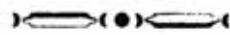


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS DE GRADO

Para optar el Título de Ingeniero Civil

**"ESTUDIOS DE LA AMPLIFICACION DE ONDAS SISMICAS
DE LOS SUELOS EN LA CIUDAD DE CASMA"**

ARMANDO NOGUCHI FUJITA

Promoción 1972

LIMA - PERU

1974

AGRADECIMIENTO

Profundamente agradecido al Ing. Julio Kuroiwa H. Asesor de la tesis quien gracias a sus conocimientos ha sabido guiar y aconsejar hasta su finalización.

Igualmente, al Instituto Geofísico del Perú y en particular al Ing. Ernesto Deza M. quien me ha brindado todas las facilidades del caso, tanto en los registros e informaciones existentes en el Instituto, así como las consultas absueltas y algunas recomendaciones sobre amplificación de suelos.

Finalmente, doy gracias a todas aquellas personas que de una u otra forma han colaborado sea en forma escrita, memorias o consultas.

INDICE

Resumen	6
Introducción	7
CAPITULO I GENERALIDADES	
1.10 Geografía de la ciudad, ubicación	8
1.20 Historia sísmica.....	7
CAPITULO II ESTUDIOS DE SUELOS DE LA CIUDAD	
2.10 Geología y geomorfología.....	12
2.20 Mecánica de suelos	13
2.30 Características hidrológicas	
2.31 Litología del acuífero	14
2.32 Alimentación de la napa	15
2.33 Fluctuaciones y cambios de nivel	15
2.40 Conclusiones	16
CAPITULO III MICROTREPIDACIONES	
3.10 Introducción	17
3.11 Equipo utilizado	18
3.20 Relación frecuencia período	18
3.30 Conclusiones	32
CAPITULO IV SISMOLOGIA	
4.10 Introducción	34
4.20 Relación amplitud período	35
4.21 Corrección por instrumentación	

4.21.1	Calibración del amplificador	44
4.21.2	Forma de calibración	44
4.21.3	Proceso de uniformación de amplitudes	48
4.30	Razón de amplitud	48
4.40	Constantes características del suelo	67
4.50	Fórmula semiempírica de Kanai para la aceleración.....	74
4.51	Distancia epicentral.....	77
4.52	Cálculo de las aceleraciones y el coeficiente "C".....	78
4.60	Conclusiones	80
CAPITULO V Conclusiones generales y recomendaciones		82
APENDICE		
	Relación de sismos	85
	Programa para ajustar las curvas de " Razón de amplitud calculada con " Razón de amplitud observada "	93
	Programa para la determinación de la respuesta espectral según la fórmula semiempírica de Kanai	108
	Bibliografía	110

N O M E N C L A T U R A

a	aceleración
A	Amplitud
C	Coefficiente sísmico
f	Frecuencia
F	Filtro
G	Ganancia
M	Magnitud
T	Periodo
V	Velocidad
α	Impedancia sísmica
E	Coefficiente de viscosidad
μ	Rigidez
ρ	Densidad
γ	Amortiguamiento

RESUMEN

La ciudad de Casma esta ubicada en el departamento de Ancash a 358.25 Kms. al norte de Lima, altitud 30 m.S.n.m. y su área urbana es aproximadamente 62,000 m².

Desde su fundación hasta nuestros días ha sufrido muchos movimientos sísmicos, algunos muy fuertes que causaron daños, siendo el más destructor el del 31 de mayo de 1970.

Geológicamente, la ciudad está edificada sobre un suelo aluvial, habiendo en los alrededores de la ciudad afloramiento de roca ígneas (granodiorita); geomorfológicamente la ciudad está sobre terrazas aluviales.

La napa freática es libre dependiente de sus fuentes: rios Casma y Sechín, variando de 1 a 9 mts. de acuerdo a la época, estando mas alta en tiempo de avenida (enero a marzo).

Por medio de las microtrepidaciones se halla el período fundamental de vibración del suelo, haciendose un análisis de los registros y graficando una curva frecuencia-período, donde la frecuencia es mayor obtenemos el período predominante del suelo.

Los registros sísmicos de la ciudad han sido analizados, tanto en suelo como en roca que al relacionarlos entre ellos se han obtenido las amplificaciones de las ondas sísmicas, basandose en la teoría desarrollada por el Dr. K. Kanai se llegan a obtener sucesivamente la impedancia sísmica y el espectro de aceleraciones, finalmente la envolvente de este espectro se le ha asemejado a una curva conocida (hipérbola equilátera) cuyo espectro normalizado nos da el coeficiente sísmico de la ciudad, parámetro necesario para el diseño sismoresistente.

INTRODUCCION

Estando el Perú situado en una zona sísmicamente activa, llamado círculo circumpacífico, es necesario desde el punto de vista de la ingeniería ofrecer edificaciones lo suficientemente resistentes para así evitar desgracias personales que el primordial objetivo; decir edificaciones resistentes no significa que éstas pueden completamente intactas después de un movimiento sísmico, lo que se quiere decir es que sufran daños menores de fácil reparación y de costo no muy elevado pero que no llegue al colapso.

Por lo tanto, el objetivo de la presente tesis es la de contribuir a ésta finalidad.

Siendo el suelo uno de los factores principales para el diseño sísmoresistente se ha hecho un estudio de la misma en forma detallada haciendo uso del instrumental adecuado como es el microtremómetro y estaciones sísmicas que como resultado contribuyeron de la microzonificación de la ciudad.

El desarrollo de la tesis está basado fundamentalmente en la metodología de la escuela japonesa: "The earthquake Research Institute University of Tokio" y en particular lo investigado por el Dr. Kiyoshi Kanai.

En el programa trazado se ha hecho una partición de capítulos los 2 primeros capítulos podemos llamarlos estudios preliminares del objetivo que se persigue sin dejar la importancia que ellos representan; el tercer capítulo es el estudio de las microtrepidaciones, sus instrumentos, sus usos y su importancia para los diseños cuya meta es la de hallar el período predominante del suelo. Finalmente el cuarto capítulo es el estudio de los sismos registrados en la ciudad descripción de la forma de registro, instrumentos usados, sus análisis hasta llegar al espectro de aceleraciones y concluir con el coeficiente sísmico de la ciudad.

Para concluir, espero que con la presente tesis contribuya con un granito de arena que las futuras edificaciones sean más seguras.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.10 GEOGRAFIA DE LA CIUDAD

1.11 Ubicación.

La ciudad de Casma está ubicada en el departamento de Ancash y a 358.25 kms. de Lima.

La ciudad esta en el valle del mismo nombre, enmarcados en la siguientes coordenadas geográficas :

Paralelo : $9^{\circ} 27'$ - $9^{\circ} 34'$ latitud sur

Meridiano : $78^{\circ} - 78^{\circ} 23' 30''$ Longitud oeste

Altitud : situada a 30 metros sobre el nivel del mar.

La longitud de la ciudad es de aproximadamente de 5 kms. y el ancho de la ciudad en su parte mas amplia es de 2.5 kms. El area total de la ciudad es aproximadamente de -----
62,000 m².

Observando desde la ciudad hacia la parte alta del valle ésta se presenta como una gran V, formadas por las quebradas de Quillo y Malpaso, por donde corren los rios Sechín y Casma y que se unen a escasa distancia de la ciudad para prolongarse en uno solo - dirigiéndose hacia el oeste hasta desembocar en el mar.

1.20 HISTORIA SISMICA

Estando la ciudad de Casma dentro del llamado circulo circumpacifico o anillo de fuego, ésta tiene un historial sísmico de muchos años por lo cual ha sufrido muchos movimientos telúricos de diferentes intensidades y muchas veces han sufrido daños personales y materiales, tanto de sismos provenientes del mar como de tierra adentro.

