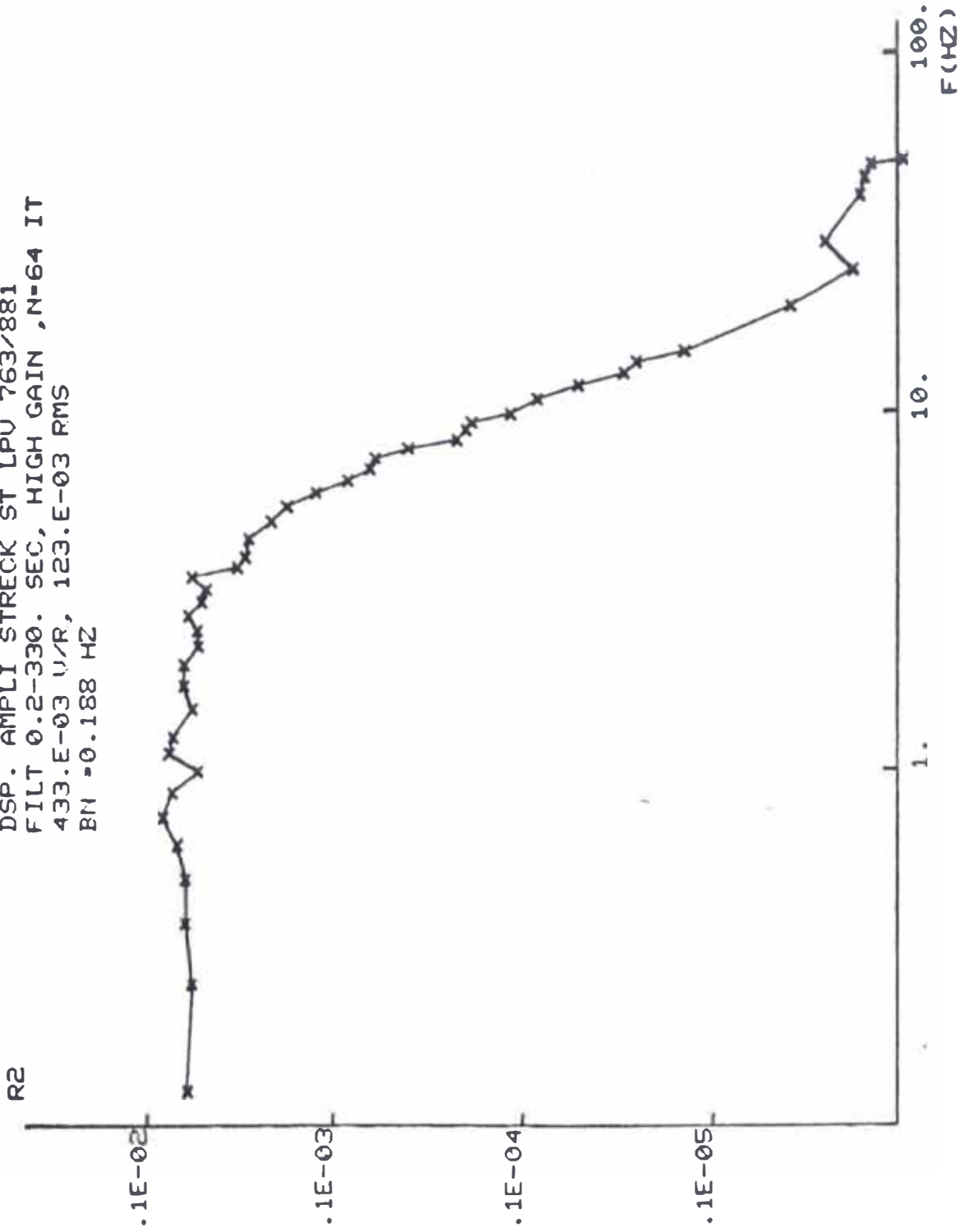


FIG. 31

DSP AMPLI STRECK. ST LPV 763/881
LOW GAIN ,FIL 100-330 SEC, RIN=0
N=32 ,61.2E-03 U/R, 48.5E-03 RMS
BN=0.0038 HZ

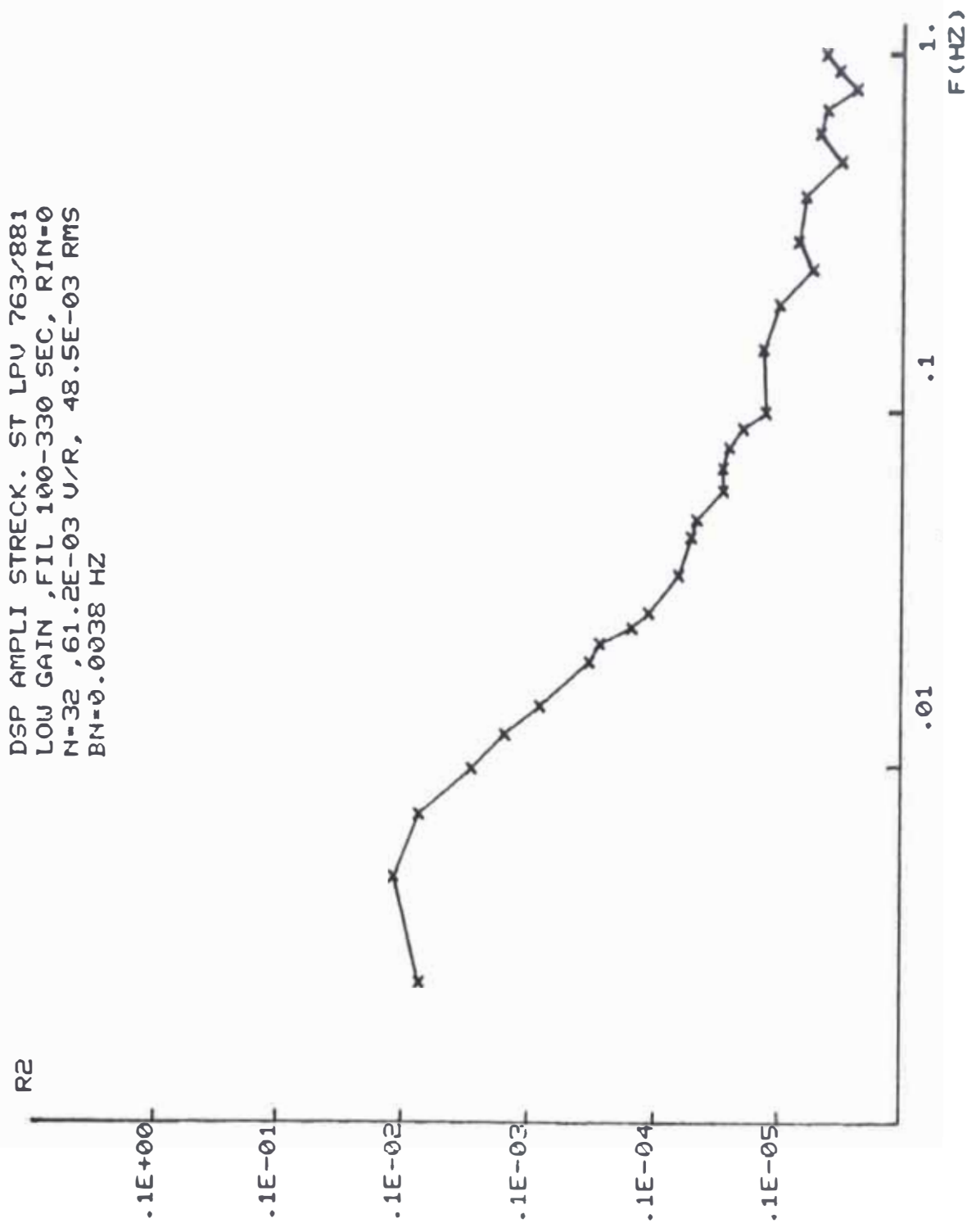


FIG. 32

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPU 763/881
FIL 200-330 SEC, LOW GAIN 92 DB, RIN=0
N=32 IT. ,CTE 61.2E-03 V/R, BN=0.0038 HZ
35.8E-03 RMS

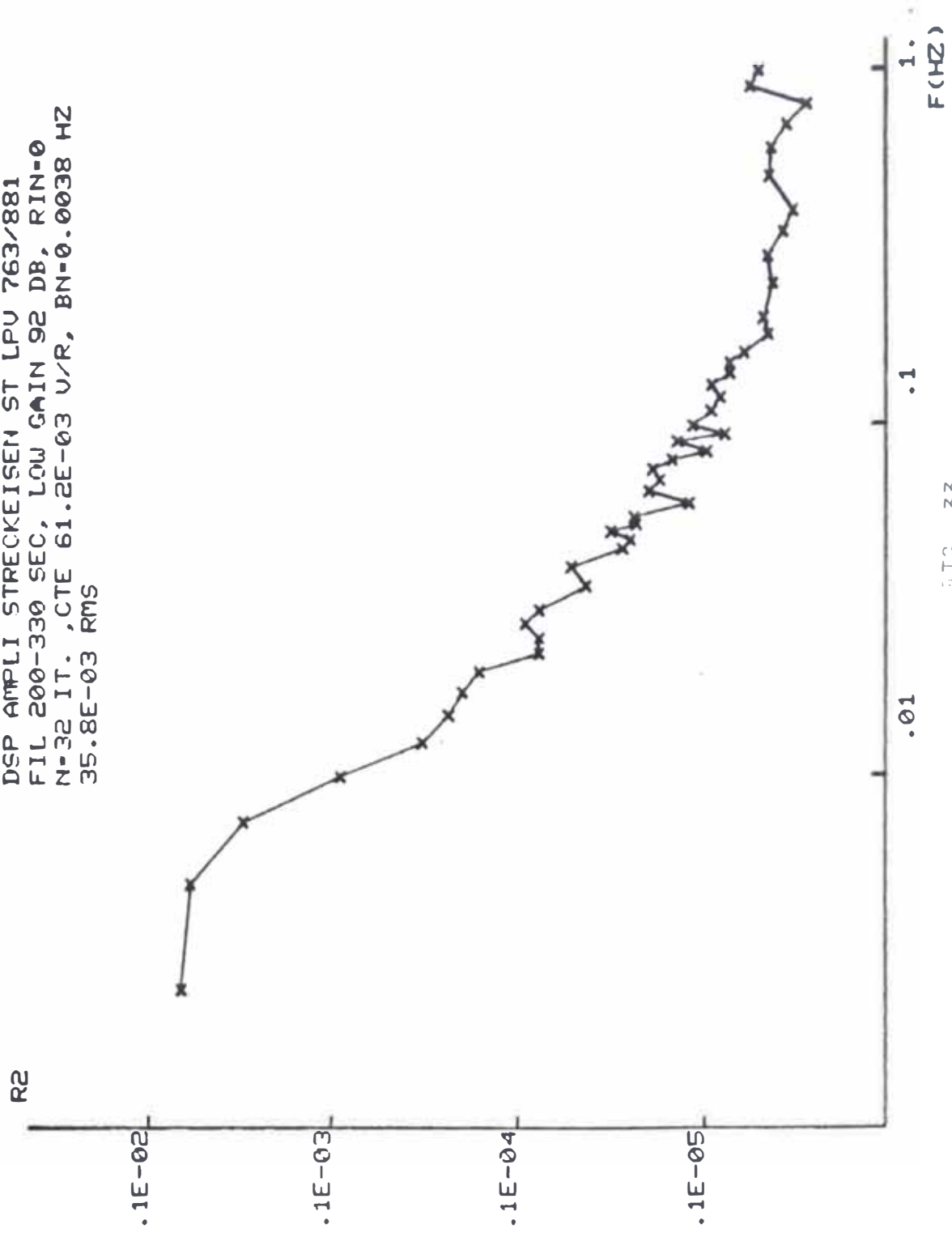


FIG. 33

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPV 763/881
FIL 0.2-330 SEC, LOW GAIN, 92DB, RIN=0
N=64 IT, CTE 433E-03 V/R , BN=0.188 HZ
9.18E-03 RMS

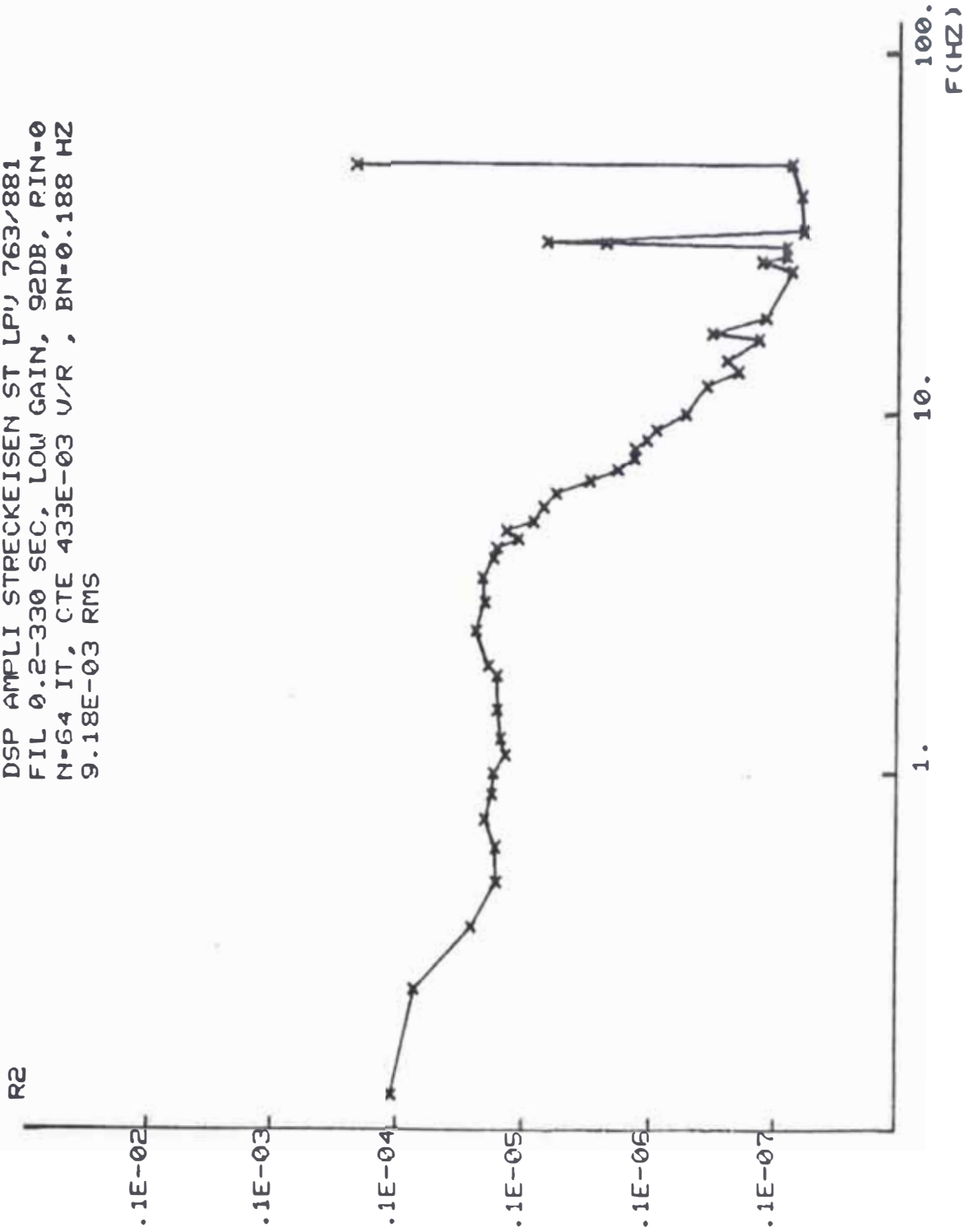


FIG. 24

DSP AMPLI CHOPPER ST LPU 763/1180
RIN=2 K-OHM, N=128 IT.BN=0.188 HZ
539E-09 RMS

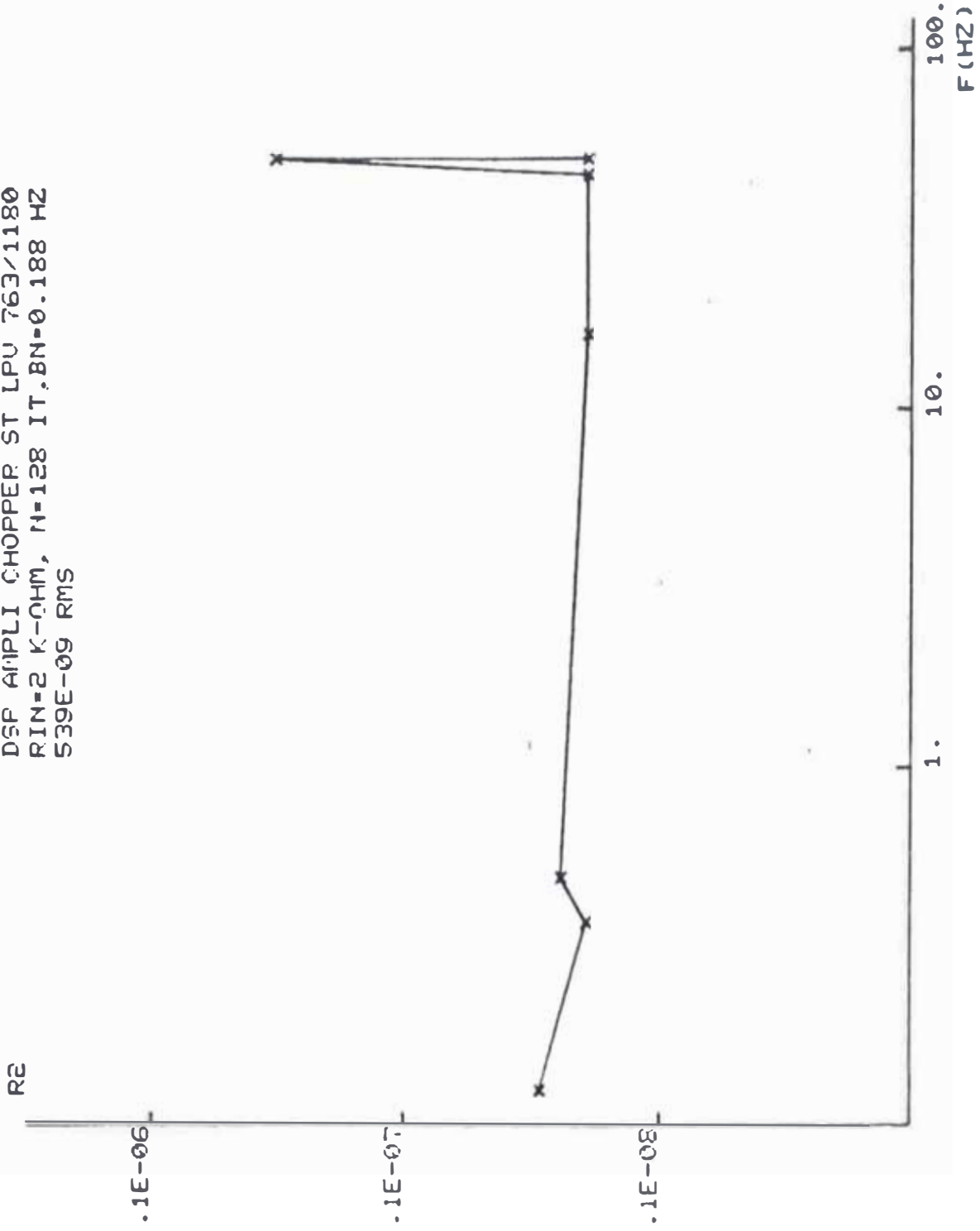


FIG. 35

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPU 763/1180
FIL 100-330 SEC ,HIGH GAIN, 126DB,
RIN=2 K-CHM, N=32IT ,188E-03 RMS
BN=0.0038 HZ

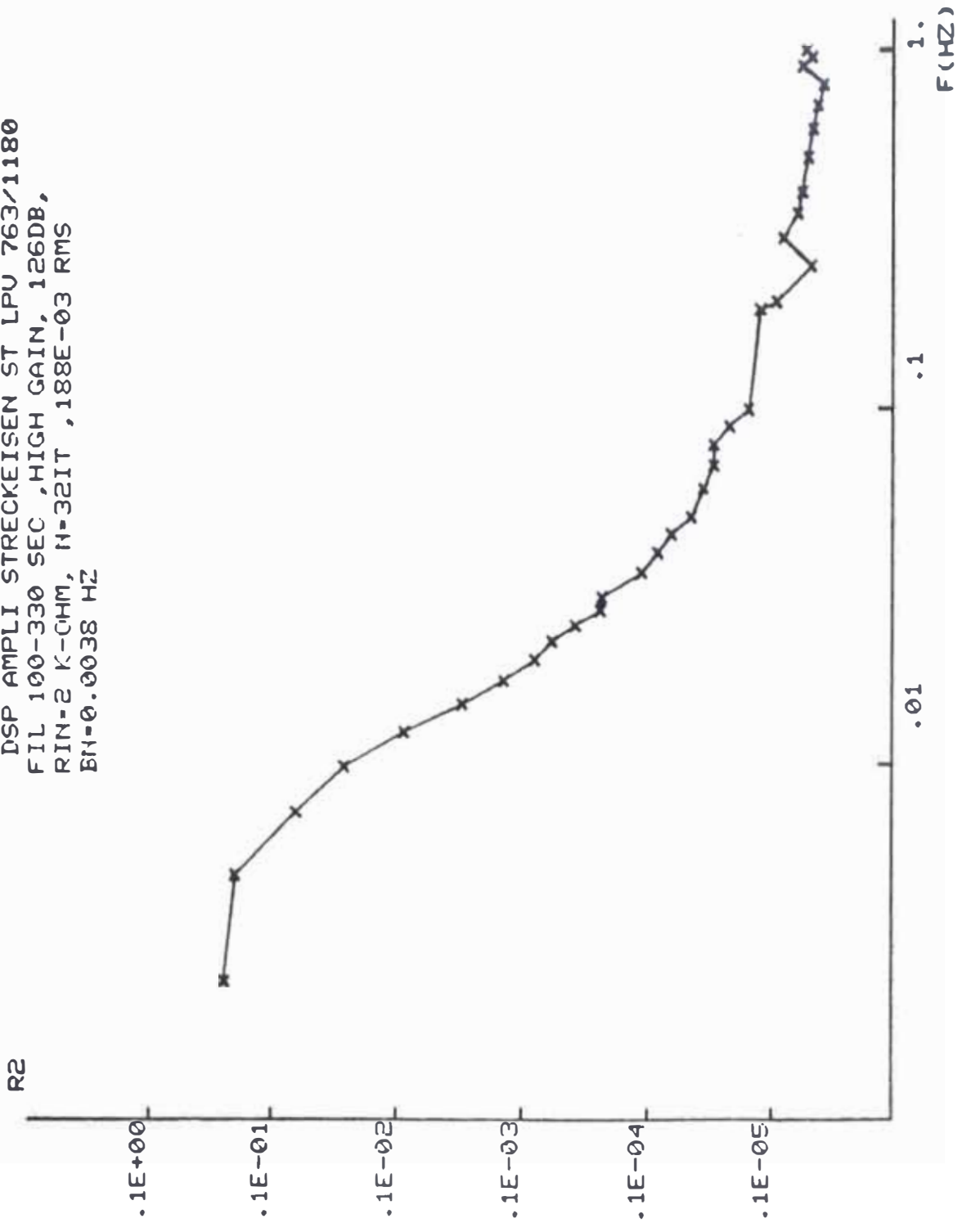


FIG. 36

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPU 763/1180
FIL 200-330 SEC, HIGH GAIN ,126 DB
RIN=2 K-OHM, N=32 IT, BN=0.0038 HZ
175E-03 RMS

