

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE FISICA



FUNDAMENTOS DE SISMOMETRIA  
Y CALIBRACION DE UN EQUIPO  
DE LA RED SISMICA  
TELEMETRICA NACIONAL

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:

PEDRO ANTONIO SANTOS LOPEZ

PREVIO A LA OPCION DE TITULO DE

LICENCIADO EN FISICA

SEPTIEMBRE DE 1991



SAN SALVADOR EL SALVADOR CENTRO AMERICA

T  
551.22  
S 237<sub>f</sub>

UES BIBLIOTECA CENTRAL



INVENTARIO: 10123498

Ej. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTOS DE FISICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:

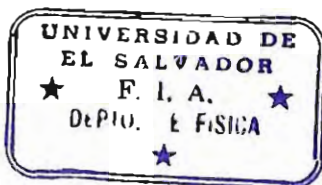
LICENCIADO EN FISICA

Título: " FUNDAMENTOS DE SISMOMETRIA Y CALIBRACION DE UN EQUIPO DE  
LA RED TELEMETRICA NACIONAL "

Presentado por: PEDRO ANTONIO SANTOS LOPEZ.

Trabajo de Graduación aprobado por:

Coordinador y Asesor: Ing. Transito Arturo Quezada.



Asesor: Ing. Luis Ramón Portillo.

Asesor: Ing. Carlos Martínez Torres.

San Salvador, Septiembre de 1991.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. MIGUEL ANGEL AZUCENA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. JOSE FRANCISCO MARROQUIN

SECRETARIO:

ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO

DEPARTAMENTO DE FISICA

JEFE:

ING. TRANSITO ARTURO QUEZADA



DEDICATORIA:

A JEHOVA, DIOS DE AMOR Y MISERICORDIA, POR PERMITIRME ALCANZAR  
ESTA META.

CON AMOR Y RESPETO:

A mis queridos padres:

SAUL ANTONIO SANTOS .

MARIA ADELA LOPEZ DE SANTOS.

Por su apoyo y esperanzas cifradas en mi.

A mis hermanos:

JORGE ALBERTO, ZOILA ESPERANZA, CELOTILDE Y ROSA CLEOTILDE  
SANTOS.

Por su ayuda y cariño.

Ami esposa:

CARMEN ADELA CORTEZ DE SANTOS.

Por su inapreciable cariño y comprensión.

A mis tíos, amigos, compañeros y maestros.

Por su paciencia y comprensión.

PEDRO ANTONIO SANTOS LOPEZ.

## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría en esta parte, mencionar a todas aquellas personas que de alguna u otra forma me han alentado y colaborado directamente, haciendo posible alcanzar la meta propuesta al inicio del presente trabajo, a todos ellos mis mas sinseros agradecimientos. Sin embargo en forma especial quisiera manifestar mis más profundos agradecimientos a los asesores: **Ing. Transito Arturo Quezada e Ing. Luis Ramón Portillo**, por su constante preocupación y acertadas observaciones para un mejor término del presente trabajo.

Extiendo mis agradecimientos a:

El Centro de Investigaciones Geotécnicas, por su apoyo en el desarrollo del presente trabajo.

A el Departamento de Física de la Universidad de El Salvador, por, facilitarme equipo de medición, indispensable para este trabajo.

A el Ing. Mauricio Ciudad Real, Jefe del Depto. de Investigaciones Sismológicas, por permitirme hacer uso de las instalaciones y equipos de su depto. asi como por su interés por el buen desarrollo del presente trabajo.

A los Técnicos Manuel de Jesús Calderón y Marlon Joel Bolaños,  
por su valioso aporte en la etapa de calibración.

A mis compañeros de trabajo , de estudio y maestros por el  
interés mostrado para que alcanzara los objetivos propuestos.

Pedro Antonio Santos López

## RESUMEN

Este trabajo, pretende establecer un precedente en los trabajos de calibración de una estación sismográfica moderna (que pertenece a la Red Sismográfica Nacional), y dejar un manual de calibración, para que el trabajo sea retomado por la entidad competente y se concluya la calibración de toda la Red de estaciones de telemetría sísmica en El Salvador.

Como resultado del trabajo de calibración manual, se obtuvo una curva de magnificación (razón entre la deflexión pico-pico del registro obtenido y la deflexión original del terreno), para el sistema completo, no pudiéndose comparar con algún patrón previamente establecido, debido principalmente a que el fabricante no proporciona tal información por ser un servicio que él ofrece a un elevado costo.

Para obtener la curva de magnificación de todo el sistema, se ajustaron previamente cada uno de los componentes de la estación sísmica instalada en el laboratorio, obteniéndose los resultados que se describen a continuación:

En la unidad de Registro, compuesta por el registrador analógico de tambor modelo RV-301 y el amplificador modelo AR-320, ambos de la

marca Teledyne Geotech; se verificó una correcta polaridad en el registrante, se corrigió un error de desplazamiento offset de 1.12 V dc en el amplificador, y se ajustaron desviaciones en la ganancia (definida como la razón entre el voltaje de entrada al amplificador y la deflexión pico pico en el registro obtenido) del mismo de hasta el 85% del valor esperado, disminuyendose a desviaciones del 5% respecto del valor esperado.

En el módulo Discriminador modelo DM-1 de marca Kinematics, se ajustó la frecuencia de centro de un valor medido de 662 Hz hasta el valor esperado de 680 Hz, así como también fué corregida una desviación encontrada en la ganancia del módulo del 25% del valor esperado, (la ganancia se define como la razón entre el voltaje de salida a escala completa y el valor de desviación de  $\pm 125$  Hz de la frecuencia de centro; el valor esperado es de 0.020 Vdc/Hz y el valor medido fué de 0.025 Vdc/Hz).

En el Oscilador Controlado por voltaje (VCO) modelo OM-1 de marca Kinematics Inc , se ajustó la frecuencia de centro de un valor medido de 623 Hz, hasta alcanzar el valor esperado de 680 Hz, además, se ajustó una desviación del 30% en la ganancia del módulo del valor esperado, (la ganancia es definida como la razón entre el voltaje DC de entrada al y un valor de desviación en la frecuencia de centro del módulo de  $\pm 125$  Hz; el

valor esperado es de 0.020 Vdc/Hz, el valor medido fué de 0.014 Vdc/Hz).

En el módulo amplificador del modulador, las curvas de respuesta obtenidas, para una atenuación de 12 dB muestra una ganancia máxima fija de 8000 lo que significa una ganancia de 78.1dB, que era el valor esperado para la atenuación prefijada, en un rango de frecuencias de 0.8 a 0.9 Hz; y una ganancia máxima fija de 1000 veces (de 60 dB) para una atenuación de 24 dB, cuya ganancia esperada era de 66 dB en un rango de frecuencias de 0.9Hz a 9.0Hz. Finalmente, se aclara que la curva de magnificación obtenida, considera al sistema con los filtros totalmente abiertos.

## INTRODUCCION

Se ha comprobado, que la corteza terrestre no es una masa continua, si no que se encuentra fragmentada en enormes bloques de masa (Placas Tectónicas) las cuales se desplazan relativamente una de otras a velocidades imperceptibles (7 cm/año en promedio, según Zauter, 1990) produciendo de esta manera constantes ciclos de acumulación y liberación de energía generando rupturas en la corteza; siendo este proceso la principal causa de la actividad sísmica a nivel mundial.

De acuerdo con la teoría de la tectónica de placas, la sismicidad en El Salvador, es una consecuencia directa del proceso de subducción en dirección Noreste de la Placa de Cocos bajo la Placa del Caribe.

A pesar de que esta sismicidad es inherente a la existencia misma del territorio nacional, la vigilancia y monitoreo de ésta, dió inicios hasta finales del siglo pasado, con sismógrafos mecánicos de baja amplificación (80 veces) ,péndulos con enormes masas (200 kg) y con un sistema de registro directo.

Con el desarrollo de la tecnología, fueron superados los instrumentos mecánicos por los sismógrafos de tipo

electromagnéticos, que usan como medios de transmisión para la señal sísmica, ondas radiales tipo (uhf), con péndulos con masas de 2.5 kg. y amplificaciones superiores a 3000 veces con períodos de 1 segundo. Fue este tipo de instrumental sísmico el que fue adquirido e instalado en 1983, fecha desde la cual no ha sido calibrada a pesar de que ha sido objeto de algunas reparaciones, y que el fabricante recomienda efectuar trabajos de calibración por al menos una vez por año.

Lo anterior permite poner en tela de juicio, la información proporcionada por el sistema de registro sísmico, volviéndose necesario llevar a cabo de inmediato el trabajo de su calibración con el objeto de optimizar el funcionamiento del instrumental y garantizar que trabajen bajo las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante.

El presente trabajo, retoma la necesidad planteada, y persigue solventarla efectuando el trabajo de calibración en una de las diez estaciones sismográficas de la Red de Telemetría Sísmica de El Salvador, dejando como precedente un manual de calibración para que se complete el trabajo en todas las estaciones sísmicas restantes de la red.

## INDICE

<u>CONTENIDO</u>	<u>PAGINA</u>
RESUMEN.....	
INTRODCUCION.....	
CAPITULO I	
"VIBRACIONES UNIDIMENSIONALES"	
INTRODUCCION.....	1
1.0 Vibraciones Libres Sin Amortiguamiento.....	2
1.1 Sistem Masa-resorte.....	2
1.2 Vibraciones Libres con Amortiguamiento Viscoso.....	6
1.3 Vibraciones Forzadas sin Amortiguamiento.....	9
1.4 Vibraciones Forzadas con Amortiguamiento.....	15
1.5 Movimeinto Relativo entre la Masa y el Soporte.....	19
CAPITULO II "SISMOMETRIA"	
INTRODUCCION.....	21
2.1 Evolución Histórica de la Sismometría.....	22
2.2 Problema Fundamental en la Medición.....	23
2.3 Tipos de Instrumentos Sísmicos.....	25
2.3.1 Sismómetro de Péndulo.....	25
2.3.2 Sismómetros Mecánicos de Registro Directo.....	26

2.3:2.a Principio de Funcionamiento.....	27
2.3.2.b Sismómetro Mecánico de Componente Horizontal.....	28
2.3.2.c Sismómetro Mecánico de Componente Vertical.....	29
2.4 Sismómetro de Velocidad Electromagnética.....	30
2.5 Sismómetro Electrónicos.....	33
2.6 Red Sismográfica de Telemetría Sísmica.....	34
2.6.1 Definición.....	35
2.6.2 Sistema Centralizado de Registro.....	34
2.6.3 Componentes de un Sistema Sismográfico Moderno.....	35
2.6.4 Sensibilidad del Registrante.....	39
2.6.5 Principales Especificaciones Técnicas de un Sismómetro Electromagnético Moderno.....	40
2.7 Respuesta Instrumental.....	43
2.8.1 Naturaleza y Uso de las Curvas de Respuesta.....	43
2.8.2 Rango de Frecuencias y Amplitudes de la Señal Sísmica.....	44
2.8.3 Rango Dinámico.....	44

CAPITULO III " RESULTADOS DE LA CALIBRACION DE UNA ESTACION  
SISMOGRAFICA DE LA RED DE TELEMETRIA  
SISMICA "

INTRODUCCION.....	46
3.1 Descripción General de la Red Sismográfica de Telemetría de El Salvador.....	47

3.1.1 Evolución Histórica de Instrumental Sísmico en El Salvador.....	47
3.2 Objetivo Básico de la Calibración.....	49
3.3 Uso de los Datos de Calibración.....	50
3.4 Ajuste y Calibración de los componentes de una estación Instalada de la Red Sismográfica.....	51
3.4.1 Pruebas y Ajustes en el Registrante.....	51
3.4.2 Pruebas en el Amplificador del Registrante.....	52
3.4.3 Pruebas y Ajustes en el Demodulador.....	56
3.4.4 Pruebas y Ajustes en el Oscilador controlado por Voltaje.(VCO).....	59
3.4.5 Chequeos Realizador en el Módulo Amplificador del Modulador de la Señal Sísmica.....	63
3.4.6 Pruebas y Ajustes en el Sismómetro.....	68
3.5 Calibración Total de un Sistema Sismográfico.....	72
CAPITULO IV "CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES".....	77
CAPITULO V "BIBILOGRAFIA".....	84
APENDICE "A": GLOSARIO.....	86
APENDICE "B": MANUAL DE CALIBRACION.....	93

# CAPITULO I

## VIBRACIONES UNIDIMENSIONALES

### INTRODUCCION

Desde su origen, el hombre ha sido afectado por diversos desastres naturales como los terremotos, los cuales en algunas ocasiones, han acabado con poblaciones enteras. Es por ello que el hombre se ha interesado por el estudio de estos fenómenos y ha desarrollado una serie de instrumentos con el objeto de registrar las vibraciones producidas durante un temblor, los cuales han tenido su fundamento en la teoría de las vibraciones mecánicas, y específicamente las vibraciones mecánicas en una sola dimensión. En el presente capítulo, se hace una consideración secuencial de algunos sistemas mecánicos con vibraciones en una dimensión y específicamente, del sistema masa-resorte, del cual se consideran los casos desde que dicho sistema mantiene una oscilación libre, hasta cuando el sistema tiene una oscilación forzada con amortiguamiento, así como tomando en cuenta el movimiento relativo entre la masa y el soporte, el cual constituye uno de los primeros modelos del instrumental sísmico mecánico.

## 1.0 Vibraciones Libres sin Amortiguamiento

### 1.1 Sistema Masa-resorte

Se define la vibración libre, como aquella oscilación que es afectada por ninguna fuerza externa ni interna en un sistema masa resorte; considerese un peso suspendido de un extremo de un resorte, el cual es desplazado de su posición de equilibrio, y luego se deja oscilar libremente (fig. 1.1)

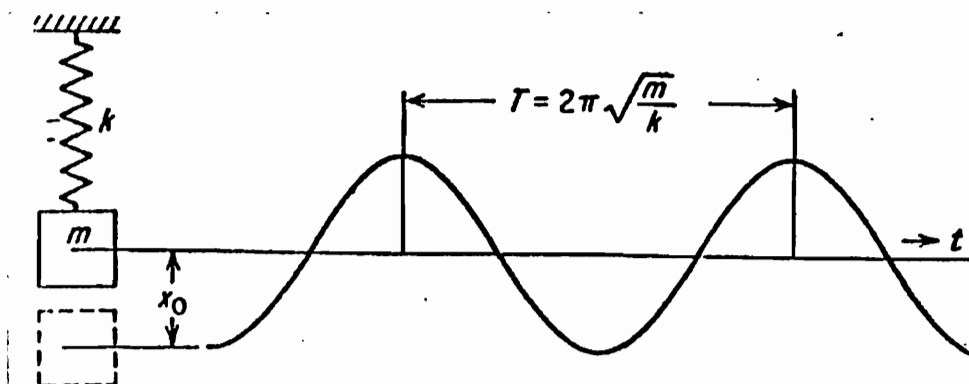


FIGURA 1.1 Vibración libre de un sistema masa resorte.

(Según Hartog, 1956)

Suponiendo que se desprecian todas las resistencias asociadas al sistema, como la fricción del aire, fricción interior del resorte, etc. la relación entre la fuerza y el desplazamiento se expresa analíticamente como  $F = KX$ , donde  $K$  es la constante de proporcionalidad y  $X$  la elongación del resorte. La ecuación de movimiento del sistema será:

$$F = ma = (W/g)a$$

$$F = KX = (W/g)d^2X/dt^2 \quad (1.1)$$

donde:  $W$  = el peso de la masa.

$g$  = el valor de la aceleración de la gravedad.

$a$  = la aceleración de la masa.

el signo menos indica que el desplazamiento tiene sentido opuesto a la aceleración. La ecuación 1.12 puede ser escrita en forma diferencial:

$$d^2x/dt^2 + KgX/W = 0 \quad (1.2)$$

la cual es de la forma:

$$A_0d^2x/dt^2 + A_1x/dt + A_2x = 0 \quad (1.3)$$

donde  $A_0$ ,  $A_1$  y  $A_2$  son constantes.

La ec. 1.3 es una ecuación diferencial de segundo orden con coeficientes constantes, cuya solución requiere de una función que aun diferenciada continuamente no cambie su forma, como:

$$X = C e^{mt}; \quad \text{con } C = \text{constante}$$

derivando la expresión anterior y sustituyendo en 1.3 :

$$A_0Cm^2e^{mt} + A_1mC e^{mt} + A_2C e^{mt} = 0 \quad (1.4)$$

que es la ecuación característica de la ecuación diferencial planteada, cuyas raíces son encontradas a través de la expresión:

$$m_{1,2} = \left[ -A_1 \pm \sqrt{A_1^2 - 4A_0A_2} \right] / 2A_0 \quad (1.5)$$

Si las raíces son reales la solución general puede ser escrita convenientemente como:

$$X = C_1 e^{mt} + C_2 e^{nt} \quad (1.6)$$

donde  $C_1$  y  $C_2$  son constantes.

Si son complejas, la parte real de la solución general en forma trigonométrica puede ser escrita como:

$$X = e^{mt}(C_1 \cos wt + C_2 \sin wt) \quad (1.7)$$

donde  $C_1$  y  $C_2 =$  constantes

$w =$  frecuencia angular

Ahora, particularizando para el caso planteado inicialmente del sistema masa resorte con oscilación libre, cuya ecuación de movimiento esta descrito por la ec. 1.2, tiene una ecuación característica igual a:

$$m^2 + kg/w = 0 \quad (1.8)$$

cuyas raíces son determinandas por la expresión 1.5 resultando:

$$m_{1,2} = 0 \pm i\sqrt{kg/w} \quad (1.9)$$

las cuales son raíces complejas, por lo tanto la parte real de su solución general vendrá dado en la forma trigonométrica:

$$X = A \sin \sqrt{(kg/w)} t + B \cos \sqrt{(kg/w)} t \quad (1.10)$$

donde A y B son constantes arbitrarias, las cuales toman en

cuenta las condiciones bajo el cual comienza la vibración. La condición mas comúnmente usada, es aquella dónde el peso es desplazado una distancia de su posición de equilibrio y luego es soltada sin velocidad inicial, expresadas analíticamente como:

$$a) X=X_0 \quad \text{cuando } t=0$$

$$b) dx/dt=0 \quad \text{cuando } t=0$$

Aplicando las condiciones iniciales en la ecuación 1.10 se tiene:

$$a) \quad X_0 = A(0) + B(1) \quad ; \text{luego, } X_0 = B$$

$$b) \quad dx/dt = A\omega \cos \omega t - X_0 \omega \sin \omega t \quad ; \text{luego } A=0$$

donde  $\omega = \sqrt{kg/W}$ , sustituyendo los valores en la ecuación 1.10:

$$X = X_0 \cos \sqrt{kg/W} t \quad (1.11)$$

Donde, debido a la condición inicial asumida, la ecuación anterior es una solución particular de la ecuación 1.10, cuando existe una velocidad inicial, las condiciones serán:

$$a) X=X_i \quad \text{cuando } t=0$$

$$b) dx/dt=V_i \quad \text{cuando } t=0$$

las cuales al ser aplicadas se tiene que:

$$X_1 = A(0) + B(1) ; \text{ donde } X_1 = B$$

$$dX/dt = V_1 = A w \cos wt + B w \sin wt$$

luego  $A = V_1/w$ ; teniendose:

$$X = (V_1/w) \sin wt + X \cos wt \quad (1.12)$$

donde  $w = \sqrt{kg/W}$  = velocidad angular

El período viene expresado por:

$$T = 2\pi/w \text{ como } w^2 = kg/W \text{ luego: } T = 2\pi\sqrt{W/kg} = 2\pi\sqrt{e_{\text{est.}}/g}$$

donde  $e_{\text{est.}} = W/g$  es la deflección estática, luego la frecuencia lineal será:

$$f = 1/T = 1/2\pi \sqrt{g/e_{\text{est.}}}$$

## 1.2 Vibraciones libres con amortiguamiento viscoso.

El amortiguamiento viscoso, es el mas simple en problemas de vibración, este amortiguamiento es proporcional a la velocidad, el cual será denotado por  $r$ .

Considérese un sistema masa resorte con un elemento amortiguador viscoso como lo muestra la fig. 1.2

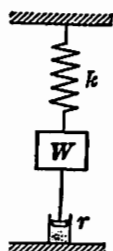


Fig. 1.2 Sistema masa resorte con amortiguamiento viscoso.  
(Según Feberg, 1960)

Escribiendo la ecuación de equilibrio:

$$(W/g)d^2x/dt^2 + rdx/dt + Kx = 0 \quad (1.13)$$

donde:

$W/g$  = Masa suspendida en el resorte.

$K$  = Constante de elasticidad del resorte.

$X$  = Desplazamiento de la posición de equilibrio.

$r$  = Coeficiente de amortiguamiento.

La ecuación característica auxiliar de la ecuación 1.13:

$$(W/g)m^2 + rm + k = 0 \quad (1.14)$$

cuyas raíces son:

$$m_{1,2} = -rg/2W \pm \sqrt{(rg/2W)^2 - Kg/W}$$

Si  $(rg/2W)^2$  es menor que  $kg/W$  (caso sub amortiguado) la

solución podrá ser escrita como:

$$X = A e^{m t} + B e^{m t} \quad (1.15)$$

Si ambas raíces son iguales y negativas, el movimiento expresado por la ecuación 1.13 ya no es vibratorio, porque ésta, sólo puede aproximarse a la posición de equilibrio o pasar por éste una vez.

Cuando  $(r g / 2 w)^2$  es igual a  $K g / W$ , (caso críticamente amortiguado) las raíces son iguales reales y negativas, entonces, la solución general es:

$$X = (A + B t) e^{m t} \quad (1.16)$$

Imponiendo las condiciones iniciales:

$$a) X = X_0 \quad \text{cuando } t = 0$$

$$b) dx/dt = 0 \quad \text{cuando } t = 0$$

se obtiene

$$A = X_0 \quad \text{y} \quad b = -X_0 m$$

$$m = - (r g / 2 W)$$

$$X = X_0 [1 + (r g / 2 W) t] e^{-(r g / 2 w) t} \quad (1.17)$$

donde esta expresión tampoco representa un movimiento vibratorio.

El tercer tipo de solución donde  $k g / W$  es mayor que  $(r g / 2 w)^2$

(caso sobreamortiguado), entonces las raíces serán complejas y distintas. De manera que la forma mas usual de expresar la solución en forma trigonométrica será:

$$X = e^{-(rg/2w)t} [A \cos \sqrt{kg/W - (rg/2W)^2} t + B \sin \sqrt{kg/W - (rg/2W)^2} t] \quad (1.18)$$

La ecuación anterior si representa un movimiento vibratorio, debido a que el término dentro del corchete, es una expresión del movimiento armónico simple donde A y B son constantes arbitrarias que dependen de la posición de equilibrio.

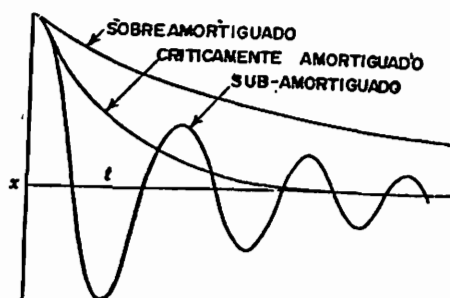


Figura 1.3 Representación gráfica de los diferentes tipos de amortiguamiento viscoso en los movimientos de un sistema masa resorte (según Freber, 1960).

### 1.3 Vibraciones Forzadas sin Amortiguamiento.

Sistema Masa Resorte:

La combinación de la vibración natural y la vibración forzada es importante. Un ejemplo típico de esto es el peso

suspendido de un resorte como lo muestra la figura ( 1.4)

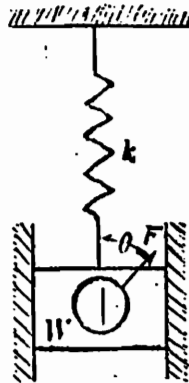


Fig. 1.4 Sistema masa resorte con vibraciones forzadas sin amortiguamiento. (Según Hartog, 1956)

En el movimiento de un grado de libertad, el movimiento es permitido en una sola dirección. Asumir que un peso es suspendido en el extremo libre de un resorte y que una fuerza armónica vertical actúa sobre el peso.

Esto podría ser una motor con un rotor desequilibrado girando a una velocidad constante. Entonces si el motor es guiado a que pueda moverse a una sola dirección vertical, una componente ( $f \sin \theta$ ) de esta fuerza centrífuga desequilibrada, será absorbida por la guía, mientras que la otra componente ( $f \cos \theta$ ), producirá una fuerza la cual tenderá a hacer que el motor vibre en una dirección vertical. Si  $w$  es la frecuencia de la fuerza de desequilibrio en radianes por segundo la fuerza de desequilibrio puede ser escrita como:  $F \cos wt$ . La componente vertical de la fuerza de desequilibrio puede ser escrita en términos de senos o coseno, dependiendo sobre que

eje sea considerado el movimiento.

La ecuación general de movimiento de este sistema descrito puede ser escrita como sigue:

$$\Sigma = (W/g)a$$

$$(W/g)d^2x_1/dt^2 + Kx = F\cos\omega t \quad (1.19)$$

haciendo:  $x = x_1 + W/k$  = desplazamiento de la posición de equilibrio.

$$(W/g) d^2x/dt^2 + Kx = F\cos\omega t \quad (1.20)$$

La solución de la ecuación diferencial de este tipo, es igual a la solución cuando el término del miembro derecho es 0, mas la solución particular o solución complementaria, en el primer caso, cuando la ecuación 1.20 se iguala a cero, ya ha sido resuelta anteriormente, así la solución puede escribirse como:

$$X = A \operatorname{sen} \sqrt{kg/W} t + B \operatorname{cos} \sqrt{kg/W} t + X_p$$

donde  $\omega_n = \sqrt{kg/W}$ ; A y B = constantes

$X_p$  = la solución particular

considerando la solución particular ( $X_p$ ) de la forma :

$$X_p = C \operatorname{sen} wt + D \operatorname{cos} wt. \quad (1.21)$$

donde C y D son constantes a determinar . Derivando (1.21) y sustituyendo en (1.20) :

$$\begin{aligned} W/g[-Cw^2 \operatorname{sen} wt - Dw^2 \operatorname{cos} wt] + \\ K[C \operatorname{sen} wt + D \operatorname{cos} wt] = F \operatorname{cos} wt \end{aligned} \quad (1.22)$$

reordenando:

$$[-(Cw^2W/g) + CK] \operatorname{sen} wt + [DK - (Dw^2W/g)] \operatorname{cos} wt = F \operatorname{cos} wt$$

como no hay término seno en el miembro derecho de (1.22), el coeficiente seno debe ser cero; quedando:

$$-(Cw^2W/g) + CK = 0$$

por lo tanto:  $C = 0$

igualando los coeficientes  $\operatorname{Cos} wt$ , se tiene:

$$DK - DWw^2/g = F$$

$$D = F/(K - Ww^2/g)$$

sustituyendo las constantes en la ecuación 1.21 se tiene:

$$X_p = [F/(K - Ww^2/g)] \operatorname{cos} wt \quad (1.23)$$

la solución completa de la ec. 1.20 esta dada por :

$$X = A \sin \omega t + B \cos \omega t + [F/(k - W\omega^2/g)] \cos \omega t \quad (1.24)$$

Si se toma el caso donde  $X = 0$ , y  $dx/dt = 0$ , las constantes pueden ser evaluadas obteniendo.

$$A = 0$$

$$B = - F/(K - W\omega^2/g)$$

las cuales, cuando son sustituidas en la ec. 1.24 se obtiene:

$$X = -[F/(K - W\omega^2/g)] \cos \omega t + [F/(K - W\omega^2/g)] \cos \omega t \quad (1.25)$$

$$X = [F/(K - W\omega^2/g)] (\cos \omega t - \cos \omega t) \quad (1.26)$$

El comportamiento de esta ecuación (1.26) puede ser interpretada gráficamente considerando que pasa al sistema bajo la acción de la fuerza  $F$ , cuando  $t$  se incrementa; de la ecuación (1.25) puede verse que el movimiento del motor está dado por  $X$ , para cualquier frecuencia de la fuerza de vibración. Este resultado puede ser obtenido gráficamente, ploteando cada término de la ecuación 1.26 y sumando el resultado. La figura 1.5 muestra un ejemplo donde la frecuencia forzada es pequeña comparada con la frecuencia natural.

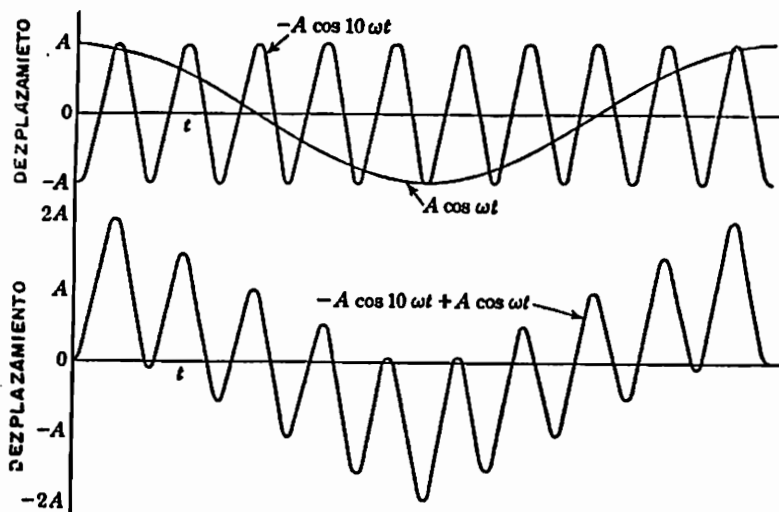


Figura 1.5 Pequeña frecuencia forzada sumada con la frecuencia natural (según Feberg, 1960).

Quando dos frecuencias son muy semejantes, ocurrirá una condición conocida como pulsación, como lo indica la fig.1.6, las cuales al transcurrir el tiempo tenderán a cancelarse mutuamente. A altas frecuencias puede encontrarse un fenómeno similar al de la fig.1.5 excepto que la frecuencia natural será mas baja que la frecuencia forzada.

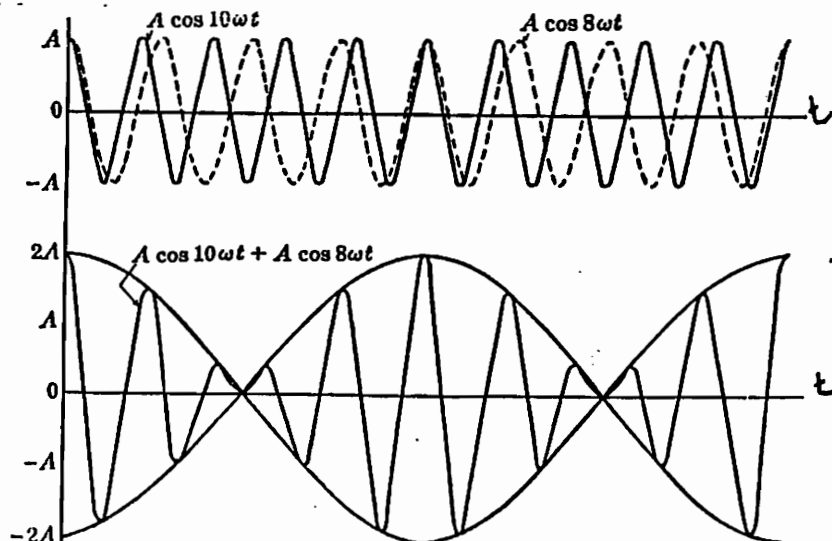


Figura 1.6 Frecuencias forzadas ligeramente diferentes de la frecuencia natural (según Feberg, 1960).