Entre los muchos sismos que ha sufrido la ciudad se puede decir que el mas destructivo ha sido el del 31 de mayo de 1970 en la cual la violencia del movimiento en la región del rio Casma quedo evidenciada por las grandes grietas longitudinales que malograron la carretera panamericana, cerca del Km. 357, el puente de hierro y cemento con sus tres tramos quedó desnivelado como si se tratara de 3 escalones.

La ciudad de Casma quedó destruida en un 75 % dejando como saldo 159 muertos, 236 desaparecidos y 2898 heridos, si el sismo hubiese ocurrido de noche o en un día de trabajo es indudable que el saldo habría sido mas elevado.

A continuación mostramos una relación de sismos enmarcados en un área que puede afectar a la ciudad, estas son :

Latitud Sur : entre 8 y 12 grados

Longitud Oeste : entre 76 y 80 grados.

CATALOGO DE SISMOS FUERTES

<u>FECHA</u>	<u>HORA</u>	<u>LAT SUR</u>	<u>LONG. W.</u>	<u>INT.</u>	<u>M.</u>	<u>LUGAR Y CONSEC.</u>
4-4-1568	-----	----	-----	VI	-----	Sentido fuerte en LIMA
17-6-1578	-----	12	77	VII	----	Destrucción de casas y templos en Lima.
9-7-1586	19	12	77.7	IX	----	Destrucción de Lima y Callao y maremoto.
19-10-1609	20	---	-----	----	----	Destrucción de Lima y número no determ. de muertos.
16-2-1619	11.3	8	79.4	IX-X	----	Ruinas en trujillo.
27-II-1630	10.3	--	----	----	----	Desplome de edificios en Lima.
13-II-1655	14.4	---	----	VIII	7.3	Destructivo en Lima.
7-6-1678	19.45	---	----	VI-VII	--	Destructivo en Lima.
20-10-1687	4.15	---	---	IX	8.0	Destrucción de Lima, tsunami en Callao, mar inundo Charcay.
6.1.1725	23,15	---	---	-----	---	Daños en Trujillo, Lima daños y rajaduras.
28-10-1746	22.30	11.6	77.5	X-XI	8.4	Destruc. total de Lima, mas de 8,000 muertos.
2.9-1759	23.15	---	---	----	---	En Trujillo, avería de catedral y casas, 5 muertos.
30-3-1828	7.35	---	---	VII-VIII		Destrucción en Lima, Chancay 30 muertos.
4-3-1904	5.17	---	----	VII -VIII	7.2	Fuerte temblor en Lima.
12-4-1909	3.05	----	----	VI	---	Averia de edific. en Huacho
19-1-1932	21.33	12	77.5	VI-VII	7.3.	Caida de cornisa en Lima.

21-6-1937	10.13	8.5	80	VI	6.75	Daños en Trujillo
24-12-1937	1.23	10.5	75.3	---	6.25	Sismo destructor en Oxapampa.
24-4-1940	11.35	11	77.5	VIII	8.2	Terremoto en Lima Chancay.
10-11-1946	12.4	8.5	77.5	X-XI	7.2	Sismo destruc. en Sihuas, - Quinche.
24-9-63	11.30	10.6	73.0	VII	6.75	Daños en Huayllacallan, Ca- jacay, Ocros, averías en Hua- raz y Huarney.
17-10-66	16.42	10.7	78.7	VIII	7.5	Terremoto destructor en Lima Callao, Huacho, Huaura, Su- pe, 100 muertos.
30-5-70	15.36	9.18	78.8	VIII	7.7	Sentido fuertemente en Chicla- yo, daños en Casma. Huaraz, Chimbote.

CAPITULO II

2.10.- GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA

Las rocas que limitan el sector estudiado se caracterizan por la presencia de granodioritas, las mismas que se encuentran cubiertas parcialmente por arenas de origen eólico formando una capa que varía entre unos pocos centímetros a varios metros, además, el valle de Casma y Sechín se encuentran rellenos de material aluvial cuaternario, por lo tanto, decimos que se distinguen dos elementos litológicos :

- a).- Las rocas igneas
- b).- Los suelos aluviales

Las rocas igneas están en los flancos del valle constituyendo el basamento rocoso de los depósitos aluviales.

Los suelos aluviales son los depósitos de relleno constituido por una granulometría que varía desde arcilla hasta grava.

Geomorfológicamente la ciudad de Casma se encuentra ubicada en una llanura aluvial en la margen derecha del río Casma y el curso inferior de este río, el que forma parte del sistema hidrográfico del océano pacífico².

En este lugar el valle alcanza alrededor de 2 kms. de ancho y el río discurre con poca pendiente, formando meandros y adherido al flanco izquierdo. La llanura aluvial costera sobre la cual está situada la ciudad se encuentra a una altitud de 30 mts.

El lugar descrito del valle tiene la forma de una cubeta alargada y abierta en 2 extremos, en cuyo fondo estaría la ciudad y en ambos flancos los cerros que rodean la ciudad por lo que se distinguen dos rasgos geomorfológicos :

a).- Zona de llanura

b).- Los flancos del valle

La zona de llanura esta constituida por dos terrazas fluviales principales I,II, las que han sido formadas por la sedimentación de los suelos acarreados por los rios Casma y Sechin

La terraza I es la más baja y su topografía llana, está en contacto con los lechos de los rios y con respecto a éstas se encuentran prácticamente al mismo nivel; los suelos de esta terraza son de textura granular que varía de fina a gruesa, donde los elementos subredondeados o redondeados varían de tamaño de arcilla a grandes bloques, con tamaños intermedios de limo, arena,grava.

La terraza II en la cual se encuentra ubicada la ciudad de Casma es la más antigua y se encuentra con respecto a la anterior a un desnivel de 3 a 4 mts, se caracteriza por su topografía llana y se encuentra cultivada en los alrededores del pueblo, los suelos que la constituyen están formados por la sedimentación fluvial.

Los flancos del valle están constituidos por cerros bajos, de formas suaves y que pertenecen a la cadena costera del flanco occidental de los Andes, en ambos flancos hay afloramiento roca granítica del tipo granodiorita.

2.20 MECANICA DE SUELOS

Los estudios de mecánica de suelos tienen como objeto hallar las características mecánicas del suelo tales como su resistencia, densidad que son los que nos interesan para efectos de la presente tesis.

Según la resistencia, mediante la prueba de penetración estándar podemos hallar la velocidad de ondas transversales mediante la expresión(3):

$$V = 76 N^{0.39}$$

donde N = Número de golpes.

Por lo tanto, conociendo la velocidad de las ondas y la densidad del suelo podemos hallar la impedancia sísmica cuya expresión es :

$$\alpha = \frac{\rho_1 V_1}{\rho_2 V_2}$$

Donde : ρ_1 y V_1 son la densidad y velocidad del suelo y ρ_2 y V_2 la densidad y velocidad en la roca.

De los estudios efectuados en la ciudad de Casma sobre mecánica de suelos no se saben aun los resultados, por lo que, la impedancia sísmica que es uno de los parametros en la formula de Kanai será calculado por otro método la cual será descrita oportunamente.

2.30 CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

2.31 Litología del acuífero.

El acuífero esta representado por materiales aluvionales compuesto por arena de grano fino a grueso, gravas y arcillas, dispuestos preferentemente en capas lenticulares.

El espesor del material acuífero es variado, las prospecciones geofísicas efectuadas en el área de estudio establece que el sustrato rocoso puede encontrarse a 150 metros de profundidad pero que los mejores materiales se encuentran a menores profundidades.

El acuífero se reduce a una angosta faja paralela al eje longitudinal de los rios, limitado por las paredes del valle, en promedio dicha faja alcanza 0.5 km. de ancho.