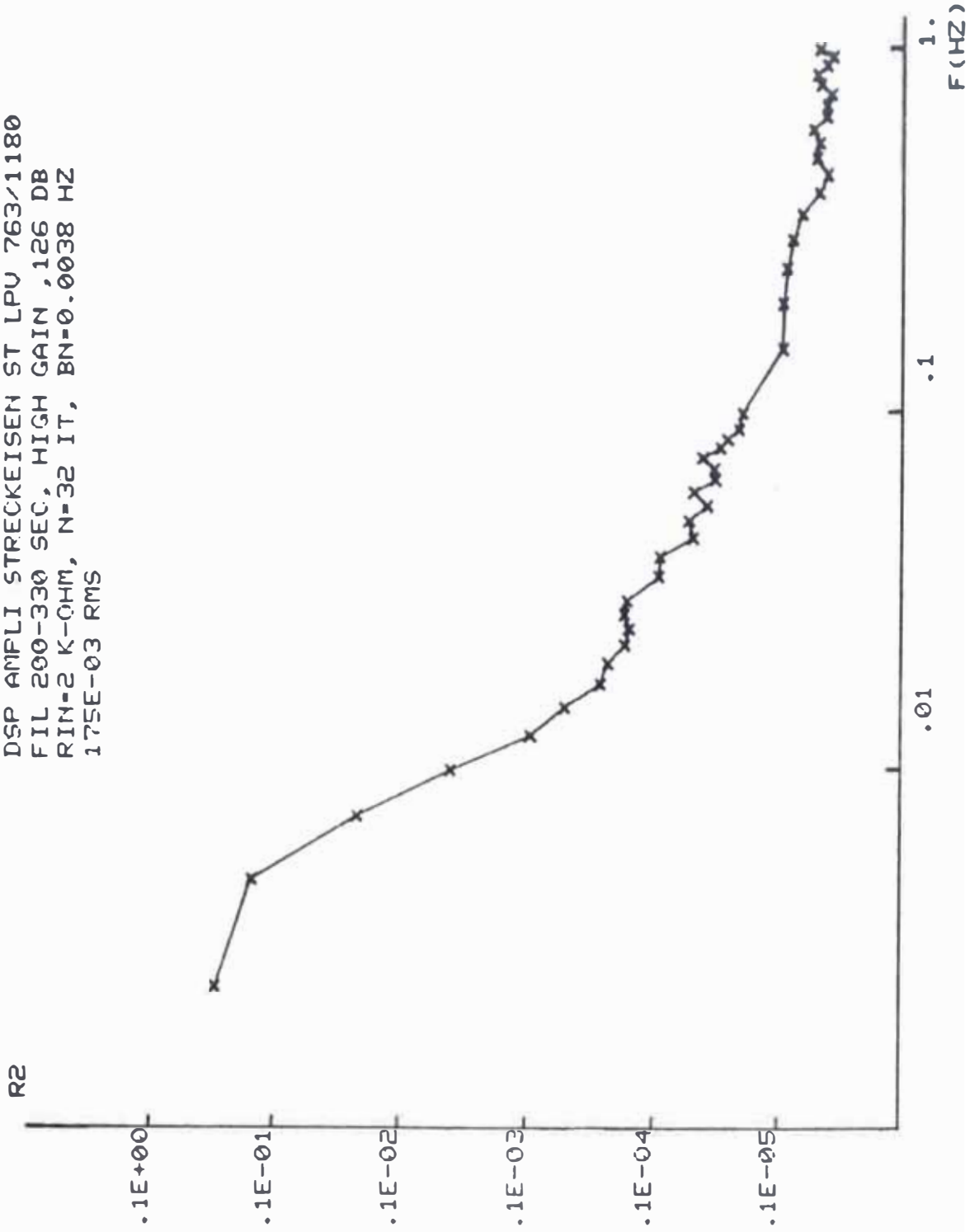


FIG. 37

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPU 763/1180
FIL 0.2-330 SEC, HIGH GAIN, 126 DB
RIN=2 K-OHM, N=64 IT, BN=0.188 HZ
562E-03 RMS

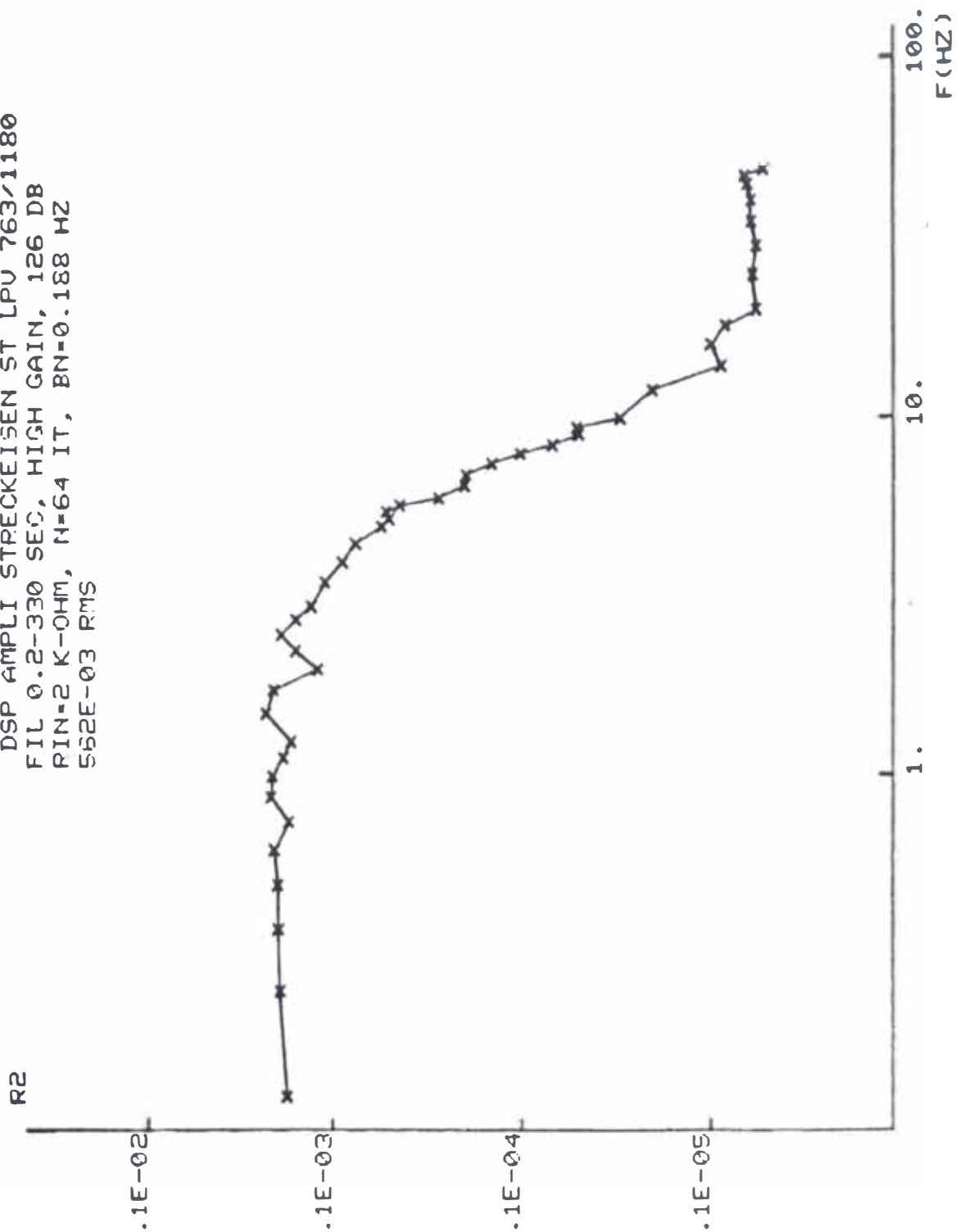


FIG. 38

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPU 763/1180
FIL-100-330 SEC, LOW GAIN, RIN=0
92 DB, N=32 IT, BN=0.0038 HZ
68.6E-03 RMS

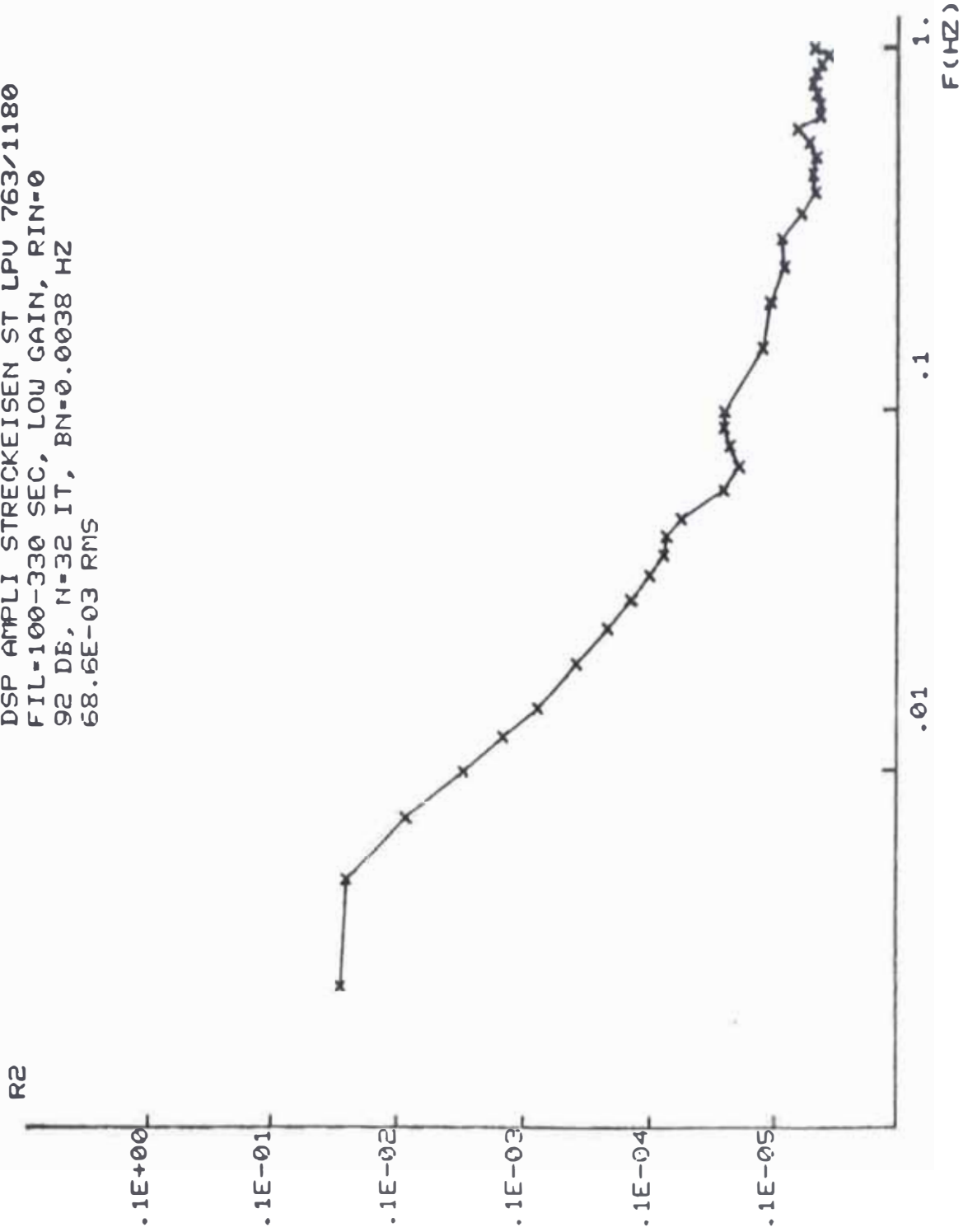


Fig. 29

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPU 763/1180
FIL-200-330 SEC, LOW GAIN, RIN=0
92 DB, N=32 IT, BN=0.0038 HZ
42.9E-03 RMS

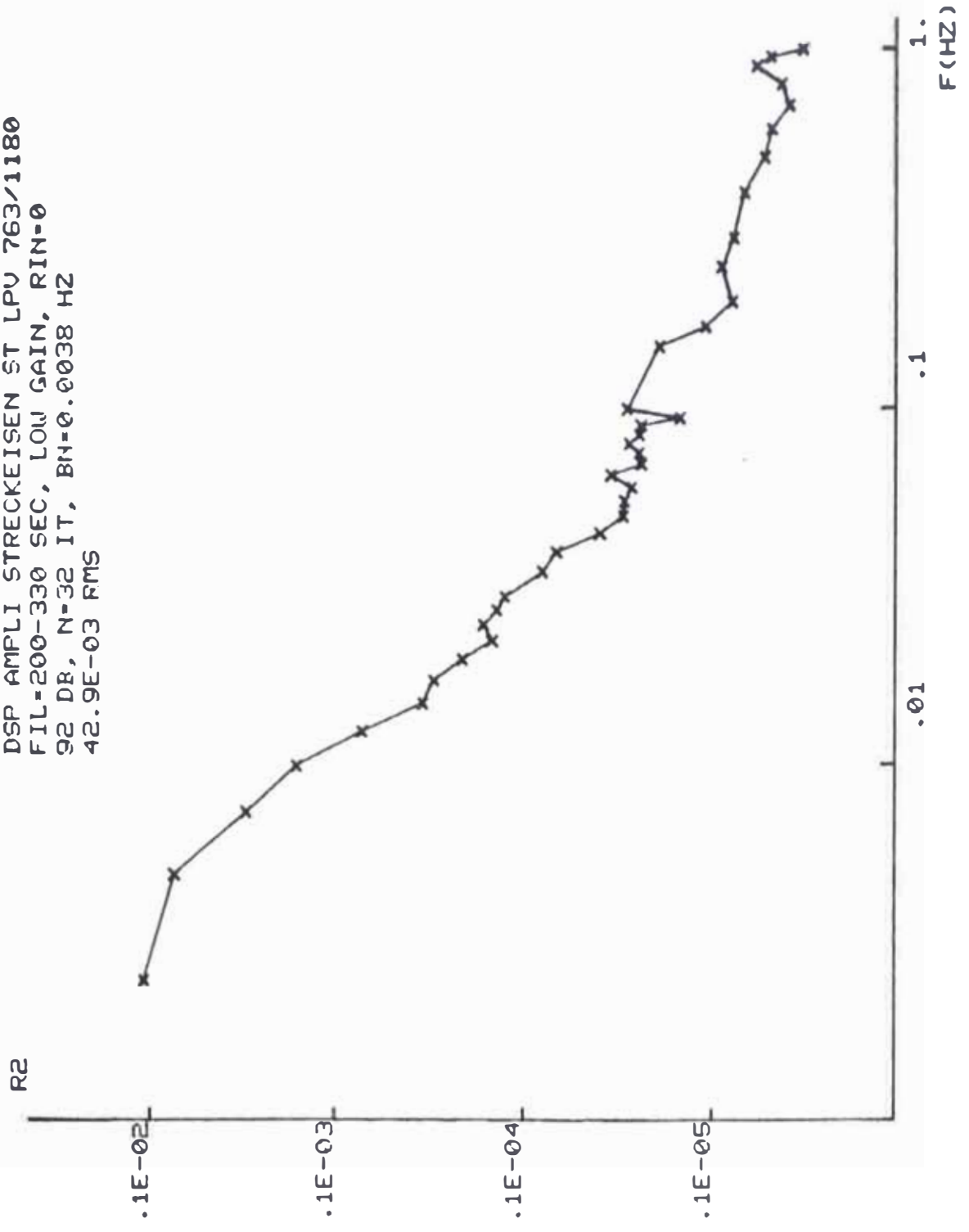


FIG. 40

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPU 763/1180
FIL 200-330 SEC, LOW GAIN ,RIN=0
92 DB, N=64 IT, BN=0.0038 HZ
94.4E-03 RMS

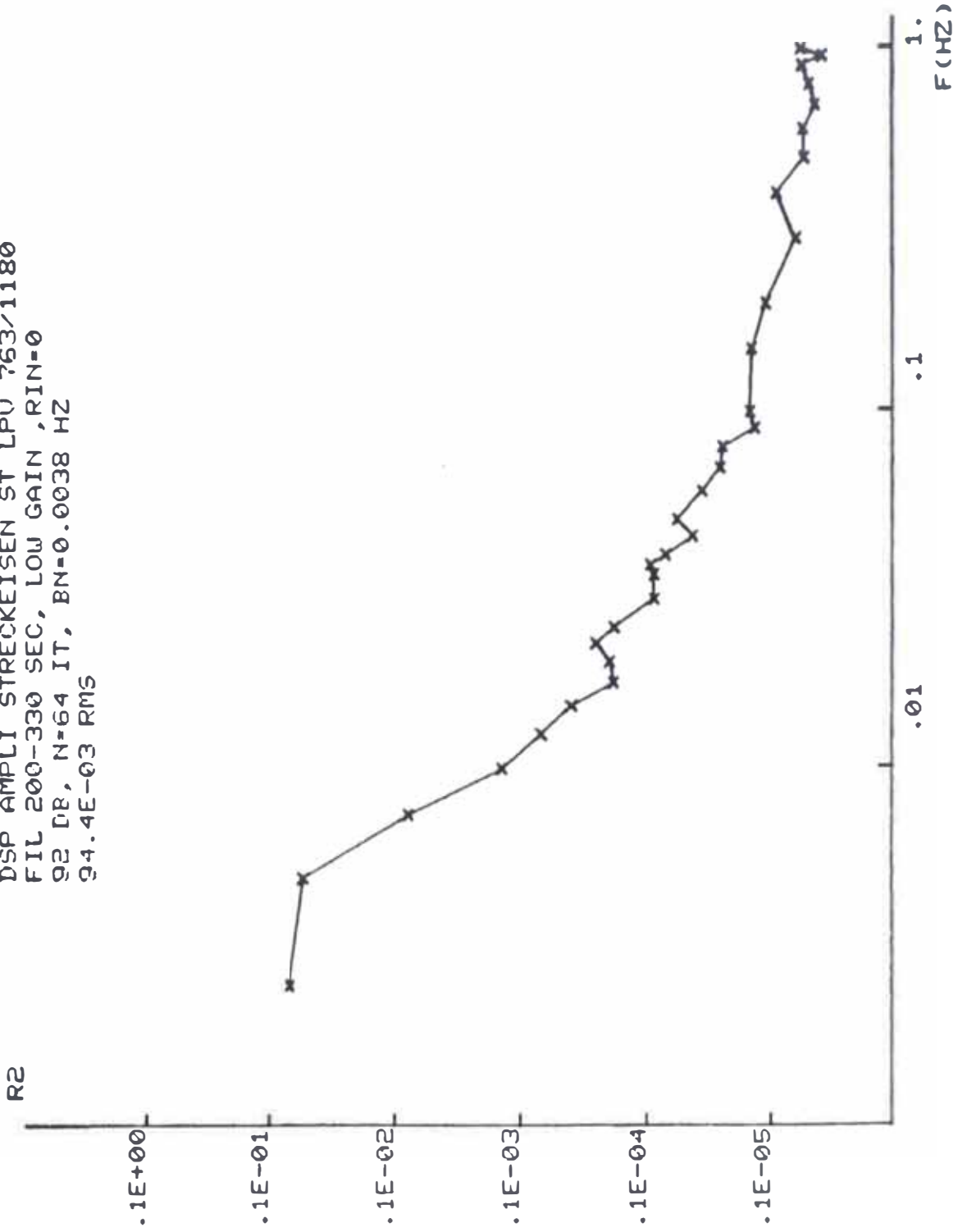


FIG. 41

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPU 763/1180
FIL-0.2-330 SEC, LOW GAIN, RIN=0
Q2 DB, N=64 IT, BN=0.188 HZ
554E-03 RMS

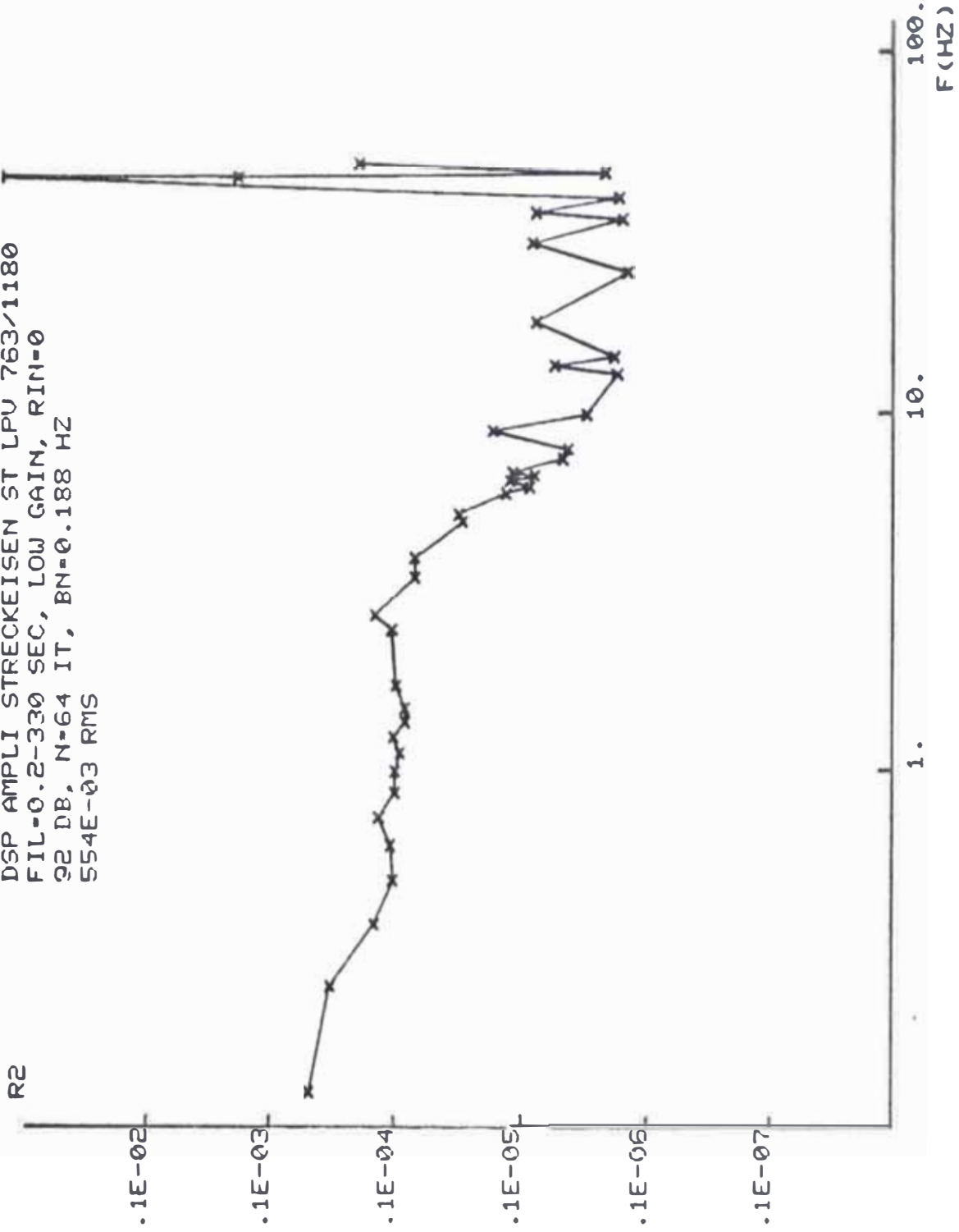


FIG. 42

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPU 763/1180
FIL-0.2-330 SEC, LOW GAIN, RIN=0
92 DB, N=64 IT, BN=0.188 HZ
554E-03 RMS