#### 1.4 Vibraciones Forzadas con Amortiguamiento.

En el caso de una vibración forzada con amortiguamiento como lo muestra la figura 1.8:

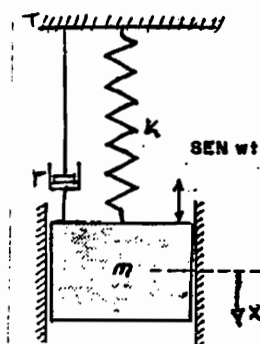


Figura 1.8 Sistema masa-resorte con movimiento forzado con amortiguamiento. (Según Hartog, 1956)

la ecuación de movimiento del sistema masa resorte, puede ser escrita como:

$$(W/g)d^2x/dt^2 + rdx/dt + KX = F\cos wt \quad (1.27)$$

donde  $F$ = la magnitud de la fuerza perturbadora

$r$ = constante de amortiguamiento

$K$ = constante de elasticidad del resorte.

$X$ = elongación del resorte.

$W$ = peso del péndulo.

La solución de esta ecuación cuando el miembro derecho es igual a cero (ec. homogénea) ya ha sido resuelta en la sección

1.2, expresada en la ecuación 1.18 la cual representa la solución general de la ecuación 1.27, para encontrar la otra parte de la solución completa es necesario hallar la solución particular ( $X_p$ ) de la ecuación 1.27, la cual es asumida de la forma:

$$X_p = C \operatorname{sen} wt + D \operatorname{cos} wt \quad (1.28)$$

derivando la ecuación 1.28 y sustituyendo en ecuación 1.27:

$$\begin{aligned} W/g[-Cw^2 \operatorname{sen} wt - Dw^2 \operatorname{cos} wt] + r[Cw \operatorname{cos} wt - Dw \operatorname{sen} wt] + \\ K[C \operatorname{sen} wt + D \operatorname{cos} wt] = F \operatorname{cos} wt \end{aligned}$$

dado que los términos senos y coseno deben ser iguales en ambos miembros, se puede escribir:

$$\begin{aligned} [K - Ww^2/g]C - rwD &= 0 \\ rwC + [K - Ww^2/g]D &= F \end{aligned} \quad (1.29)$$

resultando que:

$$\begin{aligned} C &= Frw / \{ [K - (Ww^2/g)]^2 + (rw)^2 \} \\ D &= F(K - Ww^2/g) / \{ [K - Ww^2/g]^2 + (rw)^2 \} \end{aligned}$$

luego la ecuación 1.28 puede ser escrita como:

$$\begin{aligned} X_p = [ Frw / \{ [K - (Ww^2/g)]^2 + (rw)^2 \} ] \operatorname{sen} wt + \\ \{ F(K - Ww^2/g) / [ (K - Ww^2/g)^2 + (rw)^2 ] \} \operatorname{cos} wt \end{aligned} \quad (1.30)$$

Dado que los términos senos y coseno tienen una misma frecuencia, pueden ser representados por dos vectores mutuamente perpendiculares cuya suma o vector resultante da como resultado una forma simplificada de la solución particular de la ecuación 1.27:

$$X_p = [ F/\sqrt{\{[k-Ww^2/g]^2 + (rw)^2\}} ] \cos(wt-\theta)$$

la cual al reorganizar se obtiene:

$$X_p = \{(F/K)\{1/\sqrt{[(1-(w/w_n)^2)^2 + (2rw/r_c w_n)^2]}\}\}\cos(wt-\theta)$$

donde :  $w^2 = kg/W$  ;  $r_c = 2k/w_n$  de donde:  $1/k = 2/(r_c w_n)$

$\theta$  = representa el ángulo de desfase el cual puede ser escrito como:

$$\theta = \tan^{-1} [rw/(K-Ww^2/g)] \quad (1.31)$$

Luego la solución completa de la ecuación 1.27 será:

$$X = e^{-(r_c/2w)t} [A\cos wnt + B\sin wnt] + [1/\sqrt{\{[k-Ww^2/g]^2 + (rw)^2\}}] F\cos(wt-\theta) \quad (1.32)$$

los dos términos del miembro derecho de la ecuación 1.32, representan respectivamente, un movimiento vibratorio forzado y un movimiento de vibración libre. con el paso del tiempo, el término para la vibración libre desaparecerá, porque el

coeficiente tenderá a cero. El estudio de esta condición de estado es especificado por:

$$X = \frac{F}{\sqrt{[k - Ww^2/g]^2 + (rw)^2}} \cos(wt - \theta) \quad (1.33)$$

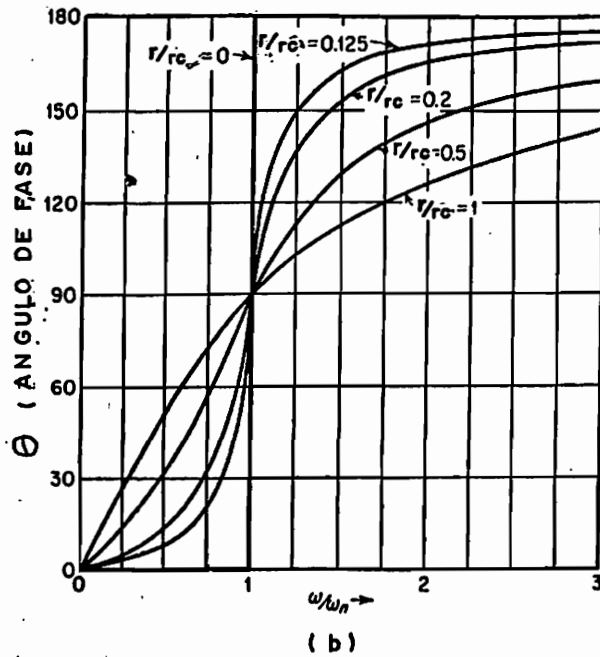
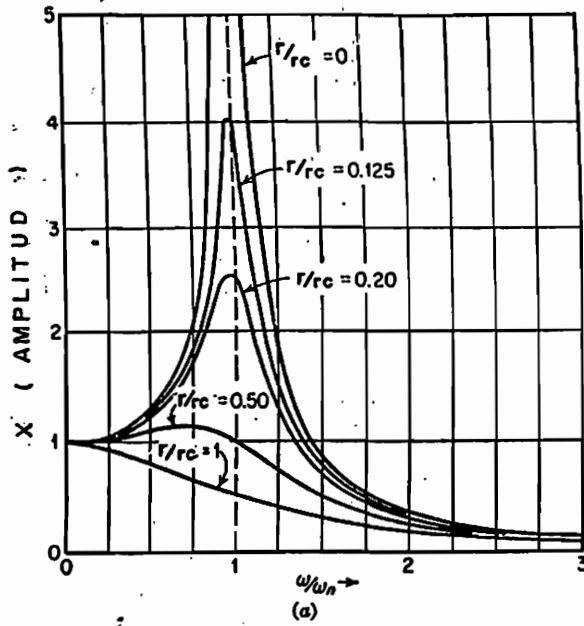
donde la amplitud máxima será,

$$X = (F/K) \left\{ \frac{1}{\sqrt{[(1 - (w/w_n)^2]^2 + (2rw/r_c w_n)^2]} \right\} \cos(wt - \theta) \quad (1.34)$$

El término  $F/k$  es la deflección causada por una fuerza perturbadora. El otro factor es equivalente a la deflección estática, el cual es multiplicado por  $F/K$  para obtener la amplitud dinámica.

Por esta razón, el término entre paréntesis es usualmente llamado el "el factor de magnificación", la figura 1.7a, muestra los efectos de varias razones de frecuencias (forzadas y libres) sobre las amplitudes a diferentes proporciones de amortiguamiento, en ella, han sido plateado los valores del factor de magnificación.

El ángulo de fase entre la frecuencia y el desplazamiento de la masa el cual está dado por la ecuación 1.32, es mostrado en la figura 1.7b.



$r$  = Amortiguamiento  
 $r_c$  = " Crítico  
 $W$  = Frecuencia Amortiguada  
 $W_n$  = " Natural  
 $X$  = Amplitud

Fig. 1.7. a) AMPLITUD DE ALGUNAS VIBRACIONES PARA VARIOS GRADOS DE AMORTIGUAMIENTO  
 b) ANGULO DE FASE ENTRE LA FUERZA Y EL DESPLAZAMIENTO COMO FUNCION DE LA FRECUENCIA PARA VARIOS VALORES DE AMORTIGUAMIENTO.

### 1.5 Movimiento Relativo Entre la Masa y el Soporte.

Un modelo general utilizado para medir vibraciones es mostrado en la figura 1.9, en éste, la base esta sujeta al cuerpo la cual tiene una vibración desconocida igual a  $A \sin(\omega t)$ .

Las fuerzas que actúan sobre el resorte, son las fuerzas debidas al resorte:  $k(1/2+1/2)(X_1+ X_2)$  y la fuerza de amortiguamiento, suponiendo que  $X_1$  es mayor que  $X_2$ , la ecuación de movimiento será:

$$-K(X_1 + X_2) - r(\dot{X}_1 - \dot{X}_2) = m\ddot{X} \quad (1.35)$$

Sea el movimiento relativo entre la base y la masa sostenida por el resorte (fig.1.9):  $X = X_1 - X_2$  entonces,

$$\begin{aligned} X_1 &= X + X_2 \\ \dot{X}_1 &= \dot{X} + \dot{X}_2 \end{aligned}$$

la ecuación de movimiento toma la forma:

$$\begin{aligned} m(d^2x/dt^2 + d^2x_2/dt^2) + rdx/dt + KX &= 0 \\ m(d^2x/dt^2) + rdx/dt + KX &= -m(d^2x_2/dt^2) \end{aligned} \quad (1.36)$$

como  $X_2 = A \sin \omega t$ , es la vibración del cuerpo libre, luego:

$$m(d^2x/dt^2) + rdx/dt + KX = m(A \omega \sin \omega t)$$

ecuación 1.36, es la ecuación diferencial resuelta en la sección anterior para el caso de las vibraciones forzadas con amortiguamiento, donde  $F_0$  esta reemplazada por  $mAw$ :

$$X = [F \cos(\omega t - \theta)] / \sqrt{[(K - \omega^2 m)^2 + (r\omega)^2]} \quad (1.37)$$

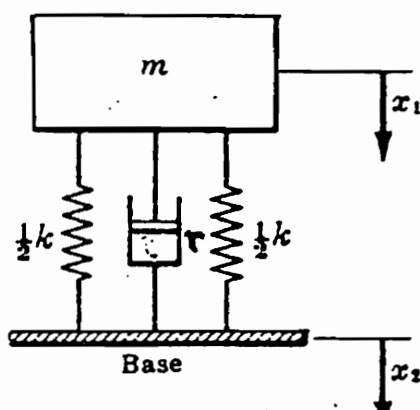


Fig. 1.17: Modelo general para medición de vibraciones.

(según Seto, 1970)

CAPITULO II  
"S I S M O M E T R I A"

INTRODUCCION

Con el desarrollo de las ciencias físicas, las matemáticas y la tecnología, la vigilancia y monitoreo de los fenómenos naturales ha sido más efectiva, y gracias a esta labor, se ha prevenido a la población y en algunos casos evacuado poblaciones enteras, a causa de inminentes desastres naturales como son los terremotos y las erupciones volcánicas etc.

Es por esta razón que el hombre se ha esmerado cada día por perfeccionar los instrumentos utilizados en el monitoréo

de estos fenómenos(sísmicos y volcánicos), así, en la sismología, la sismometría ha evolucionado desde los rudimentarios instrumentos de registro sísmico (Sismoscopio), hasta los sofisticados Sismómetros de Transducción Electromagnética y Electrónicos con procesamiento computarizado.

En este capítulo, se presenta una consideración de la evolución de la Sismometría, los diferentes tipos de sismómetros existentes, y las respuestas frecuenciales de estos instrumentos.

## 2.1 Evolución Histórica:

El inicio de la sismología data desde mediados del siglo XVIII, limitándose en aquel tiempo a estudios con carácter descriptivo de los efectos que se producen en un movimiento telúrico.

Los primeros instrumentos sísmicos, no eran registradores y solamente indicaban que se habían producido vibraciones en el terreno, estos son conocidos como SISMOSCOPIOS. El primero de estos instrumento fué inventado en China en el año 132 AC, por Chan Heng. En la actualidad, todavía son utilizados por ser de bajo costo y requerir poco mantenimiento; su principio de funcionamiento esta basado en la oscilación de un péndulo cuya forma de graficar consiste en un estilete unido a la masa del péndulo , que deja huellas sobre una placa ahumada al producirse un temblor.

Algunos eventos históricos de mucho significado en la evolución del instrumental sismográfico son:

- En 1855, Luigi Palmieri, construyó el primer instrumento sísmico que permitía registrar la duración de un temblor.
- En 1875, F.P.Cecchi, construye el primer sismógrafo mecánico basado en el movimiento relativo de un péndulo excitado .
- En 1898, Emil Wiechert construye el primer sismómetro con amortiguamiento viscoso, siendo este mismo, el que construye

dos años mas tarde, el primer sismógrafo de péndulo invertido.

-En 1906, se desarrolla el primer sismógrafo electromagnético, añadiendo a la masa, una bobina que se mueve en un campo magnético producido por un imám. El cual fué perfeccionado en 1920 por J.L. Willip.

En la actualidad, los equipos de instrumentación sísmica, están basados en el principio del péndulo, mas el principio de transducción electromagnética, utilizando entre el sismómetro (sensor) y el registrante, un sistema de amplificación electrónica y en algunos casos, un convertidor analógico digital previo a la amplificación de la señal.

## **2.2 Problema Fundamental en la Medición.**

En sismología, el problema fundamental relacionado con la medición de las vibraciones originadas por un temblor, es el "establecimiento de un punto fijo en el espacio desde el cual medir, ya que durante se produce el evento sísmico, tanto la persona como el instrumento son afectado por éste.

El sismómetro, es un instrumento de medición diseñado para establecer un punto interno en el mismo, el cual tiende a permanecer fijo durante la vibración de un sistema de referencia.

Como en la realidad, este caso ideal no puede ser alcanzado, el registro obtenido será un poco deformado, comparado con el movimiento de las ondas que llegan. Además el período relativo del movimiento vibratorio de la tierra y del movimiento del péndulo, es de mucha importancia para el comportamiento del sismógrafo, así se tiene:

-Si el período del péndulo es mucho mayor que el período de vibración de la tierra, las deflecciones sobre el registro serán proporcionales al desplazamiento de las partículas del terreno.

-Si el período del péndulo es mucho menor que el período de vibración de la tierra, las deflecciones sobre el registro serán proporcionales a la aceleración de las partículas del terreno, y el sismógrafo se comporta como un medidor de la aceleración (acelerógrafo).

-Finalmente si ambos períodos son iguales, las deflecciones serán proporcionales a la velocidad de las partículas del terreno.

El detalle de algunos de los principales instrumentos utilizados en sismología son presentados en la siguiente sección.

### 2.3 Tipos de Instrumentos Sísmicos.

Cuando se produce un sismo, la energía producida es disipada en forma de calor y en forma de ondas sísmicas, produciendo movimientos relativos en las partículas de la tierra. Cualquier instrumento empleado para su detección puede ser llamado sismómetro, el cual tiene que estar dotado de un sistema de registro que convierta la perturbación en un registro permanente.

En general, los sismómetros pueden ser clasificados como:

- Sismómetros de péndulo,
- Sismómetros de velocidad Electromagnética
- Sismómetros tipo Electrónicos.

#### 2.3.1 Sismómetro de péndulo.

Es el tipo mas sencillo que existe consiste en una masa (M) atada a un punto de la superficie de la tierra a través de un sistema masa resorte y un componente amortiguador, se asume que todo el movimiento se restringe en una sola dirección (X) si se denota el movimiento de la tierra en una estructura de referencia inercial como  $U(t)$ , el movimiento de la masa M relativo al movimiento de la tierra como  $X(t)$ .

El resorte presentará una fuerza proporcional a la elongación

$X - X_0$  y el elemento amortiguador presentará una fuerza proporcional a la velocidad relativa  $\dot{X}(t)$  entre la masa y la tierra .

Representando estas constantes de proporcionalidad como  $K$  y  $r$ , se tiene la ecuación de movimiento.

$$m \frac{d^2}{dt^2}[X(t) + U(t)] + r \frac{dX}{dt} + KX = 0 \quad (2.1)$$

ordenando se obtiene:

$$\frac{d^2 X}{dt^2} + 2\xi \frac{dX}{dt} + w^2 X = -\ddot{U}(t) \quad (2.2)$$

donde  $2\xi = r/M$  y  $w^2 = k/M$  ; el cual corresponde al caso del movimiento relativo entre la masa y el resorte, tratado en la sección 1.5 del capítulo I.

### 2.3.2 Sismómetro Mecánico de Registro Directo.

El propósito de un sismógrafo es registrar el movimiento del suelo en un punto particular de la superficie terrestre durante un evento sísmico.

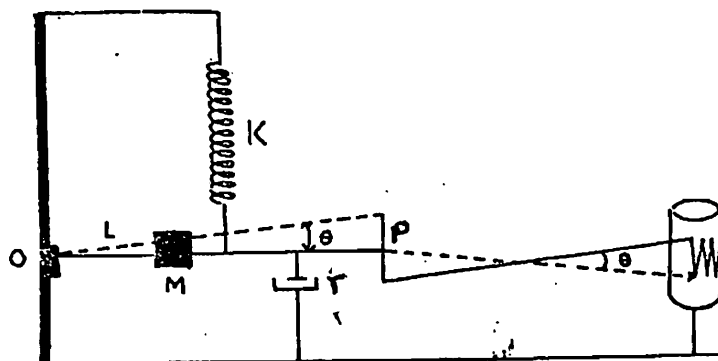
Los sismógrafos son construidos para registrar la componente de traslación del movimiento del suelo; como una norma, las componentes que se toman en un movimiento local son: dos componentes horizontales (Norte-Sur y Este-Oeste) y una componente vertical ( $z$ ).

Los detalles de construcción varían de un fabricante a otro, pero el mismo tipo de ecuación diferencial representa el movimiento relativo entre el sismógrafo y el suelo.

### 2.3.2.a Principio de Funcionamiento.

Esta basado en la propiedad del péndulo, al producirse el movimiento del suelo, se desplaza con respecto a la masa en virtud de su inercia.

Estos movimientos son registrados y ampliados para poder ser registrados en función del tiempo. Para el caso del sismógrafo mecánico, la amplificación se hace a través de un juego de palancas, las cuales permiten el registro en forma directa (ver figura 2.1)



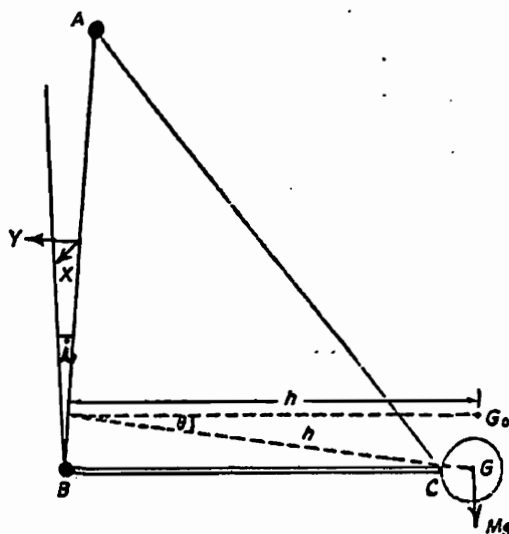
donde:  $K$  = constante del resorte;  $M$  = masa del resorte.  
 $\theta$  = ángulo de deflexión;  $r$  = factor de amortiguamiento  
 $L$  = longitud de brazo OP.

Figura 2.1 Esquema de un sismógrafo con sistema de amplificación mecánico y registro directo.  
 (según Alvarenga at, 1988)

### 2.3.2.b Sismómetro Mecánico de Componente Horizontal.

Consiste en un péndulo oscilando alrededor de un eje, el cual tiene una pequeña inclinación ( $i$ ) hacia la vertical, y esta rígidamente sujeta a la tierra.

El péndulo tiene la forma de una barra BC con una masa en el extremo C, la cual esta conectada con el eje AB en A por un ligero soporte AC (figura 2.2). Durante un sismo, el péndulo oscila libremente alrededor de AB, haciendo que la masa M, sea la que entre en resonancia. La posición de equilibrio ABG<sub>0</sub> del plano ABG es llamado plano neutral.



- $\theta$  = ángulo de rotación ; G = centro de masa
- $i$  = ángulo de inclinación respecto vertical
- $h$  = longitud BC;  $Mg$  = peso de la masa

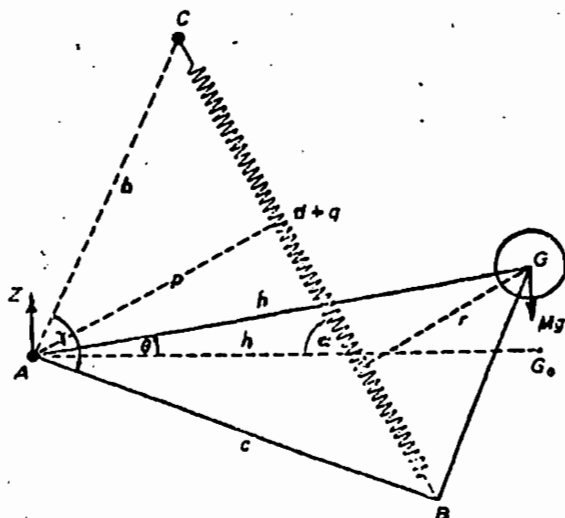
Figura 2.2 Esquema gráfico de un sismógrafo de componente HORIZONTAL (según Bullen & Bolt, 1985)

### 2.3.2.c Sismógrafo Mecánico de Componente Vertical.

En la figura 2.3, el péndulo ABG puede rotar libremente alrededor de un eje horizontal a través de A rígidamente sujeto al suelo. El volumen de la masa del péndulo está en la vecindad del centro de masa G; los miembros AB, BG y GA, constituyen una estructura para G la cual esta al nivel de A en la posición de equilibrio.

El péndulo esta apoyado en B por debajo de un resorte BC de longitud natural  $d$ , el cual esta rígidamente sujeto a la tierra en C, sobre el plano ABG.

Los períodos estándar de los sismógrafos mecánicos de período largo están comprendidos en el rango de 15 a 30 seg. .



donde:  $\theta$  = ángulo de rotación; G = centro de masa  
 $d$  = distancia natural del resorte ;  
 $q$  = deformación del resorte;  $Mg$  = peso del resorte

Figura 2.3 Esquema simplificado de un sismógrafo mecánico de componente vertical. ( según Bullen & Bolt, 1985)

## 2.4 Sismómetro de Velocidad Electromagnético.

En este sismómetro, el voltaje  $V(t)$  es generado a través de los terminales de una bobina que esta fija a una masa  $M$  que esta moviendose a través de un campo magnético con una velocidad  $X$ .

Representando por  $L$  la longitud del alambre de la bobina,  $B$  la densidad de flujo del campo magnético, y asumiendo que la dirección del movimiento de la bobina, campo magnético y la corriente eléctrica en la bobina, son perpendiculares entre si. Considerese el trabajo hecho por el movimiento de la masa a través del campo magnético, la fuerza encontrada puede ser expresada como:

$$F = BIL \quad (2.4)$$

$I$  = la corriente que circula a traves de la bobina

La potencia mecánica consumida es:

$$F\dot{X} = BIL\dot{X} \quad (2.5)$$

donde  $V = LB\dot{X}$  es el voltaje inducido en la bobina.

de este modo se tiene:  $VI = BIL\dot{X}$

Sustituyendo  $LB$  por  $G$  se obtiene:

$$V = GX, \text{ y } F = GI$$

donde G es una constante de proporcionalidad, lo que permite:

$$I = G\dot{X}/(R_0+R)$$

y

$$F = G^2\dot{X}/(R_0+R) \quad (2.6)$$

donde R = la resistencia de atenuación

$R_0$  = la resistencia de la bobina.

Con esta fuerza F actuando sobre la masa, la ecuación del movimiento del péndulo es (ver secc. 2.3.1)

$$\ddot{X} + w^2X = -\ddot{U} - G^2\dot{X}/(R_0 + R)M \quad (2.7)$$

comparando 2.7 con la ecuación 2.2 se encuentra:

$$2\varepsilon = G^2/(R_0 + R)M \quad (2.8)$$

donde  $\varepsilon$  = es la atenuación del péndulo mecánico.

Luego, la potencia eléctrica generada en la resistencia atenadora debido al movimiento del péndulo será:

$$VI = RI^2 = RG^2\dot{X}^2/(R_0 + R)^2 \quad (2.9)$$

Nótese de la ecuación anterior, que al aumentar la potencia eléctrica, la expresión  $G^2/(R_0 + R)$  contenida en el miembro derecho de la ec. 2.9 también aumenta, dicha expresión también

se encuentra contenida en el miembro derecho de la ec. 2.8, lo que significa que la atenuación del péndulo aumenta, disminuyendo de esta manera la sensibilidad del sismómetro. De la ec. 2.8 puede observarse que si se desea disminuir la atenuación del equipo, tendrá que aumentarse la masa del péndulo.

De la ecuación 2.8, el amortiguamiento crítico es dado por:

$$\xi/w = G^2/[2(R_0 + R)Mw] = 1$$

donde  $w$  = frecuencia del mov. terrestre.

$M$  = masa del péndulo.

luego:

$$G^2/(R_0 + R) = 2Mw \quad (2.10)$$

sustituyendo 2.10 en 2.9 se obtiene:

$$VI = [R/(R_0 + R)] [2Mw\dot{X}]^2 \quad (2.11)$$

de la ecuación anterior se deduce que la potencia es proporcional a la masa e inversamente proporcional a el período del péndulo.

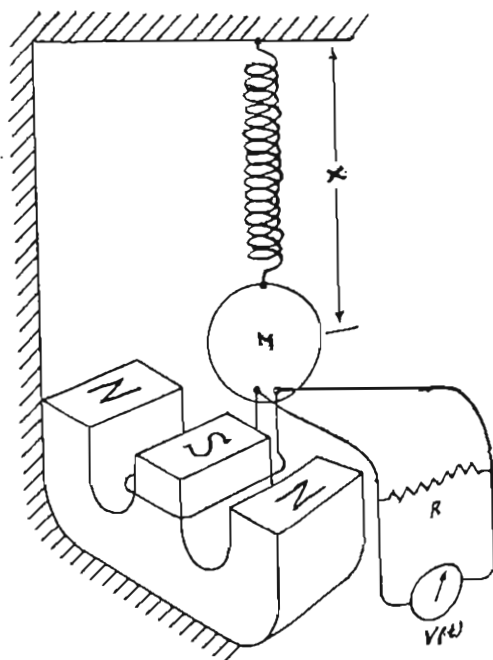


Fig. 2.4: Principio de Funcionamiento de un Sismógrafo de Velocidad Electromagnético (según Aki, 1980).

## 2.5 Sistemas de Transductores Electrónicos.

Si la señal eléctrica de la salida del sismómetro ha de ser amplificada electrónicamente antes de su registro, es posible emplear tipos de transductores electrónicos; de estos sistemas, el más empleado es el de capacidad variable, en el cual, la capacidad eléctrica entre una placa unida a la masa móvil del sismómetro y la otra ligada al bastidor de soporte, varía a consecuencia del movimiento relativo de la masa respecto al bastidor. A medida que la capacidad varía con la separación entre las placas, tal transductor produce una salida que depende del desplazamiento. Con esto se consigue una respuesta mayor para largos períodos que con un transductor de velocidad electromagnético, pero requiere una mayor estabilidad a largo plazo.

## 2.6 Red Sismográfica De Telemetría Sísmica.

### 2.6.1 Definición:

Una Red Simográfica de Telemetría, es un conjunto de sistemas de registro sísmico (estación sismológica), convenientemente espaciadas sobre la superficie del suelo, y conectados a un sistema central de registro, ya sea por cable telefónico ó por enlace radial, cuyo comportamiento depende de su geometría y dimensión, del número de sismómetros y de la forma como los datos son procesados.

La función principal de una red microsísmica, es localizar los temblores que ocurran dentro de el área cubierta por la red, y calcular sus magnitudes.

### 2.6.2 Sistemas Centralizados de Registro.

La transmisión por telemetría y los sistemas de registro y tiempo centralizados son comúnmente usados en las redes microsísmica .En este método, la salida de la señal es acondicionada y amplificada de la estación de campo, y transmitidas por ondas a la estación central, donde, son registradas las señales sísmicas de varias estaciones en un tiempo común sincronizado los registros, pueden ser grabados sobre cinta magnética, papel térmico, etc.

La principal ventaja de este sistema es que puede establecerse un tiempo base común para toda las estaciones de la red.

Finalmente, teniendo todas las señales sísmicas de todas la red en la estación central, permite una rápida corrección de los instrumentos que funcionen mal, así como el monitoréo del tiempo real y el análisis de la actividad sísmica dentro de la red.

Los principales componentes de una estación sismográfica moderna son detallados en el siguiente sección.

### **2.6.3 Componentes de un Sistema Sismográfico Moderno.**

Los principales componentes de un sistema sismográfico moderno (figura 2.5) son detallados a continuación:

- 1- El Sismómetro (sensor)
- 2- El Condicionador de la señal.

Los elementos componentes del condicionador son:

- a- Preamplificador
- b- Los filtros paso alto y filtro paso bajo.
- c- Amplificador de salida.
- d- Oscilador Controlado por Voltaje (VCO)

e- Sumador o Mezclador.

f- Medio de Telemetría: señal de radio, línea telefónica ó cable directo.

3- Demodulador.

4- Unidad de Registro.

1) **El Sismómetro;** es un sensor de ondas sísmicas cuyas especificaciones técnicas están determinadas.

2) **El Condicionador de la Señal Sísmica;** es la unidad que recibe la señal del sismómetro y la condiciona para ser recibida por el registrante.

Las principales componentes son :

a- Preamplificador, aumenta el nivel de señal original y permite una anulación efectiva de los ruidos inherentes a los cables largos y ofrece al sismómetro una alta impedancia de entrada.

b- Los filtros, eliminan aquella parte de la señal cuyas frecuencias no son de interés predominante.