El movimiento del agua subterránea en el valle del río Sechín sigue una dirección NE A SW mientras que en el valle del rio Casma lo hace de SW a NW, --

2.40 CONCLUSIONES

- Dado que la ciudad de Casma se encuentra edificado sobre un suelo aluvional compactado, sísmicamente podemos decir que es un suelo de buena calidad.
- Aun cuando la ciudad esté cimentado sobre un suelo bueno se deberá de tener en consideración la profundidad de la napa freática ya que una napa alta producirán mayores deformaciones que una mas baja, o lo que es , nos dará una mayor o menor intensidad, esto lo podemos apreciar por la fórmula según la escuela soviética :

$$\Delta I = \log \frac{V_n \rho_n}{V_o \rho_o} + e^{-0.4 H}$$

donde : H = nivel de la napa

V = Veloc. de ondas

ρ = densidad

✓ ΔI = incremento de intensidad.

CAPITULO III

MICROTREPIDACIONES

3.10 INTRODUCCION

Las microtrepidaciones son pequeñas vibraciones permanentes del suelo, que pueden tener como origen fuentes naturales o artificiales, entre la primeras estan los rios, la lluvia, el viento etc, y entre la últimas se menciona al tráfico de vehículos, fábricas y cualquier otro tipo de movimiento dinámico producido por el hombre o animales; o sea las microtrepidaciones viene a ser la respuesta dinámica del suelo a la acción de cualquier perturbación externa.

En el Japón, años atrás, se notó que el período predominante de las microtrepidaciones de un lugar definido tiene un valor particular, sea el tipo de perturbación que llegue a dicho lugar.

Por lo tanto, el objeto a alcanzar con el estudio de las microtrepidaciones es encontrar el período predominante del suelo, ya que la influencia de ésta se ha manifestado en innumerables casos como resultado de evaluaciones de daños en estructuras por efecto de un terremoto. A menudo se ha encontrado discrepancia en los resultados para edificaciones similares en un área bastante limitada, en parte se puede explicar a un comportamiento diferencial para esa área reducida, del suelo de fundación en razón a la variabilidad en sus propiedades físicas (5)

Una limitación de las microtrepidaciones es que son de pequeñas amplitudes y el comportamiento del suelo es lineal, en cambio las amplitudes en un movimiento sísmico de regular o gran magnitud son mayores y su comportamiento es de carácter no lineal.

3.11 EQUIPO UTILIZADO

El instrumental que ha permitido el estudio de microtrepidaciones es de tipo portátil utilizado en prospecciones sísmicas. Este ha sido proporcionado por los departamentos de sismología del Instituto Geofísico del Perú y de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, las características del mismo son las siguientes :

Un sismógrafo HESS (geófono) de periodo corto ($T_0 \approx 1.0$ seg); un amplificador transistorizado TRGE-CIW; un reloj electrónico con cristal de cuarzo marca TOYO y un registrador portátil de dos canales, uno para el registro de la vibración natural del suelo y el restante para introducir marcas de hora (segundos) necesarios para la interpretación;

La velocidad del registro fue del orden de 9 mm/seg, el filtro utilizado de 1,2, c.p.s. y la ganancia del amplificador, variable de acuerdo al lugar.

3.20 RELACION FRECUENCIA PERIODO

Tomando de alguna parte de la cinta de microtrepidaciones una longitud de 2 minutos de registro y considerando el período de la onda a dos pasos sucesivos a la línea de ceros trazado a lo largo del registro, se han obtenido las curvas de frecuencia período como se muestran en las fig: 1 al 24 teniendo sobre las abscisas a los períodos y en la ordenada al número de veces que se presenta el período (frecuencia)

En algunos lugares se tiene una curva frecuencia período definido por microtrepidaciones que generalmente es muy similar a la curva de frecuencia período del movimiento sísmico en dicho lugar.

De las curvas de frecuencia período obtenidas en diferentes lugares de la ciudad podemos clasificarlo en :