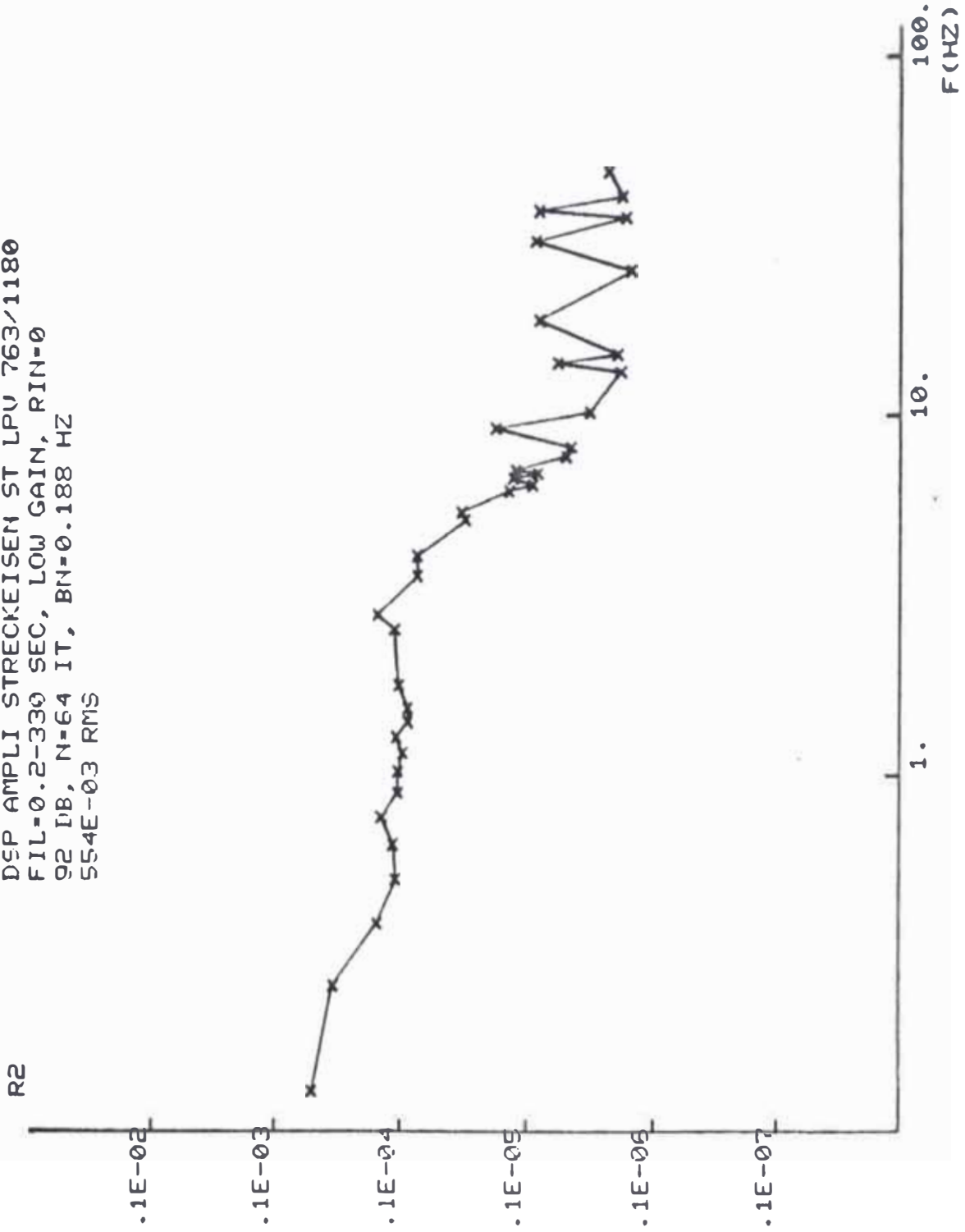


FIG. 43

DIAGRAMME SPECTRALE DE L'ANALYSE DE ...
 NICOLIT 440A, SENS 100 MV, CTE 366E-03 V/V
 N=32 11, BW=0 75 HZ, 251E-06 RMS

0.50	0.23E-04	20.00	0.13E-04	160.00	0.13E-04
1.00	0.21E-04	25.00	0.15E-04	170.00	0.11E-04
1.50	0.20E-04	30.00	0.15E-04	180.00	0.15E-04
2.00	0.21E-04	40.00	0.12E-04	190.00	0.17E-04
3.00	0.17E-04	45.00	0.10E-04	200.00	0.33E-04
4.00	0.18E-04	50.00	0.17E-04	0.0	0.0
5.00	0.16E-04	60.00	0.19E-04	0.0	0.0
6.00	0.21E-04	65.00	0.21E-04	0.0	0.0
7.00	0.17E-04	70.00	0.17E-04	0.0	0.0
8.00	0.20E-04	75.00	0.18E-04	0.0	0.0
9.00	0.17E-04	80.00	0.16E-04	0.0	0.0
10.00	0.17E-04	90.00	0.89E-05	0.0	0.0
11.00	0.17E-04	95.00	0.12E-04	0.0	0.0
12.00	0.18E-04	100.00	0.17E-04	0.0	0.0
13.00	0.16E-04	105.00	0.10E-04	0.0	0.0
14.00	0.12E-04	110.00	0.11E-04	0.0	0.0
15.00	0.16E-04	120.00	0.14E-04	0.0	0.0
16.00	0.19E-04	130.00	0.14E-04	0.0	0.0
17.00	0.16E-04	140.00	0.12E-04	0.0	0.0
18.00	0.14E-04	150.00	0.89E-05	0.0	0.0

Tabla 8

DSP AMPLI CHOPPER DU AMPLI STRECK
 ST LPV 763/881, RIN=2 K-OHM
 340B, 433.E-03 V/R, N=64
 BW=0.188 HZ, 1.01E-03 RMS

0.13	0.12E-07	11.00	0.27E-08	0.0	0.0
0.25	0.68E-08	12.00	0.43E-08	0.0	0.0
0.38	0.81E-08	13.00	0.53E-08	0.0	0.0
0.50	0.91E-08	14.00	0.53E-08	0.0	0.0
0.63	0.53E-08	15.00	0.64E-08	0.0	0.0
0.75	0.47E-08	16.00	0.75E-08	0.0	0.0
0.88	0.53E-08	17.00	0.58E-08	0.0	0.0
1.25	0.47E-08	18.00	0.58E-08	0.0	0.0
1.50	0.49E-08	19.00	0.54E-08	0.0	0.0
1.75	0.56E-08	20.00	0.35E-08	0.0	0.0
2.00	0.42E-08	25.00	0.30E-08	0.0	0.0
2.50	0.46E-08	30.00	0.31E-08	0.0	0.0
3.00	0.46E-08	35.00	0.29E-08	0.0	0.0
4.00	0.39E-08	40.00	0.29E-08	0.0	0.0
5.00	0.37E-08	45.00	0.42E-08	0.0	0.0
6.00	0.42E-08	47.00	0.52E-08	0.0	0.0
7.00	0.49E-08	48.00	0.77E-08	0.0	0.0
8.00	0.49E-08	49.00	0.51E-08	0.0	0.0
9.00	0.39E-08	49.50	0.56E-08	0.0	0.0
10.00	0.33E-08	50.00	0.11E-07	0.0	0.0

Tabla 9

AMPLIF STRECKEISEN ST LPV 763/881
 DENSITE SPECTRALE DE PUISSANCE
 FILT 100-330, HIGH GAIN, RIN 2K-OHM
 126DB, 61.2E-03V/R, 178E-03 RMS, N=32

0.00	0.19E-01	0.08	0.18E-05	0.0	0.0
0.00	0.16E-01	0.09	0.18E-05	0.0	0.0
0.01	0.74E-02	0.10	0.12E-05	0.0	0.0
0.01	0.32E-02	0.15	0.12E-05	0.0	0.0
0.01	0.78E-03	0.20	0.12E-05	0.0	0.0
0.02	0.65E-03	0.25	0.65E-06	0.0	0.0
0.02	0.35E-03	0.30	0.65E-06	0.0	0.0
0.02	0.12E-03	0.35	0.56E-06	0.0	0.0
0.02	0.80E-04	0.36	0.40E-06	0.0	0.0
0.02	0.56E-04	0.37	0.64E-06	0.0	0.0
0.03	0.37E-04	0.38	0.54E-06	0.0	0.0
0.03	0.30E-04	0.40	0.42E-06	0.0	0.0
0.04	0.16E-04	0.50	0.46E-06	0.0	0.0
0.04	0.97E-05	0.60	0.49E-06	0.0	0.0
0.05	0.53E-05	0.70	0.31E-06	0.0	0.0
0.05	0.67E-05	0.80	0.38E-06	0.0	0.0
0.05	0.49E-05	0.90	0.43E-06	0.0	0.0
0.06	0.45E-05	1.00	0.33E-06	0.0	0.0
0.06	0.29E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.07	0.27E-05	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 10

AMPLIF STRECKEISEN ST LPV 763/881
 DENSITE SPECTRALE DE PUISSANCE
 FILT 200-330, HIGH GAIN, RIN 2 K-OHM
 126DB, 121.E-03 RMS, 61.2E-03V/R, N=32

0.0025	0.11E-01	0.0525	0.40E-05	0.1025	0.19E-05
0.0050	0.85E-02	0.0550	0.46E-05	0.1100	0.14E-05
0.0075	0.15E-02	0.0575	0.56E-05	0.1200	0.19E-05
0.0100	0.27E-03	0.0600	0.51E-05	0.1300	0.12E-05
0.0125	0.13E-03	0.0625	0.31E-05	0.1400	0.14E-05
0.0150	0.46E-04	0.0650	0.27E-05	0.1500	0.11E-05
0.0175	0.35E-04	0.0675	0.35E-05	0.1600	0.11E-05
0.0200	0.21E-04	0.0700	0.40E-05	0.1800	0.10E-05
0.0225	0.15E-04	0.0725	0.40E-05	0.2000	0.66E-06
0.0250	0.18E-04	0.0750	0.31E-05	0.2200	0.61E-06
0.0275	0.15E-04	0.0775	0.24E-05	0.2400	0.53E-06
0.0300	0.14E-04	0.0800	0.28E-05	0.3000	0.42E-06
0.0325	0.12E-04	0.0825	0.26E-05	0.4000	0.43E-06
0.0350	0.84E-05	0.0850	0.27E-05	0.5000	0.43E-06
0.0375	0.88E-05	0.0875	0.19E-05	0.6000	0.29E-06
0.0400	0.80E-05	0.0900	0.25E-05	0.7000	0.38E-06
0.0425	0.58E-05	0.0925	0.18E-05	0.8000	0.24E-06
0.0450	0.43E-05	0.0950	0.16E-05	0.9000	0.60E-06
0.0475	0.51E-05	0.0975	0.15E-05	1.0000	0.28E-06
0.0500	0.46E-05	0.1000	0.21E-05	0.0	0.0

Tabla 11

DSP AMPLI STRECK. ST LPV 763/881
 FILT 0.2-330 SEC. HIGH GAIN IN=64 IT
 433 E-03 V/R, 121.E-03 RMS
 BN =0 183 HZ

0.17	0.60E-03	4.00	0.29E-03	30.00	0.25E-06
0.25	0.58E-03	4.50	0.27E-03	40.00	0.16E-06
0.38	0.61E-03	5.00	0.21E-03	45.00	0.15E-06
0.50	0.61E-03	5.50	0.17E-03	49.00	0.14E-06
0.63	0.67E-03	6.00	0.12E-03	50.00	0.91E-07
0.75	0.80E-03	6.50	0.82E-04	0.0	0.0
0.88	0.71E-03	7.00	0.62E-04	0.0	0.0
1.00	0.51E-03	7.50	0.59E-04	0.0	0.0
1.13	0.74E-03	8.00	0.39E-04	0.0	0.0
1.25	0.70E-03	8.50	0.22E-04	0.0	0.0
1.50	0.55E-03	9.00	0.20E-04	0.0	0.0
1.75	0.61E-03	9.50	0.18E-04	0.0	0.0
2.00	0.61E-03	10.00	0.11E-04	0.0	0.0
2.25	0.51E-03	11.00	0.83E-05	0.0	0.0
2.50	0.51E-03	12.00	0.51E-05	0.0	0.0
2.75	0.58E-03	13.00	0.29E-05	0.0	0.0
3.00	0.49E-03	14.00	0.25E-05	0.0	0.0
3.25	0.46E-03	15.00	0.14E-05	0.0	0.0
3.50	0.55E-03	20.00	0.38E-06	0.0	0.0
3.75	0.31E-03	25.00	0.17E-06	0.0	0.0

Tabla 12

DSP AMPLI STRECK. ST LPV 763/881
 LOW GAIN ,FIL 100-330 SEC. RIN=0
 N=32 ,61.2E-03 V/R, 48.5E-03 RMS
 BN=0 0038 HZ

0.0025	0.73E-03	0.2500	0.55E-06	0.0	0.0
0.0050	0.12E-02	0.3000	0.71E-06	0.0	0.0
0.0075	0.73E-03	0.4000	0.62E-06	0.0	0.0
0.0100	0.28E-03	0.5000	0.32E-06	0.0	0.0
0.0125	0.15E-03	0.6000	0.48E-06	0.0	0.0
0.0150	0.81E-04	0.7000	0.42E-06	0.0	0.0
0.0200	0.33E-04	0.8000	0.24E-06	0.0	0.0
0.0225	0.27E-04	0.9000	0.33E-06	0.0	0.0
0.0250	0.15E-04	1.0000	0.42E-06	0.0	0.0
0.0275	0.11E-04	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0350	0.65E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0450	0.52E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0500	0.47E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0600	0.29E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0700	0.29E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0800	0.26E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0900	0.20E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1000	0.13E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1500	0.14E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2000	0.10E-05	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 13

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPV 763/80
FIL 200-330 SEC, LOW GAIN, 92 05, RIN=C
N=32 IT, CTE 61 2E-03 V/R, BN=0 00
35.8E-03 RMS

0.0025	0.65E-03	0.0650	0.20E-05	0.5000	0.44E-06
0.0050	0.57E-03	0.0700	0.17E-05	0.6000	0.43E-06
0.0075	0.29E-03	0.0750	0.19E-05	0.7000	0.35E-06
0.0100	0.89E-04	0.0900	0.15E-05	0.8000	0.27E-06
0.0125	0.32E-04	0.0850	0.97E-06	0.9000	0.56E-06
0.0150	0.23E-04	0.0900	0.14E-05	1.0000	0.50E-06
0.0175	0.20E-04	0.0950	0.77E-06	0.0	0.0
0.0200	0.16E-04	0.1000	0.11E-05	0.0	0.0
0.0225	0.76E-05	0.1100	0.91E-06	0.0	0.0
0.0250	0.76E-05	0.1200	0.82E-06	0.0	0.0
0.0275	0.90E-05	0.1300	0.91E-06	0.0	0.0
0.0300	0.75E-05	0.1400	0.72E-06	0.0	0.0
0.0350	0.43E-05	0.1500	0.73E-06	0.0	0.0
0.0400	0.51E-05	0.1600	0.60E-06	0.0	0.0
0.0450	0.27E-05	0.1800	0.44E-06	0.0	0.0
0.0475	0.25E-05	0.2000	0.47E-06	0.0	0.0
0.0500	0.32E-05	0.2500	0.42E-06	0.0	0.0
0.0525	0.23E-05	0.3000	0.45E-06	0.0	0.0
0.0550	0.24E-05	0.3500	0.37E-06	0.0	0.0
0.0600	0.12E-05	0.4000	0.32E-06	0.0	0.0

Tabla 14

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPV 763/881
FIL 0.2-330 SEC, LOW GAIN, 9206, RIN=C
N=64 IT, CTE 433E-03 V/R, BN=0.188 HZ
9.18E-03 RMS

0.13	0.11E-04	5.00	0.83E-06	30.00	0.23E-06
0.25	0.72E-05	5.50	0.69E-06	30.13	0.66E-06
0.38	0.25E-05	6.00	0.55E-06	32.00	0.60E-06
0.50	0.16E-05	6.50	0.30E-06	40.00	0.63E-06
0.63	0.16E-05	7.00	0.18E-06	49.00	0.76E-06
0.75	0.20E-05	7.50	0.14E-06	50.00	0.21E-04
0.88	0.17E-05	8.00	0.13E-06	0.0	0.0
1.00	0.17E-05	8.50	0.11E-06	0.0	0.0
1.13	0.14E-05	9.00	0.92E-07	0.0	0.0
1.25	0.15E-05	10.00	0.54E-07	0.0	0.0
1.50	0.16E-05	12.00	0.37E-07	0.0	0.0
1.88	0.16E-05	13.13	0.20E-07	0.0	0.0
2.00	0.19E-05	14.13	0.25E-07	0.0	0.0
2.50	0.23E-05	16.13	0.14E-07	0.0	0.0
3.00	0.20E-05	16.75	0.34E-07	0.0	0.0
3.50	0.21E-05	18.38	0.12E-07	0.0	0.0
4.00	0.17E-05	24.75	0.75E-08	0.0	0.0
4.25	0.16E-05	26.25	0.13E-07	0.0	0.0
4.50	0.11E-05	27.13	0.83E-08	0.0	0.0
4.75	0.14E-05	29.00	0.81E-08	0.0	0.0

Tabla 15

DSP AMPLI CHOPPER ST LPV 763/1180
RIN=2 K-OHM, N=128 IT, BN=0.188 HZ
539E-09 RMS

0.13	0.29E-08	0.0	0.0	0.0	0.0
0.38	0.19E-08	0.0	0.0	0.0	0.0
0.50	0.24E-08	0.0	0.0	0.0	0.0
16.38	0.19E-08	0.0	0.0	0.0	0.0
45.50	0.19E-08	0.0	0.0	0.0	0.0
50.00	0.31E-07	0.0	0.0	0.0	0.0
50.50	0.19E-08	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 16

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPV 763/1180
FIL 100-330 SEC ,HIGH GAIN, 126DB,
RIN=2 K-OHM, N=32IT ,188E-03 RMS
BN=0 0038 HZ

0.0025	0.24E-01	0.1000	0.15E-05	0.0	0.0
0.0050	0.19E-01	0.1900	0.12E-05	0.0	0.0
0.0075	0.63E-02	0.2000	0.89E-06	0.0	0.0
0.0100	0.26E-02	0.2500	0.47E-06	0.0	0.0
0.0125	0.85E-03	0.3000	0.79E-06	0.0	0.0
0.0150	0.29E-03	0.3500	0.60E-06	0.0	0.0
0.0175	0.14E-03	0.4000	0.55E-06	0.0	0.0
0.0200	0.77E-04	0.5000	0.49E-06	0.0	0.0
0.0225	0.56E-04	0.6000	0.45E-06	0.0	0.0
0.0250	0.37E-04	0.7000	0.41E-06	0.0	0.0
0.0275	0.23E-04	0.8000	0.36E-06	0.0	0.0
0.0300	0.23E-04	0.9000	0.54E-06	0.0	0.0
0.0350	0.11E-04	0.9500	0.46E-06	0.0	0.0
0.0400	0.82E-05	1.0000	0.51E-06	0.0	0.0
0.0450	0.64E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0500	0.44E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0600	0.35E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0700	0.29E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0800	0.29E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0900	0.22E-05	0.0	0.0	0.0	0.0

READY

Tabla 17

OSP AMPLI STRECKEISEN ST LPV 763/110
 FIL 200-330 SEC, HIGH GAIN, 126 DB
 RIN=2 K-OHM, N=32 IT, BN=0 0038 Hz
 175E-03 RMS

0.0025	0.09E-01	0.0750	0.42E-05	0.9000	0.41E-06
0.0050	0.15E-01	0.0800	0.30E-05	0.9500	0.37E-06
0.0075	0.22E-02	0.0850	0.26E-05	1.0000	0.48E-06
0.0100	0.39E-03	0.0900	0.21E-05	0.0	0.0
0.0125	0.91E-04	0.1000	0.20E-05	0.0	0.0
0.0150	0.49E-04	0.1500	0.95E-06	0.0	0.0
0.0175	0.26E-04	0.2000	0.93E-06	0.0	0.0
0.0200	0.23E-04	0.2500	0.88E-06	0.0	0.0
0.0225	0.17E-04	0.3000	0.78E-06	0.0	0.0
0.0250	0.16E-04	0.3500	0.66E-06	0.0	0.0
0.0275	0.17E-04	0.4000	0.48E-06	0.0	0.0
0.0300	0.16E-04	0.4500	0.41E-06	0.0	0.0
0.0350	0.92E-05	0.5000	0.50E-06	0.0	0.0
0.0400	0.89E-05	0.5500	0.48E-06	0.0	0.0
0.0450	0.49E-05	0.6000	0.53E-06	0.0	0.0
0.0500	0.53E-05	0.6500	0.42E-06	0.0	0.0
0.0550	0.38E-05	0.7000	0.42E-06	0.0	0.0
0.0600	0.49E-05	0.7500	0.39E-06	0.0	0.0
0.0650	0.33E-05	0.8000	0.47E-06	0.0	0.0
0.0700	0.34E-05	0.8500	0.50E-06	0.0	0.0

Tabla 18

OSP AMPLI STRECKEISEN ST LPV 763/1180
 FIL 0.2-330 SEC, HIGH GAIN, 126 DB
 RIN=2 K-OHM, N=64 IT, BN=0.188 HZ
 562E-03 RMS

0.13	0.18E-03	5.00	0.54E-04	35.00	0.60E-06
0.25	0.19E-03	5.25	0.49E-04	40.00	0.60E-06
0.38	0.20E-03	5.50	0.51E-04	44.50	0.62E-06
0.50	0.20E-03	5.75	0.43E-04	47.00	0.65E-06
0.63	0.20E-03	6.00	0.27E-04	49.00	0.51E-06
0.75	0.17E-03	6.50	0.20E-04	0.0	0.0
0.88	0.21E-03	7.00	0.19E-04	0.0	0.0
1.00	0.21E-03	7.50	0.14E-04	0.0	0.0
1.13	0.18E-03	8.00	0.10E-04	0.0	0.0
1.25	0.17E-03	8.50	0.68E-05	0.0	0.0
1.50	0.22E-03	9.00	0.49E-05	0.0	0.0
1.75	0.21E-03	9.50	0.51E-05	0.0	0.0
2.00	0.12E-03	10.00	0.30E-05	0.0	0.0
2.25	0.16E-03	12.00	0.20E-05	0.0	0.0
2.50	0.19E-03	14.00	0.87E-06	0.0	0.0
2.75	0.16E-03	16.00	0.98E-06	0.0	0.0
3.00	0.13E-03	18.00	0.82E-06	0.0	0.0
3.50	0.11E-03	20.00	0.55E-06	0.0	0.0
4.00	0.88E-04	25.00	0.59E-06	0.0	0.0
4.50	0.74E-04	30.00	0.56E-06	0.0	0.0

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPV 763/1187
FIL=100-330 SEC, LOW GAIN, RIN=0
92 DB, N=32 IT, BN=0.0038 HZ
68.6E-03 RMS

0.0025	0.28E-02	0.2500	0.84E-06	0.0	0.0
0.0050	0.25E-02	0.3000	0.89E-06	0.0	0.0
0.0075	0.84E-03	0.3500	0.61E-06	0.0	0.0
0.0100	0.29E-03	0.4000	0.47E-06	0.0	0.0
0.0125	0.14E-03	0.4500	0.49E-06	0.0	0.0
0.0150	0.75E-04	0.5000	0.46E-06	0.0	0.0
0.0200	0.37E-04	0.5500	0.53E-06	0.0	0.0
0.0250	0.21E-04	0.6000	0.65E-06	0.0	0.0
0.0300	0.14E-04	0.6500	0.42E-06	0.0	0.0
0.0350	0.10E-04	0.7000	0.42E-06	0.0	0.0
0.0400	0.79E-05	0.7500	0.45E-06	0.0	0.0
0.0450	0.75E-05	0.8000	0.49E-06	0.0	0.0
0.0500	0.57E-05	0.8500	0.46E-06	0.0	0.0
0.0600	0.26E-05	0.9000	0.42E-06	0.0	0.0
0.0700	0.20E-05	0.9500	0.36E-06	0.0	0.0
0.0800	0.23E-05	1.0000	0.48E-06	0.0	0.0
0.0900	0.26E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1000	0.26E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1500	0.13E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2000	0.11E-05	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 20

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPV 763/1180
FIL 200-330 SEC, LOW GAIN, RIN=0
92 DB, N=64 IT, BN=0.0038 HZ
94.4E-03 RMS