En los condicionadores se usan dos tipos de filtros, el filtro paso alto y el filtro paso bajo, los cuales se combinan según

la necesidad formando una banda de paso.

c- Amplificador de Salida, es de ganancia variable, ajustada en paso 6 dB, siendo sus característica principale: Una baja de impedancia de salida para acomodar cualquier otro componente conectado a la salida.

d- El Oscilador controlado por voltaje (VCO), es un oscilador que va a variar su frecuencia de salida, de acuerdo al voltaje que se aplica en la entrada, su frecuencia de oscilación libre esta sintonizada a valores de fábrica estandarizados de 680,1020,1700,2040,2380,2720,y 3060 Hz.

e-Mezclador, es donde se mezclan varias señales sísmicas de diferentes frecuencias, produciendo una sola señal y al mismo tiempo acomodar la impedancia y la amplitud para presentarla al radio o línea telefónica de transmisión.

f-Medios de Telemetría, es la transmisión de los datos desde el punto de observación hasta la estación de registro utilizando ondas de radio, líneas telefónicas o cables directos.

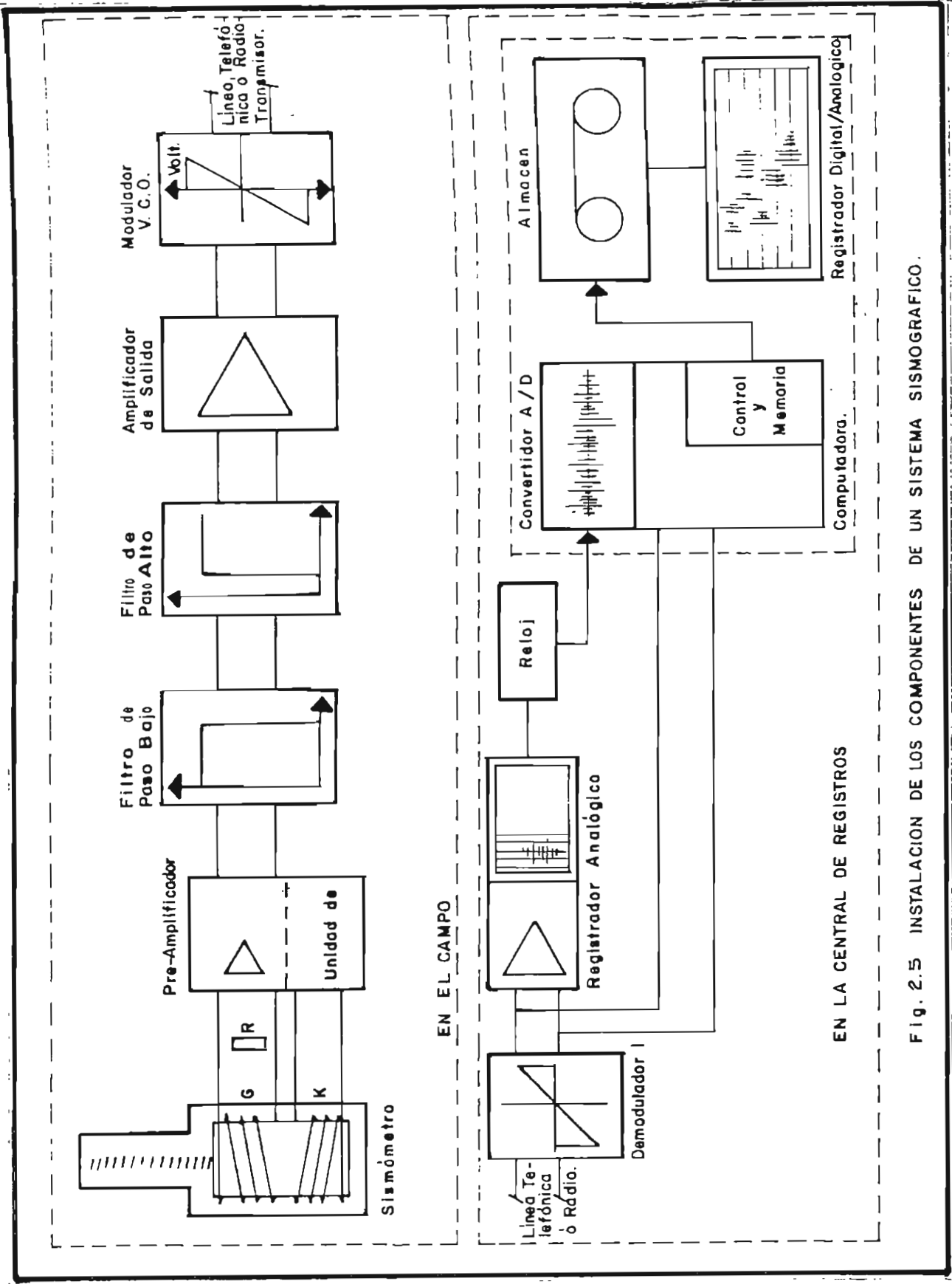


Fig. 2.5 INSTALACION DE LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA SIMOGRAFICO.

### 3) Demodulador:

Recupera la señal sísmica analógica presente en la frecuencia modulada, para condicionarla al registrador.

### 4) Unidad de Registro.

La señal sísmica recuperada por el demodulador, es finalmente registrada, los principales tipos de registro que se usan actualmente son:

a- Registrador Analógico de Tambor, es un componente que permite efectuar el registro en un papel colocado sobre un tambor, el cual rota con velocidad uniforme donde normalmente el trazo es producido por medio de calor en un papel sensitivo a éste.

b- Registro en cinta Magnética, En este tipo de registro, los cambios de imantación de la cinta, son una representación directa del movimiento del suelo.

c- Registrador con película, este tipo, produce los registros como de tambor, con una escala en miniatura de un registro de película, esta reducción hace que la interpretación sea mas fácil.

d- Registro digital, el procesamiento de datos

sísmicos es cada vez mas dependiente del uso de computadoras digitales, y para este propósito es registro debe estar en una sucesión de números, cada uno de los cuales representa una condición instantánea de la salida del sismómetro.

#### 2.6.4 Sensibilidad del Registrante.

La especificación técnica mas importante, en un registrante es su sensibilidad, se define como la razón entre el voltaje de entrada (al amplificador del registrante) y la deflección pico-pico obtenida sobre el registro, expresada comúnmente en mv/mm. En algunos registrantes, la sensibilidad es expresada en decibeles (dB) de atenuación, en paso de 6 decibeles, lo que permite incrementar la sensibilidad al doble por cada paso en la atenuación en dB. (ver tabla II.1)

Tabla II,1 Equivalencia de unidades de sensibilidad en decibeles (dB) de atenuación y mv/mm.

<u>Atenuación</u>	Equivale a	<u>Sensibilidad</u>
0 dB		2mv/mm
6 dB		4mv/mm
12 dB		8mv/mm
18 dB		16mv/mm
24 dB		32mv/mm
30 dB		64mv/mm
36 dB		128mv/mm

### 2.6.5 Principales Especificaciones Técnicas en un Sismómetro Electromagnético.

Varían de un modelo a otro, según el fabricante las designe, sin embargo, en esta sección se presentan en forma general las principales especificaciones técnicas que deben ser conocidas en un sismómetro electromagnético.

- a- Período Natural, se define como el tiempo empleado por la masa en un ciclo completo de oscilación libre.
- b- Resistencia de la Bobina, se refiere esta especificación, al la resistencia en ohmios de la bobina principal.
- c- Restencia Crítica de Atenuación, es la encargada de atenuar la primera fase de arribo de una onda sísmica condicionando el equipo para registrar la siguiente fase.
- d- Constante Electrodinámica, proporciona un estimado de que porcentaje de la señal sísmica original ha sido transformada a señal eléctrica.

Esta constante puede ser determinada por:

$$G = \sqrt{4\pi M f (CDR)} \quad (2.12)$$

donde:  $G$  = cte. electrodinámica sin atenuación.

$M$  = masa del sensor.

$f$  = frecuencia natural.

$CDR$  = resistencia crítica de atenuación.

Dado que en la realidad, la señal de salida del sismómetro es atenuado, es preciso encontrar la constante que resulta al agregar la resistencia de atenuación externa.

Luego la expresión para la constante electrodinámica atenuada es:

$$G_a = G[R_a / (R_a + R_c)] \quad (2.13)$$

- donde:  $G$  = la constante electrodinámica sin atenuación.

$R_c$  = resistencia de la bobina en ohmios.

$R_a$  = resistencia externa de atenuación.

$G_a$  = cte. electrodinámica atenuada.

e- Constante Motora de la Bobina de Calibración, facilitan la obtención de las curvas de respuestas frecuencial. Una corriente eléctrica conocida a través de la bobina, va a influenciar a la masa del sismómetro con una fuerza igual

$$a: \quad KI = ma \quad (2.14)$$

donde  $K$ = cte. motora de la bobina de calibración.

$I$ = corriente que atraviesa la bobina de calibración.

$m$ = masa del sensor.

$a$ = es la aceleración del sensor.

luego:

$$a = KI/m ; \quad \text{si } I = i \sin(2\pi f)t:$$

$$a = K i \sin(2\pi f)t/m$$

integrando la expresión anterior se obtiene la velocidad:

$$V = -[K i \cos(2\pi f)t]/m(2\pi f)$$

integrando nuevamente para obtener la expresión para el desplazamiento:

$$d = \{-[k i \sin(2\pi f)t\}/m(2\pi f)^2 = KI/m(2\pi f)^2 \quad (2.15)$$

Como puede apreciarse, la aceleración y el desplazamiento tienen igual comportamiento senoidal ( $\sin(2\pi f)t$ ), con la diferencia del factor  $(2\pi f)^{-2}$  y el signo menos, lo cual significa que el desplazamiento y la aceleración son dos vectores con direcciones opuestas.

## 2.7 Respuesta Instrumental.

La respuesta de frecuencia de un sistema sísmico, describe la amplitud relativa y la fase en el cual es sistema responde al movimiento de la tierra como una función de la frecuencia.

### 2.7.1 Naturaleza y uso de las curvas de respuestas.

Quando el sismómetro esta afectado por un tren de ondas sinusoidales, la salida será también sinusoidal y la relación entre la amplitud del trazo y la amplitud del desplazamiento del terreno (magnificación) será una función del período de la onda y se expresara como curva trazada en escala logarítmica.(curvas de respuesta)

Las curvas de respuesta son utilizadas para medir la verdadera amplitud del movimiento del suelo, especialmente para determinar la magnitud del sismo.

La figura 2.6 muestra varias curvas de magnificación para diferentes sistemas de registro sísmico.

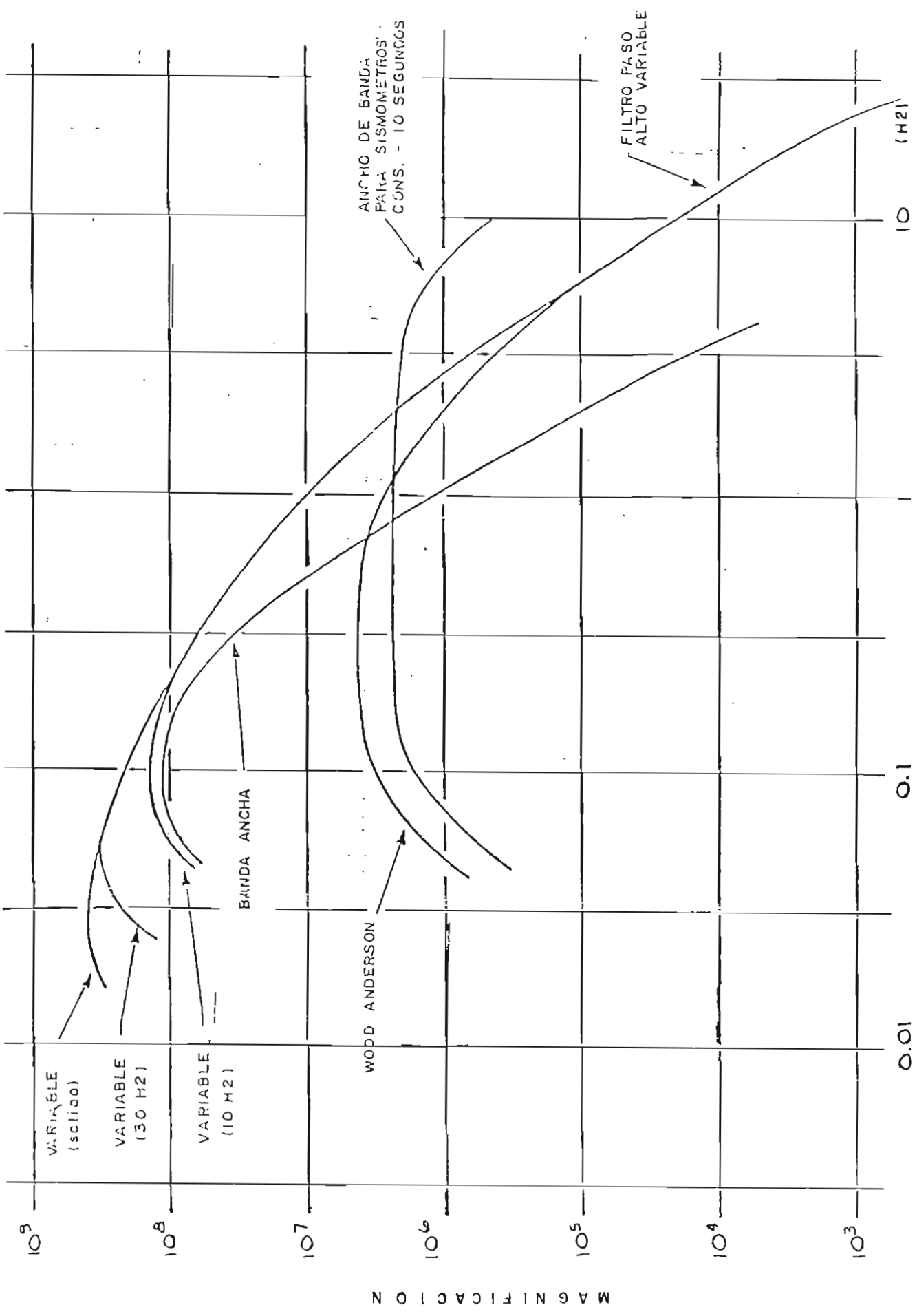


FIG. 2.6 CURVAS TIPICAS DE MAXIMA MAGNIFICACION  
( TOMADO DE MANUAL DE SERVICIO DEL VCO )

### 2.7.2 Rango de Frecuencias y Amplitudes de las Señales Sismicas.

Para el espectro de las ondas sísmicas, extendidas desde las ondas internas (onda p y onda s) hasta la ondas superficiales (onda Love y onda Rayleigh), el rango de frecuencias se extiende desde valores de 2000 hz para eventos sísmicos cercanos (locales) hasta frecuencias del orden de 0.00033 Hz para sismos lejanos y fuertes.

El rango de amplitudes para desplazamiento de las partículas de la tierra, para sismos en un rango de magnitudes de -2 a 8 (escala Richter) corresponde a un rango de 1.0 a 10 mt.

### 2.7.3 Rango Dinámico.

El rango dinámico es un parámetro instrumental que se define como la razón entre la señal sísmica de entrada máxima y la señal sísmica mínima que el sistema pueda registrar sin distorsión.

En la práctica, el límite sobre el rango dinámico es determinado por la unidad de grabación y registro producido.

El rango dinámico puede ser estimado comparando la amplitud promedio del ruido sísmico de un sistema de baja ganancia, y la máxima amplitud de una señal sísmica que pasa a través del mismo sistema sin distorsión electrónica.

CAPITULO III  
RESULTADOS DE CALIBRACION DE UNA ESTACION SISMOGRAFICA  
DE LA RED DE TELEMETRIA SISMICA.

INTRODUCCION:

El trabajo de calibración, proporciona el medio para comparar y, en algunos casos, ajustar las constantes físicas y características del equipo proporcionadas por el fabricante permitiendo de esta manera, optimizar el trabajo del instrumental sísmico.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el trabajo de calibración llevados a cabo en una estación sísmica sencilla , perteneciente a la Red Sismográfica de El Salvador.

Inicialmente se presentan los resultados del ajuste y calibración de cada uno de los componentes de una estación con frecuencia central de trabajo de 680 Hz, comenzando con los componentes de la estación de registro central, luego, los componentes del condicionador de la señal sísmica, el sismómetro y finalmente, los resultados de las pruebas realizadas sobre el sistema total instalado en laboratorio (en la estación central).

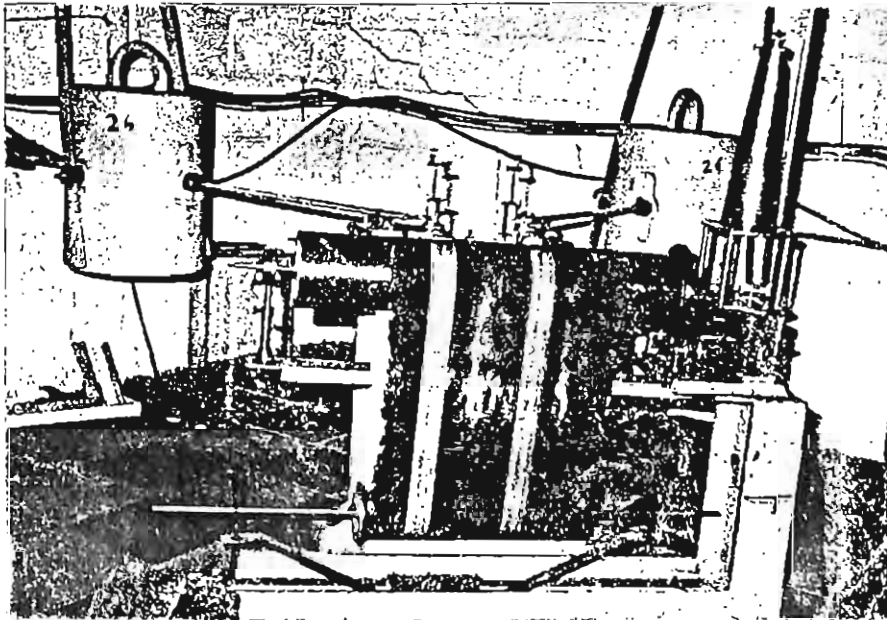
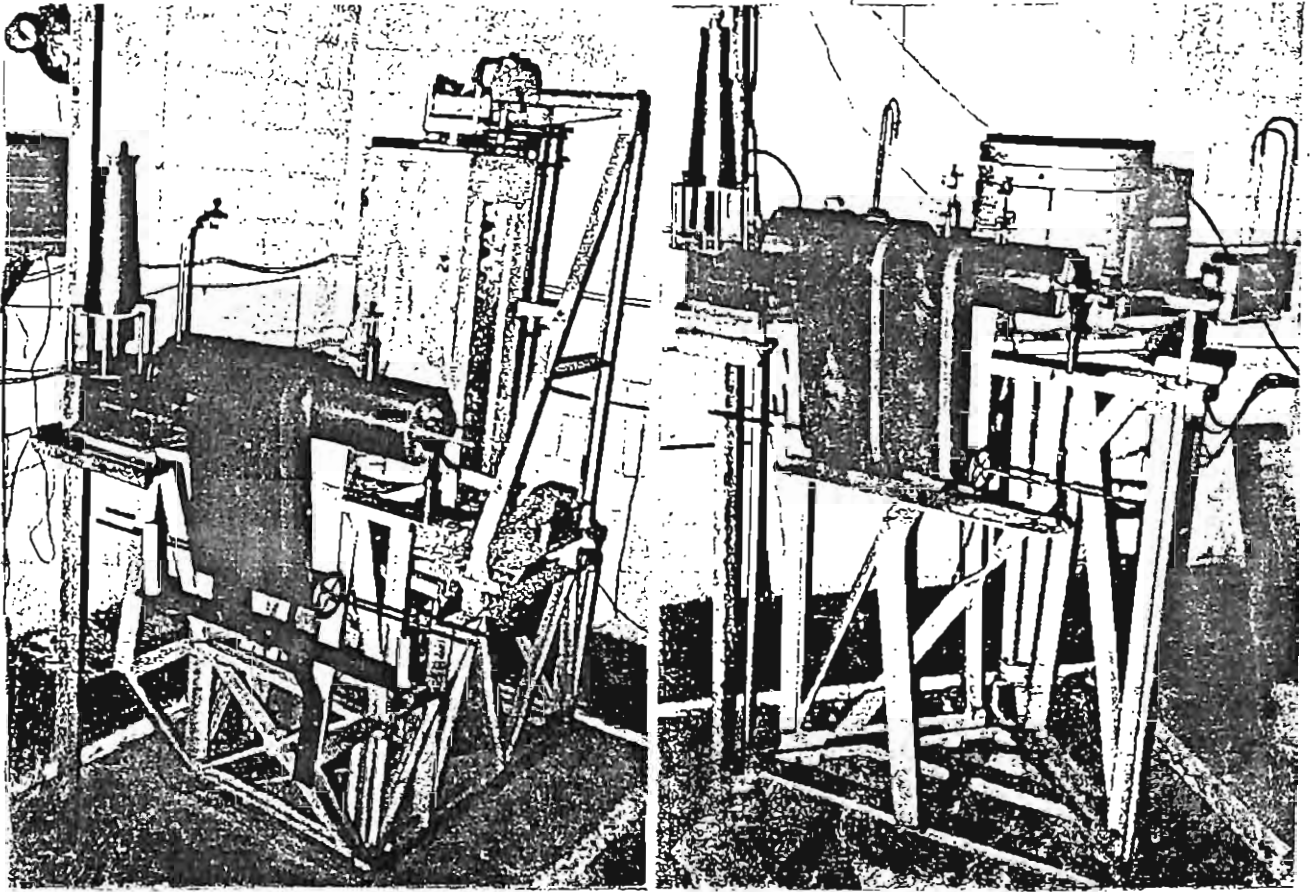


FIG. 3.1 - Sismógrafos mecánicos tipo wielcher, aún funcionando en la Estación Sismológica de San Salvador.

### 3.1 Descripción General de La Red Sismográfica de Telemetría de El Salvador.

#### 3.1.1 Evolución histórica de el instrumental sísmico en El Salvador.

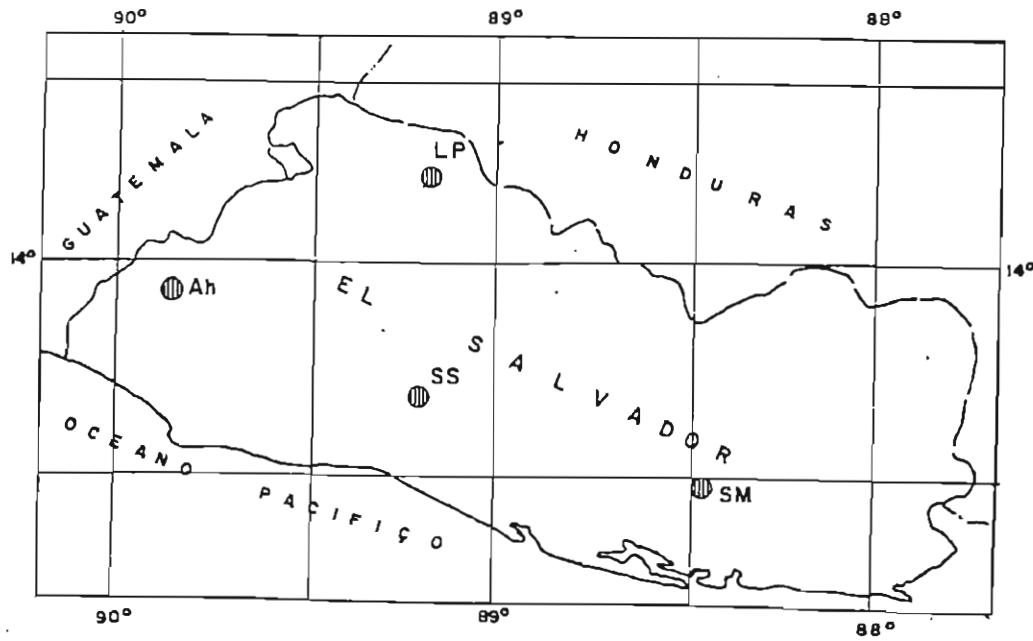
Hacia 1890, se reciben los primeros sismógrafos de péndulos del tipo Edwing, los cuales por su mal empleo y descuido dejan de funcionar en la misma década.

Hacia fines de 1930, se adquirió 3 sismógrafos mecánicos de péndulo uno de componente vertical y dos de componente horizontal (E-W y N-S), ambos del tipo "Wiechert"; los cuales poseen masas hasta de 200 Kg. y amplificaciones del orden de 80X (veces) con un período ajustable de 5 segundos (figura 3.1), funcionando actualmente en el Observatorio Sismológico (San Salvador).

Hacia finales de 1953, 1957 y 1961 se instalaron tres nuevas estaciones de registro en el lugar, cuya distribución en el territorio es mostrado en la figura 3.2.

En 1983, se instala, la Red Sismográfica de Telemetría Nacional, compuesta por 10 estaciones sismológicas, y una

MAPA DE UBICACION DE ESTACIONES SISMOLOGICAS DE EL SALVADOR

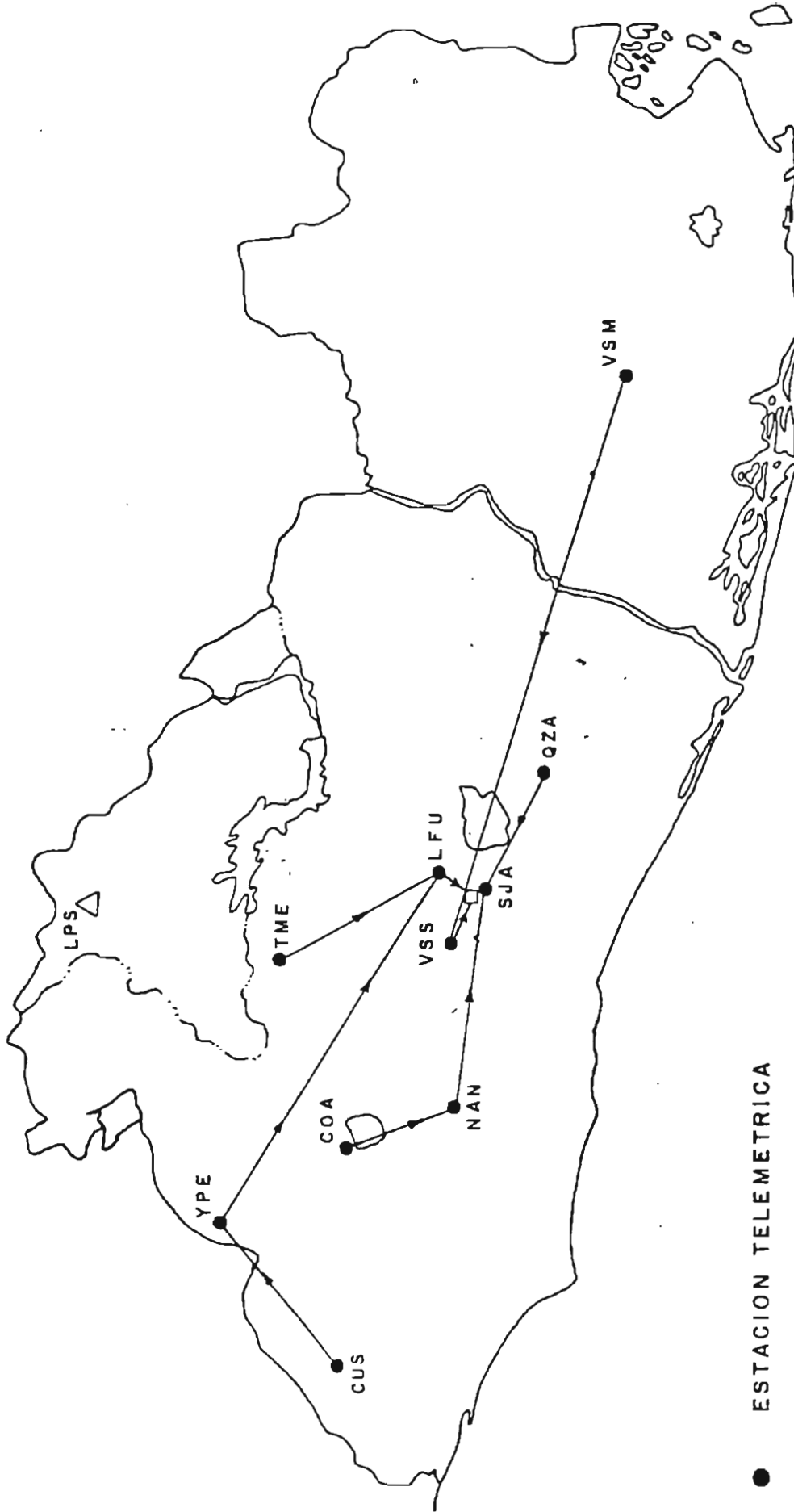


CARACTERISTICAS INSTRUMENTALES DE LAS ESTACIONES SISMOLOGICAS

Símbolo	Estación	Latitud	Longitud	Elevación	Sismógrafos	Componentes	Período	Magnificación
SS	San Salvador	13°41'N	89°12'W	665 m.	Stuttgart	N - E - Z	1.2 s	—
					Wiechert (200 Kg)	N - E -	3.8 s	80
					" (80 Kg)	- - Z	3.8 s	75
					Péndulos Período Largo (100 Kg)	N - E -	15.0 s	20
SN	Santiago de Marfa	13°29'N	88°28'W	950 m.	Péndulos Período Corto (100 Kg)	N - E -	4.0 s	80
Ah	Ahuachapán	13°55'N	89°50'W	810 m.	Péndulos Período Corto (100 Kg)	N - E -	2.0 s	100
LP	La Palma	14°18'N	89°10'W	1000 m.	WSSN Período Corto	N - E - Z	1.0 s	100 K
					Período Largo	N - E - Z	15.0 s	1.5 K

FIGURA 3.2

ESCALA GRAFICA  
15 10 5 0 15 30



● ESTACION TELEMETRICA

FIG. 3.3 RED SISMOLOGICA DE EL SALVADOR. MARZO 1990

estación de registro central, cuya distribución es mostrada en la figura 3.3 , y la ubicación en la tabla III.1, todas están instaladas para funcionar en forma vertical (dado que pueden funcionar en forma horizontal).

i) Estación Sísmica Sencilla.

En la sección 2.6.3 del capítulo anterior, se describió en detalle la función de cada uno de los componentes de una estación sismográfica moderna, en esta sección se hará una consideración general de una estación sísmica sencilla perteneciente a la Red Sismográfica Nacional.

De manera general una estación sismográfica, consta de :

- Un Sismómetro Electromagnético
- Condicionador de la Señal Sísmica.
- Una Unidad de Registro.

El Sismómetro, un instrumento sísmico Modelo S-13, de la marca TELEDYNE GEOTECH, con período corto ajustable de 1.33 a 0.91 seg. y una frecuencia de oscilación ajustable de 0.75 a 1.1Hz.