MICROTREPIDACIONES

FOTOS DE LOS REGISTROS EN DIFERENTES
PUNTOS DE LA CIUDAD

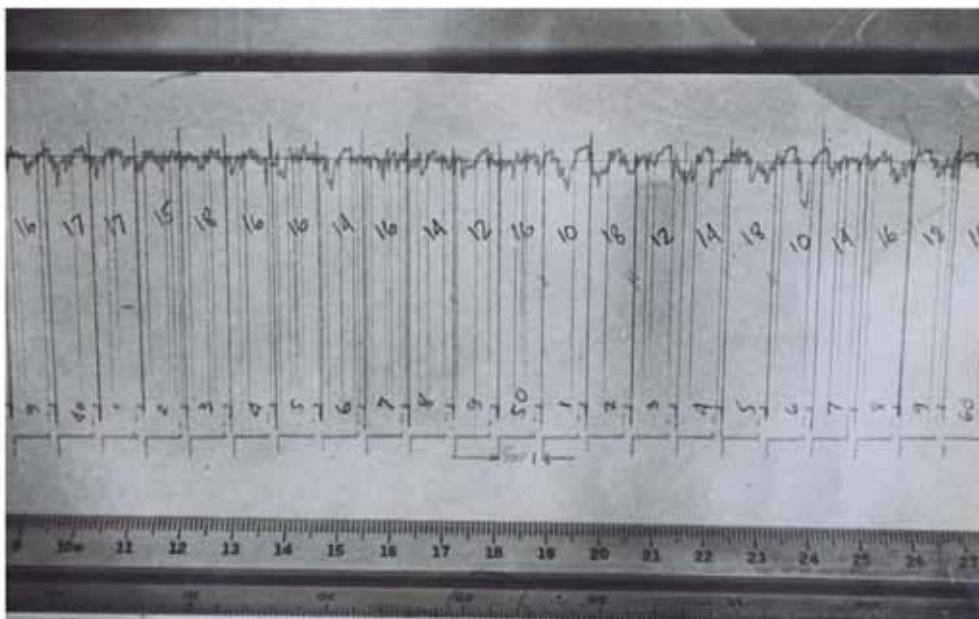


FOTO 1
PUNTO 4
G = 25

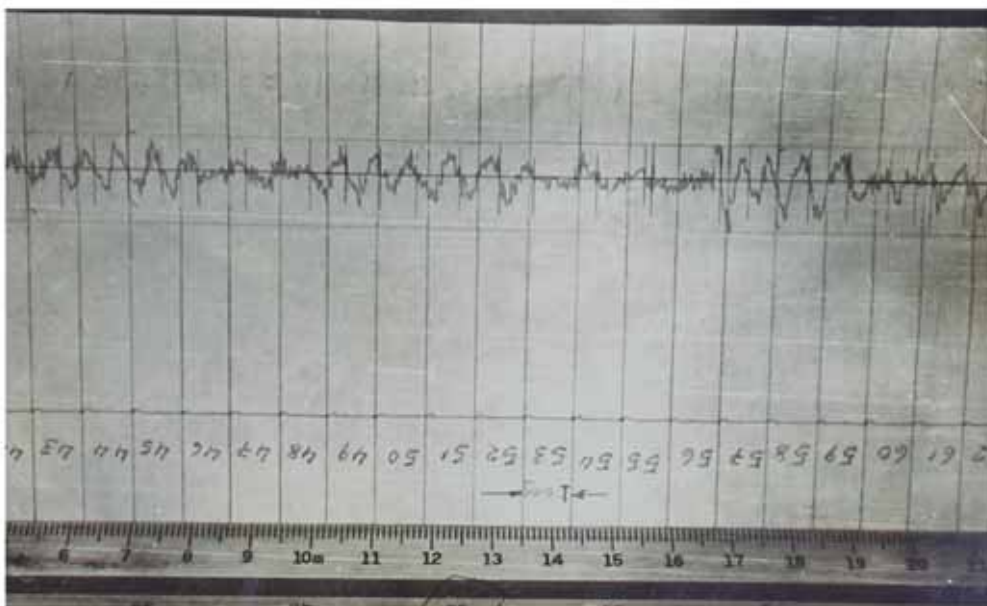


FOTO 2
PUNTO 5
G = 5

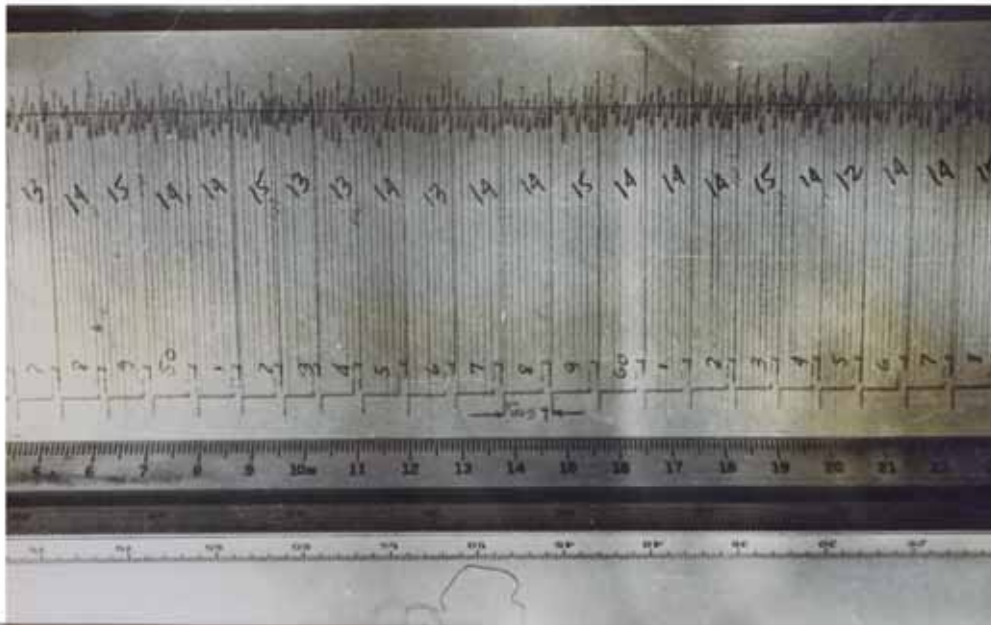