0.0025	0.69E-02	0.1000	0.15E-05	0.0	0.0
0.0050	0.52E-02	0.1500	0.14E-05	0.0	0.0
0.0075	0.75E-03	0.2000	0.11E-05	0.0	0.0
0.0100	0.13E-03	0.3000	0.61E-06	0.0	0.0
0.0125	0.67E-04	0.4000	0.88E-06	0.0	0.0
0.0150	0.39E-04	0.5000	0.53E-06	0.0	0.0
0.0175	0.18E-04	0.6000	0.53E-06	0.0	0.0
0.0200	0.19E-04	0.7000	0.42E-06	0.0	0.0
0.0225	0.25E-04	0.8000	0.47E-06	0.0	0.0
0.0250	0.18E-04	0.9000	0.55E-06	0.0	0.0
0.0300	0.87E-05	0.9500	0.37E-06	0.0	0.0
0.0350	0.86E-05	1.0000	0.56E-06	0.0	0.0
0.0375	0.93E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0400	0.70E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0450	0.43E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0500	0.56E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0600	0.36E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0700	0.26E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0800	0.24E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0900	0.13E-05	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 21

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPV 7 0
 FIL=0.0-330 SEC, LOW GAIN, RIN=0
 92 DB, N=32 IT, BN=0 0038 HZ
 49 92-03 RMS

0.0025	0.11E-02	0.0750	0.24E-05	0.0	0.0
0.0050	0.72E-03	0.0800	0.28E-05	0.0	0.0
0.0075	0.29E-03	0.0950	0.24E-05	0.0	0.0
0.0100	0.16E-03	0.0900	0.24E-05	0.0	0.0
0.0125	0.71E-04	0.0950	0.15E-05	0.0	0.0
0.0150	0.34E-04	0.1000	0.28E-05	0.0	0.0
0.0175	0.30E-04	0.1500	0.19E-05	0.0	0.0
0.0200	0.21E-04	0.1700	0.11E-05	0.0	0.0
0.0225	0.15E-04	0.2000	0.78E-06	0.0	0.0
0.0250	0.16E-04	0.2500	0.89E-06	0.0	0.0
0.0275	0.14E-04	0.3000	0.77E-06	0.0	0.0
0.0300	0.12E-04	0.4000	0.67E-06	0.0	0.0
0.0350	0.79E-05	0.5000	0.52E-06	0.0	0.0
0.0400	0.67E-05	0.6000	0.49E-06	0.0	0.0
0.0450	0.39E-05	0.7000	0.38E-06	0.0	0.0
0.0500	0.30E-05	0.8000	0.42E-06	0.0	0.0
0.0550	0.29E-05	0.9000	0.58E-06	0.0	0.0
0.0600	0.27E-05	0.9500	0.48E-06	0.0	0.0
0.0650	0.34E-05	1.0000	0.32E-06	0.0	0.0
0.0700	0.24E-05	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 22

DSP AMPLI STRECKEISEN ST LPV 763/1180
 FIL=0.2-330 SEC, LOW GAIN, RIN=0
 92 DB, N=64 IT, BN=0 188 HZ
 554E-03 RMS

0.13	0.48E-04	6.25	0.83E-06	0.0	0.0
0.25	0.32E-04	6.50	0.12E-05	0.0	0.0
0.38	0.14E-04	6.75	0.75E-06	0.0	0.0
0.50	0.10E-04	6.88	0.11E-05	0.0	0.0
0.63	0.11E-04	7.50	0.45E-06	0.0	0.0
0.75	0.13E-04	8.00	0.41E-06	0.0	0.0
0.88	0.98E-05	9.00	0.16E-05	0.0	0.0
1.00	0.96E-05	10.00	0.29E-06	0.0	0.0
1.13	0.89E-05	13.00	0.17E-06	0.0	0.0
1.25	0.10E-04	13.75	0.52E-06	0.0	0.0
1.38	0.80E-05	14.50	0.18E-06	0.0	0.0
1.50	0.80E-05	18.13	0.75E-06	0.0	0.0
1.75	0.96E-05	25.00	0.14E-06	0.0	0.0
2.50	0.10E-04	30.13	0.79E-06	0.0	0.0
2.75	0.14E-04	35.00	0.15E-06	0.0	0.0
3.50	0.67E-05	36.63	0.74E-06	0.0	0.0
4.00	0.67E-05	40.00	0.16E-06	0.0	0.0
5.00	0.28E-05	47.00	0.21E-06	0.0	0.0
5.25	0.30E-05	0.0	0.0	0.0	0.0
6.00	0.13E-05	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 23

II.5.- Cálculo de las constantes de los sismómetros:

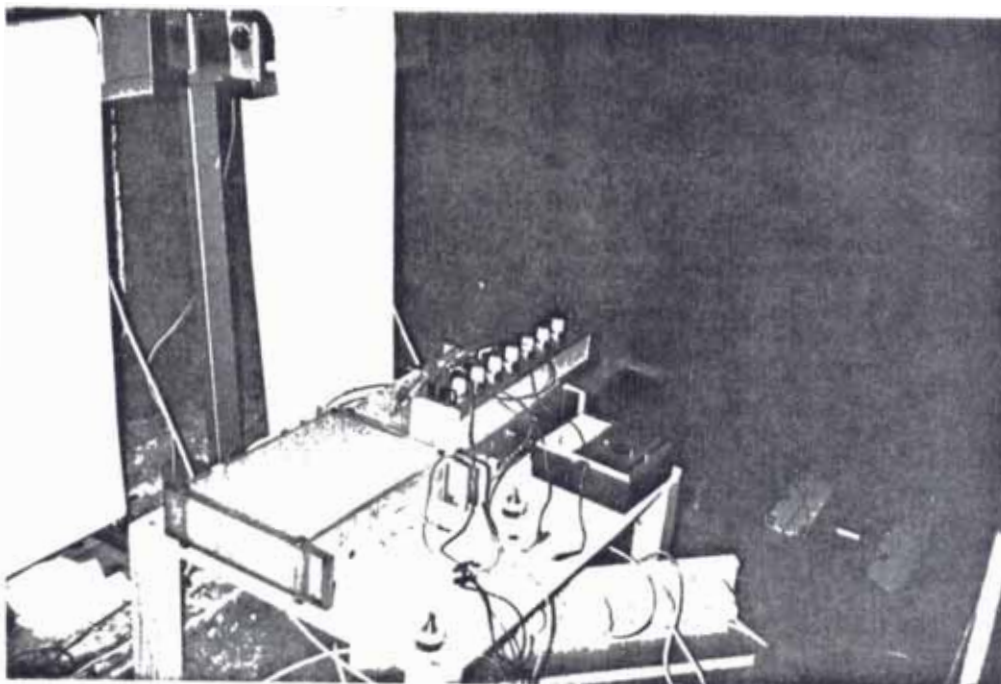
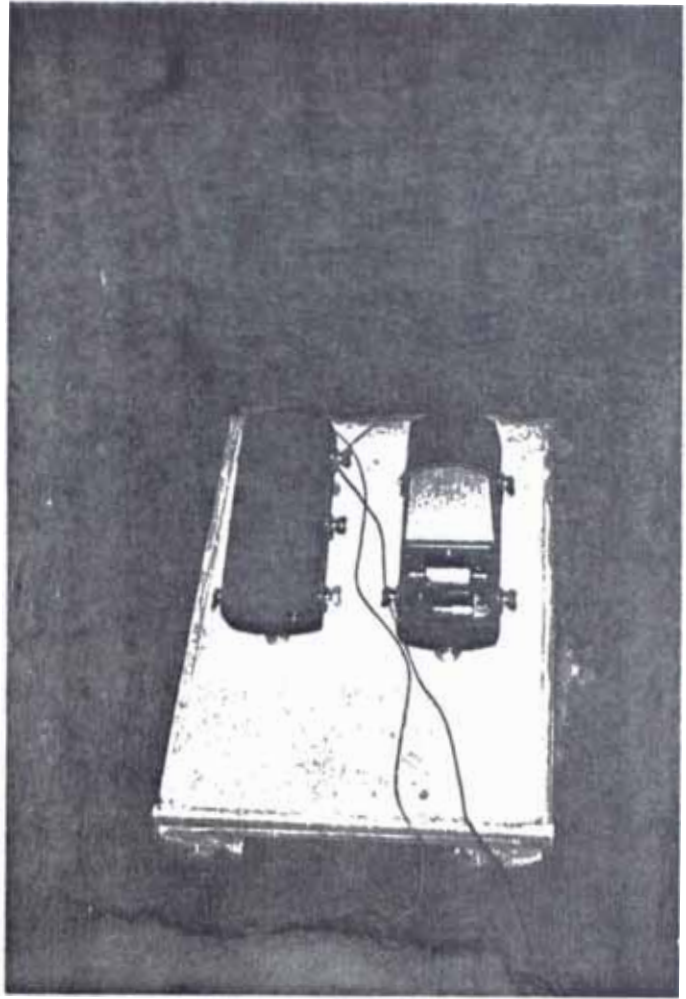
Dos ensayos fueron realizados para calcular las constantes de los sismómetros: Un primer ensayo preliminar fue realizado después de efectuar en el laboratorio las verificaciones y cableados respectivos entre los diferentes instrumentos, este primer ensayo fue efectuado en un pilar construido especialmente en el sub-suelo del edificio del Instituto de Geología de la Universidad de Rennes (ver fig. 44). El terreno considerado desde un inicio como no muy estable para este tipo de experiencia con carácter definitivo, nos darían la seguridad del modo del trabajo del sistema y del cálculo preliminar de sus características.

La instalación temporal de los sismómetros en la sala de sismómetros del Centro de Investigaciones Geofísicas de Garchy (ver fig. 45) nos permitieron calcular las constantes del sismómetro vertical y horizontal así como la respuesta de cada uno de los componentes del sistema, además, estos resultados permitirían efectuar comparaciones entre las respuestas obtenidas en Garchy y lo que en principio debería esperarse en el lugar definitivo escogido para la futura estación sismológica.

Después de instalado convenientemente los sismómetros SL 210/220 en sus respectivos pilares de calibración con el conjunto de instrumentación adecuado y teniendo en cuenta las recomendaciones propuestas por el constructor Teledyne [12] [13] se procedió al cálculo de las constantes de los sismógrafos.

Figura 44

Ensayo efectuado en el sub-suelo del edificio del Instituto de Geología de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Rennes I



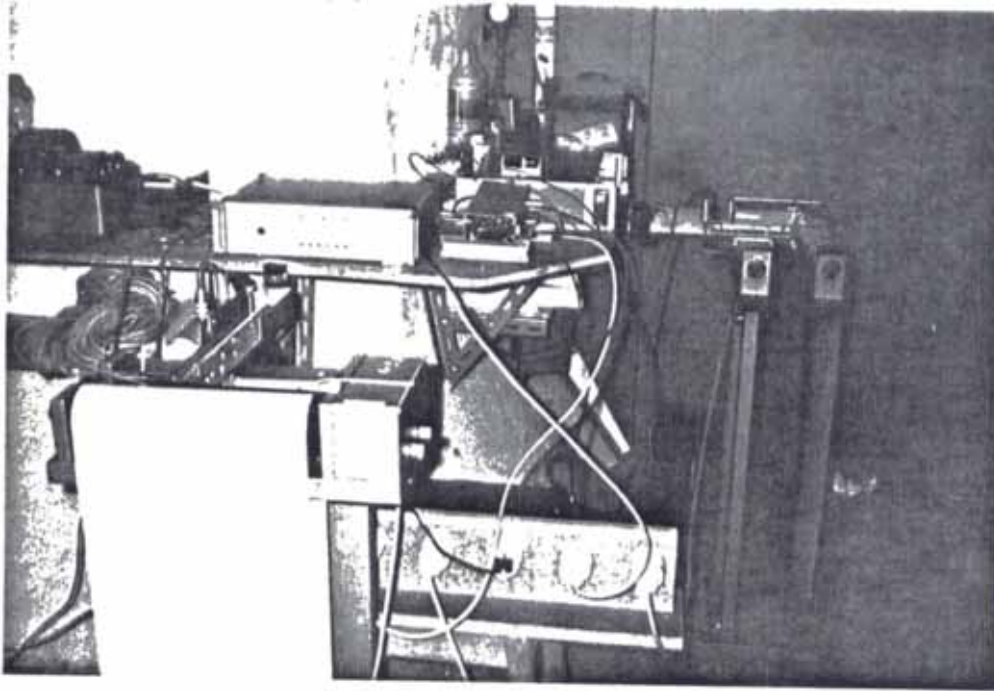


Fig. 45

Ensayo efectuado en la sala de Sismología en el CRC de Garchy.

II.5.1.- Calibración de los sismómetros Teledyne vertical (SL 210) y horizontal (SL 220)
Experiencia No. 7

Disponiendo los instrumentos como se muestra en la figura 46 y teniendo en cuenta la limitación de corriente ICAL a un valor máximo de 50 mA, se debe entonces:

a)-Medir el periodo natural del sismómetro con $R_0 = \infty$ R_S puede ser del orden de 2K a 3K para obtener 20mV pico a la salida de la bobina de señal.

-Medir el periodo natural y verificar que la relación de dos amplitudes sucesivas no sea superior a 1,35.

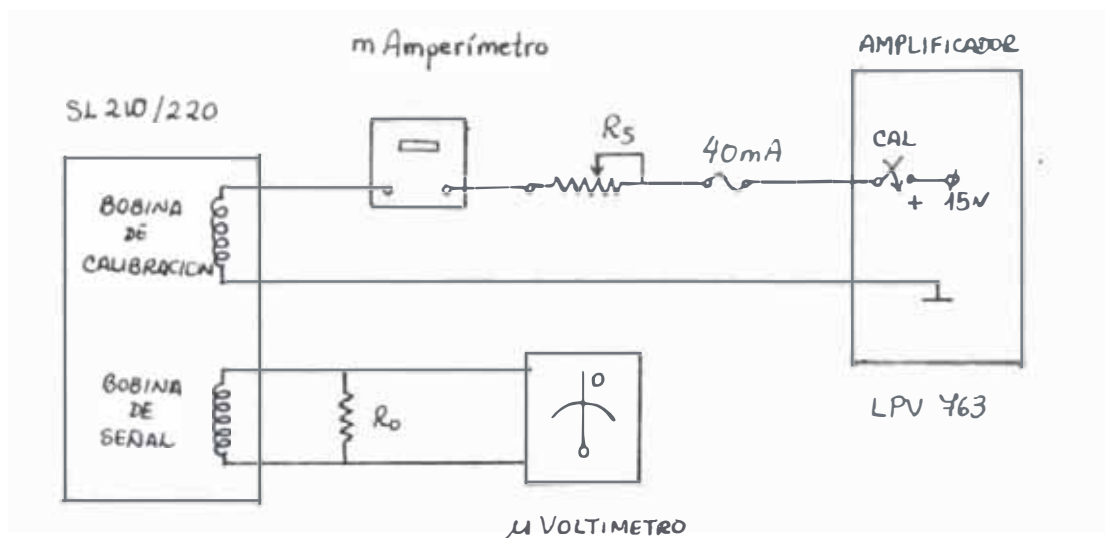


Fig. 46

b)-Con $R_0 = 11,5 \text{ k}$, ajustar la corriente de calibración para una salida inicial de 20 mV. R_5 puede ser del orden de 1,5 k. R_0 debe dar una amortiguamiento comprendido entre 10 y 25,5.

-Después de cerrar el interruptor de calibración, medir la primera impulsión positiva y negativa (V_1/V_2), éste valor nos dará según tablas proporcionadas por Teledyne, el valor del amortiguamiento actual con referencia al amortiguamiento crítico.

c)-Calcular el CDR: resistencia de amortiguamiento crítico a T_0 s (periodo natural) según la fórmula:

$$\text{CDR} = (R_c + R_d) \times \lambda = R_t \times \lambda$$

$$\text{CDRX} = \text{CDR} - R_c$$

Donde R_t = Resistencia total en Ohms.

R_c = Resistencia de la bobina de calibración.

R_d = Resistencia paralela (ó R_o) de amortiguamiento

CDR = Resistencia externa de amortiguamiento crítico

d)-Calcular la constante generadora G ($\frac{\text{Volt-seg}}{\text{m}}$) de la bobina principal

$$G = \sqrt{\frac{(25,13)(CDR)}{T_o}}$$

efectuar varios ensayos y tomar el valor promedio.

e)-Calcular la constante Motora g (Kewton/Amperios) para la bobina de calibración ("Calibration Coil") aplicando la ecuación siguiente:

$$g = G_{\text{cal coil}} = \frac{0,392 \frac{X_i}{X_w}}{i}$$

X_1 : Deflexión inicial del sismómetro medido en el voltímetro, respuesta a la corriente impuesta a la bobina de calibración.

i : Corriente de calibración en amperios de la bobina de calibración.

X_w : Deflexión inicial del sismómetro debido a la aplicación de una masa externa de 200 mg (SL 210) ó 400 mg (SL 220). La masa de 200 mg se superpone directamente sobre el orzo del péndulo del sismómetro (Fig. 47) mientras que la masa de 400 mg se instala como lo muestra la fig. 48. Cuando el sistema se encuentra en equilibrio (lo que puede detectarse según la estabilidad del indicador en cero del microvoltímetro), se retira impulsivamente la

masa externa la que tiene por efecto crear un movimiento vertical hacia arriba para el SL 210 y un movimiento hacia el exterior del imán (y hacia la izquierda) para el SL 220. Es necesario tener en cuenta de las polaridades de la primera impulsión leídas en el voltímetro cuando se levantan las masas de calibración de 200 y 400 mg.

f)-Determinar el movimiento del suelo equivalente a la acción de la bobina de calibración con la ayuda de un generador de señales sinusoidales de baja frecuencia, aplicando la fórmula se tiene:

$$y = \frac{G i \times 10^6}{4\pi^2 f_1^2 M} \quad (31)$$

Donde : y : es el movimiento de suelo en micrones pico-pico.

G : Constante motor de la bobina de calibración, Newton/amperios.

i : Corriente a través de la bobina de calibración, amperios pico-pico.

f_1 : Frecuencia de la señal de calibración en hertz.

M : Valor de la masa en Kg.

g)-Determinar la amplificación m (en inglés: magnification) del sismógrafo (conjunto constituido por el sismógrafo, amplificador y registrador), relación entre la señal registrada (A) y la amplitud (y) del movimiento del suelo.

$$m = \frac{A(\text{mm}) \times 10^3}{y \text{ en microns}}$$

O sea:

$$m = \frac{4^2 \times A m f_1^2 \times 10^3}{G i \times 10^6}$$

$$m = \frac{0,079 A}{G T_1^2 i} \quad (32)$$

Donde m : Amplificación del sistema

A : Amplitud registrada en mm.

f_1 : Frecuencia de la señal de calibración en Hz.

T_1 : Periodo de la señal de calibración en seg.

G : Constante motor de la bobina de calibración, Newton/amperios.

i : Corriente a través de la bobina de calibración, amperios pico-pico.

h)-Verificar el periodo del sismómetro (medido como el tiempo que separa los pasajes sucesivos del péndulo para un mismo valor de elongación) para diferentes valores de elongación medidos directamente en el indicador de nivel del sismómetro.

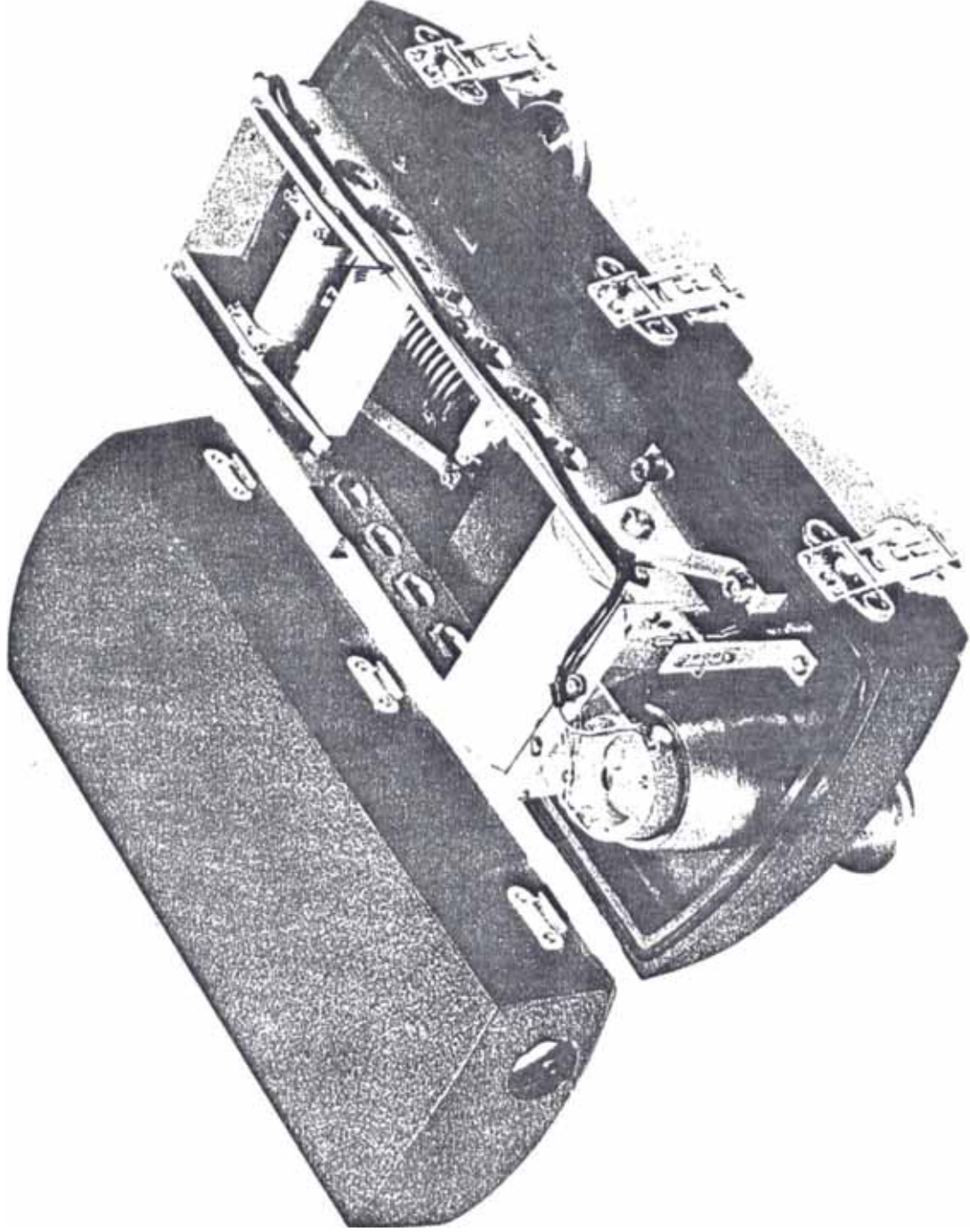


Fig. 47 - Sismomètre Teledyne SL 210

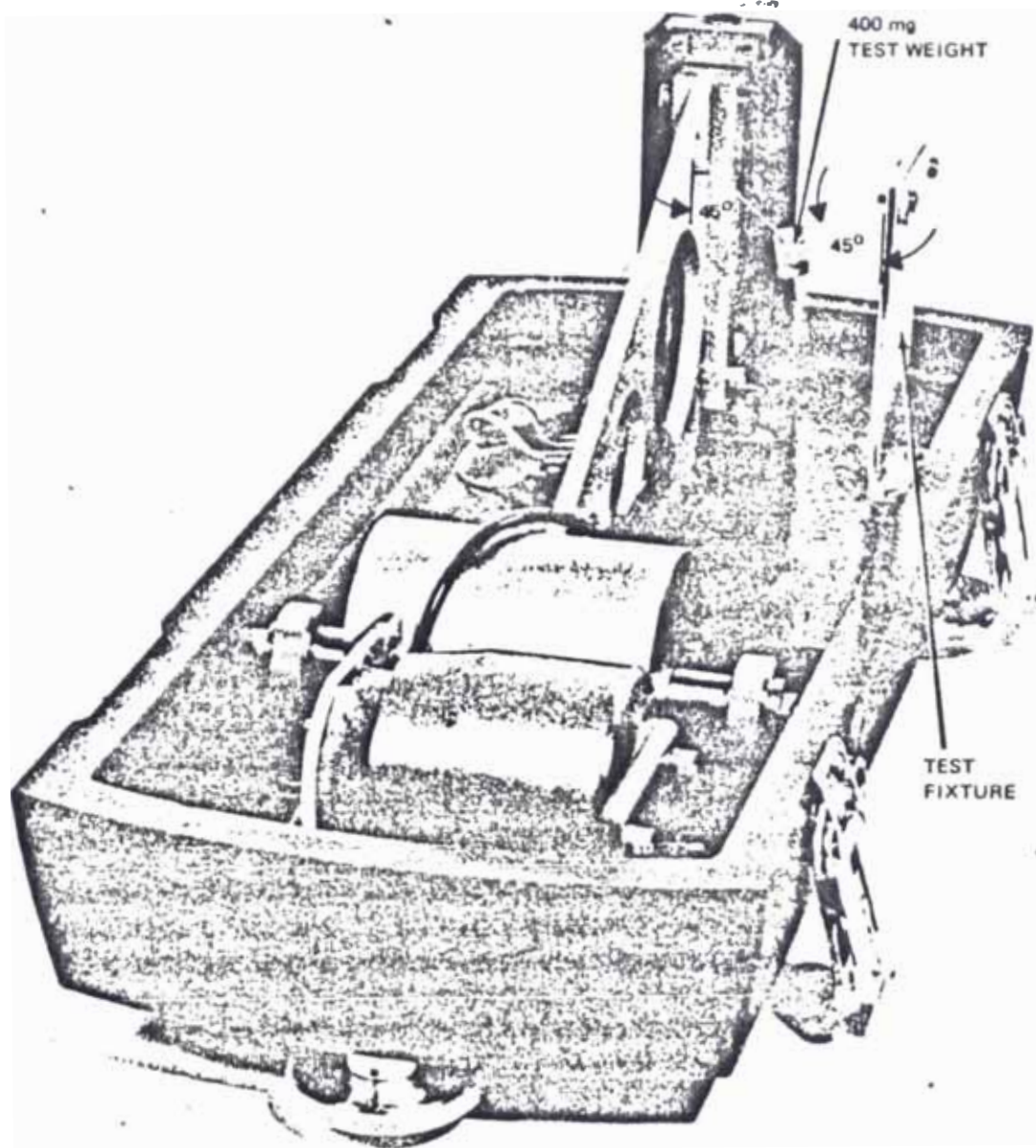


Figure 48 - Sismomètre Teledyne SL 220

II.5.2.- Resultados experimentales

II.5.2.1.- Sismómetro horizontal SL 220 serie 140

a) -Periodo natural del sismómetro a 20 seg. : relación de 2 amplitudes consecutivas = 1,15.