El Condicionador de la Señal Sísmica está constituido por: el preamplificador, el amplificador, y el oscilador controlado

TABLA III.1: Ubicación de las estaciones sismográficas de la Red de Telemetría Sísmica de El Salvador.

NOMBRE Y CODIGO	COORDENADAS (LAT., LONG.)	ALTITUD (mt)
CUSMAPA CUS	13°54'33''N 89°56'39''W	667
LA FUENTE LFU	13°44'55''N 89°06'50''W	732
NANAHUAZIN NAN	13°42'54''N 89°30'33''W	1160
COATEPEQUE COA	13°53'12''N 89°34'19''W	1260
QUEZALAPA QZA	13°31'26''N 88°59'49''W	250
SAN JACINTO SJA	13°40'00''N 89°10'00''W	1100
TECOMASUCHE TME	14°01'01''N 89°21'33''W	516
YUPE YPE	14°07'18''N 89°40'50''W	1581
VOLCAN SAN SALV. VSS	13°44'30''N 89°14'30''W	1250
VOLCAN SAN MIGUEL VSM	13°25'41''N 89°16'27''W	2129

por voltaje (VCO) ambos combinados en un solo módulo Amplificador/Filtro, modelo AOM-1, todos de la línea de productos de la marca KINEMATRICS INC. La impedancia de salida y el nivel de señal modulada, es compatible con los requisitos de un sistema de transmisión en onda radial (en un rango de frecuencia de 680 Hz hasta 3060 Hz).

En la estación de registro central la señal portadora es recibida y discriminada por un Demodulador modelo DM-1, marca KINEMATRICS INC., la señal sísmica discriminada es condicionada para ser amplificada por el amplificador modelo AR-320, la cual es finalmente registrada sobre un tambor que rota con una velocidad uniforme de 60 mm/min. modelo RV -301, ambos de la marca TELEDYNE GEOTECH. (figura 3.4)

Fué una de estas estaciones sismográficas, con las características antes descritas, sobre la cual se llevó a cabo el trabajo de calibración, cuyos resultados son mostrados en el presente capítulo.

### 3.2 Objetivo Básico de la Calibración.

El objetivo básico de la calibración, es determinar la naturaleza de la función transferencia en forma gráfica, la cual relacione el movimiento del bastidor del sismómetro con el movimiento de la deflexión sobre el registro finalmente

obtenido (magnificación del equipo), esta relación puede ser expresada en términos de las amplitudes relativas y las fases de los componentes armónicos en movimiento.

### 3.3 Uso de los Datos de Calibración.

Los datos de los resultados de calibración son usados hoy en día principalmente para:

- i) Clasificación de los instrumentos, debido a que en la interpretación del significado de las lecturas de un boletín sismológico, es necesario tener una clasificación preliminar del tipo de instrumento, la cual depende de las curvas de calibración, las cuales deben ser determinadas universalmente.
- ii) La determinación del nivel absoluto de la señal sísmica, esta aplicación ocurre con mayor frecuencia en los estudios de magnitud, en los cuales la observación relevante determina el parámetro  $A/T$  para una fase que arriva, donde  $A$  es la amplitud de la deflexión sobre el registro, y  $T$  el período de la misma.

### 3.4 Ajuste y Calibración de los Componentes de un Sistema Sismográfico Moderno.

Antes de llevar a cabo la calibración de todo el sistema en una estación sismográfica, es preciso ajustar y calibrar cada uno de los componentes en forma individual de manera que estos respondan correctamente dentro de las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante.

Los parámetros que se ajustaron son los considerados de mayor importancia en la calibración de una estación sismográfica.

#### 3.4.1 Pruebas y Ajustes en la Unidad Registrante.

Esta unidad esta compuesta por un amplificador modelo AR-320 y un registrante analógico de tambor modelo RV-301 ambos de marca Teledyne Geotech, sobre los cuales se desarrollaron las siguientes pruebas:

##### 1) Chequeo de la polaridad:

Siguiendo el procedimiento descrito en la sección 1.1.1 del apéndice B, y utilizando como equipo:

- Un generador de funciones de amplitud variable Marca Hawlett Packard (hp) modelo 3310A.
- Un osciloscopio marca Tektronix Inc. modelo 465B

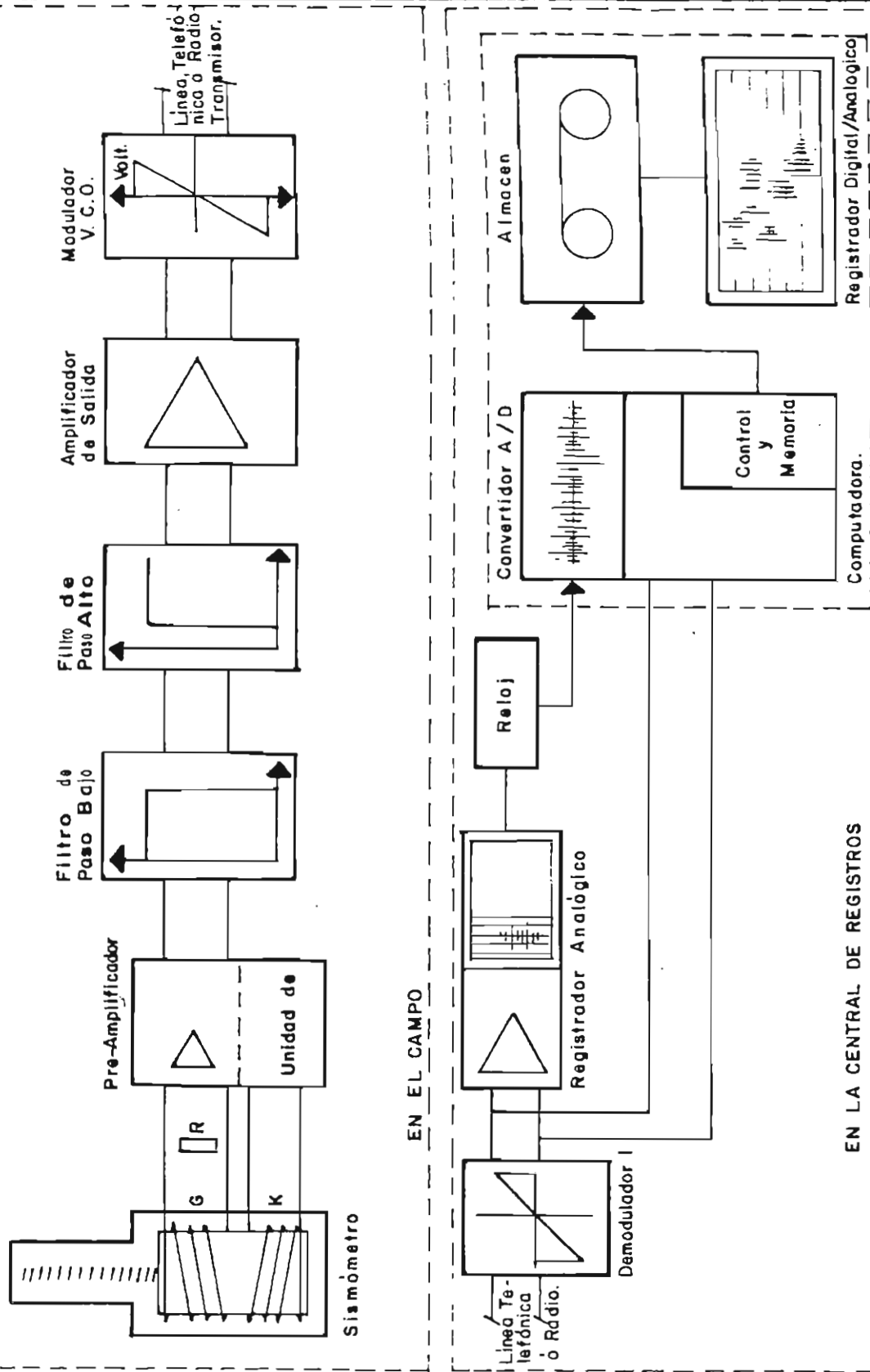


Fig. 3.4 INSTALACION DE LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA SIMOGRAFICO.

El procedimiento para llevar a cabo esta prueba, se describe en la sección 1.1.1 del apéndice B; como resultado de aplicar una señal de voltaje de 2.0 Vpp en la entrada del amplificador, se obtuvo un registro mostrado en la figura 35, donde se observa que las deflecciones del registro sobre el tambor son efectuadas hacia la derecha para la parte positiva del voltaje aplicado, y hacia la izquierda para la parte negativa del mismo, confirmando de esta manera una adecuada polaridad.

### 3.4.2 Pruebas en el Amplificador del Registrante.

Las pruebas que se llevarán a cabo en el amplificador son las siguientes:

- i) Ajuste del Nivel Offset
- ii) Ajuste de ganancia (Prueba de Sensibilidad.)

Las principales especificaciones técnicas son las siguientes:

#### **Entrada:**

Tipo-----balanceada y un solo  
terminal.

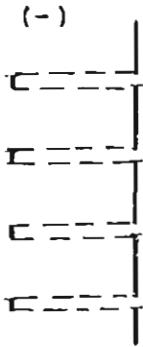
Máximo voltaje de entrada ----- 20 Vp-p.

Impedancia----- 2 Mohmios

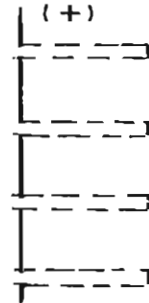
#### **Salida:**

Impedancia----- 15 ohmios.

a) REGISTRO CON DEFLEXION  
HACIA EL LADO IZQUIERDO.



b) REGISTRO CON DEFLEXION  
HACIA EL LADO DERECHO.



Esc. 1:1

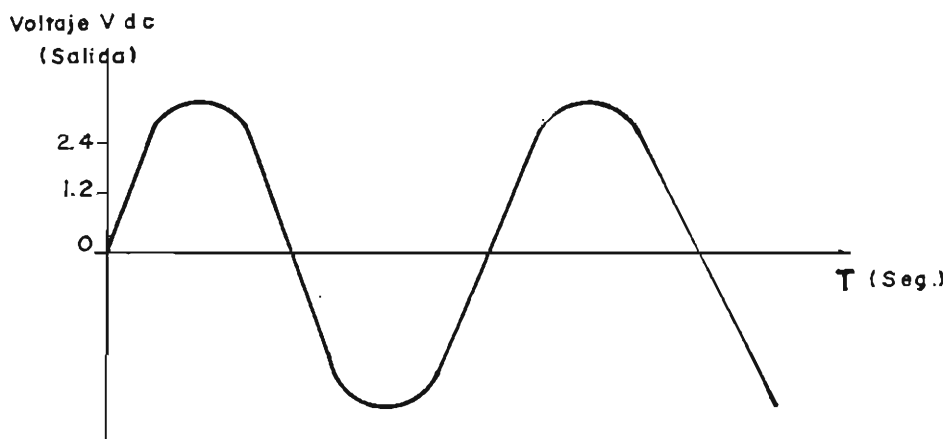
Fig. 35 . REGISTRO (SOBRE TAMBOR) OBTENIDO EN LA PRUEBA DE POLARIDAD EFECTUADA EN EL REGISTRANTE, CON UNA ENTRADA EN SU AMPLIFICADOR DE 2 mv pp.

Corriente----- +600 mA máximo  
Respuesta de frecuencia----- de 3dB de DC a  
30Hz  
Rango Dinámico----- 40 dB

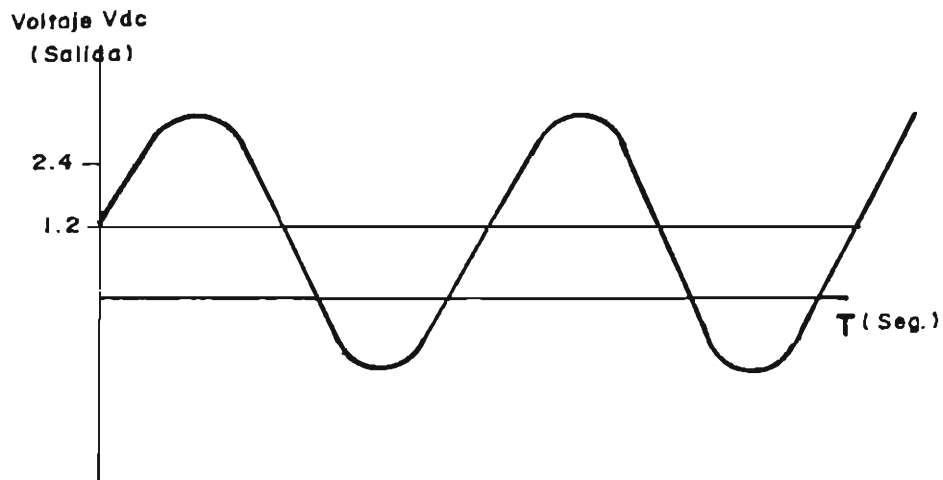
i) Ajuste de Nivel Offset.

El error offset se presenta cuando teniendo cero Voltios dc en la entrada del amplificador, se mide un valor de voltaje (dc) diferente de cero a la salida del mismo. Este error es esencialmente peligroso porque disminuye el rango dinámico en el amplificador, produciendo una saturación temprana en la señal sísmica con la consiguiente pérdida de información.

Para el desarrollo de esta prueba se utilizó como equipo unicamente un voltímetro digital marca FLUKE modelo 87 y siguiendo la metodología descrita en la sección 1.1.2 del apéndice B, se obtuvo como resultado de la medición un valor de desplazamiento offset de 1.2 V Dc, desviación que fué corregida ajustando un potenciometro que controla la posición de la aguja de registro, y el potenciometro R-36 mostrado en el diagrama eléctrico de la figura B-2 en el apéndice B.



a) Representación Gráfica de la Señal de Voltaje de Salida del Amplificador, sin error de Desplazamiento Offset.



b) Representación Gráfica de la Señal de Voltaje de Salida Medido con error de Desplazamiento Offset.

Fig. 3.6 REPRESENTACION GRAFICA DE ERROR DE DESPLAZAMIENTO OFFSET EN EL AMPLIFICADOR DEL REGISTRANTE.

ii) Ajuste de Ganancia del Registrante. (Prueba de Sensibilidad)

La ganancia en el amplificador del registrante, es definida como la razón entre el voltaje de entrada al amplificador, y la deflección pico-pico obtenida en el registro sobre el tambor.

En esta prueba, se hace un chequeo y ajuste de la ganancia en el amplificador del registrante, así como una revisión en el atenuador del mismo.

Aplicando un voltaje conocido y seleccionando una sensibilidad adecuada, se ajustan las deflecciones sobre el registro al valor de las deflecciones esperadas de acuerdo al valor de voltaje aplicado.

La deflección teórica o deflección esperada esta dada por la expresión:

$$\text{Deflección Teórica} = \frac{[\text{Señal aplicada(mV)}]}{[\text{Sensibilidad (mV/mm)}]} \quad (3.1)$$

El equipo utilizado para llevar acabo esta prueba fué el

siguiente:

- Un generador de funciones "Hawlett Packard" modelo 3310A.
- Un osciloscopio digital marca Tektronix modelo T200.
- Un multitester digital capaz de medir valores de frecuencias marca FLUKE modelo 87.
- Una regla graduada con precisión de mm.
- Una lupa de amplificación 10X.
- Los cables necesarios para conectar las unidades.
- Diagrama eléctrico.

Siguiendo los pasos descritos en la sección 1.1.3 del apéndice B, se obtuvieron los resultados mostrados en las tablas III.2; donde se observan desviaciones hasta del 85% del valor esperado; estas desviaciones fueron corregidas (ver tabla III.3) llevando las deflecciones medidas sobre el registro a los valores de las deflecciones esperadas (con desviaciones hasta del 5%), ajustando el control de ganancia (Gain Trin) del amplificador del registrante.

Los trazos de las deflecciones obtenidas en el registro son mostrados en la figura 3.7 y 3.8 para los diferentes valores de atenuación en el amplificador del registrante.

TABLA III.2 Valores de deflección medidos en la prueba de sensibilidad del registrante No 3 gabinete No 3.

Señal de Entrada (mV)	Selector Atenuac. dB	Sensib. Selec. (mV/mm)	Deflex. Teórica (mm)	Deflex. Medida (mm)	Desviación Porcentual (%)
2560	36	256	10	6.0	40
2560	30	128	20	12.0	40
2560	24	64	40	26.0	35
320	18	32	10	2.0	80
320	12	16	20	4.0	80
320	6	8	40	6.0	85
160	0	4	40	6.0	85

TABLA III.3: Valores de deflección corregidos en la prueba de sensibilidad del registrante No 3 gabinete No 3.

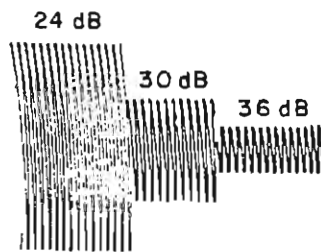
Señal de Entrada (mV)	Selector Atenuac. dB	Sensib. Selecc. (mV/mm)	Deflec. Teórica (mm)	Deflec. Ajustada (mm)	Desviación Porcentual (%)
2560	36	256	10	10.0	0
2560	30	128	20	20.0	0
2540	24	64	40	39.2	4.5
320	18	32	10	9.8	2
320	12	16	20	19.5	2.5
320	6	8	40	39.0	5.0
160	0	4	40	38.7	3.2



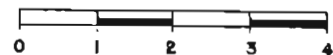
a) DEFLEXION SOBRE EL REGISTRO PARA UNA SEÑAL DE ENTRADA AL AMPLIFICADOR DE 160 mv. PARA UNA ATENUACION DE 0 dB.



b) DEFLEXION SOBRE EL REGISTRO PARA UNA SEÑAL DE ENTRADA DE 320 mv. PARA UNA ATENUACION DE 6, 12 y 18 dB.



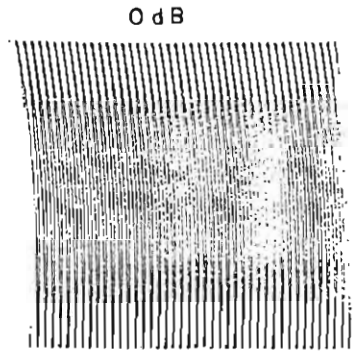
c) DEFLEXION EN EL REGISTRO CON UNA SEÑAL DE ENTRADA EN EL AMPLIFICADOR DEL REGISTRANTE DE 2560 mv. PARA ATENUACIONES DE 36,30 Y 24 dB.



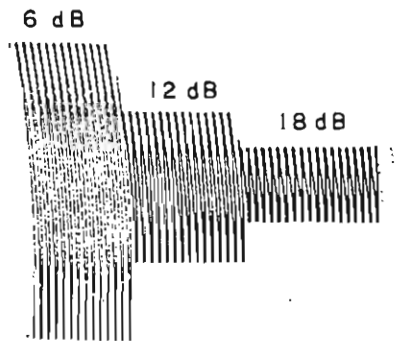
ESCALA GRAFICA

Esc. 1:1

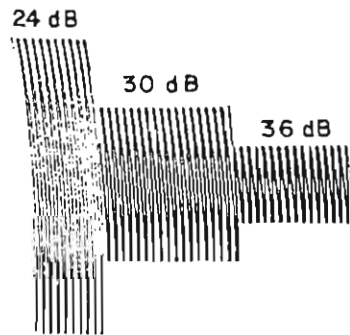
Fig. 3.7 REGISTROS OBTENIDOS EN LA PRUEBA Y AJUSTE DE LA SENSIBILIDAD DEL AMPLIFICADOR DEL REGISTRANTE MODELO, ANTES DE HABER AJUSTADO LA GANANCIA.



a) DEFLEXION SOBRE EL REGISTRO PARA UNA SEÑAL DE ENTRADA AL AMPLIFICADOR DE 160 mv. PARA UNA ATENUACION DE 0 dB



b) DEFLEXION SOBRE EL REGISTRO PARA UNA SEÑAL DE ENTRADA DE 320 mv PARA UNA ATENUACION DE 6, 12 y 18 dB.



c) DEFLEXION EN EL REGISTRO CON UNA SEÑAL DE ENTRADA EN EL AMPLIFICADOR DEL REGISTRANTE DE 2560 mv PARA ATENUACIONES DE 36, 30 y 24 dB.



ESCALA GRAFICA

Esc: 1:1

Fig. 3.8 REGISTROS OBTENIDOS EN LA PRUEBA Y AJUSTE DE LA SENSIBILIDAD - DEL AMPLIFICADOR DEL REGISTRANTE MODELO, DESPUES DE HABER AJUSTADO LA GANANCIA.

3.4.3 Pruebas y Ajustes en el Demodulador. (Módulo Discriminador) Modelo LM-1 Marca Kinometrics Inc.

Las especificaciones técnicas principales del módulo sobre el cual se efectuaron las pruebas de calibración son las siguientes:

**Entrada:**

Impedancia-----12 k ohmios

Nivel de entrada-----30 mV rms

Frecuencia de Centro-----680 Hz

**Salida:**

Tipo-----un solo terminal

Nivel de salida-----+2.5 Vdc. para  $\pm 125$ Hz  
de desviación.

Corriente de salida-----5 mA.

Rango Dinámico-----60 dB

Potencia-----10 a 14 mW.

Los errores y ajustes mas comunes que deben ser revizados en un módulo discriminador son:

- i) Chequeo y ajuste de la frecuencia de centro.
- ii) Ajuste del Balance.
- iii) Chequeo y ajuste de la ganancia.

El procedimiento para la ejecución de estas pruebas esta descrito en la sección 1.1.4 del apéndice B. El material y equipo utilizado para llevarlas a cabo fué:

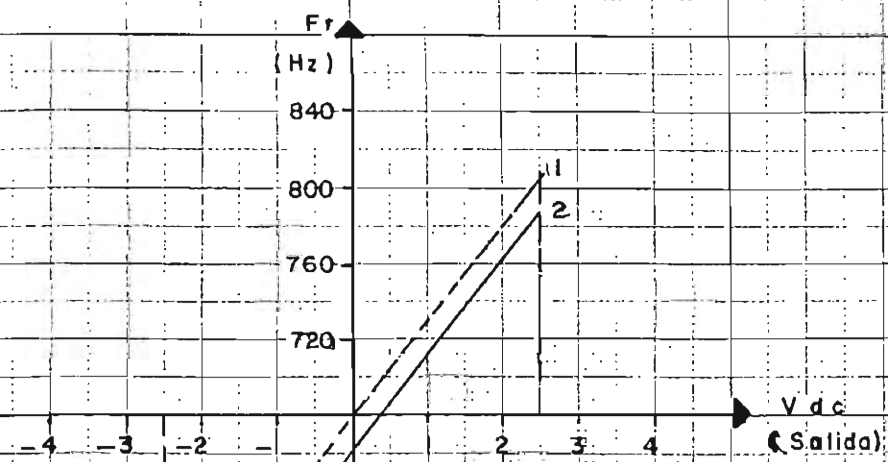
- Un generador de funciones "hp" modelo 3310A.
- Un voltímetro digital marca FLUKE modelo 87.
- Dos fuentes de voltaje de  $\pm 12$  Vdc (ajustable) marca Hawlett Pakard modelo 6200B DC
- Llave de ajuste (tipo relojero), y los cables necesarios para conectar las unidades.
- Osciloscopio marca TEKTRONIX INC. modelo 456B.
- Diagrama Eléctrico del módulo.

#### ii) Ajuste de la Frecuencia de Centro.

Con el módulo discriminador energizado y polarizado con las fuentes de voltaje ajustables ( $\pm 12$  V dc), la frecuencia de oscilación libre (frecuencia de centro) deberá tener un valor de 680 Hz , de no ser asi, será necesario corregirla.

Al llevar a cabo este chequeo de la frecuencia de centro, midiendo en lo pines de entrada del módulo, se obtuvo un valor de 662 Hz (ver fig. 3.9), lo que representa una desviación de 18Hz abajo del valor esperado (de 680 Hz).

La desviación medida en la frecuencia de centro, fué corregida ajustando R-50 (mostrado en el diagrama eléctrico, figura B-4



- 1 FUNCION CORRECTA
- 2 FUNCION CON ERROR EN SU FRECUENCIA DE CENTRO

Fig. 3.9 REPRESENTACION GRAFICA DEL ERROR EN LA FRECUENCIA DE CENTRO EN EL MODULO DISCRIMINADOR (D.M-1)

del apéndice B). llevando el valor de frecuencia medida hasta el valor de frecuencia de centro esperada.

ii) Chequeo y Ajuste del balance.

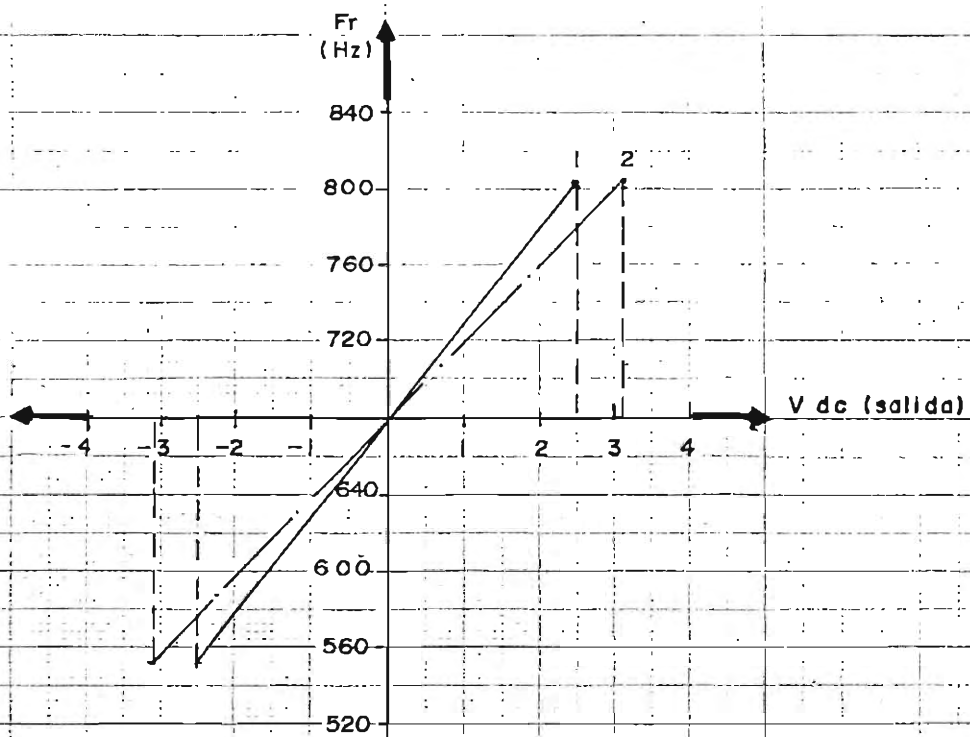
En esta prueba, se conecta al módulo discriminador, un oscilador senoidal, sintonizado a la frecuencia de centro, en estas condiciones, la salida de voltaje en el módulo debe ser igual a cero.

Al llevar a cabo esta prueba, energizando y polarizando el módulo con las fuentes de voltaje ajustables ( $\pm 12$  V dc), sintonizando en generador a la frecuencia de centro (680 Hz) y midiendo la salida de voltaje del módulo se obtuvo un valor de voltaje de  $0.000 \text{ mV} \pm 0.002 \text{ mV}$ , lo que indica que el balance del módulo es razonablemente aceptable.

i) Chequeo y Ajuste en la Ganancia de módulo Discriminador.

La ganancia o sensibilidad de este módulo, es definida como la razón entre el valor de voltaje (dc) en la salida del módulo discriminador y la desviación en la frecuencia de centro de  $\pm 125$  Hz medida en la entrada del componente.

$$\text{Sensibilidad} = \frac{\text{Voltaje Dc (de salida)}}{125 \text{ Hz de desviación.}} \quad [\text{Vdc/Hz}] \quad (3.2)$$



- 1 FUNCION CORRECTA SIN DESVIACION EN LA GANANCIA ESPERADA ( 2.5 V. de salida)
- 2 FUNCION CON DESVIACION EN LA GANANCIA ARRIBA DE LA GANANCIA ESPERADA. - (3.1 V de salida)

Fig. 3.10 REPRESENTACION GRAFICA DEL ERROR O DESVIACION ENCONTRADO EN LA GANANCIA DEL MODULO DISCRIMINADOR.

Así, se espera que para el módulo en cuestión, un valor de voltaje de  $\pm 2.5$  V dc en la salida del módulo produzcan la desviación en la frecuencia de centro del módulo de  $\pm 125$  Hz, lo que equivale a esperar un valor de sensibilidad de 0.020 Vdc/Hz.

Como resultados de esta prueba, se encontró que un valor de 3.1 V dc en la salida del módulo, lo cual es producido por una desviación en la frecuencia de centro del módulo de  $\pm 125$  Hz, lo que corresponde a una sensibilidad de 0.025 V/Hz ; este valor medido de la sensibilidad representa una desviación del 25% del valor esperado para el módulo en cuestión ( fig 3.10).

Esta desviación en el valor de la sensibilidad fué corregida ajustando el potenciómetro R-38, (mostrado en el diagrama eléctrico del módulo en la fig.B-4 del apéndice B) hasta llevarlo al voltaje esperado de + 2.5 Vdc de salida para una desviación de + 125 Hz. en la frecuencia de centro.

#### 3.4.4 Pruebas y Ajustes en el Oscilador Controlado por Voltaje.(VCO) Modelo OM-1 Marca Kinematics Inc.

Las principales especificaciones técnicas del VCO sobre el cual se efectuaron las pruebas son:

Frecuencias de Centro-----680 Hz

Impedancia de Entrada----- 100,000 ohmios(un  
solo terminal)

Desviación-----  $\pm 125$ Hz escala completa,  
 $\pm 135$ Hz máximo

Desviación de Sensibilidad-----  $\pm 2.5, \pm 0.1$ , ó  $\pm 0.5$  Vdc  
(ancho de banda, dc a 30Hz) para una desviación  
de  $\pm 125$ Hz.

Nivel de Salida----- Máx. 2 V RMS , 0.7 V RMS

Impedancia de Salida-----600 ohmios, transformador  
acoplado, y 50,000 ohmios de  
resistencia para el mezclador.

Los principales chequeos y ajustes que deben ser llevados a cabo periódicamente en este módulo son:

- i) Chequeo y ajuste de la frecuencia de centro.
- ii) Chequeo y ajuste de la ganancia.