FOTO 3
 PUNTO 6
 $G = 10$

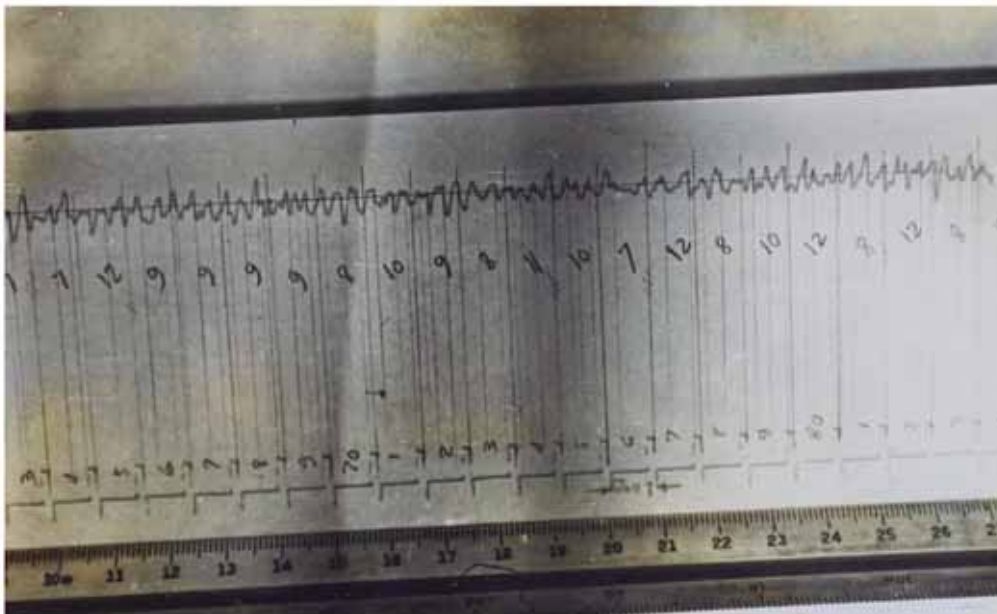


FOTO 4
 PUNTO 7
 $G = 10$

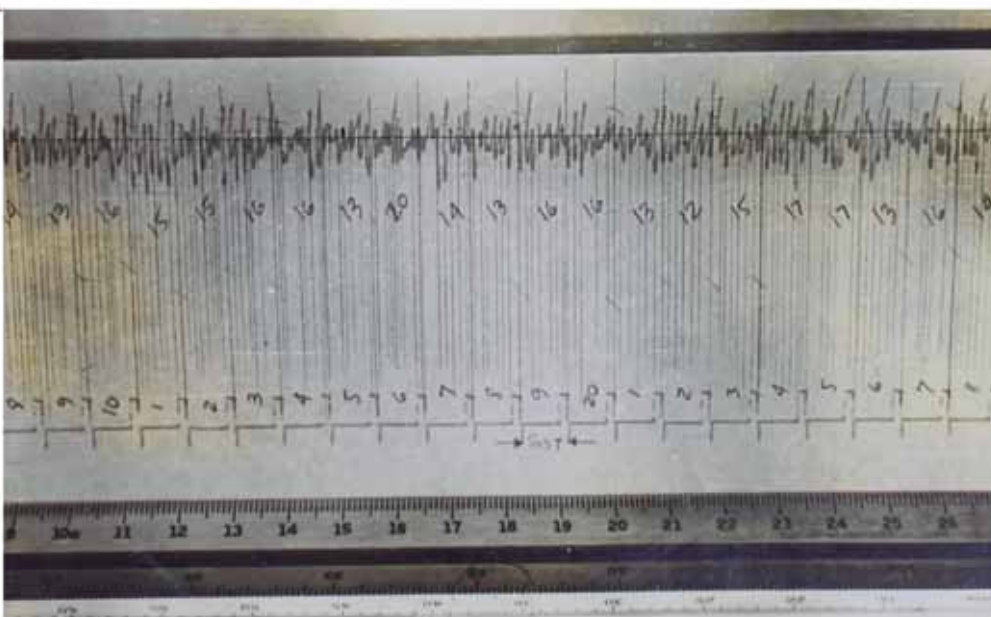


FOTO 5
 PUNTO 11
 $G = 2.5$

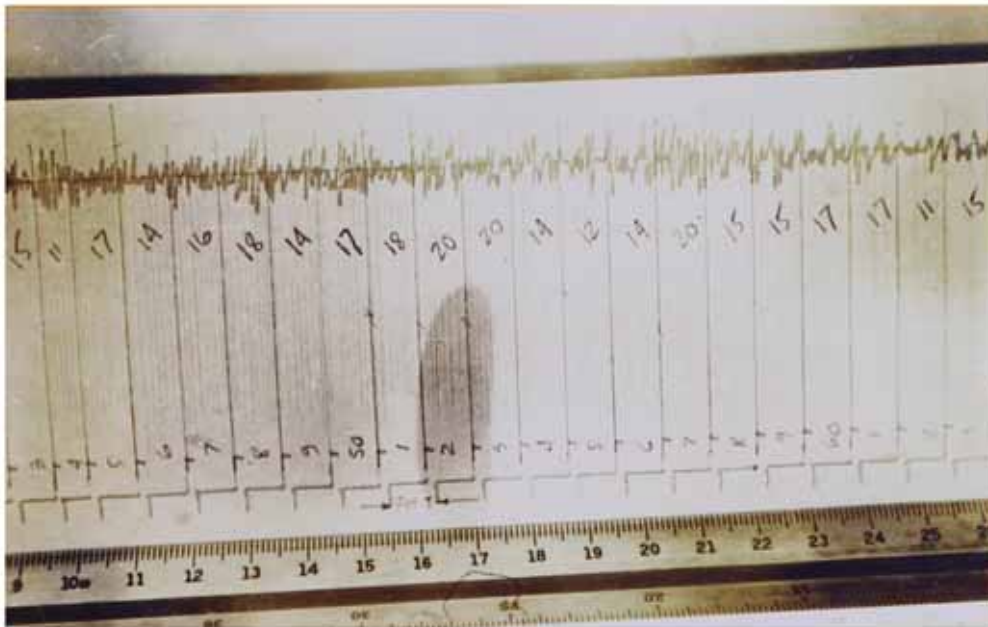


FOTO 6
 PUNTO 16
 G = 5