b) $V_1 = 18,5 \text{ mV}$, $V_2 = 3,8 \text{ mV}$, $i_{\text{cal}} = 9,92 \text{ mA}$, $R_S = 1,5 \text{ K}\Omega$, $R_O = 11,44 \text{ K}\Omega$

c) - $\lambda = 0,499$

$$\text{CDR} = (11,44 \text{ K}\Omega + 1195 \Omega) \times \lambda = 6284,9 \Omega$$

$$\text{CDRX} = 5090 \Omega$$

d) - $G_{\text{SIG}} = 88,86 \text{ Volt-sec/m}$

e) - $X_i = 12,2 \text{ mV}$

$$X_w = 13,5 \text{ mV}$$

$$i = 10,62 \text{ mA}$$

$$R_S = 1400 \Omega$$

de donde

$$G_{\text{cal coil}} = 0,033 \text{ newton/ampère}$$

II.5.2.2.- Sismómetro vertical SL 210 serie 144

a) -Periodo natural centrado a 23 seg., $i_{\text{CAL}} = 4,79 \text{ mA}$,

$$R_S = 2,9 \text{ K} , R_O = \infty$$

b) $V_1 = 22,2 \text{ mV}$, $V_2 = 3,2 \text{ mV}$, $i_{\text{CAL}} = 9,92 \text{ mA}$, $R_S = 1500 \Omega$, $R_O = 11,5 \text{ K}\Omega$

c) - $\lambda = 0,524$

$$R_T = 11500 + 1187 = 12687 \Omega$$

$$\text{CDR a 23 sec} = 6647 \Omega$$

$$\text{CDRX} = 5460 \Omega$$

d) - $G_{SIG} = 85,23 \text{ Volt-sec/m}$

e) - $X_i = 34,5 \text{ mV}$
 $i = 22,02 \text{ mA}$
 $X_w = 27,5 \text{ mV}$

$G_{cal \text{ coil}} = 0,0223 \text{ newton/ampère}$

Nota: El constructor (Teledyne) indica para $G_{cal \text{ coil}}$ un valor mínimo de 0,025. Nosotros encontramos que la bobina del sismómetro no se encontraba centrada en el imán.

Repetimos esta experiencia buscando un segundo método de manera que pudiéramos guardar los resultados de la calibración efectuada (ver fig. 49).

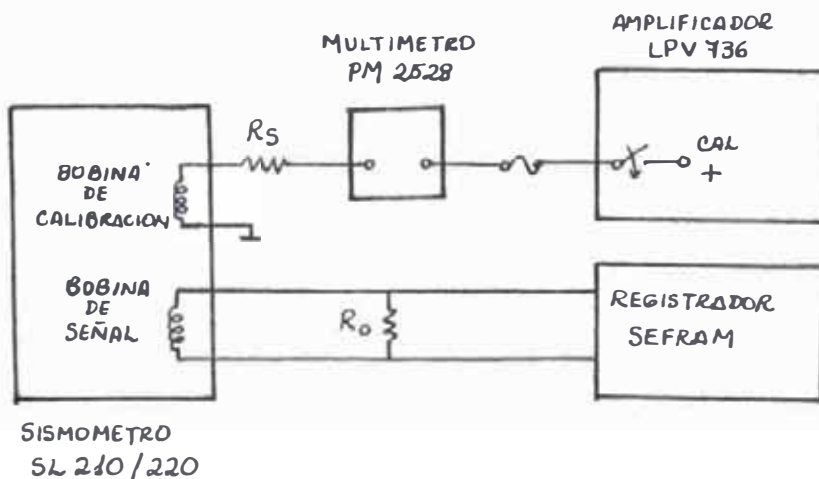


Fig. 49

II.5.2.3 Sismómetro horizontal 3L220 serie 140:

Esta experiencia fue efectuada con la ayuda de un registrador de señales SEFRAM (ver fig. 49). Exp. No. 8

a) Periodo natural promedio del sismómetro en 20 seg.

- Relación pico pico entre la cuarta y quinta pulsaciones (con $R_0 = \infty$) es (31,2 mV/28,48 mV) igual a 1,095 cumpliéndose la condición propuesta en II.5.1.a

b) Cálculo de β_0 :

Aplicando la fórmula:

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{A_0}{A_n} \quad \text{y} \quad \beta_0 = \frac{\delta/2\pi}{[1 + (\delta/2\pi)^2]^{1/2}} \quad (33)$$

donde: β_0 es el amortiguamiento mecánico

A_0 la amplitud inicial pico pico

A_n amplitud pico pico después de n oscilaciones.

Según los registros experimentales y para $n = 5$
 $A_0 = 38,36$ mV, $A_n = 27,2$ mV, $\delta = 0,0718$ y $\beta_0 = 0,01143$

c) aplicando el método sugerido por Teledyne se tiene:

Para $R_0 = 11,5K\Omega$ encontrar R_S limitadora de corriente en la bobina de calibración para obtener una amplitud pico de 20 mV en el registrador Sefram (ver II.5.1.c).

$R_S = 1150\Omega$, $i_{R_S} = 11,65$ mA, relación de amplitudes:

21 mV/4,2 mV (20% de overshoot) $\lambda = 0,455$ y $CDR = 5776,22\Omega$

donde $CDR = 4581,22\Omega$ con $R_c = 1195$ Ohm.

de donde:

$$G_{\eta} = 85,19 \frac{\text{Volt-seg}}{m} \quad \text{para 20 seg.}$$

G_{η} es el valor calculado según el método propuesto por Teledyne.

d) J. Dorel [8] propone calcular el promedio de una serie de valores de G y éstos para diferentes valores de R_0 , teniendo siempre en cuenta el valor de R_s limitadora de corriente en la bobina de calibración, obtener una salida tipo de 20 mV en el registrador Sefram.

De los resultados de la tabla de la Tabla No. 24 se obtiene: $C_1 = 288,68$, $CDR = 5773,60 \text{ Ohm.}$, $CDRX = 4578,60 \text{ Ohm.}$

Nota: Existe un factor de 1,404 entre las constantes de G Dorel y G Teledyne y para efectuar las comparaciones respectivas proponemos utilizar una constante mixta $G_{DT} = 85,3927$ producto del factor anteriormente mencionado.

e) Calibración del sismómetro horizontal utilizando la masa de 400 mgr: disponiendo la masa de calibración como lo muestra la figura 48 y con una resistencia R_0 igual al $CDRX$ se procedió con el método explicado anteriormente en II.5.1.e, obteniéndose para Δ_w el valor de 14,2 mV., Δ_i igual a 14,8 mV para una corriente de inyección de 14,731 mA. Utilizando la fórmula de Dorel:

$$G_D = \frac{0,028 \times 10^{-2}}{i_{amp}} \frac{\Delta_i}{X_m} \quad (34)$$

se encuentra que $G_D = 0,0198$, aplicando el factor 1,404 para uniformizar valores con Teledyne se tiene $G_{DT} = 0,0278 \text{ New/amp.}$

f) Comparación de resultados (Tabla No. 26):

Método Teledyne: $CDR_T = 5776,22 \Omega$, $CDRX_T = 4581,22 \Omega$

$G_T = 85,1928 \text{ Vol-seg/m,}$

Método Dorel: $CDR_D = 5773,60 \Omega$, $CDRX_D = 4578,60 \Omega$

$G_D = 60,821 \text{ Vol-seg/m, } G_{DT} = 85,3927 \text{ Vol-seg/m}$

$$S_{DT} = 0,0278 \text{ New/amp.}$$

Datos entregados por el fabricante:

$$CDR_f = 6004 \Omega, G_f = 86,85 \text{ Vol-seg/m}$$

$$R_f = 0,0297 \text{ New/amp.}$$

II.5.2.4.- Sismómetro vertical Teledyne SL210: Exp. No. 9

a) La primera relación pico a pico entre la cuarta y quinta pulsaciones para el sismómetro libre y con R_s igual a 2700 Ohm, i_{RS} tenemos: 25,8 mV/23,52 es decir un valor de 1,10, rango aceptado por el fabricante.

La relación entre las amplitudes X_5/X_0 (43,52 mV/23,24mV) nos dá un valor para $\delta = 0,1255$ y un $\beta_0 = 0,01996$.

b) Con $R_0 = 12K$ (Ver la tabla Número 27) $X_m = 23,24mV$
 $X_m = 2,64 \text{ mV}$ relación que nos dá 11,36% $\lambda = 0,569$

$$CDR = 7503,4 \Omega, CDRX = 6316 \Omega, G = 97,09 \text{ Volt-seg/m}$$

c) Los resultados de la tabla de la figura No. 25 nos da para: $C_1 = 355,48$ de valor promedio, $G_D = 67,485 \text{ Vol-seg/m}$
 $G_{DT} = 94,74 \text{ Vol-seg/m}$, $CDR_X = 5922,60 \Omega$, $CDR = 7109,60 \Omega$

d) Calibración con la masa de 200 mgr (ver fig. 47)
Disponiendo la masa de calibración de 200 mgr sobre el eje del péndulo (a 4 cm del punto de inflexión del péndulo) con una resistencia R_0 de 5922 Ω se obtiene una amplitud inicial pico de 18 mV en el registrador. Con un $R_s = 1100 \Omega$ se obtiene 17,44 mV pico para una corriente $i_{RS} = 12,162 \text{ mA}$ de donde $S_D = 0,0238 \text{ New/amp}$

Superponer la pequeña masa de calibración de 200 mgr. directamente sobre la masa del sismómetro (2 kg.) tiene por efecto que ésta última cae completamente quedándose definitivamente en esa posición hasta levantar la pequeña masa. Esta última acción dará una respuesta impulsiva en el registrador de 22,50 mV pico que es la misma respuesta a partir de 6 cm. del punto de inflexión del péndulo.

e) Comparación entre los diferentes valores experimentales.

Método Teledyne: $CDR_{\Gamma} = 7503,4 \Omega$, $CDRX_{\Gamma} = 6316,0 \Omega$

$$G_{\Gamma} = 97,09 \text{ Vol-seg/m}$$

Método Dorel : $CDR_D = 7109,6 \Omega$, $CDRX_D = 5922,6 \Omega$

$$G_{DT} = 94,74 \text{ Vol-seg/m}, E_D = 0,0238 \text{ New/amp}$$

Datos proporcionados por el fabricante (Ver tabla Número 27)

$$CDR = 6081,3 \Omega , CDRX = 4894,30 \Omega$$

$$G = 87,4 \text{ Vol-seg/m}, g = 0,028 \text{ New/amp}$$

CONCLUSIONES: Según los resultados obtenidos en las experiencias anteriores puede concluirse que:

Para el sismómetro horizontal $\beta_H = 1,8185$

y se cumple según (25) que:

$$\frac{V_H}{V_{sol}} = \frac{52,61}{\sqrt{\left(\frac{\Omega_0^2}{\omega^2} - 1\right)^2 + \frac{132\Omega_0^2}{\omega^2}}} ; \phi_H = -\text{arc tg} \frac{3,63 \Omega_0 \omega}{\Omega_0^2 - \omega^2} \quad (35)$$

y para el sismómetro vertical $\beta_V = 2,2508$

$$\frac{V_V}{V_{sol}} = \frac{57,42}{\sqrt{\left(\frac{\Omega_0^2}{\omega^2} - 1\right)^2 + 20,26 \frac{\Omega_0^2}{\omega^2}}} ; \phi_V = -\text{arc tg} \frac{4,50 \Omega_0 \omega}{\Omega_0^2 - \omega^2} \quad (36)$$

EXPERIENCE N°

8

BUT : SISMOMETRO HORIZONTAL SL 220

REMARQUES : $\beta_0 = 0,0114$, $R_{coil} = 1195 \Omega$
 $R_{TOT} = R_{coil} + R_0$; $\delta' = \ln X_m / X_m'$
 $\beta = \frac{\delta' / \pi}{\sqrt{1 + (\frac{\delta'}{\pi})^2}}$ $\beta = \beta_0 + \frac{C_1 I_0}{R_T}$



R ₀	R _{tot}	R _s	I _{rs}	X _m	X _m '	δ'	B	CI	G = 3.58√CI
6	7195	910	14.737	4.63	0.06	4.3460	0.8104	287.44	60.69
7	8195	910	14.737	5.10	0.20	3.238	0.71778	289.43	60.91
8	9195	1000	13.318	5.0	0.38	2.577	0.6342	286.32	60.57
9	10195	1000	13.318	5.34	0.59	2.2029	0.5741	286.83	60.63
10	11195	1100	12.152	5.16	0.75	1.9286	0.52317	286.45	60.59
11	12195	1150	11.641	5.2	0.92	1.7320	0.48281	287.42	60.69
12	13195	1200	11.172	5.0	1.08	1.5325	0.43842	281.70	60.08
15	16195	1400	9.622	4.93	1.42	1.2447	0.36834	289.0	60.86
18	19195	1500	8.997	5.0	1.78	1.0328	0.3123	288.77	60.835
20.	21195	1600	8.449	4.91	2.0	0.8981	0.2748	279.17	59.817
25	26195	1700	7.963	4.9	2.3	0.7563	0.2340	291.58	61.13
30	31195	1800	7.529	4.9	2.58	0.6415	0.2001	294.18	61.40
40	41195	1900	7.141	4.85	2.98	0.487	0.1532	292.01	61.176
50	51195	2000	6.791	4.92	3.3	0.3994	0.1261	293.55	61.33
60	61195	2050	6.628	4.92	3.51	0.3377	0.1069	292.02	61.17
70	71195	2100	6.473	4.96	3.69	0.2957	0.0937	292.96	61.27

$R_c = 1187 \Omega$, $F_0 = 0,01996$

BOIT 3 SISMOMETRO VERTICAL SL 210

Ko	Rtot	Rs	Irs	Xm	Xm'	δ'	β	C 1	$G=3.58 \sqrt{C1}$
9	10187	1200	11.175	5.8	0.1	4.06	0.7909	392.68	70.941
10	11187	1300	10.341	5.6	0.3	2.92	0.6808	369.64	68.829
11	12187	1300	10.341	5.98	0.47	2.54	0.6292	371.24	68.978
12	13187	1400	9.624	5.81	0.66	2.17	0.56924	362.16	68.13
15	16187	1600	8.451	5.6	1.1	1.627	0.46	356.13	67.559
18	19187	1800	7.532	5.36	1.48	1.2869	0.3791	344.52	66.449
20	21187	1800	7.532	5.5	1.7	1.1741	0.350	349.62	66.940
25	26187	1900	7.144	5.68	2.25	0.9260	0.2827	344.05	66.404
30	31187	2100	6.476	5.37	2.5	0.7645	0.2364	337.59	65.778
40	41187	2200	6.187	5.5	3.01	0.6028	0.1884	346.95	66.683
50	51187	2300	5.923	5.52	3.35	0.4994	0.1570	350.72	67.045
60	61187	2350	5.799	5.52	3.62	0.4219	0.1331	346.12	66.603
70	71187	2400	5.566	5.35	3.68	0.3741	0.1183	349.90	66.966


1. Customer _____ Sales Order _____
2. Assen by 990-23750-0101 Serial 140
3. Main coil part 990-33905-0101
4. Signal coil resistance 1195 ohms
5. Signal coil CDR 6004 ohms at 20.0 sec
6. Generator constant 86.95 volt-sec/meter
7. Calibration coil resistance 3.21 ohms
8. Calibration coil motor constant .0247 newtons/cm²

C. Box
Prepared by

10-28-37
Date

Q. C. Acceptance _____

Date _____

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN INCHES			CONTRACT	 GEOTECH A TELEDYNE COMPANY	1600 MILLER BLVD GARLAND, TEXAS 75042
TOLERANCES			DRAWN		TITLE
FRACTIONS	DECIMALS	ANGLES	CHECKED	CUSTOMER DATA	
$\frac{1}{16}$.005	±	PROTO	HORIZONTAL COIL-PEP	
MATERIAL			1ST PROD	MOD 1250	
FINISH			PROD	SIZE	CODE IDENT NO
			PROGRAM MANAGER	A	99019
			OTHER APPR	DWG NO	90-
				SCALE	






APPLICATION		REVISIONS			
NEXT ASSY	USED ON	LTR	DESCRIPTION	DATE	APPROV.
	2800				

1. Customer _____ Serial Order # _____
2. Assembly # 990-28280-0101 Serial # 144
3. Main coil part # 990-33905 0101
4. Signal coil resistance 1187 ohms.
5. Signal coil QSP 6081.3 ohms at 20.0 sec.
6. Generator constant 874 volt sec/amp
7. Calibration coil resistance 237 ohms.
8. Calibration coil motor constant 0.028 newtons/amp.

E.L.L. 5/10 _____ 11-16-81
 Prepared by _____ Date _____

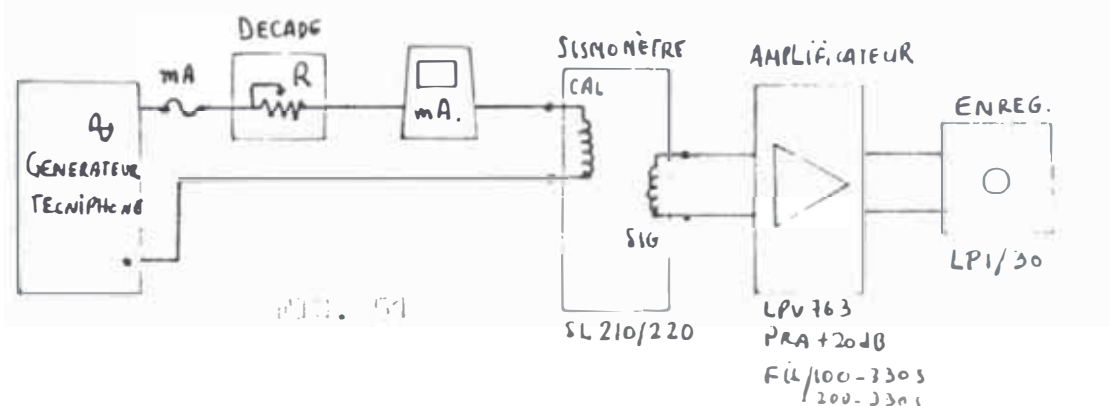
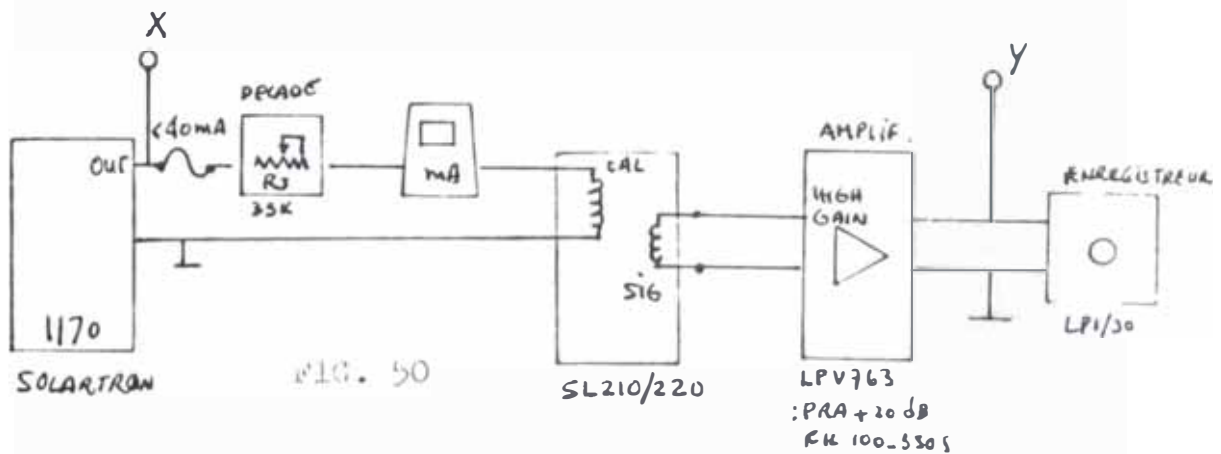
Q. C. Acceptance _____ Date _____

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN INCHES			 GEOTECH A TELEDYNE COMPANY		3401 SHILON ROAD GARLAND TEXAS 75042	
TOLERANCES DECIMALS ANGLES + +			DRAWN 9-4-69 JC	TITLE CUSTOMER DATA SHEET VERTICAL LONG-PERIOD SEISMOMETER MODEL 28280 (SL-100)		
CHECKED [Signature] [Signature]			PHOTO [Signature] [Signature]			
1ST PROD [Signature] [Signature]			PROD			
PROGRAM MANAGER			SIZE CODE IDENT. NO DWG NO A 99019 90- 28-1-100			
OTHER APPL			SCALE	SHEET OF		



11.6.- Respuesta de amplitud y fase de todo el sistema por el método de la respuesta armónica [5] [25]

Se calculó la respuesta en amplitud y fase de todo el sistema (Ver fig. 48) con la ayuda de un analizador de respuesta en frecuencia Solartron 1170 (Fig. 50) y de un generador de señales Techniphone a sintetizador (Fig. 51). Esta última experiencia nos ha permitido observar el tiempo de retardo t_r entre las señales de entrada, medido por su pasaje por cero en el multímetro a aguja, y de salida, medido en el registrador por su pasaje por cero de la línea de base. La graficación e interpretación de resultados experimentales se efectuaron con la ayuda de la mini computadora HP 9810A y su registrador HP 9862A (Figs. 52 al 62 y tablas 46 al 53).