El procedimiento para la ejecución de estas pruebas esta detallado en la sección 1.1.5 del apéndice B, el material y equipo con el que se llevaron a cabo estas pruebas es:

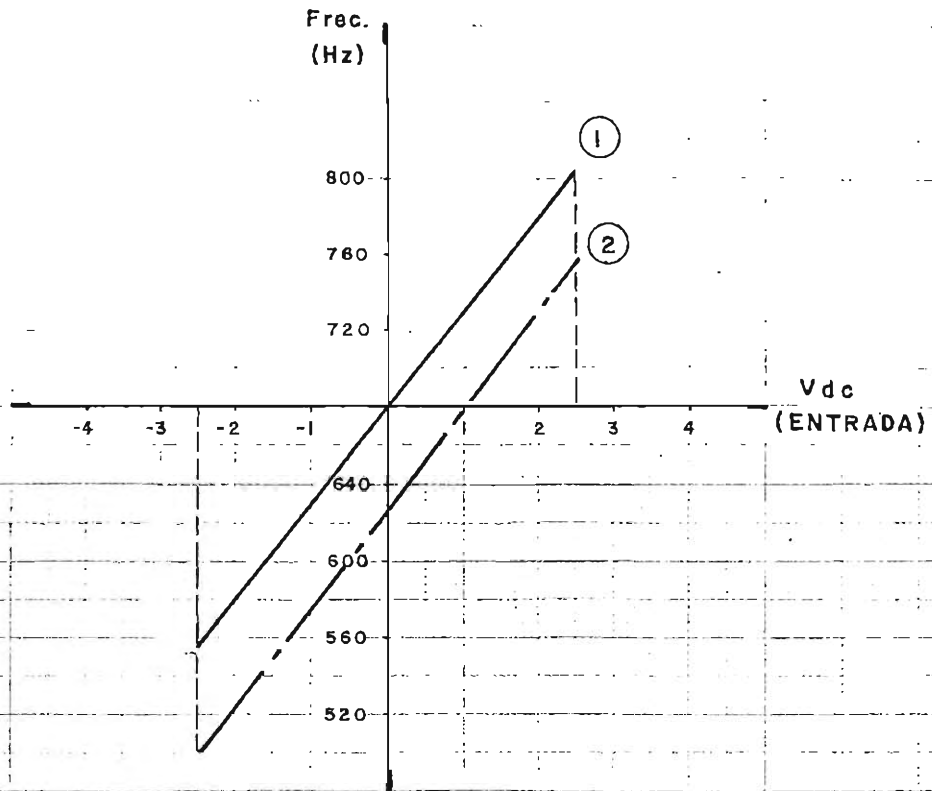
- Un generador de funciones de amplitud variable marca Hewlett Pakard, modelo 3310A.

- Voltímetro digital marca FLUKE modelo 87.
- Un Osciloscopio marca TEKTRONIX INC. modelo 456B.
- Tres Fuentes de Voltaje dc ajustables, de +4 y -4 Vdc, y una de  $\pm 0.5$  Vdc marca Hewlett Pakard, modelo 6200BDC.
- Cables necesarios para conectar las unidades.
- Llave de ajuste.
- Diagrama Eléctrico del módulo.

i) Chequeo y Ajuste de la Frecuencia de Centro.

En este módulo, la frecuencia de centro esperada para un voltaje de 0 voltios Dc en la entrada del componente, es de 680 Hz, al llevar a cabo el chequeo de la frecuencia de centro, midiendo en los pines de salida del módulo, se encontró un valor para la frecuencia de centro de 623 Hz, lo que representa una desviación de 57 Hz abajo de la frecuencia de centro esperada (figura 3.11).

La desviación encontrada en la frecuencia de centro, fué corregida variando el potenciómetro R-37 (mostrado en el diagrama eléctrico de la figura B-7) hasta llevarla a su valor nominal de 680 Hz.



- ① FUNCION CORRECTA
- ② FUNCION CON ERROR EN FREQ. DE CENTRO.

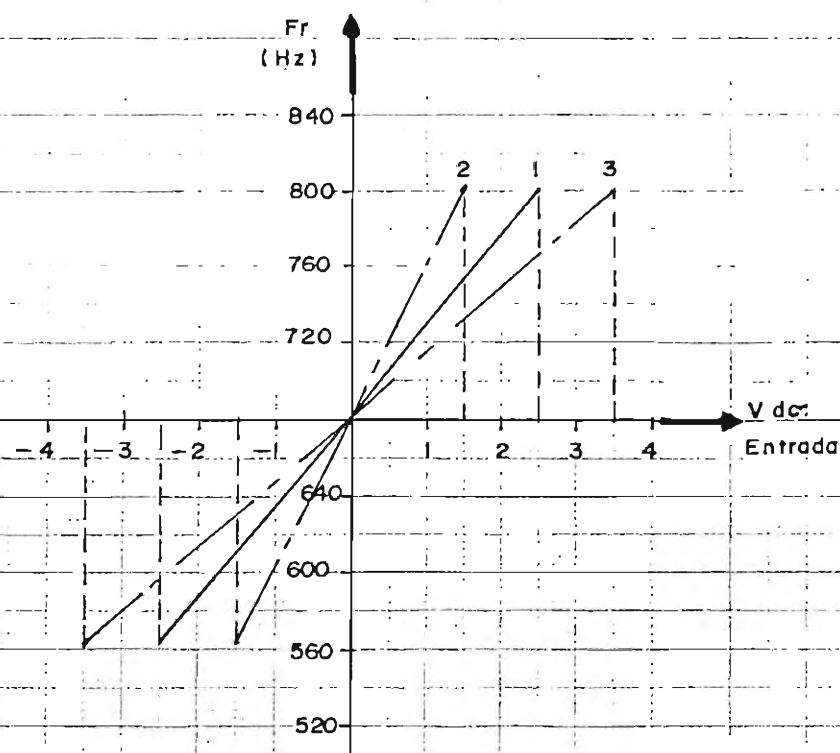
FIG. 3.II REPRESENTACION GRAFICA DEL ERROR EN LA FRECUENCIA DE CENTRO EN EL VCO.

ii) Chequeo y Ajuste en la Ganancia.

La ganancia o sensibilidad del modulador, es definida como la razón entre el voltaje (DC máximo esperado) de entrada al módulo VCO, y un valor de desviación en la frecuencia de centro de  $\pm 125$  Hz; sin embargo, es común encontrar desviaciones en los valores de ganancia esperadas, como se representan en la figura 3.12.

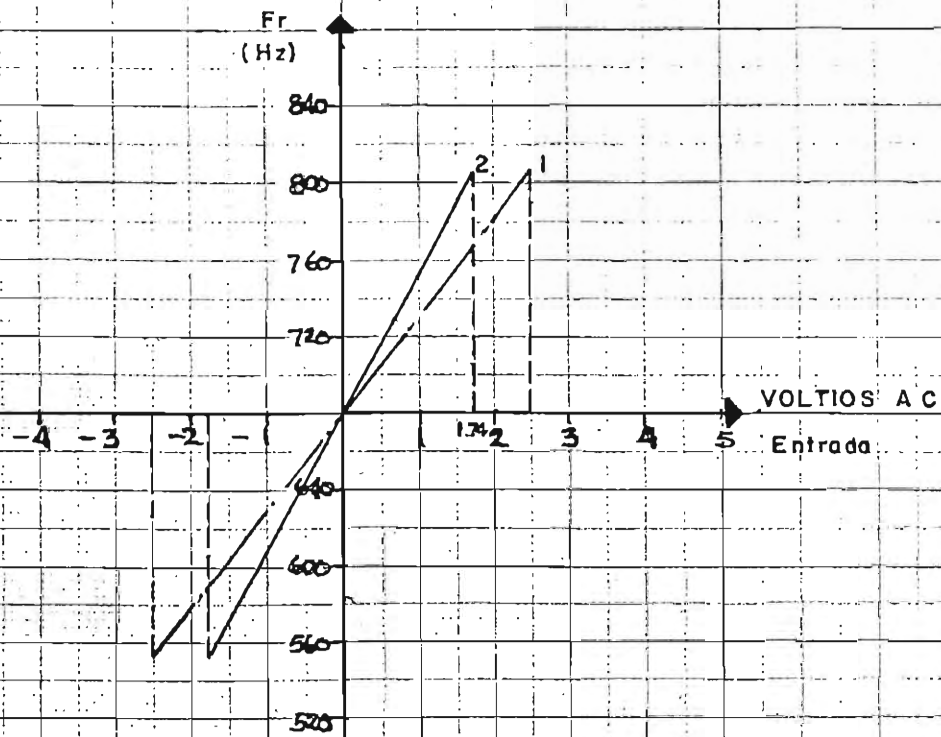
Para el módulo en cuestión, se esperaba que un valor de voltaje de  $\pm 2.5$  voltios DC en la entrada del VCO, produjeran una desviación en la frecuencia de centro de  $\pm 125$  Hz, esto equivale a esperar un valor de sensibilidad de  $0.020$  V dc/Hz.

Al llevar a cabo el chequeo de la ganancia, se encontró que la desviación de  $\pm 125$  Hz en la frecuencia de centro, era producida por un valor de  $\pm 1.74$  V dc en la entrada del VCO, lo que significa un valor de sensibilidad medido de  $0.014$  Vdc/Hz, lo que representa una desviación del 30% del valor de sensibilidad esperado (fig.3.13). Esta desviación en la ganancia del módulo VCO, fué corregida ajustando el potenciómetro R-7, mostrado en el diagrama eléctrico (figura B-7 de apéndice B).



- 1 FUNCION CORRECTA, SIN DESVIACION EN LA GANANCIA ESPERADA.
- 2 FUNCION CON DESVIACION EN LA GANANCIA ESPERADA, HACIA UN VALOR MENOR.
- 3 FUNCION CON DESVIACION HACIA UN VALOR MAYOR DE LA GANANCIA ESPERADA.

Fig.3.12 REPRESENTACION GRAFICA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE DESVIACION EN LA GANANCIA DEL VCO.



Ganancia = inverso de pendiente

- 1 FUNCION ESPERADA
- 2 FUNCION MEDIDA CON ERROR —  
EN LA GANANCIA DEL MODULO VCO.

Fig. 3.13 REPRESENTACION GRAFICA DEL ERROR EN LA GANANCIA —  
ENCONTRADO EN EL OSCILADOR CONTROLADO POR VOLTAJE VCO  
OM-1

### 3.4.5 Chequeos Realizados en el Módulo Amplificador del Modulador de la Señal Sísmica.

El análisis de la respuesta frecuencial del sistema se lleva a cabo haciendo un análisis gráfico, método en cual permite tratar al sistema como una caja negra, con una entrada y una salida, no siendo preciso por lo tanto, conocer la función trasferencia en forma matemática.

Llevando a cabo el análisis gráfico en el módulo amplificador, se realizaron las pruebas para determinar el ángulo de fase y la curva de respuesta de amplificación de este componente del modulador de la señal sísmica.

Los trabajos en la determinación de estos parámetros, fueron llevados a cabo siguiendo la mecánica sugerida en la sección I.1.6 del apéndice B, el equipo y material utilizado en la ejecución de esta práctica es detallado a continuación:

- Un generador de Funciones de amplitud variable marca Hewlett Pakard modelo 3310A
- Un osciloscopio de dos canales marca TEKTRONIX INC. modelo 456B.

- Dos fuentes de voltaje dc, ( $\pm 4Vdc$ ) ajustables marca Hawlett Pakard modelo 6200BDC.
- Cables necesarios para conectar las unidades.
- Diagrama eléctrico del componente amplificador.

Este chequeo fue efectuado para las condiciones de atenuación utilizadas como condiciones de funcionamiento, obtenidas del trabajo de campo en las diferentes estaciones sismográficas de

El Salvador, en módulo condicionador de la señal sísmica las cuales son:

- A)- Atenuación en el preamplificador: 0 dB, y para el amplificador una atenuación de 12dB.
- B)- Una atenuación para el preamplificador de 0 dB y para el amplificador de 24dB.

Las otras condiciones de trabajo comunes para ambas mediciones fueron:

Posiciones de filtros en el VCO .

- a) Selector de Filtro en posición : Variable
- b) Posición de filtro paso bajo : 5 Hz
- c) Posición de filtro paso alto : 0.3 Hz

El nivel de entrada al módulo amplificador, deberá ser calculado a partir de la relación:

$$\text{Nivel de entrada} = \frac{\text{Voltaje máximo esperado (V dc)}}{\text{Ganancia del sistema (veces)}}$$

Utilizando la expresión anterior, con un voltaje de salida de 2.5 V dc máximo esperado, y con una ganancia de 1000 veces, se obtuvo como resultado que el valor de voltaje de entrada al módulo amplificador debería ser de 2.5 mV dc.

Para poder obtener valores de voltaje a la entrada a partir de la fuente DC disponible, para laimentar el amplifidcor del fué necesario hacer el arreglo de una red atenuadora con 2 resistencias escogidas y calculadas como se detallan a continuación :

Red atenuadora:

$R_1 = 100$  ohmios y  $R_2 = 100000$  ohmios

Voltaje de entrada al módulo amplificador= 0.1mV.

Voltaje de salida de la fuente de alimentación = 100mV dc.

Frecuencia del Generador = 1 Hz.

Para la determinación de la curva de respuesta de amplificación, el voltaje de entrada aplicado al módulo amplificador, es aplicado simultaneamente a uno de los canales del osciloscopio, en el otro canal es aplicada la señal de voltaje que sale al amplificador.

i) Determinación de la Ganancia del Módulo Amplificador.

(del condicionador de la señal sismica)

La ganancia de este componente, expresada en veces es definida como la razón entre el voltaje de salida al módulo amplificador y la el voltaje de entrada del mismo. Esta ganancia tambien puede ser expresada en decibeles de atenuación, la cual esta relacionada con la ganancia en veces a través de la relación:

$$\text{GANANCIA (DECIBELES)} = 20 \text{ LOG [GANANCIA (EN VECES)]}$$

Los resultados obtenidos son mostrados en la tabla III.4 y III.5, y su representación gráfica en las figuras 3.14 y 3.15.

Estos resultados muestran que el componente amplificador, presenta una ganancia máxima de 8000 veces (78 decibeles) para

TABLA III.4: Chequeo de la Amplificación y Angulo de Fase para un valor de atenuación en en modulador de 12 dB.

Fr (Hz)	Voltaje de Salida(mVDC)	Ganancia (veces)	Ganancia (decibeles)	Angulo de Fase (°)
0.1±5%	40±5%	400±5%	52.0±5%	±10%
0.2	150	1500	63.5	55.5
0.3	250	2500	67.9	42.7
0.4	400	4000	72.0	53.1
0.5	500	5000	73.9	53.1
0.6	550	5500	74.8	30.0
0.7	600	6000	75.6	27.5
0.8	800	8000	78.1	38.7
0.9	800	8000	78.1	30.0
1.0	800	8000	78.1	15.5
2.0	800	8000	78.1	3.8
3.0	800	8000	78.1	1.4
4.0	800	8000	78.1	18.8
5.0	800	8000	78.1	13.8
6.0	800	8000	78.1	25.4
7.0	800	8000	78.1	61.0
8.0	800	8000	78.1	38.7
9.0	820	8200	78.2	41.8
10.0	600	6000	75.6	40.2
12.5	500	5000	73.9	57.1
15.0	400	4000	72.0	57.8
17.0	250	2500	69.7	57.8
19.0				

Nota: para una atenuación de 12 dB, el valor máximo de la amplificación dada en veces es de 8000, correspondiente a una ganancia en db de de 78.1 dB.

TABLA III.5 Chequeo de la Amplificación y Angulo de Fase para un valor de 24 dB de atenuación en el condicionador.

Fr ( Hz )	Voltaje de Sal.(mV dC)	Ganancia (veces)	Ganancia en (decibeles)	Angulo de Fase(°)
0.1 <sub>±</sub> 5%	5.0 <sub>±</sub> 10%	<sub>±</sub> 10%	<sub>±</sub> 5%	5.7 <sub>±</sub> 10%
0.3	2.0	20	26.0	0.0
0.4	5.0	50	33.9	
0.5	5.0	50	33.9	
0.6	6.0			
0.7	0.6	60	35.5	131.8
0.8	50	500	53.9	120.0
0.9	100	1000	60.0	90.0
1.0	100	1000	60.0	90.0
3.0	100	1000	60.0	30.0
4.0	100	1000	60.0	9.6
5.0	100	1000	60.0	0.0
7.0	100	1000	60.0	1.9
8.0	100	1000	60.0	15.5
9.0	100	1000	60.0	17.9
10.0	80	800	58.1	23.5
12.0	75	750	57.5	48.6
15.0	50	500	53.9	53.1
17.0	30	300	49.5	

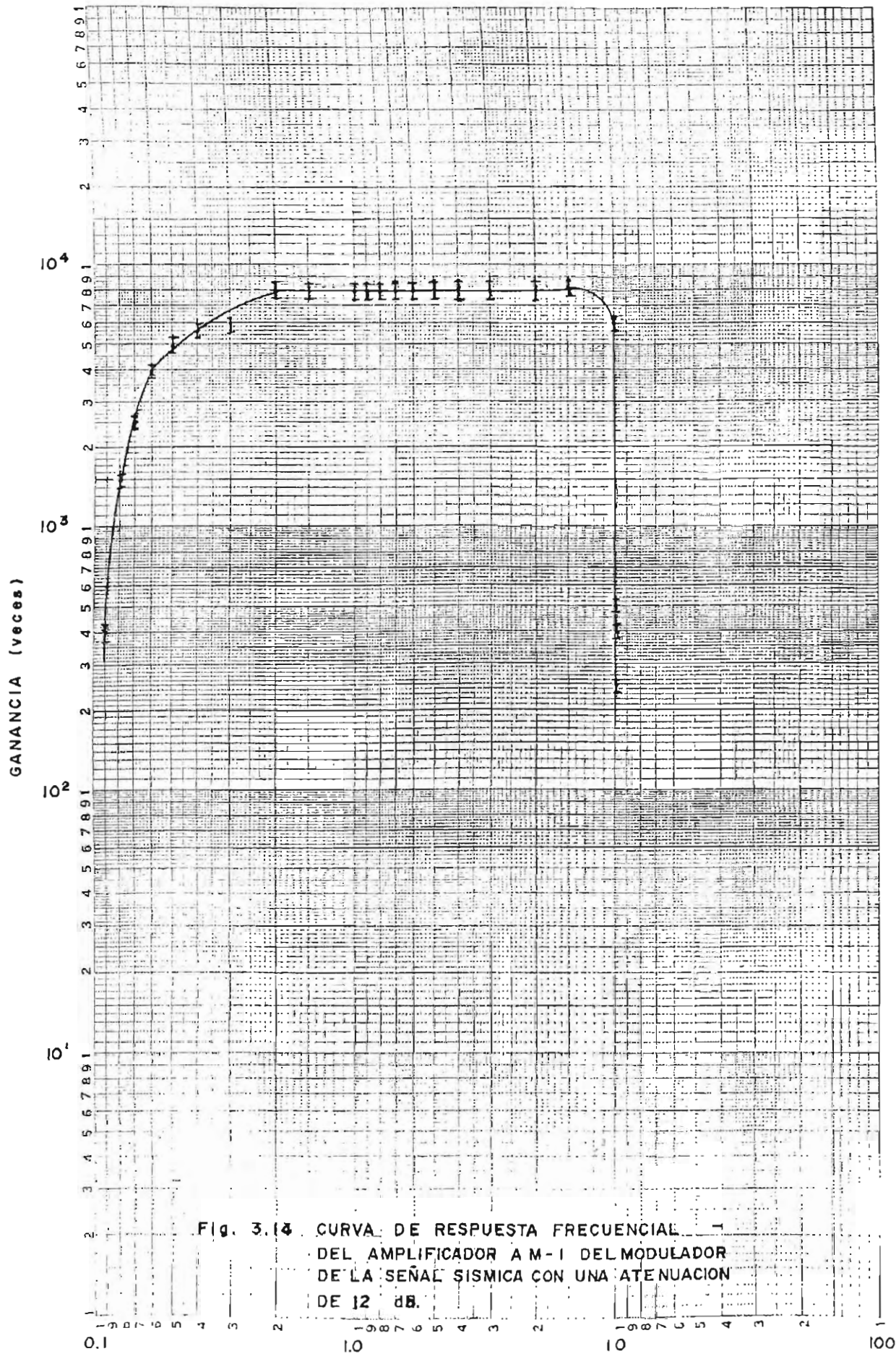


Fig. 3.14 CURVA DE RESPUESTA FRECUENCIAL DEL AMPLIFICADOR A M-1 DEL MODULADOR DE LA SEÑAL SISMICA CON UNA ATENUACION DE 12 dB.

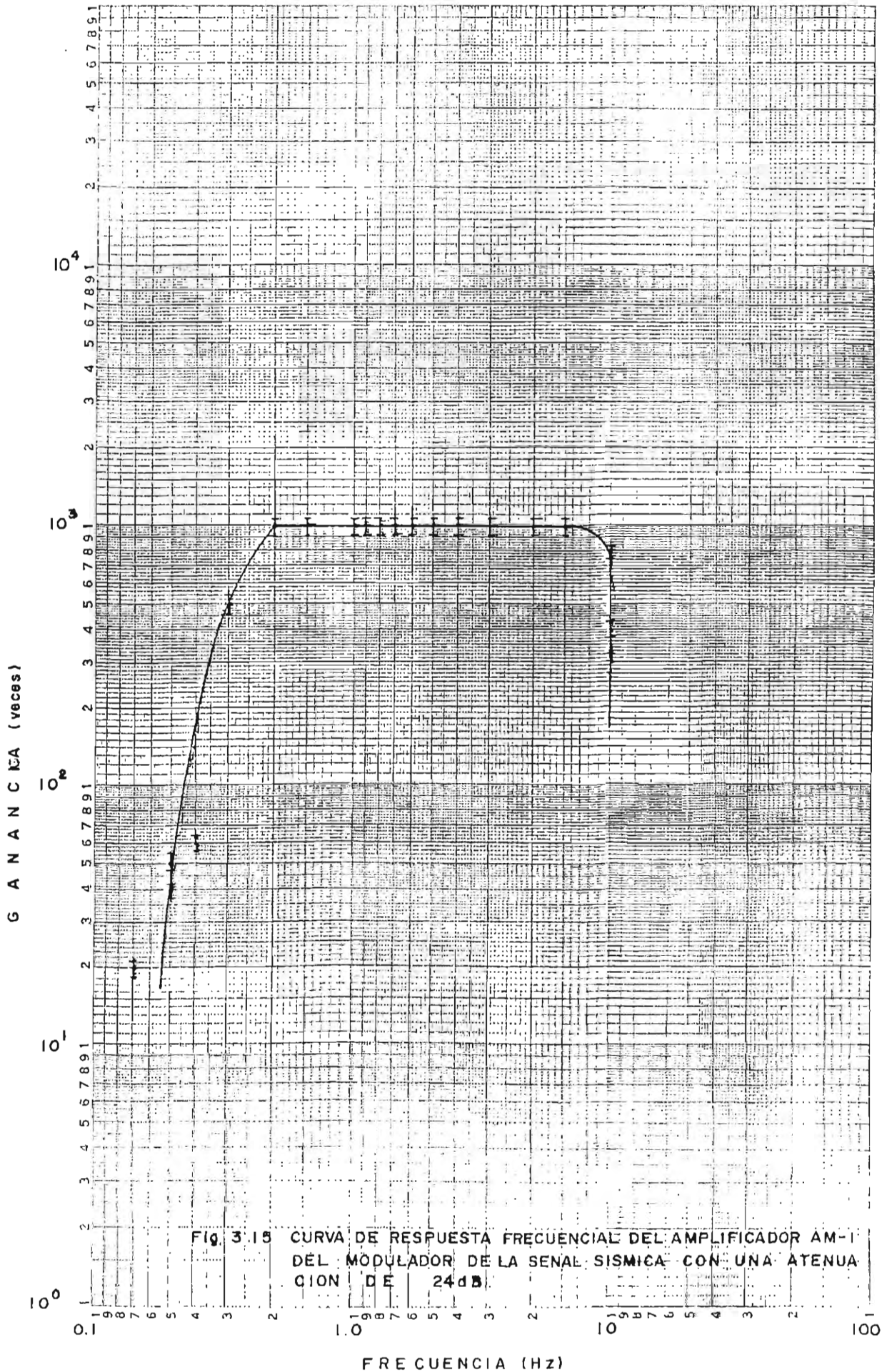


Fig. 3.15 CURVA DE RESPUESTA FRECUENCIAL DEL AMPLIFICADOR AM-1 DEL MÓDULADOR DE LA SENAL SISMICA CON UNA ATENUACION DE 24dB.

una atenuación de 12dB, lo cual es consistente con el valor esperado, ya que en un sistema con una atenuación de 12 dB, con una ganancia máxima de 90 dB (según manual de servicio) se espera una ganancia en decibeles de  $(90 - 12)\text{dB} = 78 \text{ dB}$ .

La ganancia obtenida para una atenuación de 24 dB tiene un valor de 60 dB, siendo el valor esperado de  $90 - 24 = 66 \text{ dB}$ , lo que indica que el componente en estudio no responde adecuadamente bajo una atenuación de 24 dB, recomendándose en tal sentido, la reparación del mismo ó que se cambie las condiciones de operación de trabajo a otra en el que el módulo responda adecuadamente.

#### ii) Determinación del Angulo de Fase.

Dado que los filtros que posee el condicionador de la señal sísmica tienen la propiedad de cambiar la fase a la señal que pasa a través de él, es preciso entonces determinar la variación en los ángulos de fase en un rango de frecuencia determinado:

El método utilizado para determinar los ángulos de fase es el método de las curvas Lissajous. Una señal, es conectada

directamente del generador de funciones a uno de los canales del osciloscopio, la otra señal de voltaje, es aplicada del generador de funciones al módulo amplificador y posteriormente al otro canal del osciloscopio, luego se selecciona el tiempo base en la posición X-Y para formar la curva lissajous, de esta curva, se miden los parámetros A y B, (figura B-9 apéndice B) donde A, es el valor de la longitud horizontal que ocupa la curva en la pantalla del osciloscopio; y B, es el valor de la longitud del segmento ubicado en la intersección de la curva lissajous (centrada en la pantalla) y el eje X. El ángulo de fase es determinado por la relación:

$$\text{Angulo de Fase} = \text{Arcoseno}(B/A)$$

Los resultados de la medición del ángulo de fase son mostrados en la tabla III.4. y III.5.

#### 3.4.6 Pruebas y Chequeos en el Sismómetro Modelo s-13, Marca Teledyne Geotech.

Las principales especificaciones técnicas de este equipo son detalladas a continuación:

Modo de operación ----- Vertical y Horizontal.

Período Natural-----Ajustable de 1.33 a 0.91 seg.

Frecuencia Natural-----Ajustable de 0.75 a 1.1 Hz

Peso de la Masa Inercial-----5kg.  $\pm$  1%

Transductor.

Tipo-----Bobina móvil(velocidad)

Amortiguamiento-----Electromagnético.

Constante de la

Bobina de Calibración-----0.1975  $\pm$  0.0020 New/Amp.

Resistencia de Bob. de Cal---23 $\pm$  3 ohmios a 25 C.

Número de alambre-----42.

Entre las principales pruebas que tienen que hacerse a un sismómetro se tienen:

- i) Chequeo de Frecuencia y Período Natural
- ii) Prueba de Polaridad.

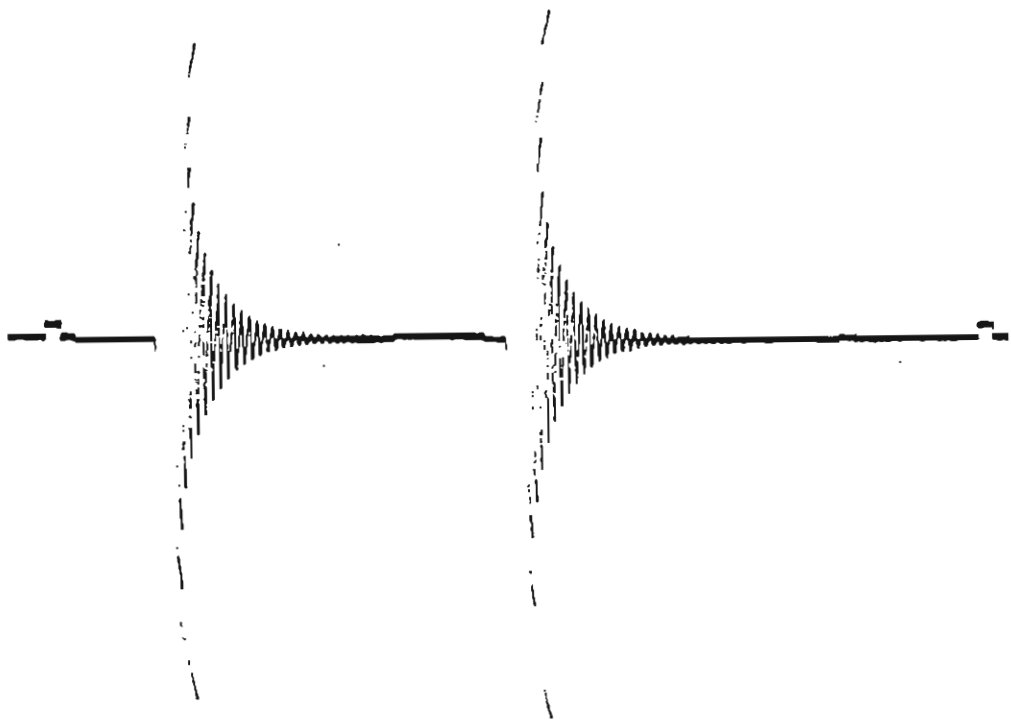
Los procedimientos para la ejecución de esta prueba están detallados en la sección I.1.7(iii) , el material y equipo utilizado en la ejecución de la misma fué:

- Un Generador de Funciones de amplitud variable marca TELTRONIX modelo 3310A.
- Una caja de resistencias con un rango de 0 a 1.0 M ohmios.
- Sistema de Registro (el descrito en sección 3.4.1)
- Cables necesarios para las conexiones (tipo banana).

i) Determinación de la frecuencia y período natural Natural.

Esta prueba, es realizada en el sensor aislado del sistema, para lo cual se instala el sistema (en la estación de registro central) conectando los terminales de la bobina del sensor, a través de cables conectores, a la entrada del amplificador del registrante donde son registrados todos los movimiento detectados por el sensor, luego se extrae manualmente la masa del sensor de manera que quede oscilando libremente y se obtiene el registro.