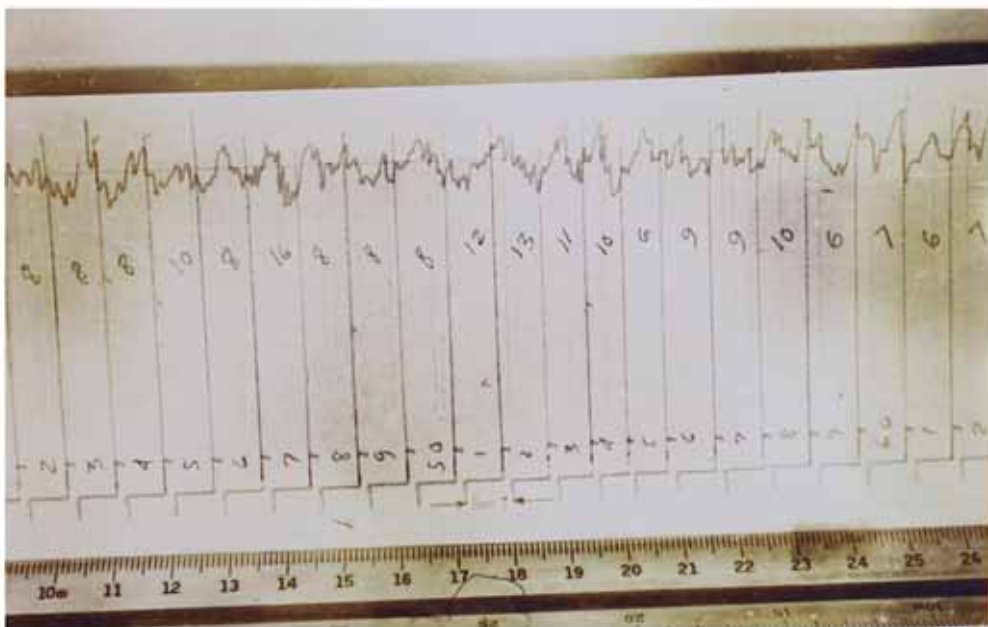


FOTO 7
 PUNTO 17
 G = 25

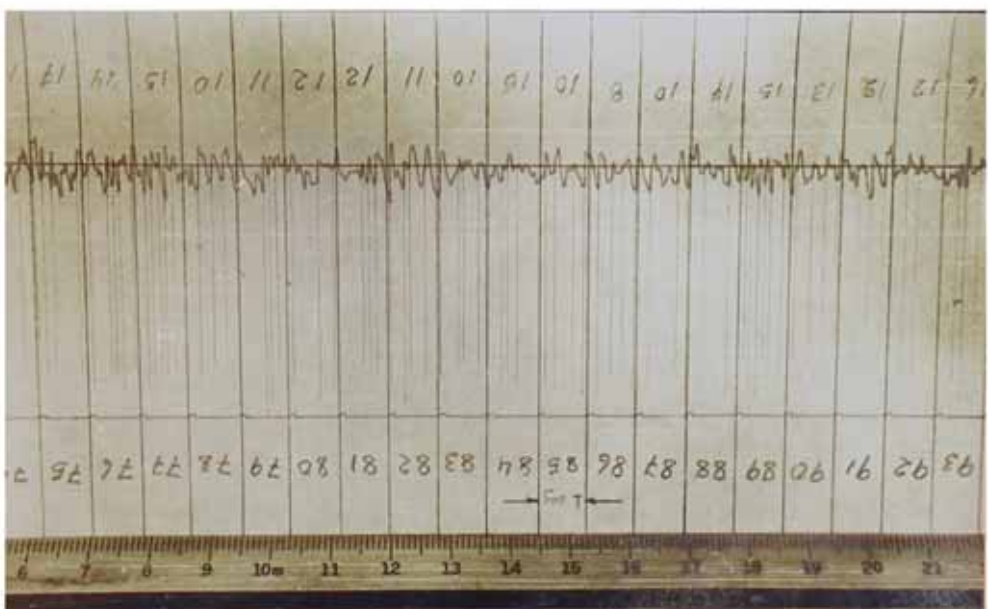


FOTO 8
 PUNTO 19
 G = 10

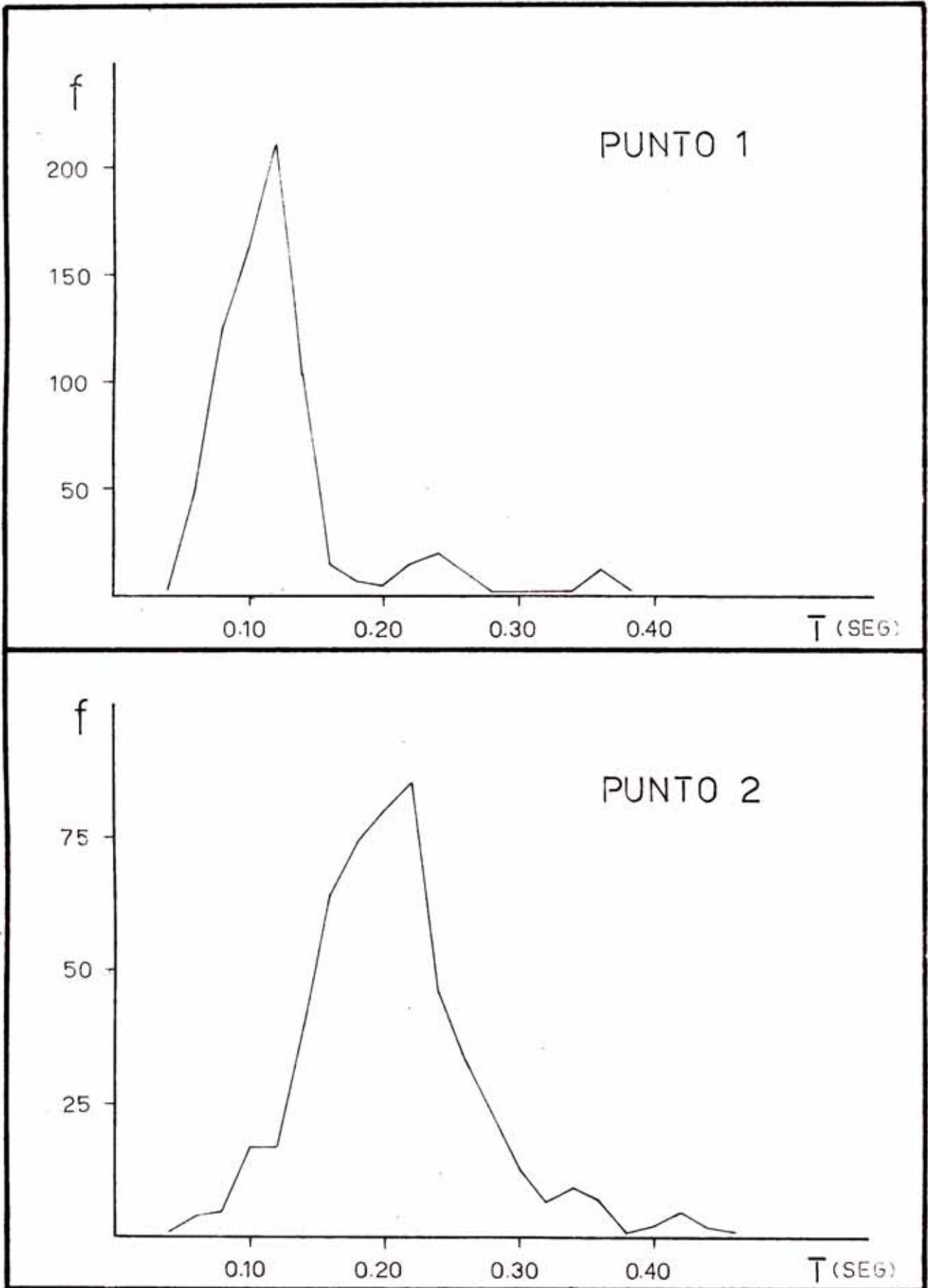


FIG 1-2

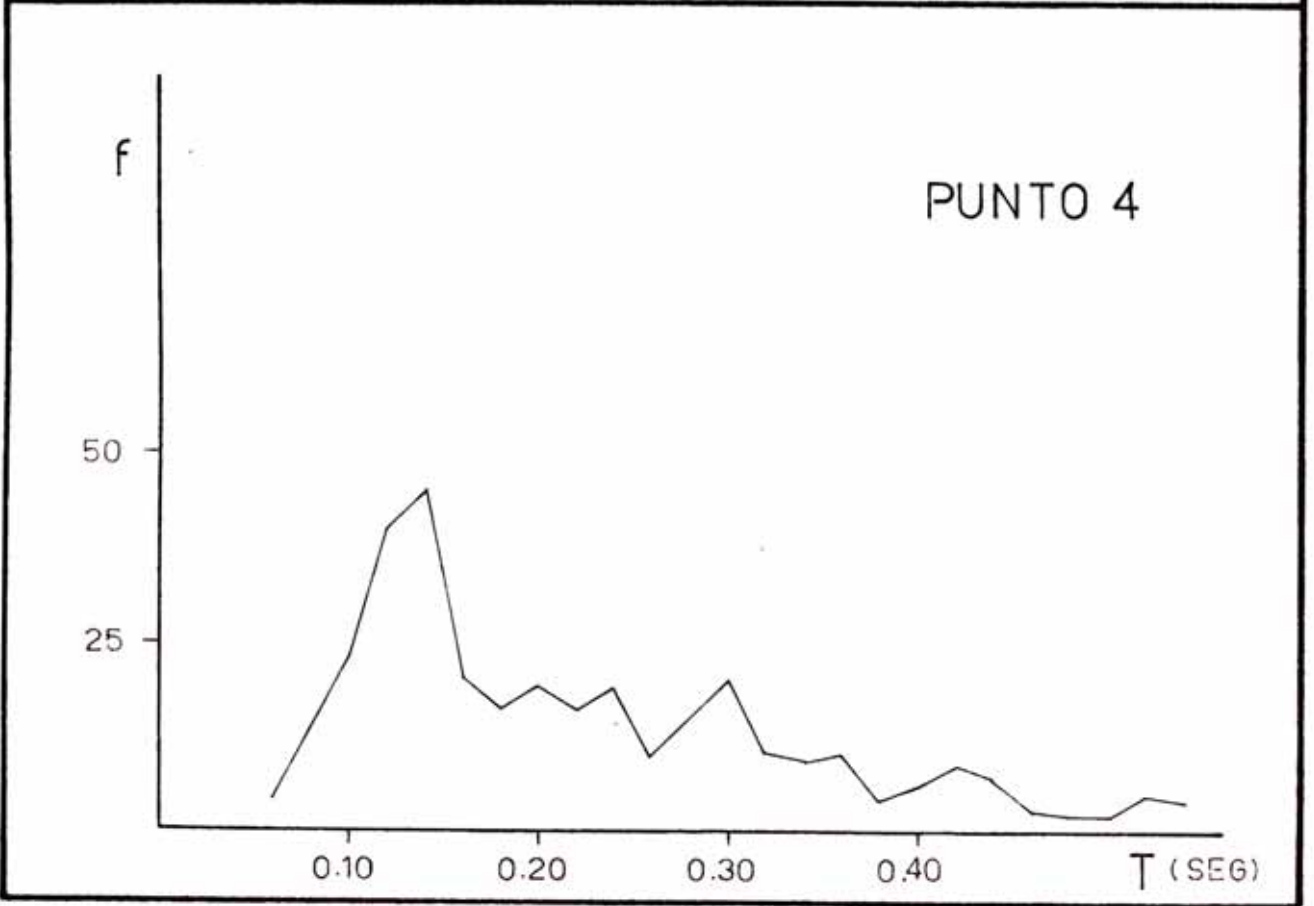
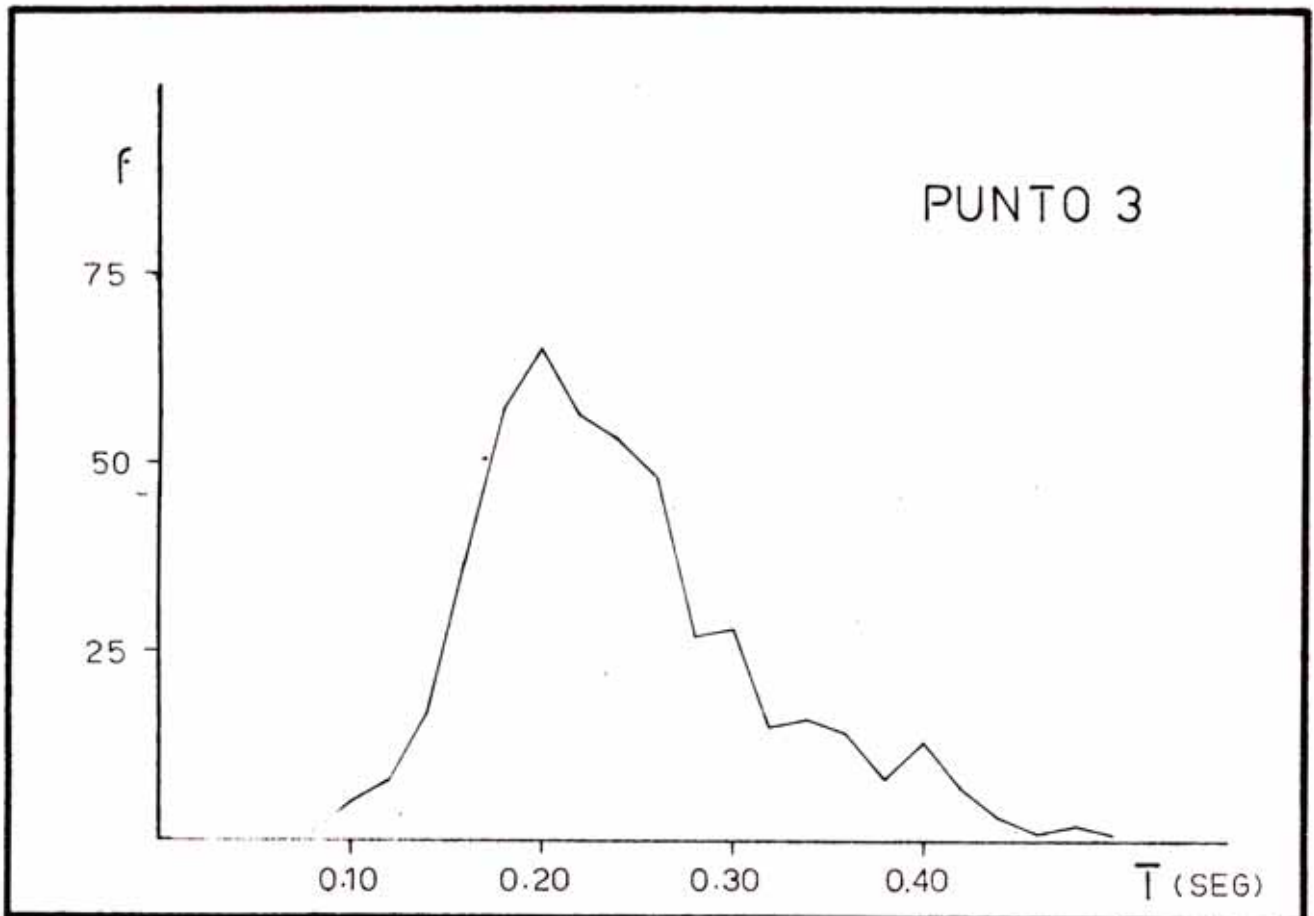