EXPERIENCIA N°

10

REMARKS :

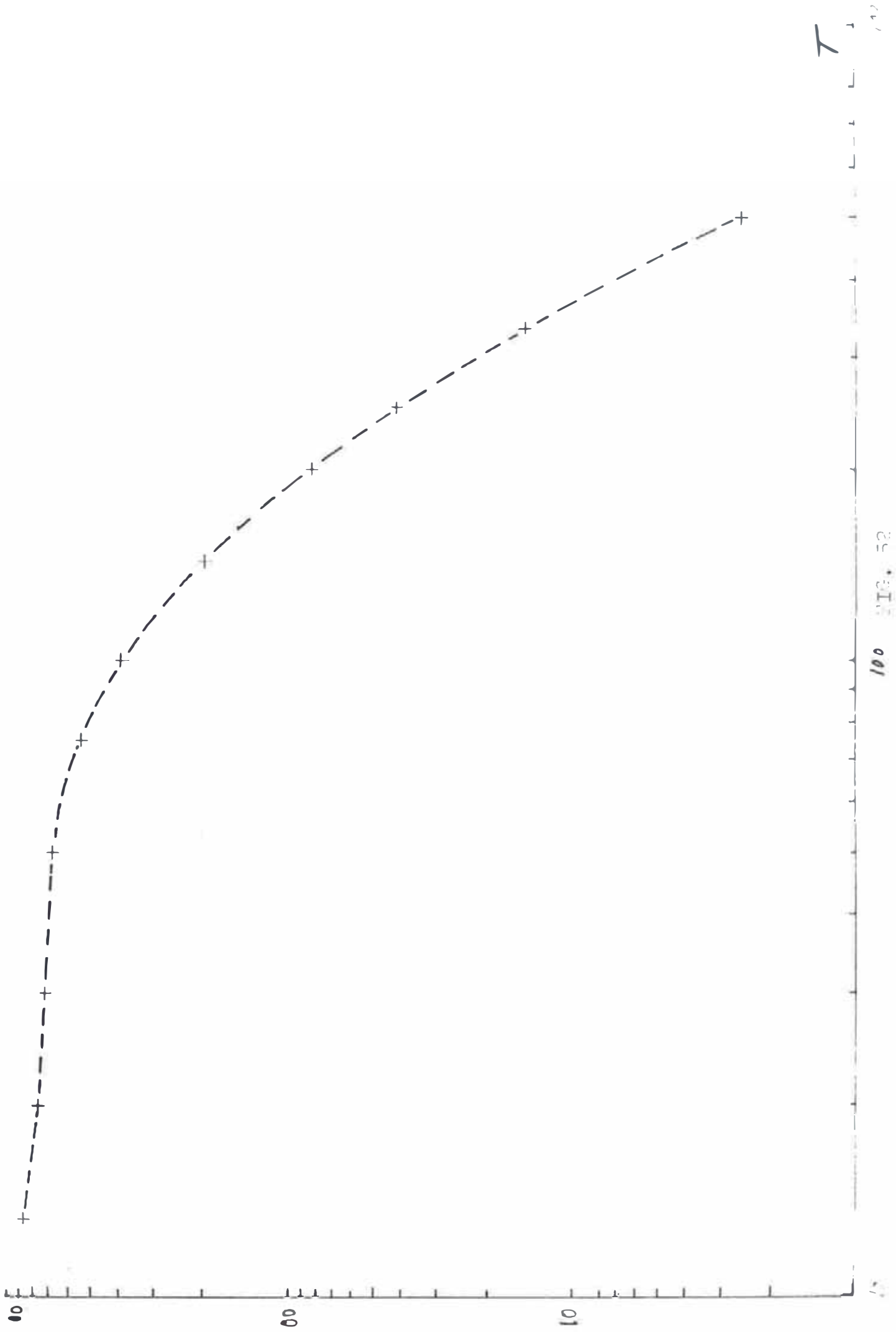
 $R_s = 35 K\Omega$

FIL 1005 - 3305

OBJETIVO : CALIBRACION DEL SISTEMA VERTICAL CON GENERADOR SOLARTRON

SISTEMA VERTICAL : SL-210 + LPV 736(0884) + HAE-LP1/30(0884)

f MHz	T seg	X volt	φ_x	$\gamma_{voltage}$	φ_y	γ/x	γ/x dB	$\varphi^{\circ} \gamma/x$	AMPLITUD DE REGISTRO cm.P.P	AMPLIFICACION m
2.0	500	1.0	0	0.66	-182.5	633E-03	-3.97	-182.5	1.85	2.51
3.0	333	1.0	0	1.76	-138.2	1.747	4.85	-138.2	4.75	14.5
4.0	250	1.01	0	2.84	-101.2	2.806	8.96	-101.1	7.55	41.0
5.0	200	1.0	359.9	3.63	-71.4	3.627	11.2	-71.4	9.6	81.47
7.0	143	1.01	359.9	4.50	-25.7	4.443	13.0	-26.0	11.7	194.2
10.0	100	1.0	359.9	4.34	24.8	4.314	12.7	24.8	11.35	385.3
13.3	75	1.0	0	3.36	62.6	3.328	10.44	62.5	8.8	531.0
20.0	50	1.0	359.9	1.79	105.2	1.785	5.03	105.3	4.95	672.0
33.3	30	1.0	0	0.71	141.8	0.698	-3.12	141.7	1.90	716.2
50.0	20	0.99	0	0.31	160.3	0.313	-10.1	160.2	0.899	763.0
75.0	13.3	0.99	359.9	0.13	180.5	0.138	-17.2	180.5	0.45	863.6



100 FIG. 52

T

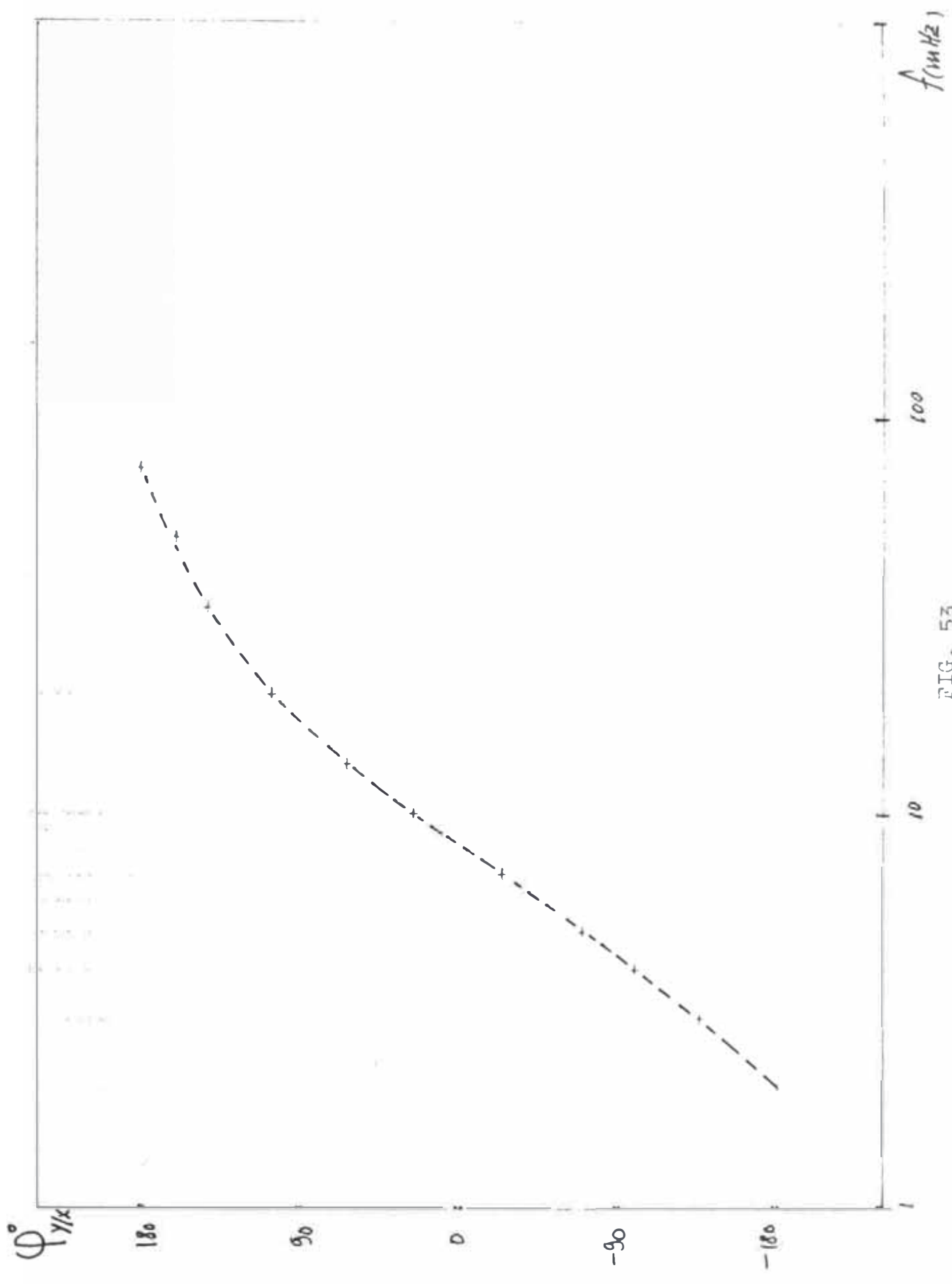


FIG. 53

EXPERIENCIA N°

11

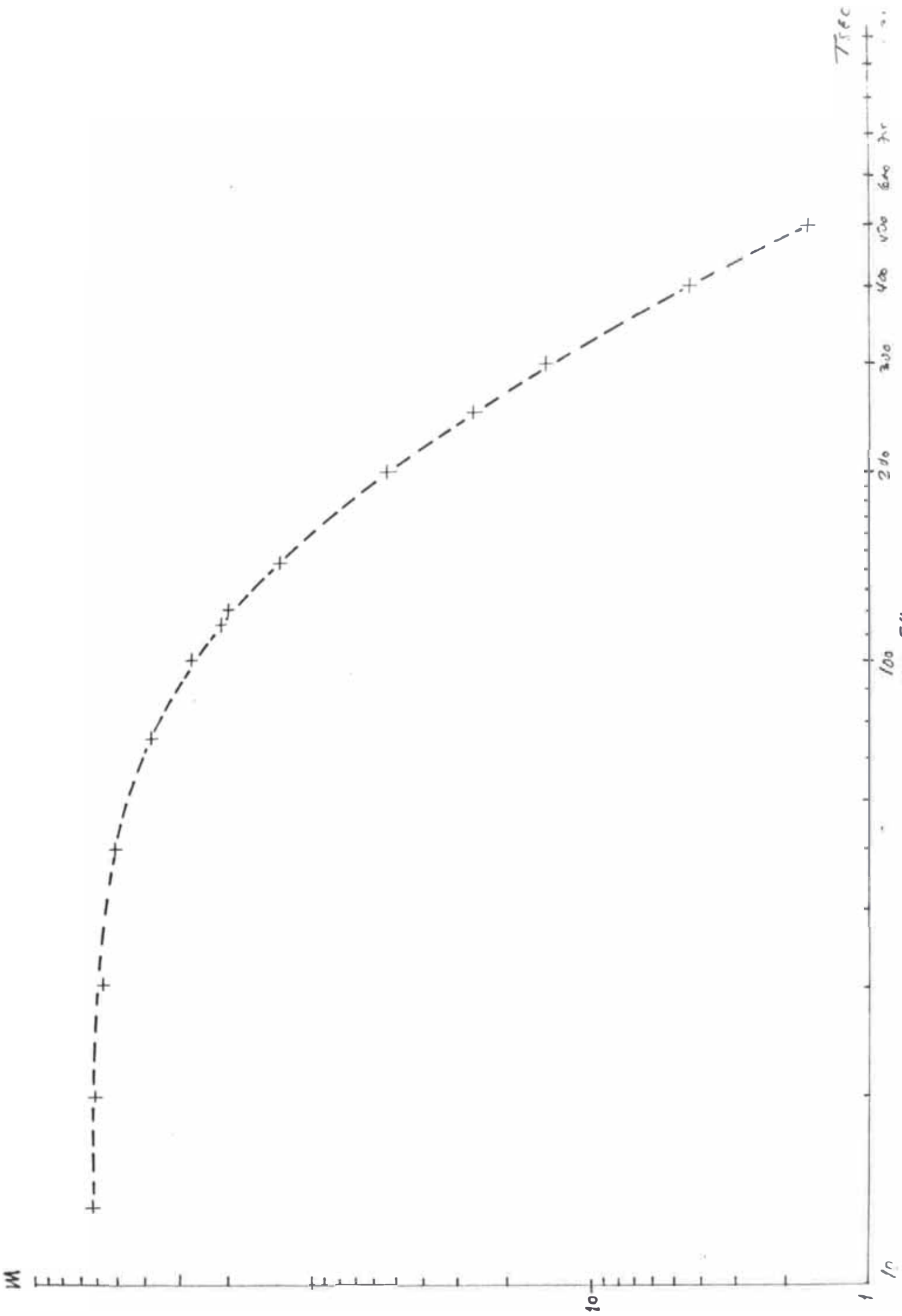
REMARKES :

FIL 100 S - 330 S

OBJET : CALIBRACION DEL SISTEMA HORIZONTAL
CON GENERADOR SOLARTRON

SISTEMA HORIZONTAL : SL-220 + LPV 763(1180) + HIAE-LP1/30(1280)

f mHz	Tseg	X volt.	φ_x	γ mV	φ_y	γ/x	γ/x dB	$\varphi^\circ \gamma/x$	AMPLITUD P.P	AMPLIFICACION m
2.0	500	2.0	0	950	- 184.3	479E-03	- 6.4	-184.3	13	1.64
2.5	400	1.0	0	830	- 161.9	835E-03	- 1.5	-161.9	21	4.39
3.33	300	1.0	359.9	1500	- 127.9	1.494	3.48	-127.3	38	14.6
4.0	250	1.0	0	1980	- 103.7	1.970	5.8	-103.8	48	26.34
5.0	200	0.99	359.9	2540	- 76.0	2.545	8.1	- 76.0	62.5	53.60
7.0	142.8	1.00	359.9	3210	- 31.8	3.191	10.0	- 31.7	76.5	128.7
8.33	120.0	1.0	0	3400	- 7.0	3.391	10.6	- 6.4	82.5	196.5
8.8	113.6	1.0	359.9	3300	- 0.1	3.321	10.4	- 0.1	82.0	210
10.0	100	1.0	0	3240	17.5	3.228	10.1	17.5	78.5	267
13.3	75	1.0	0	2580	54.8	2.566	8.18	54.7	62	376
20.0	50	1.0	359.9	1519	98.7	1.506	3.55	98.7	37	507
33.3	30.3	1.0	0	630	135.3	0.628	- 4.03	135.4	15	560
50.0	20.0	0.99	0	280	160.4	289E-03	-10.76	160.4	7.0	600
75	13.33	0.99	0	120	181.7	123E-03	-18.72	181.6	3.2	617
100	10	1.0	0	64	197	64E-03	-23.8	193.9	2.0	686.12



- FIG 54 -

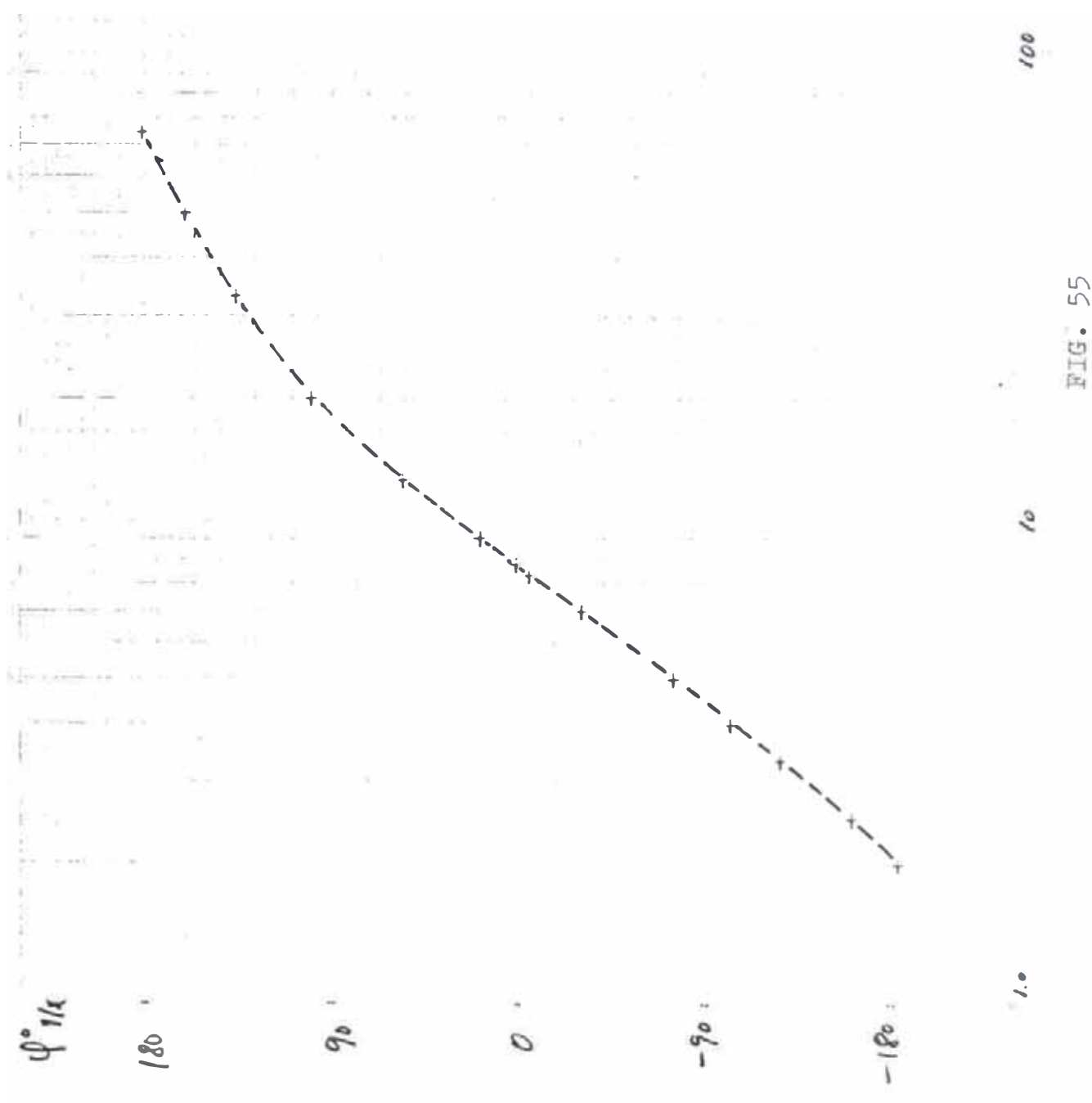


FIG. 55

f MHz

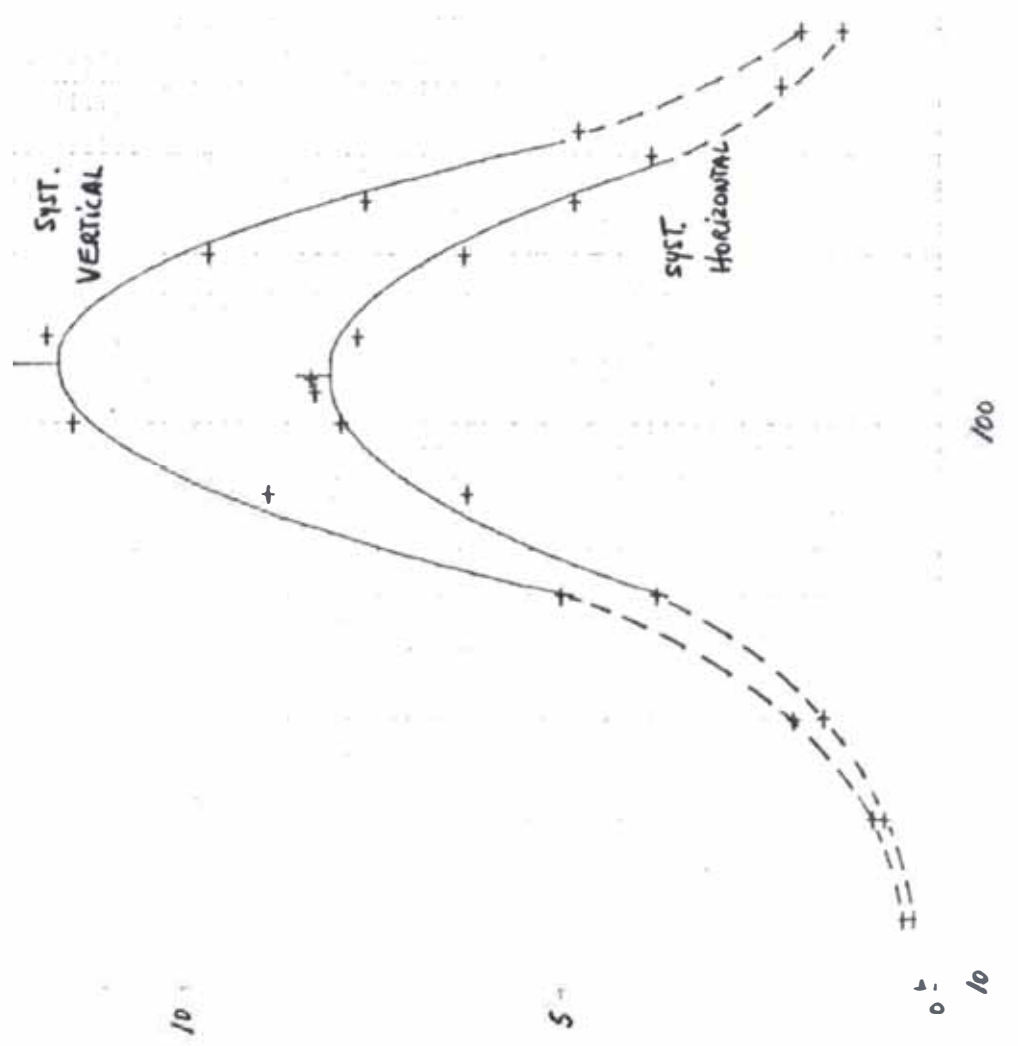
A m.

$$Y = a_0(\log \mu)^2 + a_1(\log \mu) + a_2$$

VERT: $a_0 = -40,9229$
 $a_1 = 172,227$
 $a_2 = -169,65$
 $Y_{max} = 11,55 \text{ cm.}$
 $X_{max} = 127,115.$

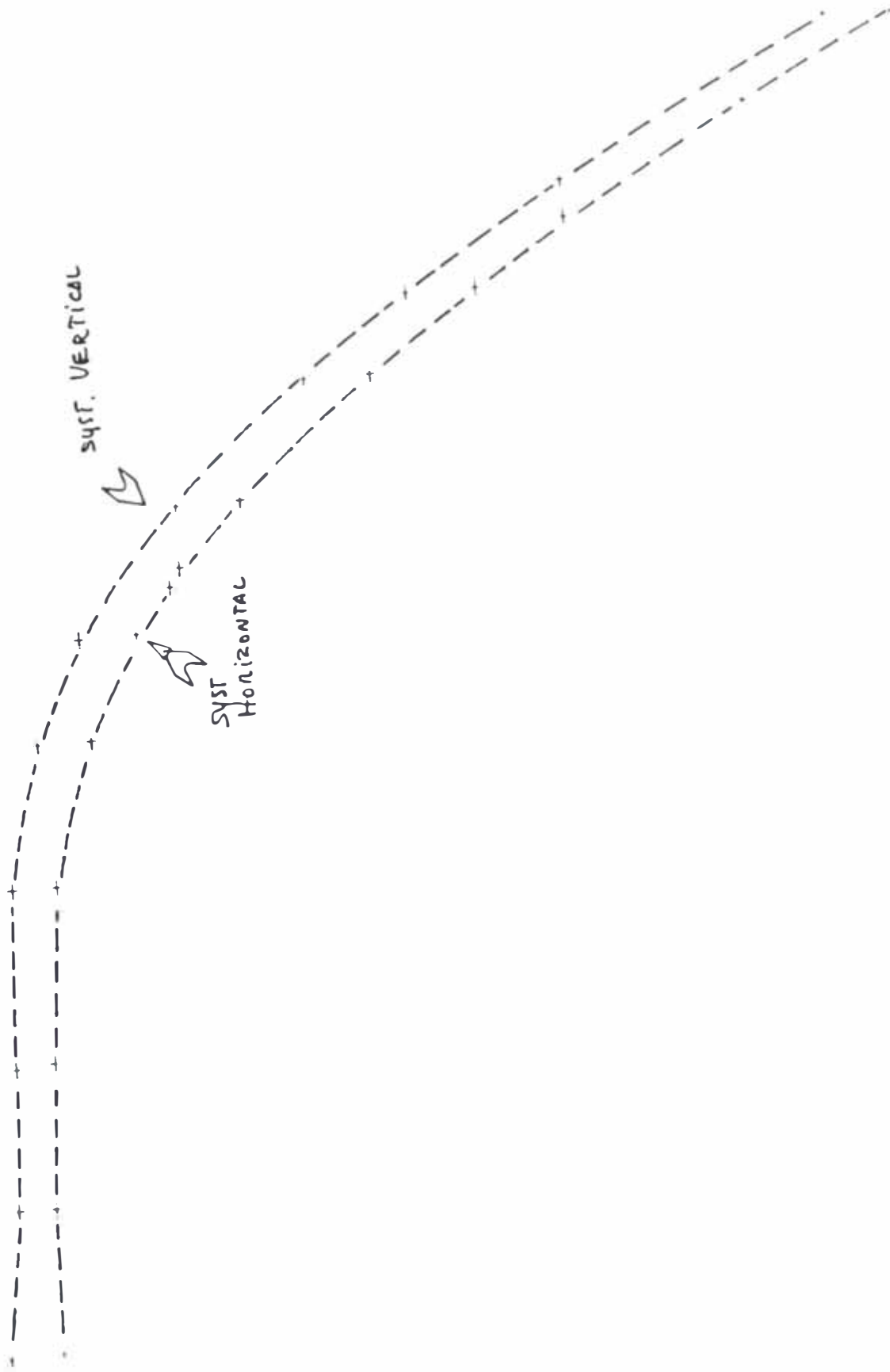
HOR: $a_0 = -29,64$
 $a_1 = 123,60$
 $a_2 = -120,82$
 $X_{max} = 121,535$
 $Y_{max} = 8,01 \text{ cm.}$

N.B.: X_{max} correspond à la période pour laquelle Y est max.