El período de la oscilación es leído directamente del registro obtenido. (secc I.1.7.i del apéndice B). Como resultado de esta prueba, se determinó un valor para el período de oscilación libre (fig 3.16) de  $1.00 \pm 0.05$  seg, y una frecuencia natural



esc. 1:1

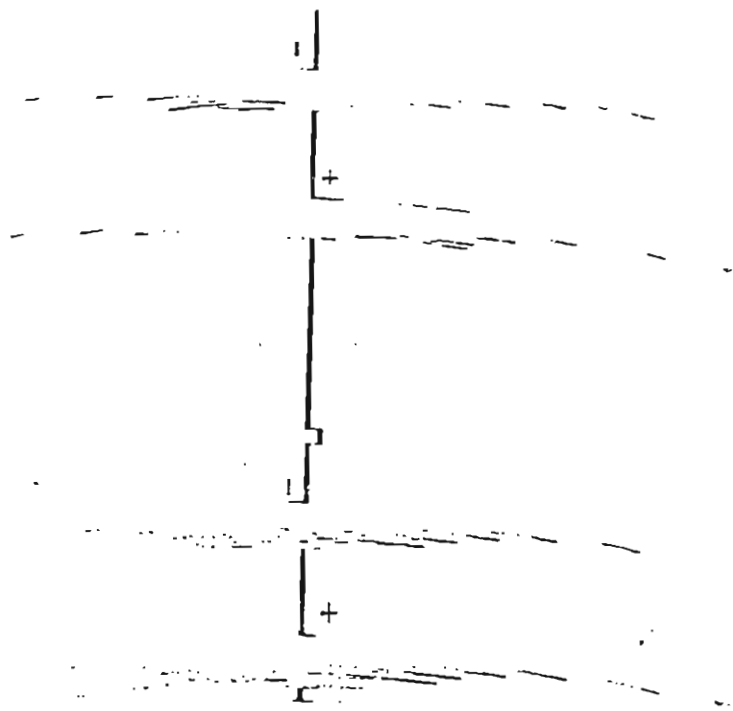
Fig.3.16 REGISTRO OBTENIDO EN LA PRUEBA DE DETERMINACION DE LA FRECUENCIA EN EL SISMOMETRO.

(1/T) de  $1.00 \pm 0.05$  Hz lo cual es consistente con las especificaciones proporcionadas por el fabricante.

ii) Prueba de Polaridad.

Esta prueba constituye una de las más importantes a ser ejecutadas en un transductor, dado que la polaridad del primer impulso que llega hasta el sismómetro es utilizada para determinar que tipo de onda sísmica ha sido registrada. Un primer arribo del tipo compresional hace que la tierra se mueva inicialmente hacia arriba, deberá ser registrado como positivo (deflección hacia la derecha sobre el registro ubicado en el tambor). Un primer arribo de tipo dilatacional, hará que la tierra se mueva hacia abajo y deberá ser registrado como negativo (deflección hacia la izquierda sobre el registro ubicado sobre el tambor).

Los resultados obtenidos al desarrollar esta prueba siguiendo los lineamientos planteados en la sección I.1.7 (i) del apéndice B y utilizando como equipo la unidad de registro del sistema (Amplif. AR-320 y reg. modelo RV- 301 de la marca TELEDYNE GEOTECH) y cables conectores del tipo Click y banana, demuestran una correcta polaridad como son mostrados en la figura 3.17.



+ DEFLEXION EN EL REGISTRO SOBRE  
EL TAMBOR HACIA LA DERECHA.

esc. 1:10

- DEFLEXION EN EL REGISTRO SOBRE  
EL TAMBOR HACIA LA IZQUIERDA.

Fig.3.17 REGISTRO OBTENIDO EN LA PRUEBA DE POLARIDAD  
EFECTUADA SOBRE EL SISMOMETRO.

### 3.5 Calibración Total de un Sistema Sismográfico.

Para desarrollar este trabajo es preciso conocer :

- La amplitud y la frecuencia de la corriente que atravieza la bobina de calibración del sensor.
- El desplazamiento en milímetros pico pico del trazo en el papel.
- La masa del sismómetro en Kg.
- La constante motora de la bobina de calibración.

Los principales conceptos y cálculos sobre la magnificación son considerados en la siguiente sección.

#### 3.5.1 Magnificación.

Es uno de los parámetros mas representativos en un sistema sismográfico moderno, se define como la razón entre la señal sísmica finalmente registrada y la señal sísmica original y, también puede ser determinada en función de la constante motora de la bobina de calibración:

$$\text{Magnificación} = D/d$$

donde: D = deflección pico-pico sobre el registro.

d = desplazamiento original del terreno.

de la ecuación 2.15 (sección 2.5.5) se tiene :

$$1/d = [m(2\pi f)^2]/(KI) \quad (3.4)$$

de donde la expresión de la magnificación (Mgn) será:

$$\text{Magnificación} = Dm(2\pi f)^2/KI \quad (3.5)$$

donde m= masa del sismómetro.

K= constante de la bobina de calibración.

I= corriente de calibración.

f= Frecuencia de oscilación libre del sensor.

D= deflección sobre el registro.

El trabajo de la determinación de la magnificación en la estación sísmica con frecuencia de centro de 680 Hz, fue desarrollado siguiendo la secuencia de pasos descritos en la sección I.1.8 del apéndice B, el equipo empleado tiene las especificaciones siguientes:

- Un Generador de Funciones de amplitud variable marca

Hawlett Pakard, modelo 3310A.

- Un Osciloscopio digital marca TEKTRONIX INC. modelo T200
- Los componentes calibrados del Condicionador de la señal (Pre y amplificador VCO), módulo Discriminador y unidad registrante.
- Cables necesarios para conectar las unidades, con terminales tipo banana y click.
- Regla graduada en mm.
- Caja de resistencias (con rango de 0 a 1 Mohmios)

En esta prueba, se instala la estación sismológica en laboratorio, acoplando todos los elementos que la constituyen, omitiendo el medio de telemetría, acoplando el modulador por cables coaxiales directamente a la entrada del demodulador, como se muestra en la figura B-11 (apéndice B) el la cual, para una frecuencia y corriente de calibración determinada aplicado a la bobina de calibración del sismómetro, se obtiene un registro del mismo, y se determina la magnificación a través de la ecuación 3.5 {  $Magn. = D/d = [Dm(2\pi f)^2]/(KI)$  }.

Los valores de frecuencia de oscilación de la masa del sensor y corriente de calibración aplicados en esta prueba son mostrados en la tabla III.6

TALBLA III. 6. Valores de corriente de calibración y las deflecciones pico pico obtenidas en el registro.

FREC. (+0.41% Hz)	CORRIENTE ( $\pm 10\%$ mA)	AMPLITUD ( $\pm 0.002$ mt)
0.3	1.2	0.009
0.5	19.4	0.012
0.7	24.2	0.015
0.9	26.8	0.017
1.0	28.0	0.016
2.0	32.2	0.011
4.0	31.9	0.005
6.0	34.2	0.003
8.0	34.5	0.002
10.0	34.4	0.001

Así por ejemplo, para una frecuencia de 1Hz para la señal del generador que alimenta a la bobina de calibración, la corriente aplicada según la tabla anterior fué de 28.0 mA y la amplitud medida sobre el registro de de 0.0.16 mt, teniendo la masa del sensor de 1.45 Kg. (tomada de la especificaciones técnicas del manual de servicio) y la constante de la bobina

de calibración de 0.1975 Newton/Amper aplicando la ecuación 3.5 se obtiene un valor de magnificación dada en veces de : 165.6 veces, la equivalencia en decibeles es encontrada a través de la expresión:

$$\text{Magn. (dB)} = 20 \log[\text{magn. (veces)}]$$

De donde se obtiene que para el valor de magnificación para 1 Hz expresado en decibeles será de 44.4 dB. Es muy común y conveniente, normalizar la amplitud de la magnificación al valor de la frecuencia natural de oscilación del sismómetro, en este caso, esta frecuencia tiene un valor de 1 Hz, por lo tanto la magnificación normalizada estará dada por:

$$\text{Magn. Norm. (fr)} = \text{Magn. (Fr)} / \text{Magn. (1 Hz)}$$

Los resultados obtenidos al concluir esta prueba, son mostrados en la tabla III.7, y la curva de magnificación normalizada a 1 en el rango de frecuencias de interés, (de 0 a 10 Hz), son mostrados en la figura 3.18, los trazos del registro en esta prueba aparecen en la figura 3.19.

Las condiciones de trabajo bajo las cuales se obtuvieron estos resultados fueron las siguientes:

En el Generador de Funciones:

Voltaje de salida inicial = 79 mV RMS

Corriente inicial de salida = 12 mA

Forma de onda = senoidal

En el condicionador de la señal:

Posición del atenuador en Preamplificador = 36 dB

Posición del atenuador en Amplificador = 18 dB

Posición del Selector de Filtro = Variable.

Posición del Filtro Paso Alto = 0.03 Hz.

Posición del Filtro Paso Bajo = 5 Hz.

TABLA:III.7 Valores de magnificación obtenidos en la calibración de un sistema sismográfico moderno.

Fr(Hz)	Mag. (veces)	Mag. (dB)	Mag. (Norm.1 Hz,dB)
0.5+0.41%	44.8±5%	33.0±5%	-11.3±5%
0.7	88.0	38.9	-5.5
0.9	148.9	43.5	-1.0
1.0	165.6	44.4	0.0
2.0	396.0	51.9	7.6
4.0	796.9	58.0	13.6
6.0	915.3	59.2	14.8
8.0	1078.5	60.7	16.3
10.0	842.6	58.5	14.1

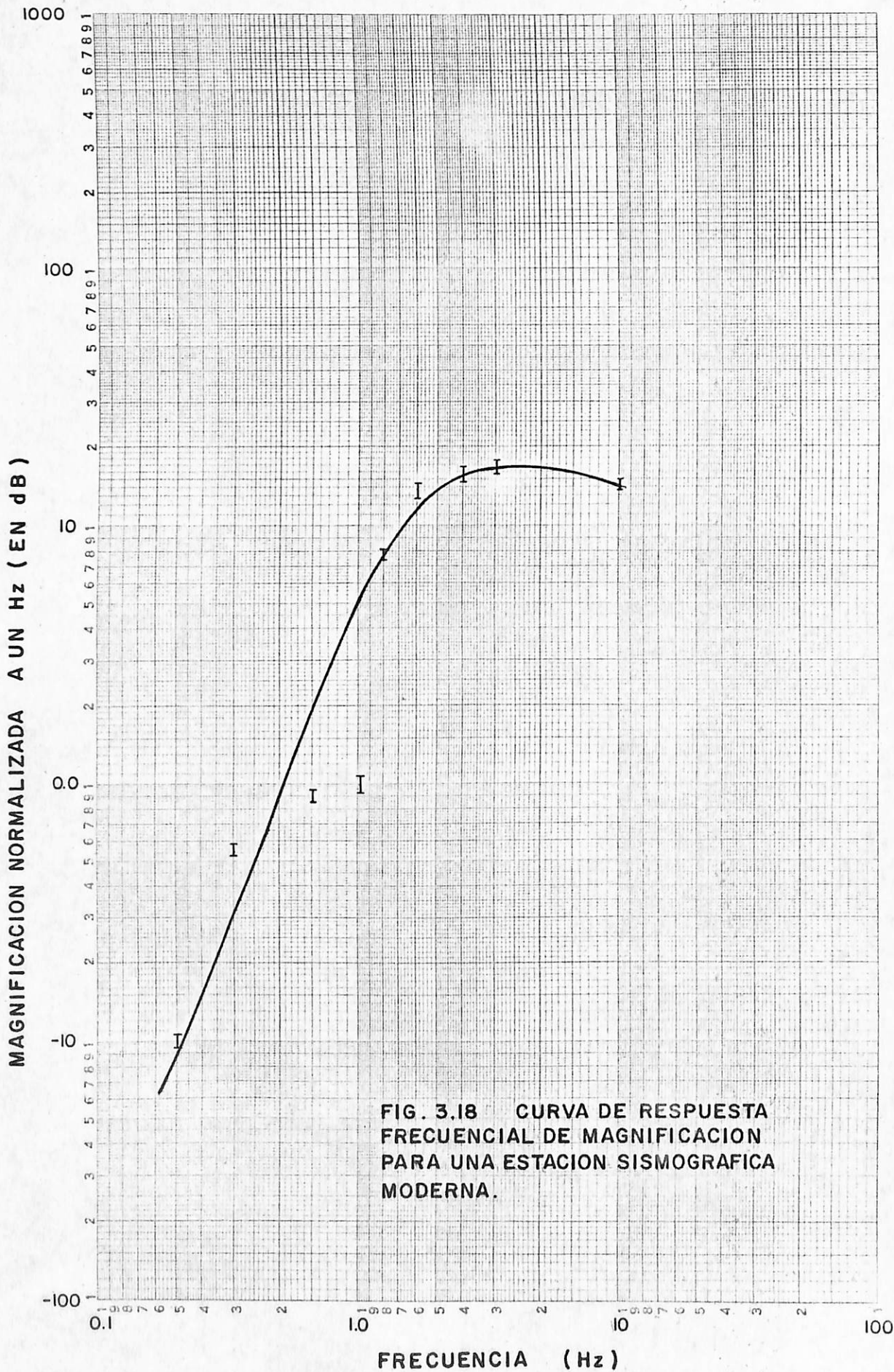


FIG. 3.18 CURVA DE RESPUESTA FRECUENCIAL DE MAGNIFICACION PARA UNA ESTACION SISMOGRAFICA MODERNA.

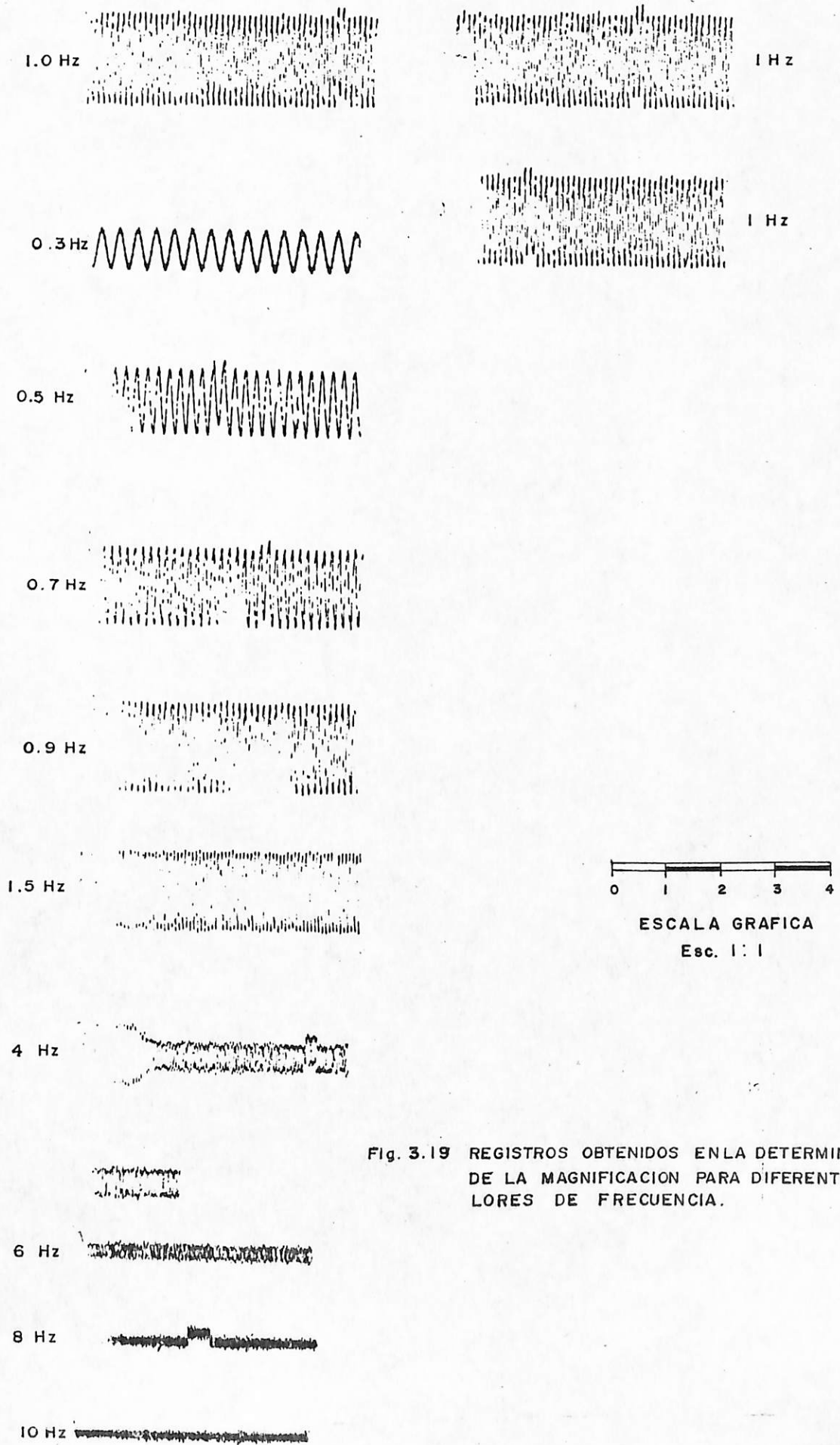


Fig. 3.19 REGISTROS OBTENIDOS EN LA DETERMINACION DE LA MAGNIFICACION PARA DIFERENTES VALORES DE FRECUENCIA.

utilizados para estudios de investigación de mucha rigurosidad e importancia.

- Como resultado de la calibración, se corrigieron las desviaciones encontradas en cada uno de los componentes referente a las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante, como son:
  - \* Una desviación en el voltaje de desplazamiento offset en el amplificador del registrante con un valor de 1,2 V dc.
  - \* Desviaciones en la sensibilidad del registrante de hasta el 85% del valor esperado.
  - \* Las desviaciones en la frecuencia de centro del Demodulador de 18Hz abajo de lo esperado (680Hz) y desviaciones del 25% en la sensibilidad del mismo.
  - \* En el Oscilador Controlado por Voltaje (VCO), fueron corregidos: el error en la frecuencia de centro de 57 Hz y la desviación en la sensibilidad del 30%.
  - \* Las pruebas en el amplificador del modulador muestran una

CAPITULO IV  
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES

Al concluir el trabajo de calibración sobre una de las estaciones sismográficas de la Red de Telemetría Sísmica, la cual funciona con una frecuencia central de 680 Hz, es preciso recalcar las conclusiones siguientes.

- El trabajo de calibración es necesario para caracterizar y homogenizar las condiciones de funcionamiento de todas las estaciones sismográficas que constituyen ta red de telemetría sísmica nacional.
  
- El trabajo de calibración efectuado sobre el sistema de registro sísmico completo, así como cada uno de los componentes que lo constituyen, confirma con claridad que las condiciones de funcionamiento en la que se encuentran operando, están fuera de las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante, limitándose de este modo la capacidad del sistema, y proporcionando datos de dudosa confiabilidad, esto tomando en cuenta que pueden ser

atenuación de 24 dB lo que significa que es necesario sea revizado por el personal Técnico para efectuar su reparación.

- Debido a el tiempo transcurrido desde la instalación del sistema de registro de la Red (desde 1983), existen muchas probabilidades que el resto de estaciones que componen la red se encuentren operando en condiciones similares.
- La calibración de todas las estaciones sismológicas de la Red Sismográfica Nacional es un requisito indispensable para poder llevar a cabo estudios de investigación con los datos proporcionados por la Red, así como para dar mejores localizaciones epicentrales y valores de magnitud, y poder intercambiar los datos sísmicos con otras instituciones internacionales que tienen a su cargo el monitoreo de la actividad sísmica, utilizando para ello redes de telemetría sísmicas de la misma naturaleza.
- El programa de cómputo de respuesta frecuencial utilizado para comparar algunos de los resultados del trabajo de calibración, ha sido elaborado para la calibración de una estación sismográfica con elementos de la marca Teledyne

Geotech, no siendo aplicable para las estaciones sismográficas de El Salvador.

- La curva de respuesta de magnificación obtenida, considera el sistema de registro sísmico (estación sismológica) sin filtros.
- Debido a que no existe constancia de un trabajo previo de calibración para las estaciones de telemetría sísmica de

El Salvador, las curvas de respuesta obtenidas, en el trabajo de calibración, se constituyen en las curvas de respuesta que caracterizan la estación sismográfica calibrada.

- El manual de calibración elaborado en este trabajo, es válido únicamente para las estaciones de la Red de Telemetría Sísmica de El Salvador, compuesta por componentes de la línea de productos Kinometrics Inc. y Teledyne Geotech.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda retomar a corto plazo, el trabajo de ajuste y calibración en cada una de las estaciones sísmicas que constituyen la Red Sismográfica de El Salvador, para optimizar de esta manera el rendimiento y capacidad de la Red, de manera que proporcione datos mas confiables.
  
- Al llevar a cabo el trabajo de calibración, es preciso requerir que los instrumentos de medición utilizados sean confiables y estén debidamente calibrados, los cuales deben de ser chequeados en forma periódica durante la ejecución del trabajo experimental.
  
- Gestionar cuanto antes, para un mejor desarrollo en el trabajo, la adquisición de los esquemas circuitales de cada componente en forma clara y ampliada, así como el programa de curvas de respuesta adecuado para la estación sísmica en cuestión, conformada por elementos de de marca Teledyne Geotech y Kinematics Inc., que permita comparar las curvas de respuestas obtenidas manualmente en el trabajo de la calibración.

- Debido a la necesidad del trabajo de calibración en toda la Red, es conveniente contar con el recurso humano necesario para conformar un equipo que se integre a tiempo completo en la persecución de las metas trazadas en el proyecto de calibración.
  
- Repetir las pruebas de ajuste y calibración al menos una vez por año como lo recomienda el fabricante.
  
- Difundir el trabajo de Calibración a nivel Centroamericano, con el objeto de intercambiar resultados con trabajos similares efectuados en Redes de telemetría de la misma naturaleza.

CAPITULO V  
BIBLIOGRAFIA

ALVARENGA, R. & CHAVARRIA R.; 1988: Manejo de Equipo Sismográfico y Análisis e Interpretación del Sismogramas. Universidad de El Salvador, San Salvador (Inédito)

ARANDA, C. & HAVSKOV, 1988 . Manual de Calibración de Instrumentos Sismológicos Instituto de Física de la Tierra Solida, Observatorio Sismológico, Universidad de Bergen.

BULLEN K.E. & BOLT, BRUCE A, 1985 ."An Introducction To The Theory of Seismology" Cambrige University Press. Four Edition.

C.R. FEBERG & E. N. KEMBER, 1960 ."Elemental of Mecanical Vibrations " Jhon Willey y Sons. London, Second Edition.

HARTOG, DEN J.P,1956." Mechanical Vibrations". McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, Four editions

HAUSER WALTER,1966. "Introduccion a los Principios de Micánica" .Unión Topográfica ,Editorial Hispanoamericano México.

KEITI AKI 1980. "Quantitative Seismology Theory and Metodos"  
Volumen 1 W. H. Freeman and Company. San Francisco (USA).

MILFORD, F. & REITZ, J. 1979. "Fundamentos de Teoría  
Electromagnetica". Fondo Educativo Interamericano  
México, Tercera edición.

CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOTECNICAS, DEPARTAMENTO DE  
INVESTIGACIONES SISMOLOGICAS, SECCION DE MANTENIMIENTO.  
"Manuales de Servicio y Mantenimiento de cada uno de los  
Componentes de la Estación Sísmica Calibrada." . San  
Salvador, 1991.

SETO W. WILLIAN. 1970. "Vibraciones Mecanicas". Libros McGRAW-  
HILL, México.

SALTZMAN, BARRY, 1981. "Principles and Applications of  
Microearthquake Networks". Academy Press, New York,

ZAUTER, FRANZ, 1989. "Introduccion a la Sismología". Editorial  
Tecnológica de Costa Rica. San José Costa Rica.

APENDICE A  
G L O S A R I O

En esta sección, se presenta algunas de las principales definiciones del vocabulario utilizado en el presente trabajo:

ANGULO DE FASE: es el retardo o adelanto que experimenta una señal sísmica después de pasar por un filtro analógico.

AREA EPICENTRAL: región situada alrededor del epicentro, caracterizada por ser la zona con mayores daños por el evento sísmico.

CAMPO MAGNETICO: región circundante de una carga eléctrica.

CORTEZA TERRESTRE: parte superior del globo terrestre, rígida y constituida por rocas cristalinas de composición basáltica y granítica, incluyendo sedimentos asociados.

DECIBEL: décima parte del Bel, la cual es una unidad de medida para expresar la intensidad del sonido.

ENERGIA SISMICA: parte de la energía elástica de deformación que es liberada durante el proceso de ruptura de la roca en un falla, que es irradiada en forma de ondas elásticas u ondas sísmicas, la mayor parte de la energía elástica acumulada es disipada en forma de calor.

ECUACION CARACTERISTICA: expresión matemática que define las cualidades dinámicas de un sistema, la cual puede ser algebraica ó diferencial.

EPICENTRO: es la proyección en la superficie terrestre del foco.

ERROR OFFSET: error en la salida de una señal de voltaje dc, consiste en la aparición de un voltaje de salida en un componente electrónico, aun cuando no exista ninguna señal de voltaje en la entrada del mismo.

ESTACION SISMOLOGICA: sitio en el cual se instalan los instrumentos para registrar los movimientos sísmicos.

ESTILETE: puñal de hoja muy estrecha y aguda (punzón).

FOCO: parámetro sísmico que indica el sitio en el cual se inicia la fractura de la roca y de la cual emanan los primeros impulsos de la onda sísmica.

FUNCION TRASFERENCIA: es la relación que existe entre una señal de entrada en un sistema electrónico y la que sale de él.

FRECUENCIA DE CORTE DE UN FILTRO: es aquel valor de frecuencia en el cual la atenuación del filtro es del 70% de la amplitud del ancho de banda del filtro.

FRECUENCIA NATURAL: frecuencia de oscilación libre de un sistema oscilatorio donde no es aplicada fuerza externa alguna.

GANANCIA DE UN SISTEMA ELECTRONICO: es la razón entre la señal de voltaje en la salida de un sistema y la señal de voltaje en la entrada del mismo, puede ser expresada en dB.

PENDIENTE DEL FILTRO: pendiente azintótica de la curva de respuesta frecuencial en la región de atenuación donde la atenuación del filtro se hace presente.

MAGNIFICACION: es definida como la relación entre la señal sísmica finalmente registrada por un sistema sísmico y la señal sísmica original.

MAGNITUD: es la energía total liberada por un sismo en el foco, independiente del lugar de observación.

MOMENTO DE INERCIA: es la medida de resistencia que un cuerpo ofrece a cualquier cambio en su velocidad angular.

MOMENTO ANGULAR: resultado del producto del momento de inercia y la velocidad angular.

MICROSISMO: son aquellos eventos sísmicos que solo pueden ser observados bajo favorables condiciones, y por instrumento con alta magnificación.

ONDA SISMICA: onda mecánica transitoria, que se origina cuando existe un rompimiento en la corteza terrestre disipando en cierta proporción la energía sísmica liberada.

ONDA SISMICA PRIMARA (ONDA P): son ondas longitudinales que se propagan en el interior de la tierra (interna) con movimientos de dilatación y compresión, y son las primera que arriban a la estación sísmica.

ONDA SISMICA SECUNDARIA (ONDA S): onda interna, con un tipo de movimiento perpendicular a la dirección de propagación, por ello, no pueden transmitirse a través de un medio líquido, y son las segundas en arribar a la estación sísmica.

ONDA SISMICA SUPERFICIAL: son las ondas sísmicas originadas en la superficie terrestre (en el epicentro), y se propagan a través de ella.

ONDA RAYLEIGH: tipo de onda sísmica superficial con un tipo de movimiento retrógrado elíptico, y con el semi

eje mayor vertical, su desplazamiento es perpendicular a la superficie y paralelo a la dirección de transmisión.

ONDA LOVE : tipo de onda sísmica superficial en un plano horizontal perpendicular a la propagación de la misma.

PERIODO NATURAL: tiempo en el cual un sistema oscilatorio efectúa una oscilación completa y libre de toda fuerza externa.

RANGO DINAMICO: razón entre la señal sísmica mínima y señal sísmica máxima registrada sin distorsión electrónica.

SISMO: es todo movimiento de la tierra (temblor), cualquiera que sea su violencia, cuando este es muy violento se le llama terremoto.

SISMICIDAD: grado de incidencia de los sismos en una región determinada.

SISMOS TECTONICOS: son eventos sismicos causados por la liberación súbita de la energía tensora acumulada, debido a la interacción de dos o mas placas tectónicas.

SISMOGRAFO: instrumento diseñado para registrar temblores.

SISMOGRAMA: registro producido por un sismografo.

SISMOMETRO: es un sensor de ondas sísmicas cuyas especificaciones y constantes físicas están definidas, y tan exactas como el fabricante ha sido capaz de obtenerlas,(período natural, resistencia critica de atenuación,etc.).

ZONA SISMICA: extensión de tierra perteneciente a una región determinada, donde los eventos sismicos se dan con frecuencia.

APENDICE B  
MANUAL DE CALIBRACION

**Introducción:**

En esta sección, se describe en detalle, los mecanismos y procesos que fueron ejecutados en el trabajo calibración de cada uno de los componentes de una estación sismográfica moderna, así como la calibración del sistema total.

El ajuste de los componentes de la estación sismográfica se iniciará en la estación central de registro, pasando luego al sistema de amplificación, hasta terminar en las pruebas en el sensor.

El diagrama de bloques de la estación sísmica sobre la cual se efectúa el trabajo de calibración, la cual fué instalada en laboratorio, es mostrado en la figura B-1.

Es importante recalcar que los mecanismos descritos a continuación son exclusivos para las estaciones sismográficas de la Red Telemétrica de El Salvador.

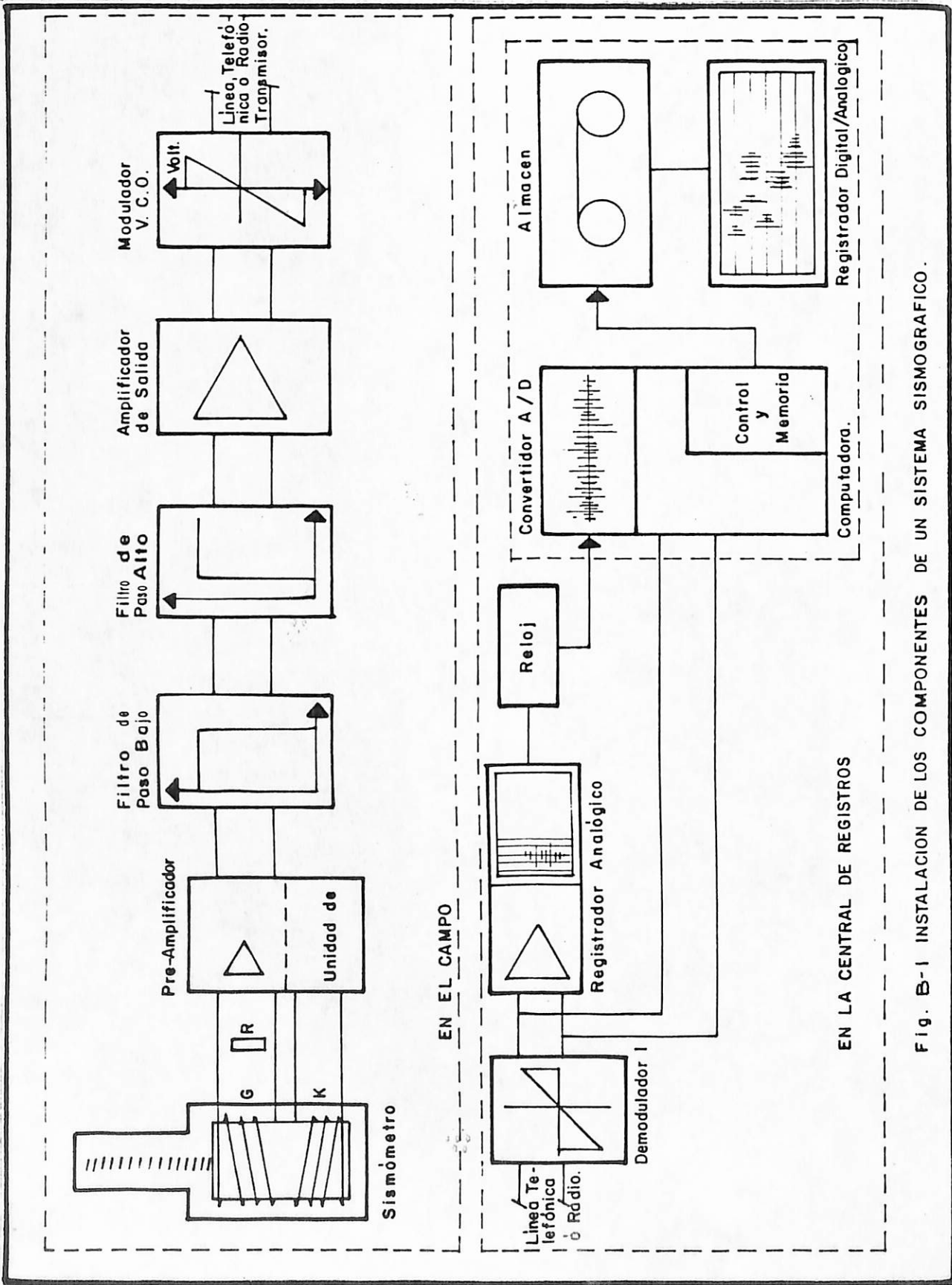


Fig. B-1 INSTALACION DE LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA SIMOGRAFICO.