FIG 3-4

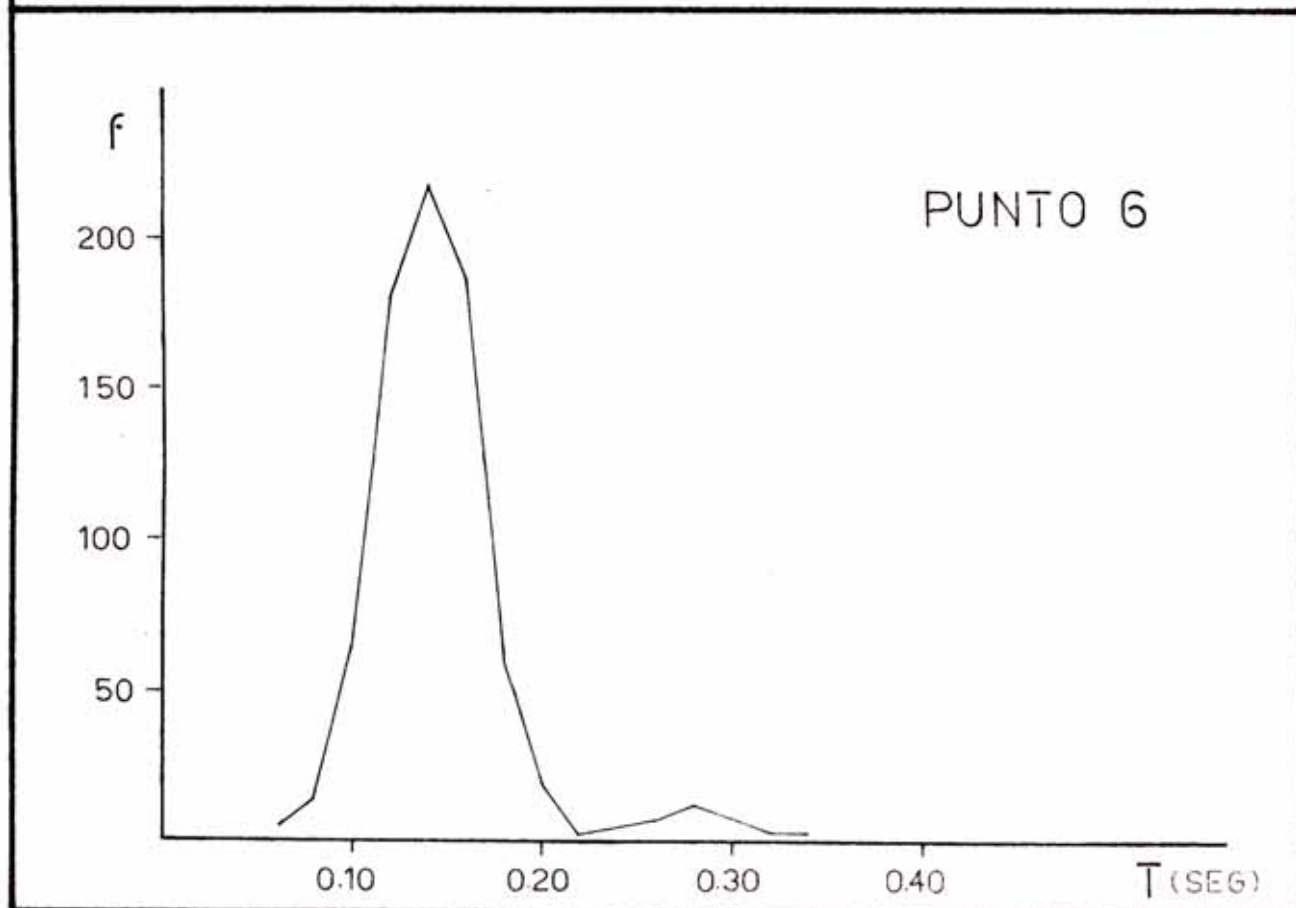
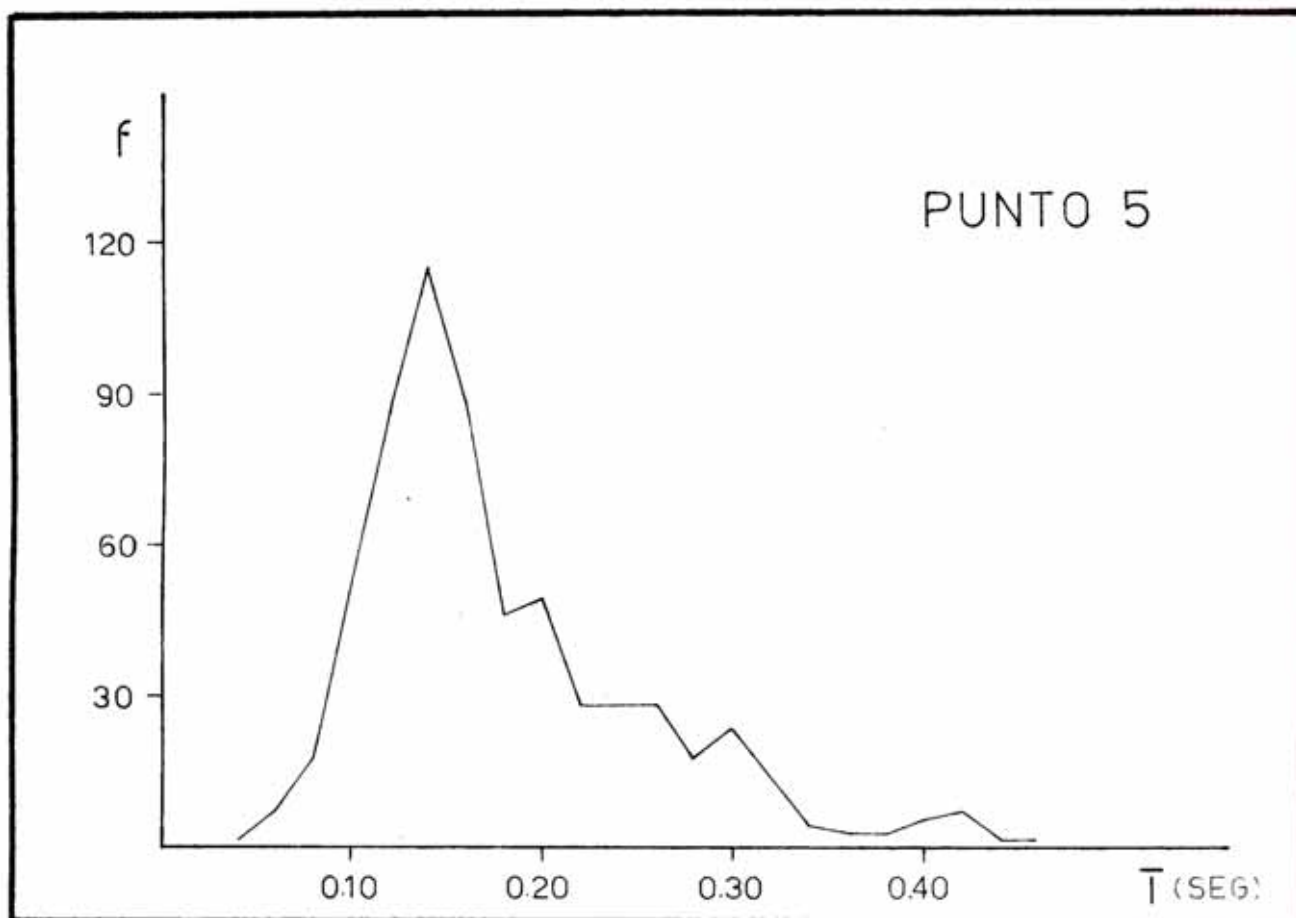