Ts

fig. 56



100 J

FIG 57

EXPERIENCIA N°

12

REMARKS :

GANANCIA 120 dB

FIL 2005-3305

OBJETIVO: CALIBRACION DEL SISTEMA VERTICAL
CON GENERADOR SOLARTRON

f MHz	T seg	γ/x	dB	$\varphi^{\circ} \gamma/x$	γ_{VOLT}	$\varphi^{\circ} \gamma$	X VOLT	$\varphi^{\circ} X$	AMPLITUD mm	AMPLIFICACION m
2.0	500	0.675	- 3.4	- 164.8	1.349	-164.7	1.999	0	37.5	2.546
2.5	400	1.157	1.2	- 136.6	1.164	-136.6	1.005	0	32.0	6.789
3.33	303	1.952	5.8	- 92.4	1.963	- 92.4	1.006	359.9	53.0	19.59
4.0	250	2.375	7.5	- 61.5	2.39	- 61.5	1.0	359.9	64.0	34.76
5.0	200	2.589	8.2	- 23.7	2.58	- 23.7	0.99	0	69.0	58.56
5.8	172.4	2.482	7.8	0.5	2.49	0.6	1.0	0	66.8	76.3
6.0	166.7	2.444	7.7	5.7	2.45	5.7	1.0	0	65.5	80.01
6.667	150	2.273	7.1	21.4	2.286	21.3	1.005	359.5	61.0	92.03
10.0	100	1.431	3.1	71.0	1.439	71.0	1.005	359.5	39.0	132.39
13.33	75	0.922	- 0.7	97.7	1.823	97.7	1.977	359.9	49.8	150.27
20.0	50	0.462	- 6.7	126.7	0.925	126.7	2.002	0	25.0	169.74
25.0	40	0.305	-10.3	139.6	0.612	139.7	2.006	0	16.8	178.23
33.3	30	0.176	-15.0	153.5	0.351	153.6	1.995	0	9.8	184.83
40.0	25	0.123	-18.1	161.3	0.241	161.4	1.999	0	7.0	190.11
50.0	20	0.0788	-22.0	170.0	0.156	170.1	1.999	0	4.6	195.20
66.7	15	0.0435	-27.2	180.7	0.868	180.8	1.994	0	2.8	211.23

EXPERIENCE N°

13

REMARKS :

FIL 2005-3305

 $R_x = 35 K \Omega$, $i = 80,8 \mu amp$ $m = \frac{0.079 A}{6 T_i^2 i}$, $G = 0.0285$ EUT : CALIBRACION DEL SISTEMA HORIZONTAL
CON GENERADOR SOLARTRON

f MHz	T SEC	Y/X	dB	$\varphi_{y/x}$	Y_{VAR}	φ_y	X_{VAR}	φ_x	AMPLITUD mm P.P	AMPLITUD EN RELACION A ΔV_{PP} m	AMPLIFICACION m
2.0	500	0.475	-6.4	-165.2	0.952	-165.2	2.005	0	23.0	11.5	1.578
2.5	400	0.810	-1.8	-137.0	0.817	-137.0	1.009	0	20.0	20.0	4.288
3.33	300	1.351	2.6	-93.7	1.35	-93.8	1.000	359.9	33.6	33.6	12.80
4.0	250	1.615	4.1	-63.4	1.62	-63.3	1.0	0	40.8	40.8	22.39
5.0	200	1.774	4.9	-27.7	1.76	-27.6	0.99	0	44.0	37.73	37.73
5.94	168.4	1.659	4.3	-1.7	1.66	-1.6	1.00	0	41.0	41.0	49.59
6.0	166.7	1.662	4.4	1.3	1.66	1.4	1.00	0	41.0	41.0	50.61
6.667	150	1.588	4.0	14.8	1.59	14.8	1.00	0	39.5	39.5	60.22
10.0	100	1.047	0.3	60.8	1.05	60.8	1.00	0	26.0	26.0	89.19
13.33	75	0.721	-2.8	88.3	1.44	88.3	1.997	0	35.2	17.6	107.39
20.0	50	0.388	-8.2	118.3	0.774	118.2	1.995	359.9	18.5	9.25	126.93
25.0	40	0.2628	-11.6	132.6	0.524	132.6	1.994	0	12.8	6.4	137.22
33.33	30	0.156	-16.9	148.3	0.311	148.3	1.994	359.9	8.1	4.05	154.37
40.0	25	0.1115	-19.0	157.0	0.222	157.0	1.993	0	5.6	2.8	159.18
50.0	20	0.0725	-22.7	168.4	0.144	168.5	1.994	0	3.8	1.9	162.95
66.67	15	0.0398	-28.0	180	0.079	180	1.992	0	2.3	1.15	175.34
100.0	10	0.01647	-35.6	196.6	0.032	196.6	1.993	0	1.1	0.65	188.68

11
1500

100

10

10

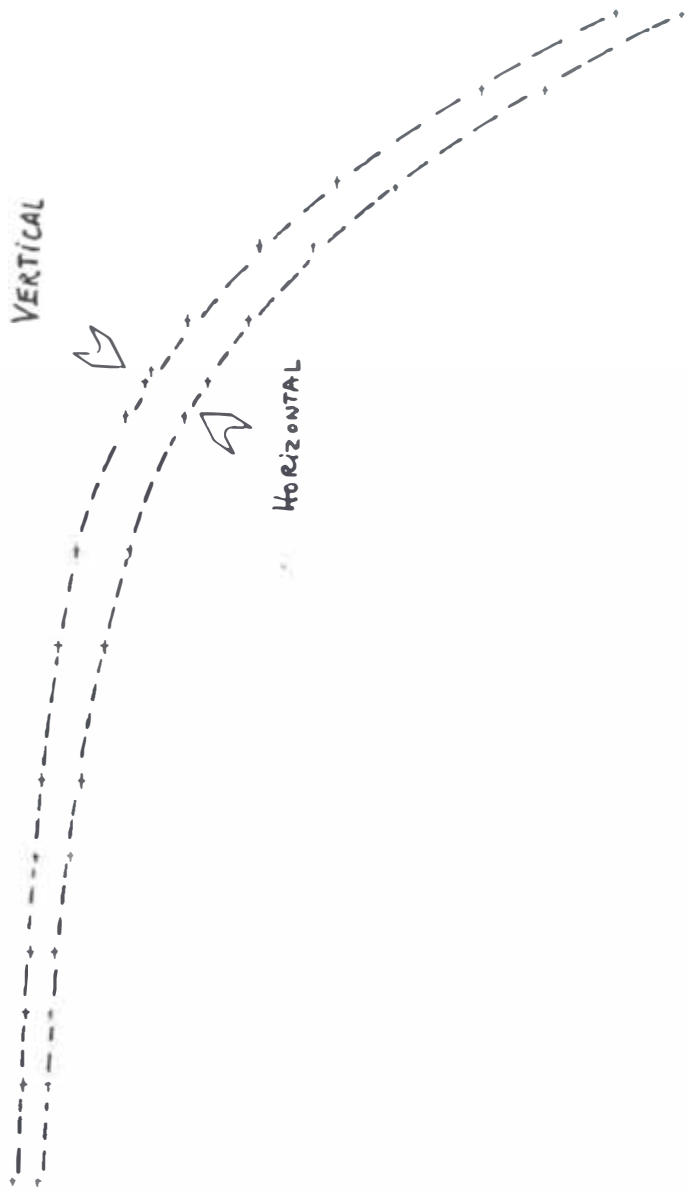
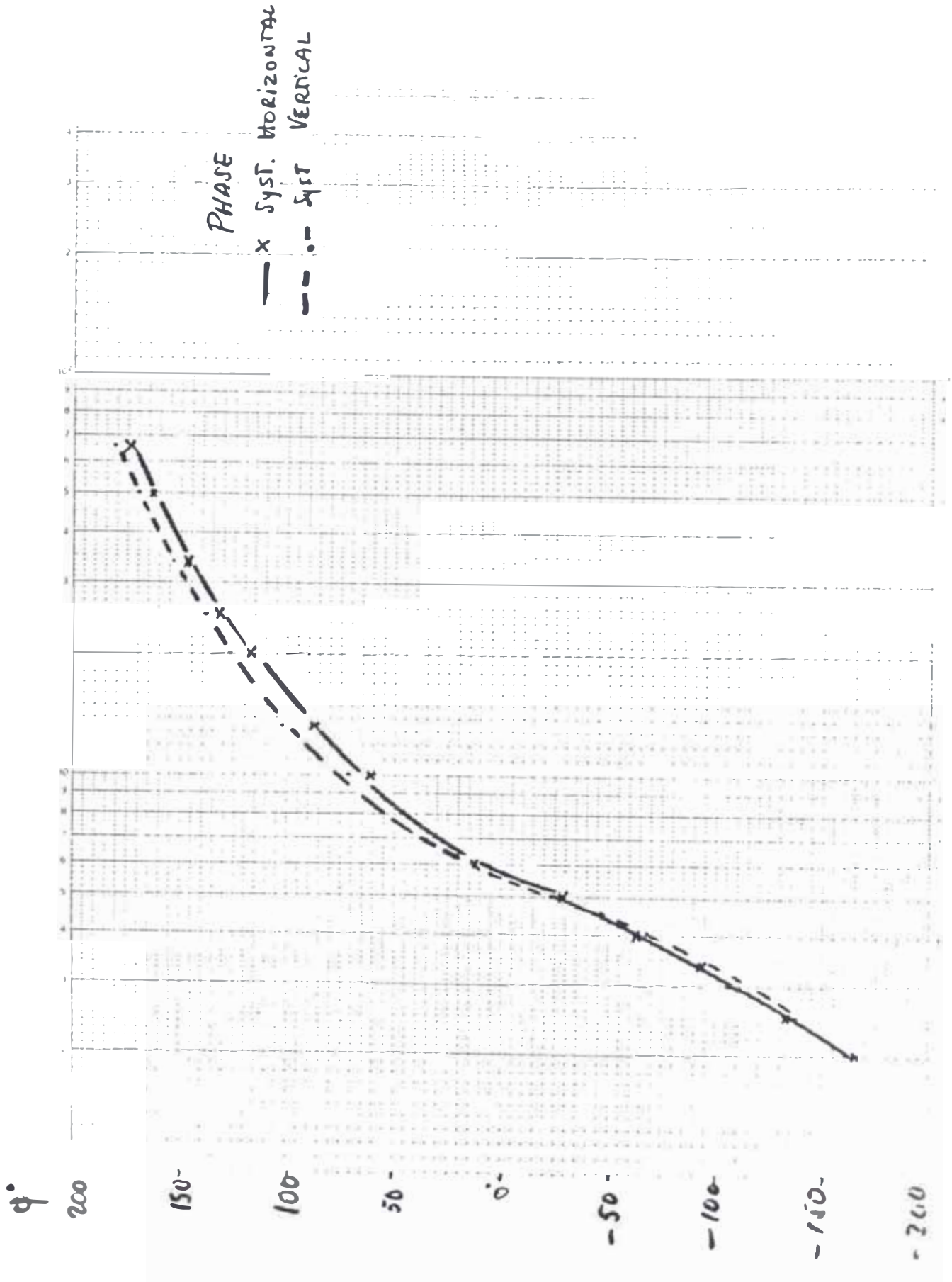


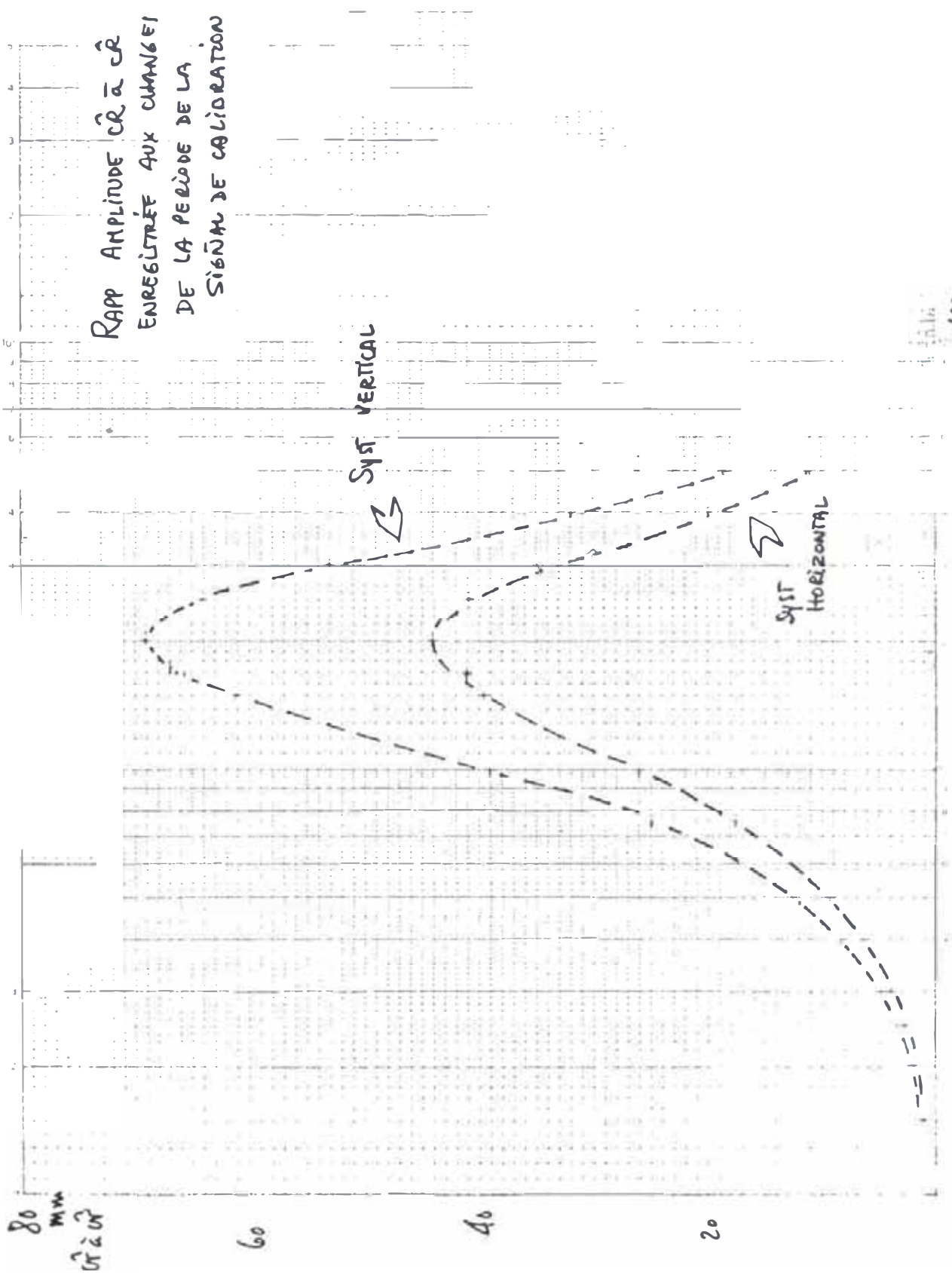
FIG. 5E

T(15)
T(100)



Ts
1000.

RAPP AMPLITUDE CR à CR
ENREGISTRÉE AUX CHANGES
DE LA PÉRIODE DE LA
SIGNAUX DE CALIBRATION



1000

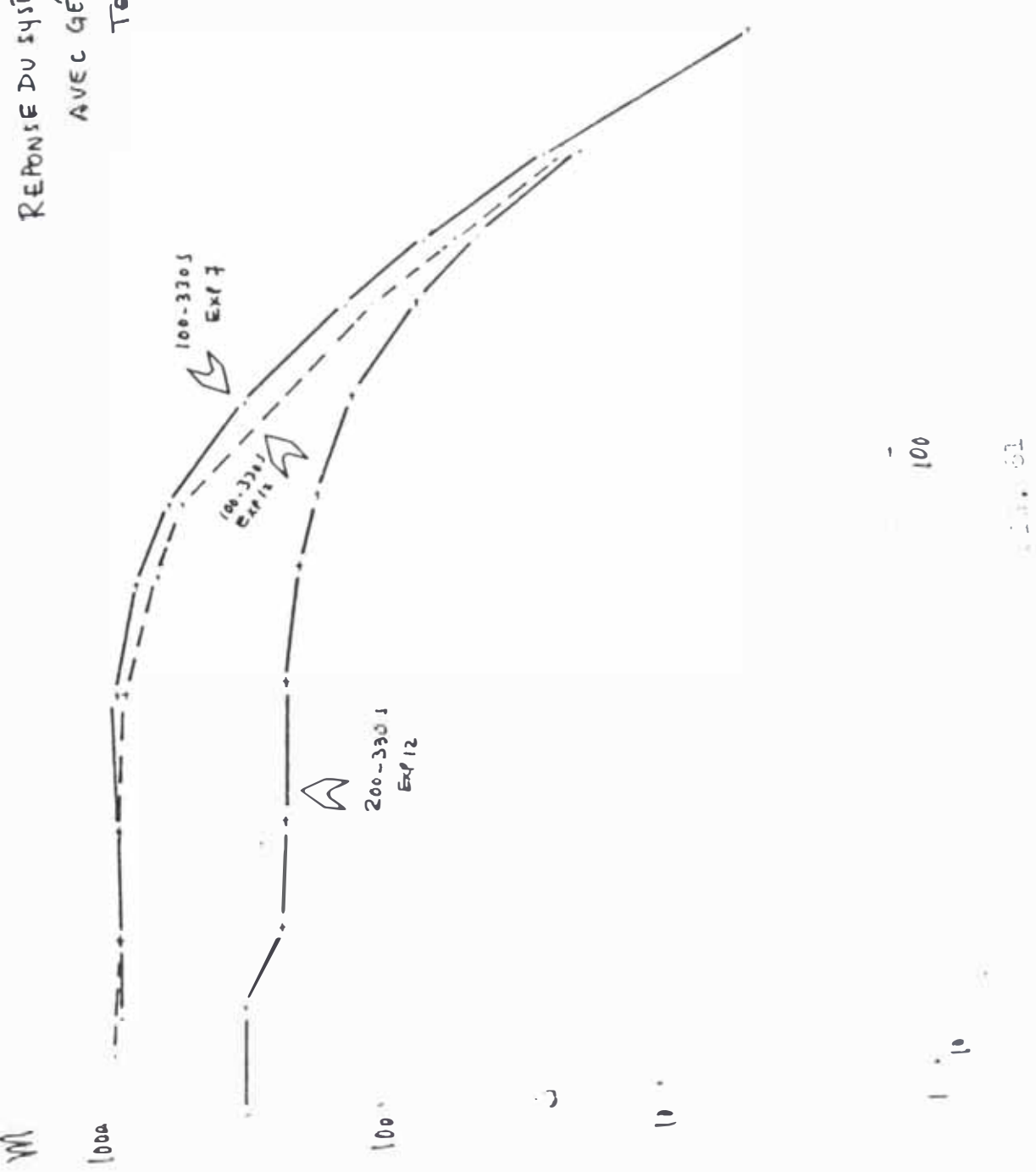
100

ES 25 FIG 60

EXPERIENCE IN			REMARKS			
BUT : <i>SIN. and V. and S. and C. and P. and S.</i>			- fin; frecuencia de entrada en Hz - amplificación "m" (en inglés: magnification)			
Filtro	fin	fseg	V _{ent.} p-p	lent amp.	amb. sol. mm. p-p	amplif "m"
200 - 330 s	3	333	7.91	158.2	67.5	10.77
	4	250	7.90	158	93	26.34
	5	200	7.91	158.2	102.4	45.272
	7	143	7.90	158	93	80.54
	10	100	7.90	158	64.5	114.20
	13	96.9	7.90	158	46	137.73
	20	50	7.91	158.2	23.5	166.53
	33	30	7.91	158.2	9.2	181.0
	50	20	7.91	158.2	4.5	199.19
	67	15	7.91	158.2	3.6	283.2
	100	10	7.91	158.2	1.7	301.01
100 - 330 s	3	333	5.4390	108.78	53	12.798
	4	250	5.66	113.2	80	31.62
	5	200	5.4460	108.92	100.8	64.80
	10	100	5.45	109	134	344.36
	13	76.9	7.904	158	148.5	443.69
	20	50	7.90	158	88	624.04
	33	30.3	7.9	158	37.5	124.13
	50	20	7.9	158	17.5	175.65
	67	14.9	7.9	158	10	206.51

Tabla 52

REPOSE DU SYST. VERTICAL
 AVEC GÉNÉRATEUR
 TÉCNIPHONE



$T(s)$
 1000 s

100

10

EXPERIENCE N°			REMARQUES :			
BUT : dist. horizontal con. generador						
Micro	Vent volt	f mliz	seg	amplitud sal. mm pp	amplificac m	
220 - 330 s	8.114 50	3	333.3	57.2	8.7035	
	8.116	4	250	80.0	21.63	
	8.119	5	200	84.0	35.42	
	8.108	7	142	75.0	62.91	
	8.102	10	100	52.0	88.02	
	8.096	13	76.9	36.8	105.37	
	8.096	20	50.0	19.0	128.37	
	8.096 50	33	30.3	8.0	147.62	
	8.096 30	50	20	6.3	160.09	
	8.096 30	100	10	2.3	233.78	
100 - 330s	6.340 50	2	500	19	1.65	
	6.33	3	333	48.5	9.50	
	6.322	4	250	75	26.05	
	6.318	5	200	95.8	52.0	
	6.303	6	166	111.0	87.29	
	6.31	10	100	121.5	262.84	
	6.303	13	77	98.3	360.77	
	6.3	20	50	57.0	496.36	
	6.3	33	33.3	24.0	470.33	
	6.3 50	50	20	12.5	680.32	
	6.3 30	100	10	7.0	914.35	