## 1.0 AJUSTES EN EL REGISTRANTE (Modelo RV-301 Marca Teledyne Geotech).

### 1.1.1 Chequeo de la polaridad del registrante

Material y Equipo utilizado :

- Una Fuente de voltaje DC ajustable.
- Un Voltímetro Digital

Procedimiento:

- 1- Colocar en la posición máxima el atenuador del amplificador en el registrante (36dB).
- 2- Medir con el voltímetro un voltaje conocido ( $2 V_{p-p}$ ), en la salida de la fuente, y aplicarlo en la entrada del amplificador (pines 1 y 2, figura B-2) de manera que el terminal positivo de la fuente conecte en el terminal positivo (pin 2) de la entrada del amplificador y el terminal negativo de la fuente conecte con el terminal negativo de la entrada del generador (pin 1) y obtener un registro, la deflección sobre el registro deberá ser hecha hacia la derecha en el registro sobre el tambor.

3- Invertir la polaridad del arreglo descrito en el paso anterior y obtener el registro de la señal, la deflección sobre el registro deberá ser hecha hacia la izquierda si esto no ocurre, la polaridad del registrante esta invertida, esto se corrige, invirtiendo la señal de entrada en el amplificador.

### I.1.2 Pruebas y Ajustes en el Amplificador del Registrante.

Modelo AR-320 Marca Teledyne geotech.

i) Chequeo y Ajuste del Nivel Offset.

Material y equipo:

- Multitester Digital.
- Llave de Ajuste.
- Diagrama Eléctrico.

Procedimiento:

- 1- Asegurarse que no este entrando ningún voltaje DC en la entrada del amplificador, desconectando los cables de la señal portadora en la entrada del amplificador ubicados en los pines 1 y 2 (fig.B-2) y colocar un puente entre éstos.
- 2- Verificar con el voltímetro que no exista ningún valor de voltaje dc en los pines de entrada, medir el voltaje en los



pinos de salida del amplificador (pinos 5 y 6). Si no hay error en el nivel offset, la lectura de voltaje debe indicar cero voltios Dc.

- 3- Si se comprueba un error de desplazamiento offset, proceder a corregirlo manteniendo la lectura de voltaje Dc medida en los pines de salida del amplificador (5 y 6), ajustandola a cero voltios DC variando el potenciómetro que controla la posición de la aguja de registro (Pen Position), ubicada visiblemente en el panel frontal del amplificador.
- 4- En caso de que nos sea posible ajustarlo con este potenciómetro (Pen Position), de manera que los valores de voltaje correspondientes a las posiciones extremas del mismo sean iguales y con signos negativos, deberá completarse el ajuste removiendo la cubierta del amplificador y ajustando la lectura de voltaje de salida a cero voltios DC, a través del potenciómetro R-36 (ver figura B-2).

### I.1.3 Prueba de Sensibilidad. (ajuste de ganancia)

Material y equipo :

- Generador de funciones de amplitud variable.
- Osciloscopio.
- Multitester digital de medir frecuencias.
- Una regla graduada ( precisión de mm.)

Procedimiento:

- 1- Colocar en la posición máxima el atenuador, 36 dB, ubicado en el panel frontal del amplificador.
  
- 2- Medir con el osciloscopio un voltaje de salida del generador (señal senoidal) de 2560 mV p-p puesto a una frecuencia de 1 Hz, aplicarla a la entrada del amplificador y obtener un registro.
  
- 3- La deflección esperada sobre el papel para este valor de voltaje de entrada, si la ganancia esta ajustada será de 10 mm p-p, que es la deflección esperada, es definida como la razón entre el voltaje pico-pico aplicado en la entrada del amplificador del registrante y el valor de sensibilidad seleccionada. La sensibilidad para este sistema, se define como la razón entre el valor de voltaje de entrada al

amplificador y el valor de la deflección obtenida en el registro.

- 4- Si la ganancia esta desajustada, proceder a su ajuste, variando el control de ganancia (Gain Trin) ubicado en el panel frontal del amplificador.
- 5- Para chequeo del selector de atenuaciones, repetir el procedimiento anterior con los valores de voltaje y posiciones de atenuación indicadas en la tabla I, los valores de amplitud deben duplicarse por cada paso de atenuación reducido en 6 dB.

TABLA I: CHEQUEO DE SELECTOR DE ATENUACION.

Señal de Entrada (mV)	Selector Atenuac. dB	Sensib. Selec. (mV/mm)	Deflec. Teórica (mm)	Deflec. Medida (mm)	Desviación Porcentual (%)
2560	36	256	10		
2560	30	128	20		
2560	24	64	40		
320	18	32	10		
320	12	16	20		
320	6	8	40		
160	0	4	40		

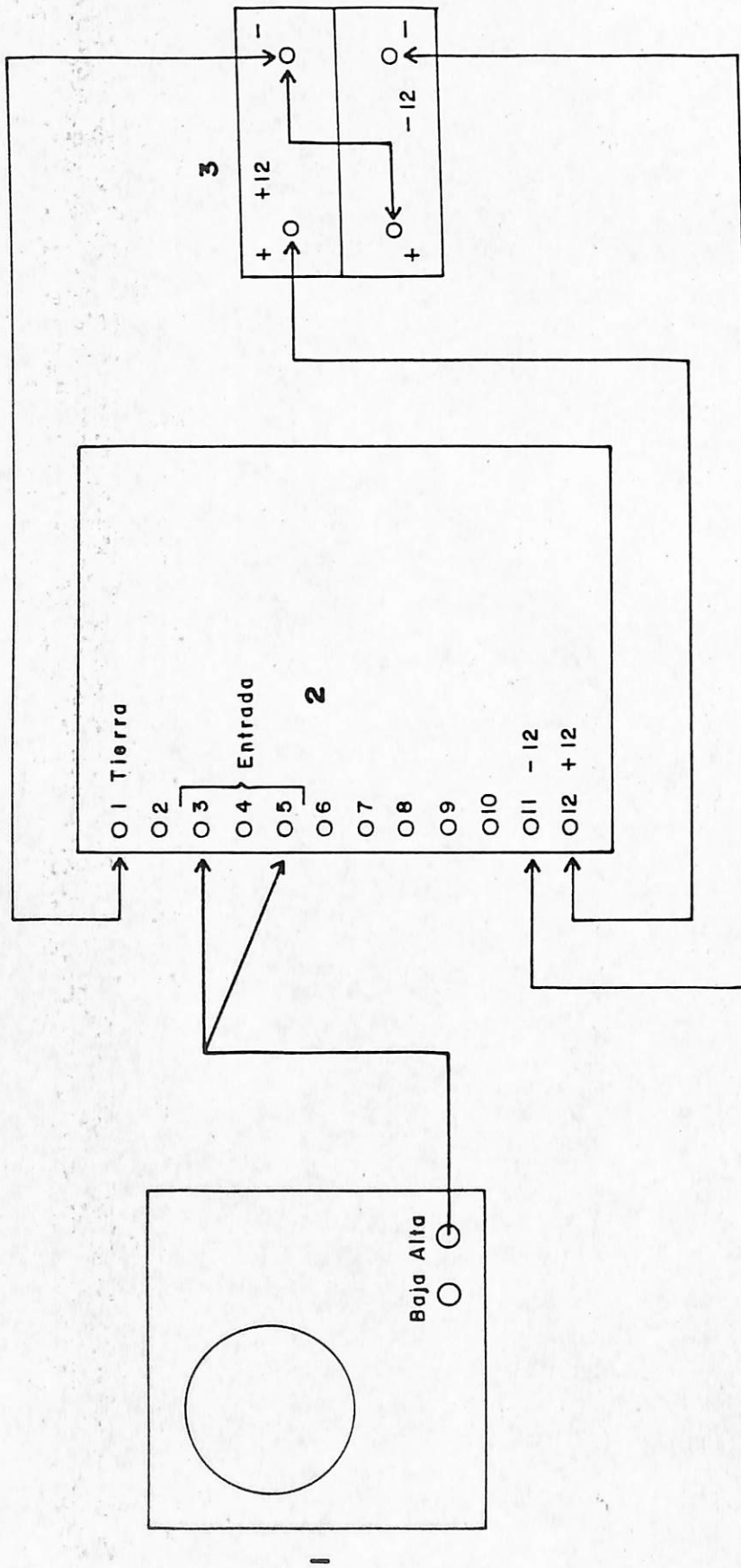
I.1.4 Ajuste y Calibración el el Modulo Discriminador.  
Modelo DM-1 Marca Kinematics Inc.

Material y equipo:

- Generador de funciones de amplitud variable.
- Voltímetro digital.
- Un Osciloscopio.
- Dos fuentes de voltaje ajustable (+12 y - 12v dc)
- Diagrama eléctrico del módulo.
- Una tarjeta de extensión.
- Una llave de ajuste.

Procedimiento Genenral:

- 1- Efectuar una inspección visual del módulo, con el objeto de detectar posibles fallas en el módulo a simple vista, como alambres desoldados, elementos quemados, etc.)
- 2- Hacer el arreglo mostrado en la figura B-3 y energizar el módulo.
- 3- Chequear con el voltímetro, que entre los pines 1 , 8 y el pin 1 (tierra) del integrado U6 , regulador de voltaje que exista un valor de  $+ 6 \pm 0.2$  Vdc y  $- 6 \pm 0.2$  Vdc respectivamente.



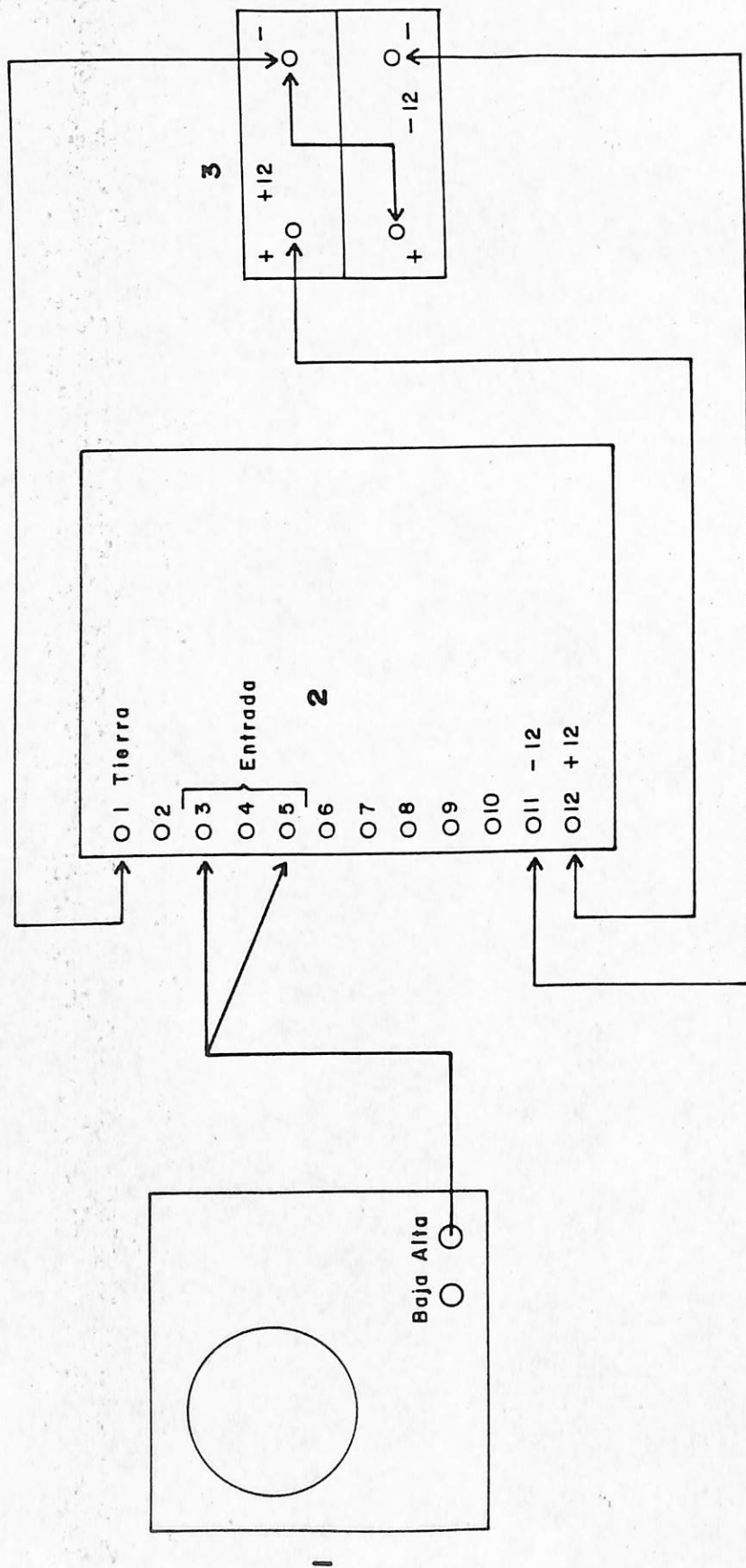
- 1 - GENERADOR DE FUNCIONES
- 2 - MODULO DISCRIMINADOR
- 3 - FUENTES DE VOLTAJE ( 12 VDC ) AJUSTABLE

FIGURA B-3 ARREGLO PARA PRUEBA Y AJUSTE EN EL MODULO DISCRIMINADOR.

- 4- Ajustar el nivel offset del amplificador del módulo, integrado U4, llevando a cero la lectura de voltaje Dc medido en pin 15 (respecto a tierra, pin 1), a través del potenciómetro R-32 , con una tolerancia de 0.01vdc,(figura B-4)
  
- 5- Ajustar el voltaje a la salida en el pin 9 del módulo (medido respecto a tierra, pin 1) a cero Vdc a través del potenciómetro R-50.

**i) Chequeo y Ajuste de la frecuencia de centro.**

- 6- Conectar los terminales del osciloscopio en los pines de la señal portadora (pin 2 y pin 1 del módulo). Encender el generador de funciones conectado a los pines 3 y 5 del módulo y ajustarlo a la frecuencia de centro requerida, con una amplitud de 1 Vrms.
  
- 7- La frecuencia de centro es medida en los pines 1 y 2 (con el generador de funciones sintonizada a la frecuencia de centro) del módulo, y en caso de un corrimiento del valor esperado, es ajustada a través del potenciómetro R-50 para un valor de 0 Vdc en la salida del mismo.



- 1 - GENERADOR DE FUNCIONES
- 2 - MODULO DISCRIMINADOR
- 3 - FUENTES DE VOLTAJE ( 12 VDC) AJUSTABLE

FIGURA B-3 ARREGLO PARA PRUEBA Y AJUSTE EN EL MODULO DISCRIMINADOR.

- 4- Ajustar el nivel offset del amplificador del módulo, integrado U4, llevando a cero la lectura de voltaje Dc medido en pin 15 (respecto a tierra, pin 1), a través del potenciómetro R-32 , con una tolerancia de 0.01vdc,(figura B-4)
  
- 5- Ajustar el voltaje a la salida en el pin 9 del módulo (medido respecto a tierra, pin 1) a cero Vdc a través del potenciómetro R-50.

**i) Chequeo y Ajuste de la frecuencia de centro.**

- 6- Conectar los terminales del osciloscopio en los pines de la señal portadora (pin 2 y pin 1 del módulo). Encender el generador de funciones conectado a los pines 3 y 5 del módulo y ajustarlo a la frecuencia de centro requerida, con una amplitud de 1 Vrms.
  
- 7- La frecuencia de centro es medida en los pines 1 y 2 (con el generador de funciones sintonizada a la frecuencia de centro) del módulo, y en caso de un corrimiento del valor esperado, es ajustada a través del potenciómetro R-50 para un valor de 0 Vdc en la salida del mismo.

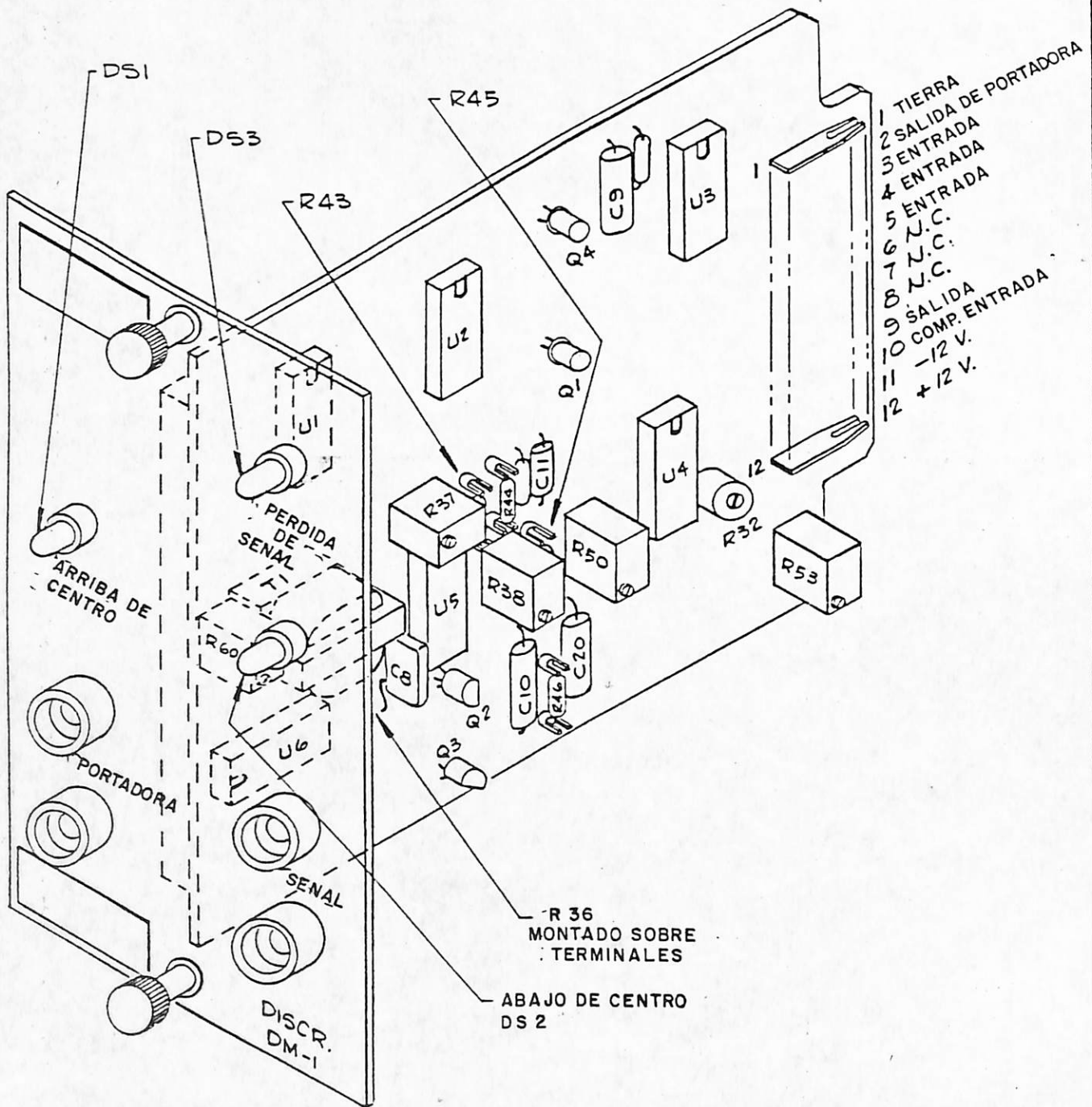


FIGURA B-5 ESQUEMA DEL MODULO DESCRIMINADO DM-1

NOTA: POR CLARIDAD NO SON MOSTRADOS TODOS LOS COMPONENTES  
( TOMADO MANUAL DE SERVICIO )



ii) Ajuste del balance.

- 8- Efectuar el ajuste del balance conectando el voltímetro en el pin 9 (salida) y el pin 1 (tierra) del módulo y ajustar la lectura a  $0 \text{ Vdc} + 0.05 \text{ Vdc}$  a través de R-37.

i) Chequeo y Ajuste de la Ganancia.

- 9- Para el chequeo y ajuste de la ganancia en el demodulador, poner a funcionar el generador de funciones (en función senoidal) a un valor de 125 Hz arriba de la frecuencia central, y ajustar con el potenciómetro R-38 (figura B-4) el voltaje medido en el pin 9 (ver diagrama) y pin 1 (tierra), a un valor de  $+2.5 \text{ Vdc}$  (observar que la luz que indica arriba del centro permanece encendida).
- 10- Colocar el generador de funciones a un valor de 125 Hz abajo de la frecuencia central, y medir con el voltímetro en el pin 9 (salida de la portadora de la señal sísmica) y pin 1, luego ajustar la lectura del voltaje Dc a través del potenciómetro R-38 a un valor de  $-2.5 \text{ Vdc}$  (observar que la luz que indica abajo del centro permanece encendida).

- 10- Para una mejor resolución de los resultados obtenidos y verificar que la variación de la ganancia tiene un comportamiento lineal, es recomendable realizar las variaciones de la frecuencia en intervalos de 25 Hz, hasta llegar a los extremos de variación de  $\pm 125$  Hz.

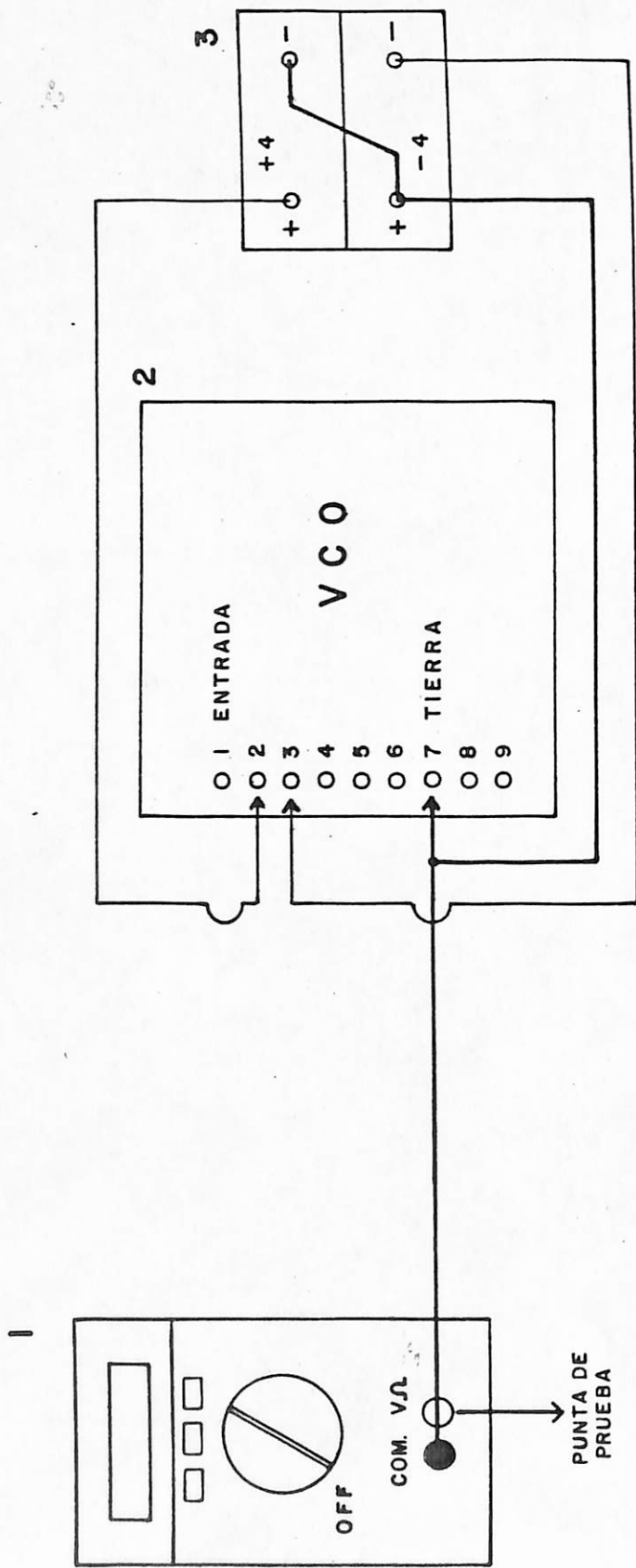
#### I.1.5 Ajuste y Calibración del Oscilador Controlado por Voltaje. ( Modelo OM-1, Marca Kinementrics.)

-Material y equipo necesario:

- Un generador de funciones de amplitud variable
- Un multitester digital
- Tres fuentes de alimentación variable fijadas a:  
+4,- 4 y 0.05vdc respectivamente.
- Cables necesarios para conectar las unidades.
- Diagrama Eléctrico.
- Cautín para soldadura electrónica.

Procedimiento:

- 1- Efectuar una inspección visual en el módulo y detectar posibles defectos a simple vista como, alambres desoldados, la falta de algún elemento del circuito etc.



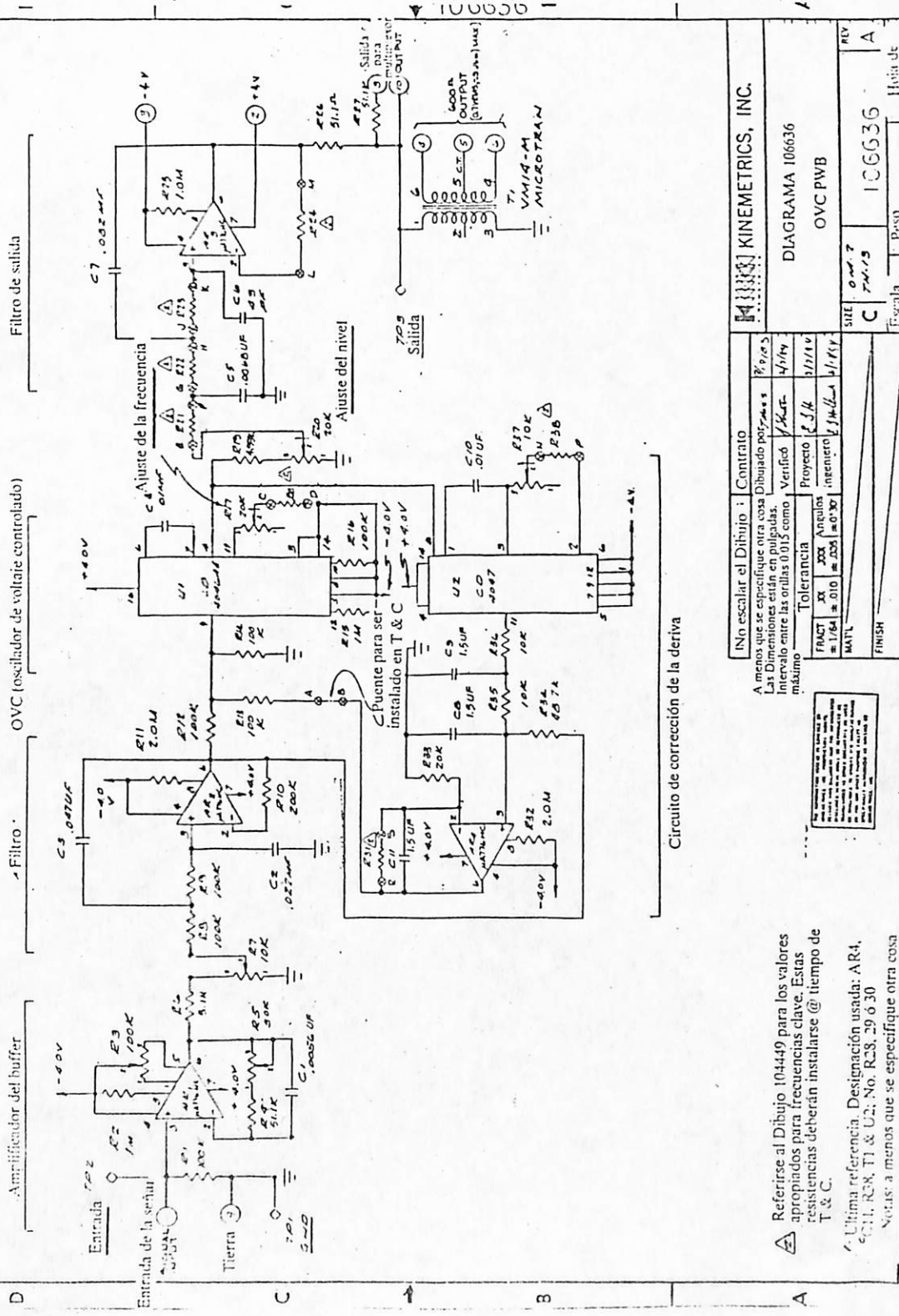
- 1 VOLTIMETRO DIGITAL
- 2 OSCILADOR CONTROLADO POR VOLTAJE
- 3 FUENTES DE VOLTAJE DC ( $\pm 4$  Vdc)

FIGURA B-6 ARREGLO PARA EFECTUAR CHEQUEO Y AJUSTES EN EL VCO

- 2- Hacer el arreglo mostrado en la figura B-6.
- 3- Energizar el módulo, encendiendo las fuentes de voltaje y fijarlas a +4 y- 4 V dc para la polarización y abrir el puente A B mostrado en el digrama eléctrico de la fig.B-7.
- 4- Colocar el atenuador S1 en la posición 1, y ajustar a 0 + 0.005 V dc (ajuste de error en nivel offset) medido en el pin 6 del amplificador AR1 a través de R-3 (ver digrama eléctrico en la fig.B-7.)
  - i) Chequeo y ajuste de la frecuencia de centro.
- 6- Con cero voltios DC en la entrada, chequear la frecuencia de oscilación libre del VCO, midiéndola en los pines 7 y 8 del módulo, y ajustándola si es necesario a través de R-17.
- 7- Instalar el puente entre los terminales A y B y ajustar la frecuencia de centro, la cual es el valor de oscilación libre del módulo y es establecido por el fabricante, en un rango de 680 Hz a 3060 Hz, a través de R-37.

## ii) Ajuste de la ganancia

- 8- Según las especificaciones del manual de servicio, el nivel de voltaje de salida (a línea telefónica) medido en los terminales 4 y 6 del VCO, deberá corresponder a 7 V RMS, en caso de no estar ajustada a este valor, el ajuste se lleva a cabo midiendo el voltaje en la salida (hacia el mezclador) en los pines 7 y 8 del módulo VCO y llevar esta lectura de voltaje a 1.2 V RMS a través de R-20 (vease diagrama eléctrico en la fig.B-8.)
  
- 9- Para chequear la ganancia con la posición del atenuador de entrada (S) en 1, aplicar a la entrada del VCO (pines 7 y 1) un voltaje de 0.05 V Dc y ajustar R-7 para una desviación de + 125 Hz medida en los pines 7 y 8 del VCO.
  
- 10- Con la posición del atenuador S en 3, y una entrada al VCO de + 2.5 Vdc, chequear que la ganancia produzca una desviación en la frecuencia de centro de + 125Hz, medida en los pines 7 y 8 (tierra y salida respectivamente) si es necesario, ajustar la desviación a este valor a través de R-7 (ver diagrama eléctrico en la fig. B-8).



**KINEMATICS, INC.**

DIAGRAMA 106636  
OVC PWB

No escalar el Dibujo : Contrato		8/9/63
A menos que se especifique otra cosa		Dibujado por: JJS
Las Dimensiones están en pulgadas.		Verificado: JJS
Intervalo entre las orillas 0.015 como máximo		Proyecto: 106636
Tolerancia		ingeniero: JJS
FRACCT	XX	300
	1/64	0.010
	1/32	0.008
	1/16	0.006
	1/8	0.004
	3/16	0.003
	1/4	0.002
	3/8	0.001
	1/2	0.0005
	3/4	0.0002
	1	0.0001
	1.5	0.00005
	2	0.00002
	3	0.00001
	4	0.000005
	5	0.000002
	6	0.000001
	7	0.0000005
	8	0.0000002
	9	0.0000001
	10	0.00000005
	11	0.00000002
	12	0.00000001
	13	0.000000005
	14	0.000000002
	15	0.000000001
	16	0.0000000005
	17	0.0000000002
	18	0.0000000001
	19	0.00000000005
	20	0.00000000002
	21	0.00000000001
	22	0.000000000005
	23	0.000000000002
	24	0.000000000001
	25	0.0000000000005
	26	0.0000000000002
	27	0.0000000000001
	28	0.00000000000005
	29	0.00000000000002
	30	0.00000000000001
	31	0.000000000000005
	32	0.000000000000002
	33	0.000000000000001
	34	0.0000000000000005
	35	0.0000000000000002
	36	0.0000000000000001
	37	0.00000000000000005
	38	0.00000000000000002
	39	0.00000000000000001
	40	0.000000000000000005
	41	0.000000000000000002
	42	0.000000000000000001
	43	0.0000000000000000005
	44	0.0000000000000000002
	45	0.0000000000000000001
	46	0.00000000000000000005
	47	0.00000000000000000002
	48	0.00000000000000000001
	49	0.000000000000000000005
	50	0.000000000000000000002
	51	0.000000000000000000001
	52	0.0000000000000000000005
	53	0.0000000000000000000002
	54	0.0000000000000000000001
	55	0.00000000000000000000005
	56	0.00000000000000000000002
	57	0.00000000000000000000001
	58	0.000000000000000000000005
	59	0.000000000000000000000002
	60	0.000000000000000000000001
	61	0.0000000000000000000000005
	62	0.0000000000000000000000002
	63	0.0000000000000000000000001
	64	0.00000000000000000000000005
	65	0.00000000000000000000000002
	66	0.00000000000000000000000001
	67	0.000000000000000000000000005
	68	0.000000000000000000000000002
	69	0.000000000000000000000000001
	70	0.0000000000000000000000000005
	71	0.0000000000000000000000000002
	72	0.0000000000000000000000000001
	73	0.00000000000000000000000000005
	74	0.00000000000000000000000000002
	75	0.00000000000000000000000000001
	76	0.000000000000000000000000000005
	77	0.000000000000000000000000000002
	78	0.000000000000000000000000000001
	79	0.0000000000000000000000000000005
	80	0.0000000000000000000000000000002
	81	0.0000000000000000000000000000001
	82	0.00000000000000000000000000000005
	83	0.00000000000000000000000000000002
	84	0.00000000000000000000000000000001
	85	0.000000000000000000000000000000005
	86	0.000000000000000000000000000000002
	87	0.000000000000000000000000000000001
	88	0.0000000000000000000000000000000005
	89	0.0000000000000000000000000000000002
	90	0.0000000000000000000000000000000001
	91	0.00000000000000000000000000000000005
	92	0.00000000000000000000000000000000002
	93	0.00000000000000000000000000000000001
	94	0.000000000000000000000000000000000005
	95	0.000000000000000000000000000000000002
	96	0.000000000000000000000000000000000001
	97	0.0000000000000000000000000000000000005
	98	0.0000000000000000000000000000000000002
	99	0.0000000000000000000000000000000000001
	100	0.00000000000000000000000000000000000005

Referirse al Dibujo 104449 para los valores apropiados para frecuencias clave. Estas resistencias deberán instalarse @ tiempo de T & C.

Última referencia. Designación usada: AR4, R21, R28, T1 & U2; No. R28, 29 & 30

NOTAS: a menos que se especifique otra cosa

FIG. B-7 Diagrama eléctrico de oscilador controlado por voltaje (Tomado del manual de servicio).

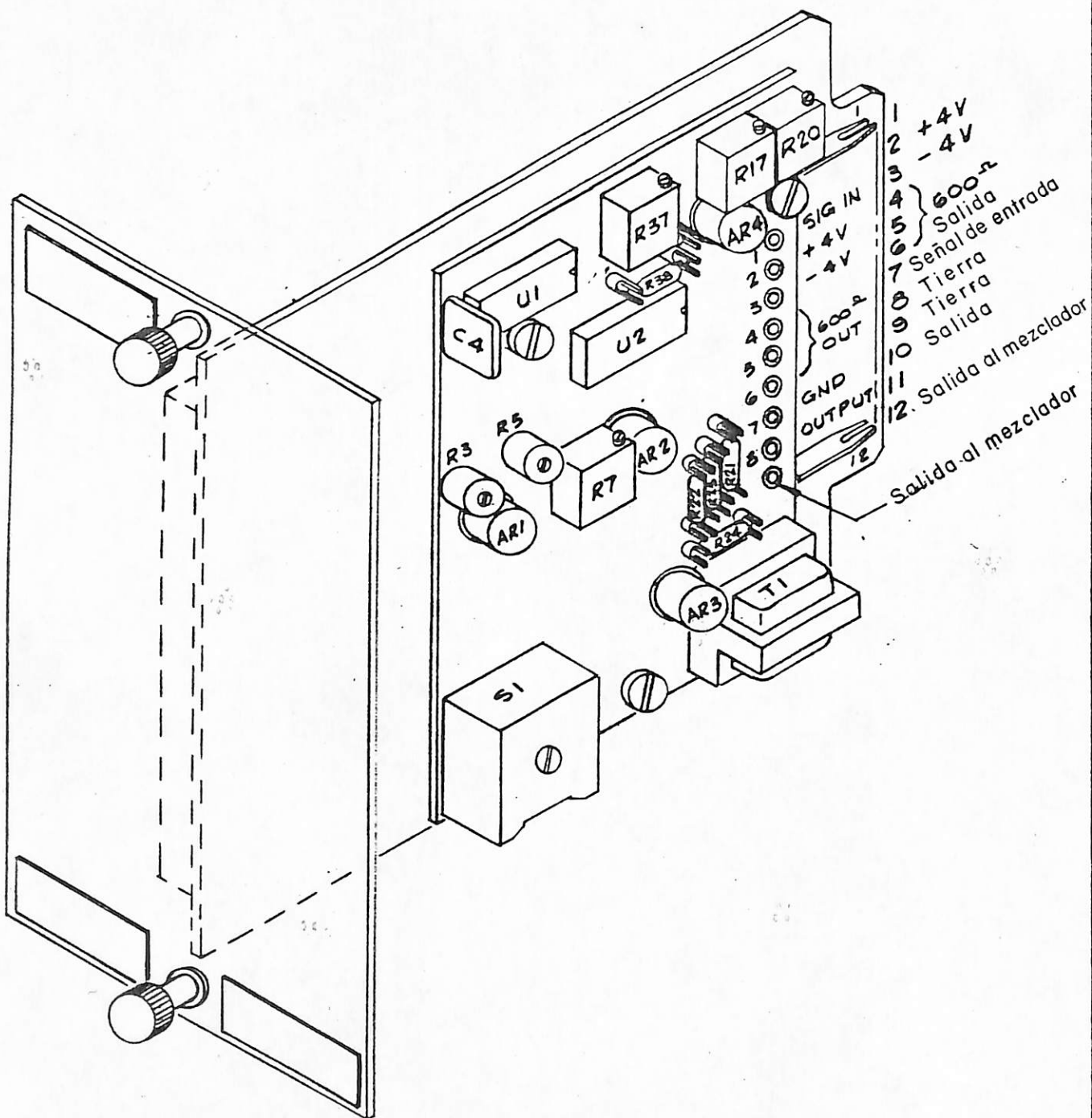


FIG.B-8 ESQUEMA DEL OSCILADOR CONTROLADO POR VOLTAJE (VCO)

NOTA : PARA CLARIDAD, NO SON MOSTRADOS TODOS LOS COMPONENTES

11- Con + 1 V DC de entrada y la posición del atenuador (S1) en 2 la desviación deberá ser de + 125Hz (+ 5HZ) .

12- A la hora de instalar el sistema, los potenciómetros de ajuste de la frecuencia de centro del VCO (R-37 y R-20) deberán ajustados nuevamente si es necesario.

#### I.1.6 Pruebas y Ajustes en el Amplificador del Modulador de la Señal Sísmica.

Las pruebas y ajustes que deben llevarse a cabo en el amplificador en forma periódica son:

i) Medición del Angulo de Fase.

ii) Determinación de las amplificaciones.

i) Medición del Angulo de Fase. ( Método de curvas lissajaus).

Material y equipo:

- Osciloscopio
- Generador de funciones
- Dos fuentes de voltaje ajustables con + 4 V DC.

- Un extensor de salida tipo "T" para el generador de funciones.
- Una red atenuadora de voltaje (arreglado con dos resistencias convenientemente escogidas.)
- Cables para conectar las unidades.
- Diagrama eléctrico.

Procedimiento:

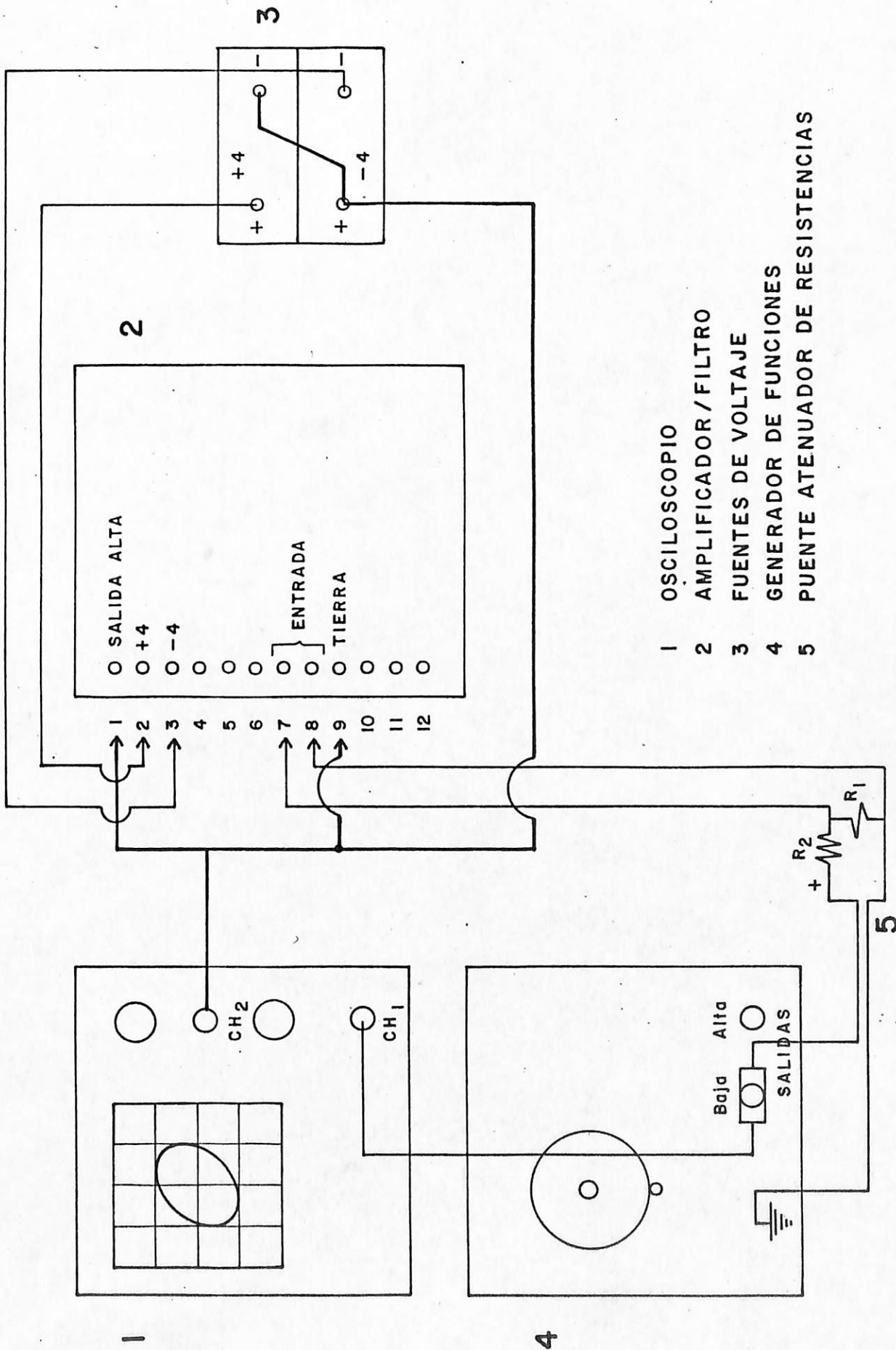
- 1- Determinar el valor de entrada en el módulo amplificador, utilizando la relación:

Voltaje a escala completa (V DC).

Vent. = -----

Ganancia del módulo (en veces)

- 2- Si el generador de funciones utilizado no es adecuado para proporcionar un voltaje de salida en el orden de voltaje requerido, será necesario construir una red de atenuación en la salida del generador (figura B-9).



- 1 OSCILOSCOPIO
- 2 AMPLIFICADOR/FILTRO
- 3 FUENTES DE VOLTAJE
- 4 GENERADOR DE FUNCIONES
- 5 PUENTE ATENUADOR DE RESISTENCIAS

FIGURA B-9 ARREGLO PARA MEDICION DEL ANGULO DE FASE, POR EL METODO DE CURVAS LISSAJAUS.

- 3- Las resistencias empleadas deben ser calculadas a través del concepto de una división de voltaje:

$$V_{ent.} = [V_{sal} \times R_1] / (R_1 + R_2)$$

donde:

$V_{sal.}$  = voltaje de salida del generador de funciones.

$V_{ent.}$  = voltaje de entrada al módulo amplificador del condicionador de la señal sísmica.

$R_1$  = resistencia cuyo voltaje alimenta al amplificador, convenientemente escogida.

$R_2$  = resistencia determinada despejando de la expresión anterior para la obtención de voltaje de entrada requerido.

- 4- Montar el arreglo mostrado en la figura B-9 con una frecuencia de salida del generador de 1 Hz.
- 5- Energizar el módulo y ajustar los controles de las amplitudes (a través del control de sensibilidad del osciloscopio) de manera que tengan valores con un número de cuadros iguales y cercanos en los dos canales del osciloscopio.

- 6- Seleccionar el tiempo base del osciloscopio a la posición X-Y para formar la curva lissajous correspondiente a esa frecuencia.
  
- 7- De la figura lissajous, medir A y B, siendo A, la longitud en el eje de las abcisas (X) que ocupa la figura Lissajous en la pantalla del osciloscopio, y B, la longitud de la intercepción con el eje X de la curva de lissajous centrada en la pantalla del osciloscopio.
  
- 8- Determinar el ángulo de fase a través de la relación:

$$\text{Angulo de Fase} = \arccos(B/A)$$

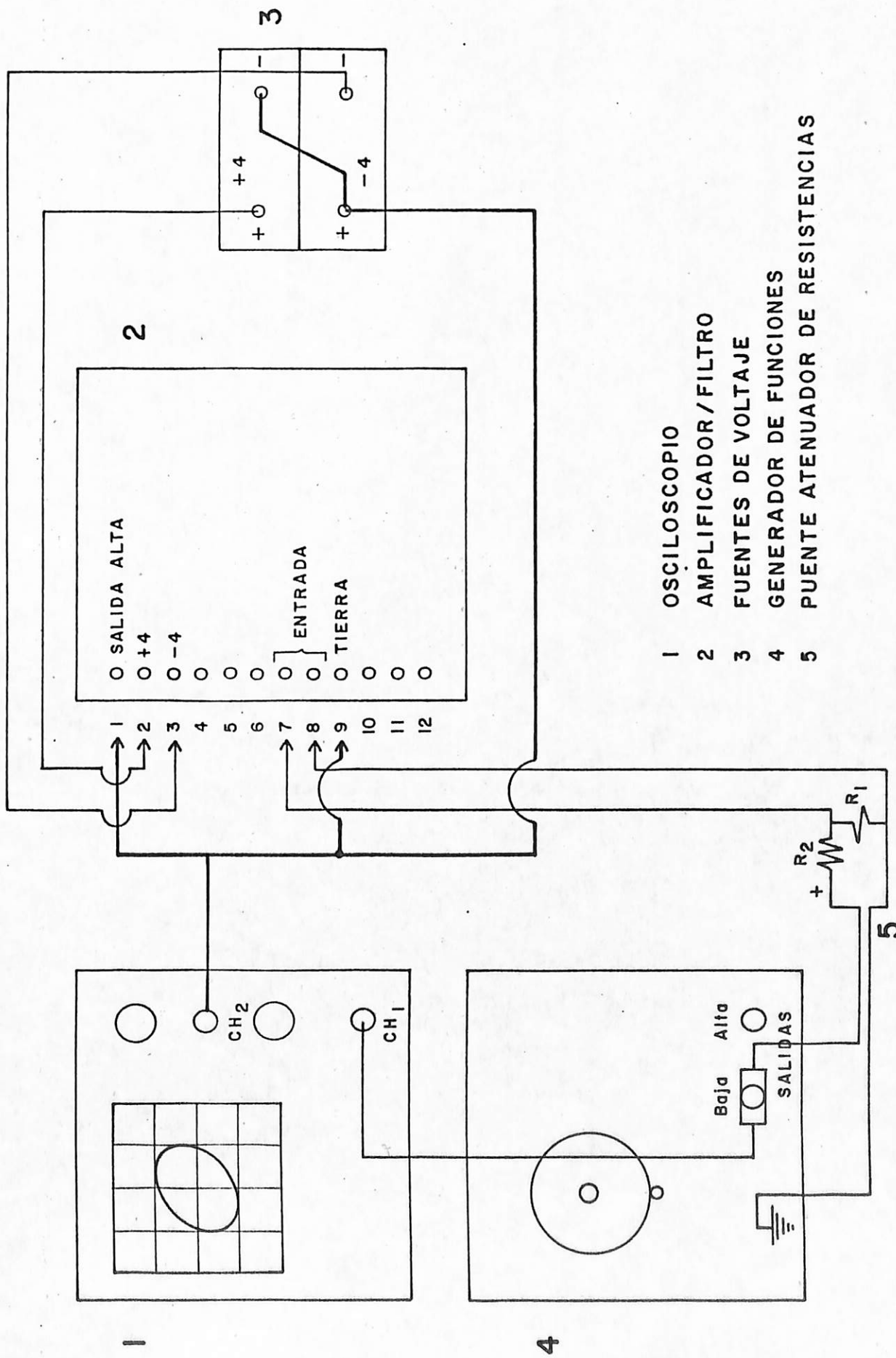
- 9- Repetir el procedimiento para cada frecuencia seleccionada hasta completar la hoja de calibración mostrada en la figura B-10.

#### ii) Medición de las Amplificaciones.

- 10- Conectar los instrumentos como es mostrado en la fig. B-11 mantener para cada valor de frecuencia el mismo valor de voltaje de entrada al módulo amplificador del

FIGURA B-10: HOJA DE CALIBRACION PARA LA DETERMINACION DE GANANCIA Y ANGULO DE FASE EN EL MODULO AMPLIFICADOR.

FECHA: _____ LOCALIDAD: _____ OPERADOR: _____				
FILTRO PASO ALTO: _____ FILTRO PASO BAJO: _____				
SEÑAL DE ENTRADA: _____ SELECTOR DE FILTRO: _____				
FRECUENCIA (Hz)	SALIDA (mV)	GANANCIA (veces)	GANANCIA (dB)	ANGULO DE FASE (°)
0.1				
0.2				
0.4				
0.5				
0.6				
0.7				
0.8				
0.9				
1.0				
2.0				
3.0				
4.0				
6.0				
8.0				
10.0				



- 1 OSCILOSCOPIO
- 2 AMPLIFICADOR/FILTRO
- 3 FUENTES DE VOLTAJE
- 4 GENERADOR DE FUNCIONES
- 5 PUENTE ATENUADOR DE RESISTENCIAS

FIGURA B-II ARREGLO PARA MEDICION DEL ANGULO DE FASE, POR EL METODO DE CURVAS LISSAJAUS.

modulador de la señal sísmica, lo que implica mantener la salida del generador de funciones constante.

11- Medir el valor de voltaje de la señal de salida (senoidal) del del amplificador el cual se visualizará en uno de los canales del osciloscopio, teniendo en el otro canal, la señal de voltaje de entrada al módulo amplificador.

12- Determinar la ganancia del amplificación del sistema (expresada en veces) a través de la relación:

$$\text{Ganancia (veces)} = \frac{\text{Voltaje de salida del amplificador}}{\text{Voltaje de entrada al amplificador}}$$

13- Repetir el procedimiento anterior para el rango de frecuencias de interés hasta completar la tabla mostrada en la hoja de calibración (figura B-10).

14- El procedimiento descrito en esta sección, deberá ser desarrollado para las condiciones reales de funcionamiento del equipo en condiciones de campo, (por ejemplo para la Red de El Salvador, con 12, y 24 dB de

atenuación el el amplificador, manteniendo el selector de filtros en Variable y Narrow respectivamente.)

#### I.1.7 PRUEBAS Y AJUSTES EN EL SISMOMETRO.

##### i) Prueba y ajuste del Período natural.

Material y equipo:

- Unidad de registro (compuesta por el Tambor y el amplificador).
- Extensor de salidas para el sismómetro.
- Regla graduada con presición de milímetros.
- Conectores con terminales tipo banana y tipo click .

En el procedimiento descrito a continuación, se hacen las pruebas en laboratorio, aislando el sismómetro del sistema y conectandolo directamente a la unidad registrante.

Procedimiento:

- 1- Remover la lente indicadora de la posición de la masa, así

se tendrá acceso al extremo superior del bastidor que sostiene la masa.

- 2- Conectar el terminal de salida de la señal sísmica del sensor (colores rojo y negro, pines A y B) ala entrada del registrante, ubicada en el panel frontal del amplificador del registrante (Input Signal).
- 3- Colocar la posición del atenuador del registrante en su máximo valor (36 dB).
- 4- Desconectar la señal portadora que llega a la entrada del amplificador del registrante (pines 1 y 2).
- 5- Liberar la masa a través del tornillo de seguridad (LOCK). y excitar la masa manualmente de modo que se mantenga oscilando libremente y obtener un registro del mismo.
- 6- Retirar el papel y medir directamente sobre el registro, con la regla graduada el período natural (entendiendo que 1 mm en la regla graduada equivale a 1 segundo en el tiempo de registro) midiendo la separación entre cresta y cresta de dos oscilaciones continuas.

7- La frecuencia de oscilación libre, es determinada a través de la relación:  $1/T$  ; donde  $T$  = Período Natural.

ii) Prueba de Polaridad.

Material y equipo necesario:

- Unidad de registro
- Regla graduada y una extensión de salidas para el sensor.

Procedimiento:

8- Repetir los primeros cuatro pasos descritos en la sección anterior.

9- Presionar el extremo de la masa hacia su posición mas baja (esto equivale a dar un golpe al sensor de abajo hacia arriba), observar que el sentido de la deflección inicial del registro sobre el tambor sea hacia el lado derecho (definido como positivo).

10- Manteniendo presionada la masa en su posición mas baja, soltarla y observar que la deflección inicial sobre el registro puesto sobre el tambor, deba hacerla hacia el lado izquierdo (definido como negativo).

### I.1.8 CALIBRACION TOTAL DE UN SISTEMA SISMOGRAFICO.

#### Material y equipo:

- Generador de funciones de amplitud variable
- Osciloscopio
- Caja de campo la cual contiene el VCO  
calibrado módulo amplificador con su  
respectiva fuente de voltaje (batería de  
12 Vdc) .
- Una regla graduada con presicion de mm.
- Una resistencia atenuadora (de 25.2 ohmios)
- Módulo Discriminador calibrado.
- Unidad de registro calibrada.

#### Procedimiento:

- 1- Montar el arreglo mostrado en la figura B-12.
- 2- Conectar el generador de funciones a la bobina de  
calibración del sensor.
- 3- Mantener el atenuador del registrante en su máxima posición  
(36 dB).

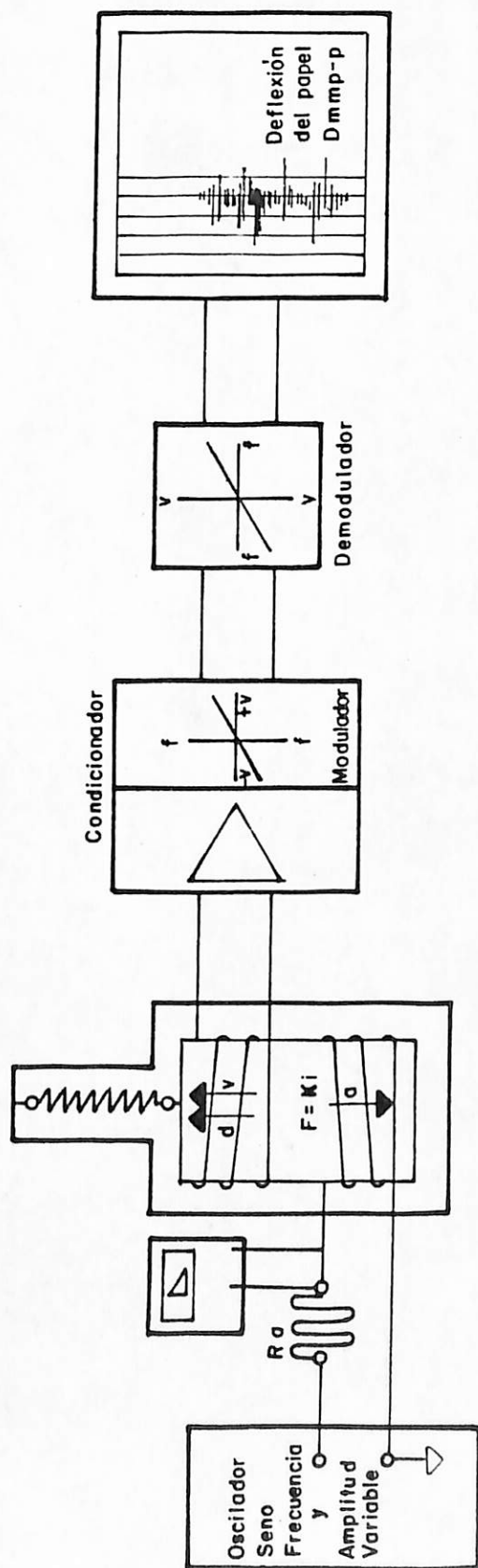


Fig. B-12 ARREGLO PARA EFECTUAR LA PRUEBA PARA DETERMINAR LA MAGNIFICACION DE LA ESTACION SISMICA COMPLETA (Hecho en el Laboratorio)

- 4- Escoger las amplificaciones adecuadas en los diferentes componentes del sistema para obtener un buen registro, haciendo registros de prueba con diferentes valores de voltaje y sensibilidad (en el VCO).
  
- 5- Medir con el osciloscopio el voltaje pico pico que se mantiene en la resistencia puesta en serie con la bobina de calibración del sensor, con el objeto de medir la corriente pico pico que atravieza la bobina de calibración del sensor.
  
- 6- Obtener un registro en cada una de las frecuencias seleccionadas y anotar la deflección en milímetros pico pico alcanzada sobre el papel.
  
- 7- Corregir la deflección en el registro según la atenuación del registrante escogida si es necesario. Esto sucede cuando en busca de obtener un buen registro, se varia la atenuación en el registrante, así, si la atenuación se disminuye en un paso de 6dB, la deflección pico pico sobre el registro deberá ser dividida entre 2.0, caso contrario, deberá se multiplicada por 2.0.

- 8- Determinar los valores de magnificación para cada valor de frecuencia escogido, a través de la relación:

$$\text{Magn.} = \frac{\text{Desplaz. sobre el papel.} \quad D(2\pi f)^2 m}{\text{Desplaz. terrestre.} \quad KI}$$

Donde:

D= deflexión corregida sobre el papel.

K= constante de la bobina de calibración.

m= masa del sensor.

I= Corriente de calibración.

f= frecuencia de corriente de calibración.

- 9- Habiendo determinados los valores de magnificación, completar la hoja de calibración mostrada en la figura B-13.
- 10- Es recomendable expresar los valores de magnificación en una curva característica de respuesta frecuencial logarítmica, donde el eje de las Y contenga los valores de ganancia en decibeleles, y el eje de las X los correspondientes valores de frecuencias.



En algunos casos los valores de magnificación son normalizados al valor obtenido en la frecuencia natural del sismómetro, a través de la relación:

$$\text{Magn. Normalizada} = \frac{\text{Magn. (fr)}}{\text{Magn. (fr. Natural)}}$$