RÉPONSE SYST. HORIZONTAL
 AVEC GÉNÉRATEUR
 TECHNIPHONE

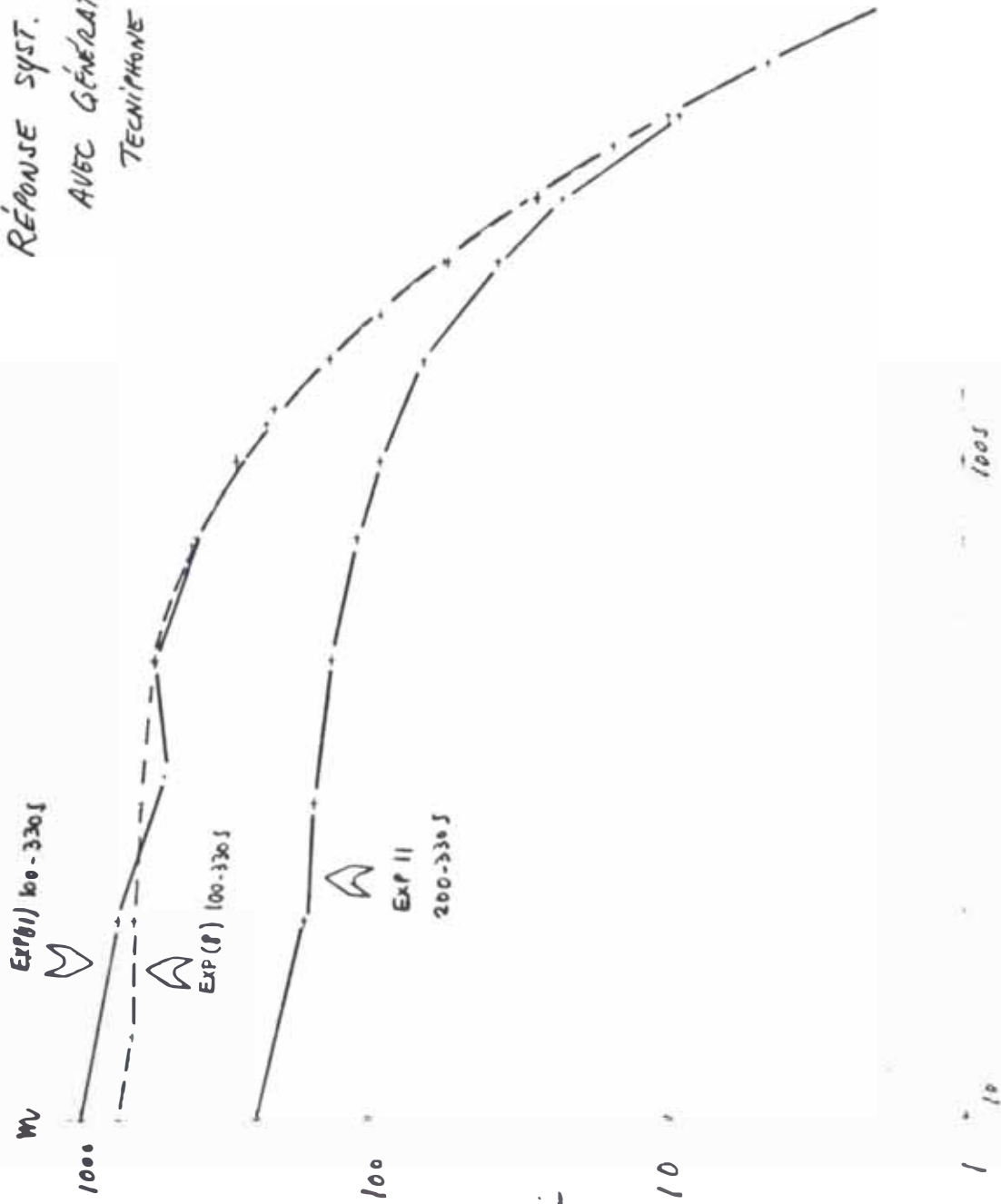


FIG. 62

II.7.- Instalación temporal y ensayos de funcionamiento.

Tal como comentamos en II.5 se efectuaron ensayos iniciales sobre un pilar construido especialmente en el sub-suelo del edificio del Instituto de Geología de la Facultad de Ciencias de Rennes. Observamos aquí un ruido parásito intenso a nivel de la corriente de sector (230 Vac, 50 Hz.) la misma que ejerce una influencia sobre todo el sistema. La relación señal a ruido nocturna en la componente horizontal puede ser de 106 dB mientras que la relación diurna no sobrepasa los 100 dB.

La instalación temporal de los sismógrafos en el CHU de Garchy en los meses de mayo y junio de 1982 continuación de los ensayos iniciados en el laboratorio ICH en Rennes y el Instituto de Geología, permitieron obtener las curvas de calibración que se presentan en el presente trabajo.

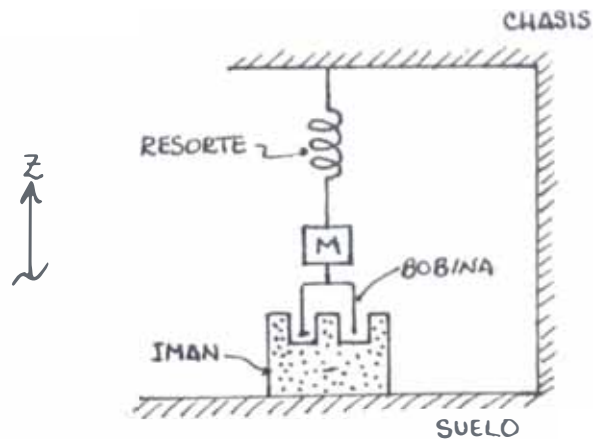
La calibración de los sismógrafos ha sido realizado con la ayuda de diferentes métodos e instrumentales que difícilmente pueden encontrarse todos reunidos en el lugar escogido para instalar definitivamente la futura estación sismológica. Con las condiciones óptimas obtenidas en Garchy, la relación señal a ruido alcanzado es superior a los 126 dB.

Presentamos en la siguiente sección la convención de signo que permitirá encontrar la dirección de un epicentro así como estandarizar la estación sismológica.

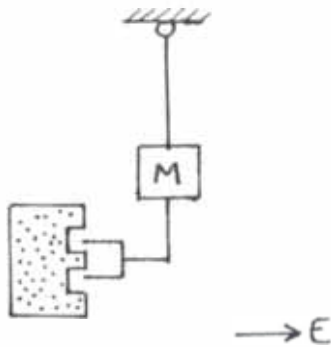
II.7.1.-

CONVENCION DE SIGRO ;

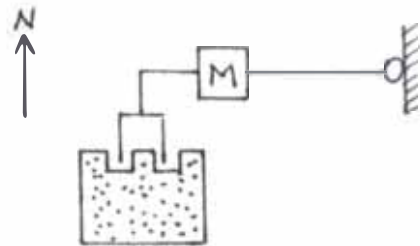
SISMOMETRO VERTICAL (Z)
SL-210



SISMOMETRO HORIZONTAL E-O
SL-220



SISMOMETRO HORIZONTAL N-S
SL-220

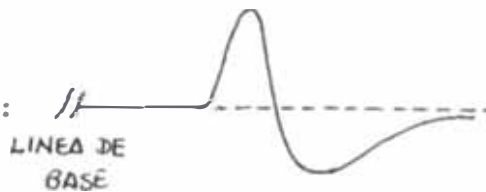


M: MASA DEL SISMOMETRO

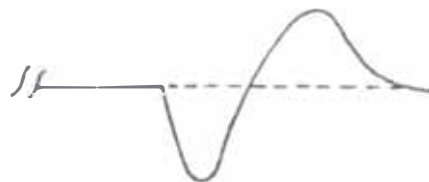
Figura No. 63

<u>SISMOMETRO</u>	<u>REGISTRADOR</u>	<u>MOV. del SUELO</u>	<u>MOV. de la BOBINA</u>
Z	↑	Compresión (↑)	Hacia abajo
N-S	↑	Norte	Sur
E-O	↑	Este	Oeste

- Restablecimiento de la corriente en las bobinas: Movimiento hacia el Sur-Oeste-abajo.



- Corte o suspensión de la corriente: Movimiento hacia el Norte-Este-arriba.



PULSO DE CALIBRACION

CONCLUSIONES OBSERVACIONES

Un simómetro centrado en un periodo natural comprendido entre 20 y 30 s podrá, con ayuda de un amplificador en 120 dB y filtro de gran ganancia entre 100 y 330 s, registrar señales sísmicas de periodo largo mayores que 100 s. Nosotros lo vamos a registrar durante el periodo temporal de funcionamiento (45 días) sismos de pequeña magnitud con epicentros alejados entre 10 y 12 mil Km. de la estación en Garchy, inversamente, lo vamos a registrar con sólo 120 dB de ganancia, entre muchos otros, el sismo de Yugoslavia del 2 de junio de 1962 (magnitud aproximada de 4,72) (ver figs. 64 y 65). Puede eventualmente modificarse la ganancia del sistema sin variar sustancialmente la curva de calibración: La calibración diaria con referencia a las curvas dadas en II.6 permitirá establecer la nueva curva de calibración interna.

Los pulsos de calibración diarios, al inicio y final de cada registro son controlados por un interruptor de calibración integrado en el amplificador, esta salida es equivalente a una fuente de tensión en serie (+ 15 vdc) con una resistencia de 215 kohm aplicado a la bobina de calibración del simómetro. Es importante tener en cuenta las polaridades de las señales siguiendo una convención de signo, esto ayudará a identificar la dirección del epicentro con referencia a la estación sísmica (ver II.7) y a estandarizar la misma.

La resistencia de entrada en el amplificador 1FV75 es de 2 kohm es verificado por un método indirecto en la exp. no. 2

Cap II.4. Esta resistencia es suficiente para proveer al sistema un amortiguamiento de $\beta_H = 1,8185$ y $\beta_V = 2,25$ para el sistema horizontal y vertical respectivamente (ver II.5.2.4). El amplificador podrá trabajar eficientemente con una ganancia de 126 dB y una ventana de filtro entre 100 y 330 s.

El papel y tinta de registro juegan un rol muy importante. Hemos obtenido los mejores resultados con la tinta SEFRAM de color rojo y el papel Couché de 90 gr (cilindro de papel de 90 mm de diámetro y ancho 30 cm.). La primera evita una obstrucción en la pluma en caso de una paralización prolongada del registrador, de otra manera, el papel couché reduce considerablemente la fricción de la pluma. Una longitud exacta de 1,30 m de la hoja de registro (para una velocidad de registro de 3 cm/min) permite alinear perfectamente los pulsos de minutos y horas entre líneas.

Se ha comprobado entre otras, la eficiencia de los registradores Streckeisen LPI/30 para el registro de señales de periodo largo, la linealidad en amplitud y respuesta en frecuencia es asegurada en las Exp. 1 y 2, así, el registrador podrá registrar eficientemente señales de hasta 1 Hz sin alteración en el registro de señales sísmicas. El desfase es mínimo y tiene un valor del orden de 0,0222 grados para 100 s.

Se ha calculado (exps. 4 y 5) la respuesta experimental del amplificador y con ella, una aproximación matemática a las mismas. Se observa un máximo de amplificación para

177,55 y 215,05 s para los amplificadores 0881 y 1180 respectivamente (para ventana de filtro entre 100s y 330s), el desfase en las curvas mostradas, resultado de estas experiencias, podrán comprenderse mejor si se considera que se refieren al retardo calculado en los amplificadores.

El ruido en los amplificadores (exp. no. 6) también nos verifican las respuestas de los filtros pasa-bajo, 32 promedios para la densidad espectral, es decir, aproximadamente 2 horas de cálculo por curva es suficiente para obtener un buen resultado en esta experiencia. Una resistencia de 2 kohm utilizada para high gain es conveniente para simular la resistencia interna del sismómetro Teledyne. El ruido del amplificador 881 referido a la entrada, para una ganancia de 120 dB y filtro 100s-330s high gain con 2k Ω de resistencia de entrada, es menor que 33 nVpp. Mientras que para low gain con resistencia de entrada en corto circuito y para una ganancia de 68 dB y el mismo filtro, el ruido referido a la entrada es menor que 0,26 μ Vpp. El amplificador 1180 es entre 5 a 10% más ruidoso que el amplificador 881.

Se presenta fórmulas (25) y (26) que representan una aproximación matemática de las respuestas en amplitud y fase del sismómetro. Estas fórmulas podrán compararse de acuerdo a aproximaciones y resultados experimentales obtenidos con otras estaciones sismológicas de la red internacional.

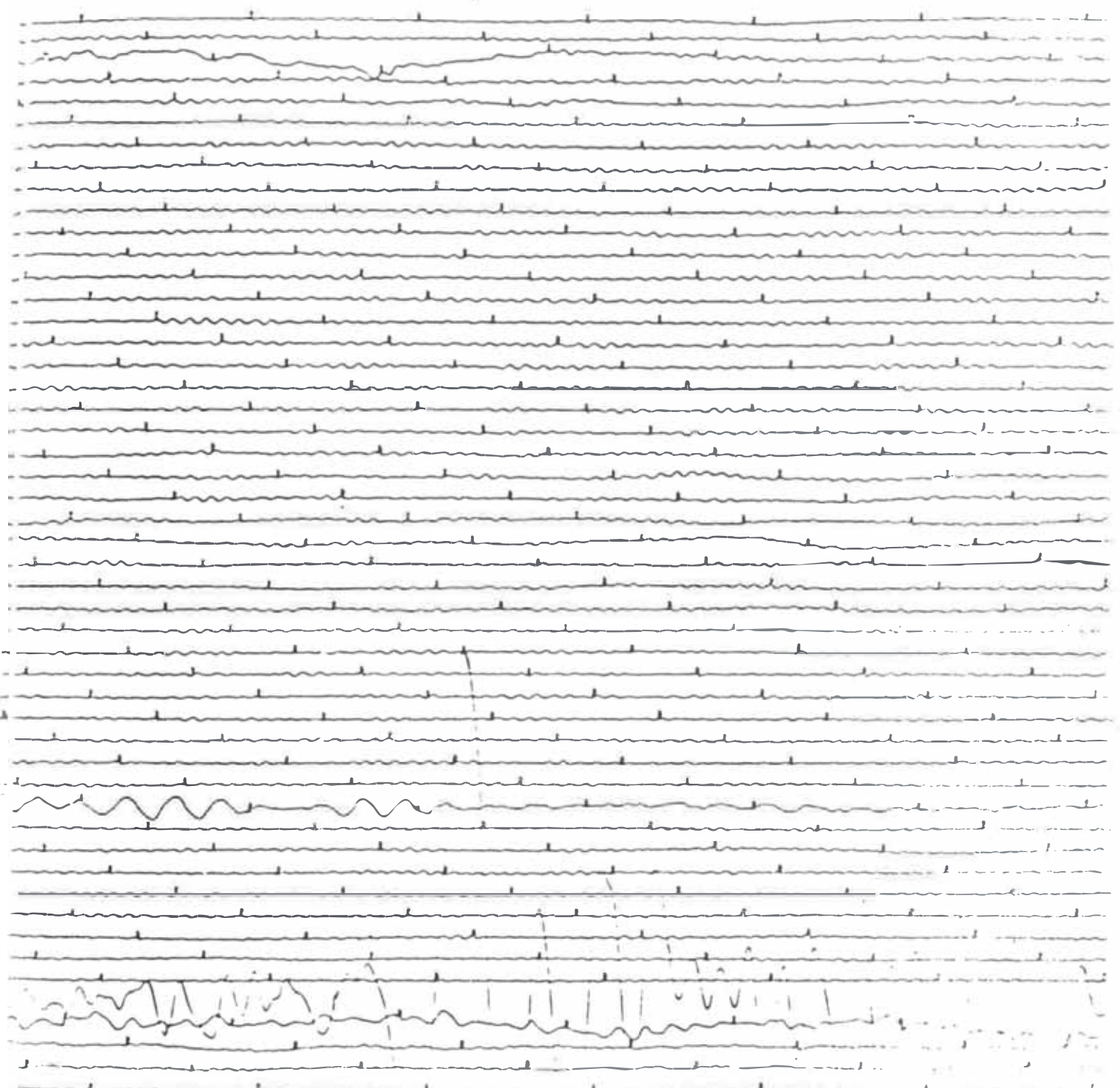
Finalmente, una protección contra cortes eventuales del fluido eléctrico y la eliminación de señales parásitas del sector (220 Vac) deberán ser previstas al momento de instalar definitivamente la estación sismológica. Así mismo, sería interesante tener en cuenta la recepción de señales horarias codificadas por FRANKS INTEL pues ello ayudará significativamente en el tratamiento de la información por computadoras en tiempo real.

E 21

GARCHY

GAIN 126 dB

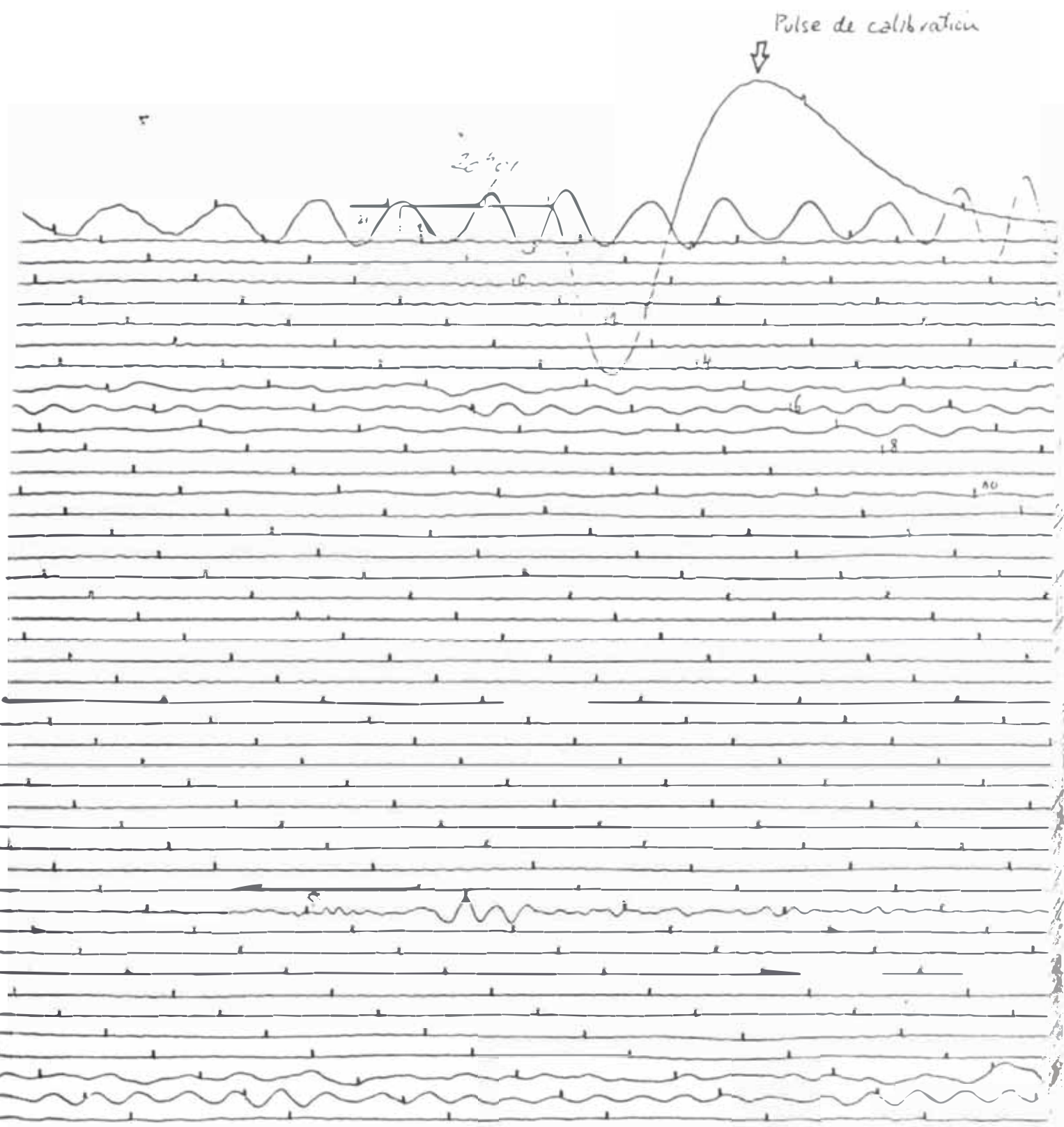
FIL 10. 330 KC



$\Delta \approx 3400$ Km.

SEITE 14 06/10/1982

E2	P	10	26	54,0
E2	SP	20	54	
P2N	S	32	05	
IN	LS	54	3	



Seisme de Yugoslavie du 02/06/82
 Magnitude 4 3/4
 EN LR CS4P
 PE LR 59P
 43,31° Nord

VI.- BIBLIOGRAFIA

- 1 RICHTER F., Elementary Seismology, W. H. Freeman and Co, San Francisco. 1958.
- 2 COULONS J., JOBERT G., Traité de Géophysique Interne, Masson et Cie Paris, 1972.
- 3 BOTT M.H.P., The Interior of the earth, Edward Arnold, London, 1971.
- 4 WILLMORE F. L., KARNIK V., Manuel pratique des Observatoires Sismologiques, Centre Sismologique International, Edimbourg, 1971.
- 5 KISSLINGER Carl, Lectures Notes on Seismological Instrumentation International Institute of Seismology and Earthquake Engineering Tokyo, 1967.
- 6 Mme DUCLAUD, Seismométrie Théorique, Gauthier-Villars, Paris, 1959.
- 7 WIELANDT E. and MITRONOVAS W., Bulletin of Seismological Society of America, Vol., 66 No.3, pp. 987-996 (junio 1976).
- 8 DOREL J., Théorie du sismographe vertical Geotech SL-210, Paris 1975. (comunicación personal).
- 9 DOREL J., Etalonnage du sismometre vertical Geotech SL-210, Paris, abril 1975 (comunicación personal).
- 10 GUNAR STRECKEISEN y Co, Technical Documentation "REAL-TYPE" RECORDERS.
- 11 GUNAR STRECKEISEN y Co, Suisse, Technical Documentation: T LPV 763.
- 12 13 TELETYPE GEOTECH., Operation and Maintenance Manual, Vertical/horizontal Long Period Seismometer model SL210/SL220, Texas, USA, 1980.

- 14 Annuaire du Bureau des Longitudes, Gauthier Villars, Paris, 1974, 1981.
- 15 CNET, Diffusion de l'heure par codage de la phase d'un émetteur de radiodiffusion a modulation d'amplitude, France.
- 16 GABRY A., LAPUYADE C., Bureau National de Metrologie, Bulletin No. 42, France, Octobre 1980.
- 17 SCHREIBER H., Electronique Applications No. 22, pp. 55-61; No. 23, pp. 49-54, 1982.
- 18 Recepteur France-Inter, Elektor, marzo 1982, pp. 3-48/52.
- 19 Chronoprocasseur Universel utilisé en programmeur autonome, Elektor, pp. 3-58/62, marzo 1982.
- 20 BONANONI J., Une horloge a remise a l'heure automatique par signaux horaires, Le Haut parleur No. 1638, pp. 243-249 (1978).
- 21 SALTEBERGER P., Un décodeur par signaux horaires HBG, CRG, Garchy 1981 (comunicación personal).
- 22 BECKER G., HUBNER U., The generation of time scales, Radio-Science, Vol. 14, No. 4, pp. 563-603, 1979.
- 23 NETZEL P., Der Zeitsignal und Normal frequenzsender DCF 77, Physikalisch, Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin, pp. 185-353, (Stand 1979).
- 24 ROBINSON FWH, Noise and fluctuations in electronic devices and circuits, Cuarendon Press, Oxford, 1974.
- 25 GRAUPE D., Identification of Systems, R. E. Krieger Publishing Co., N.Y., 1976.