FIG 5-6

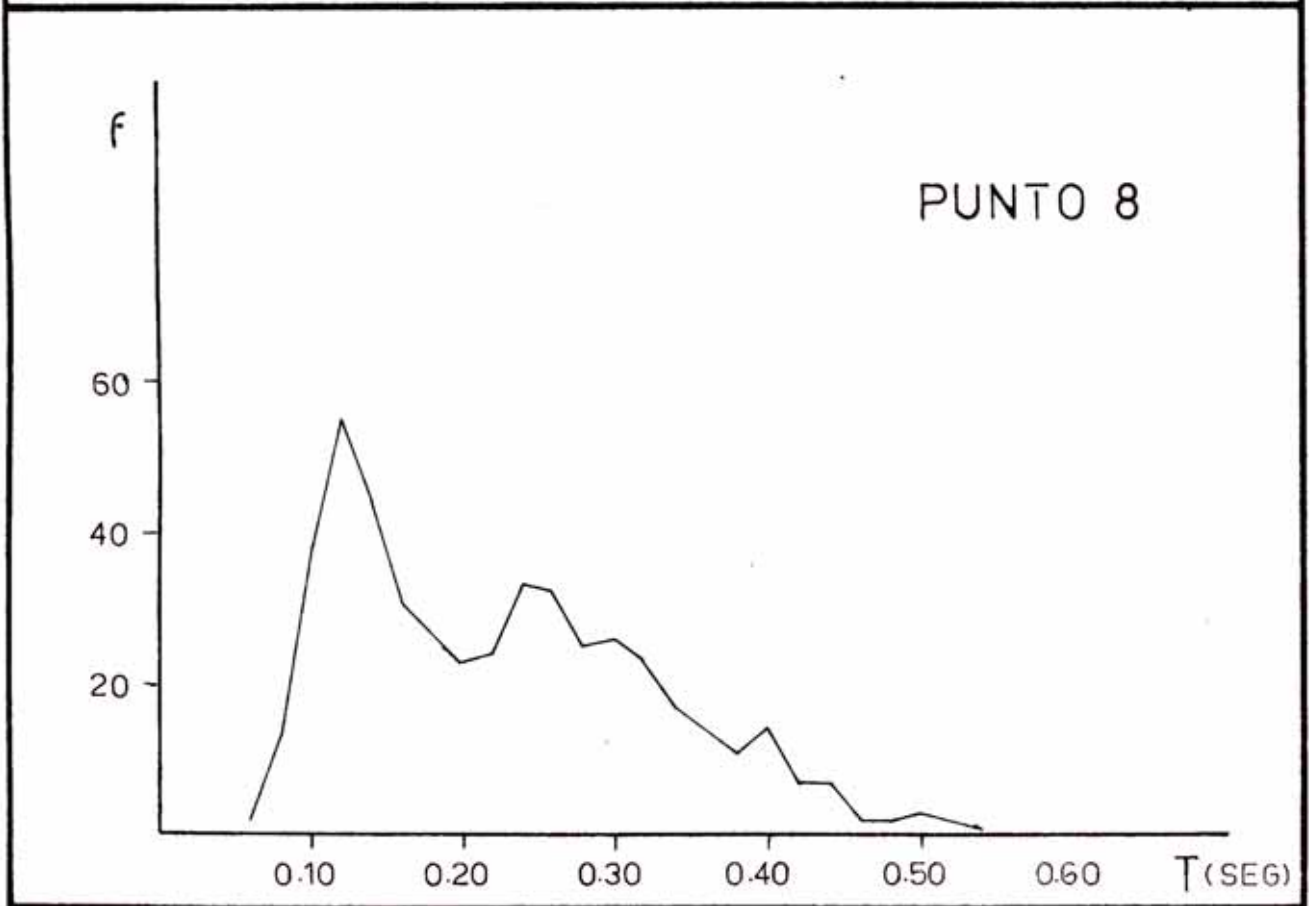
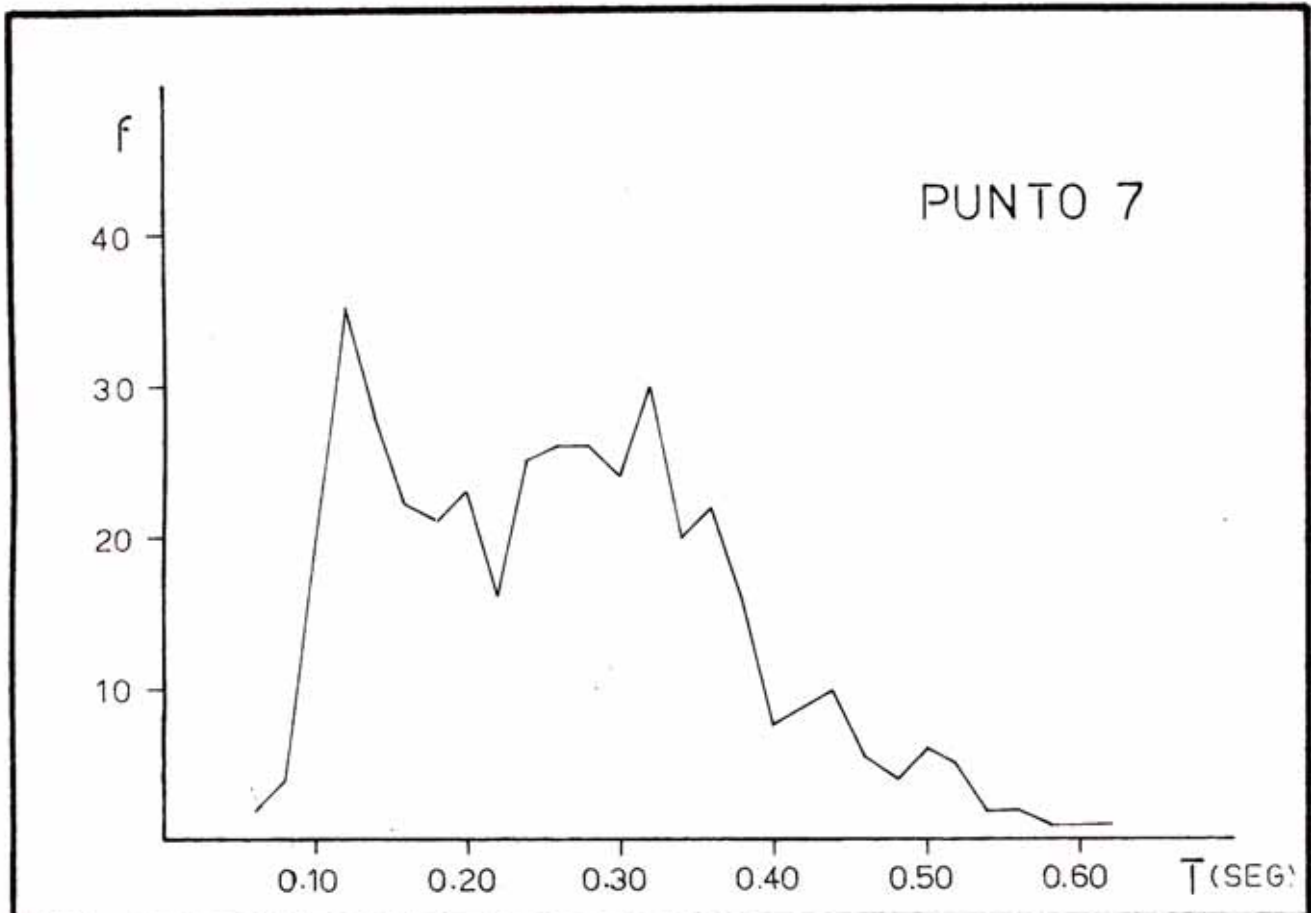


FIG 7-8

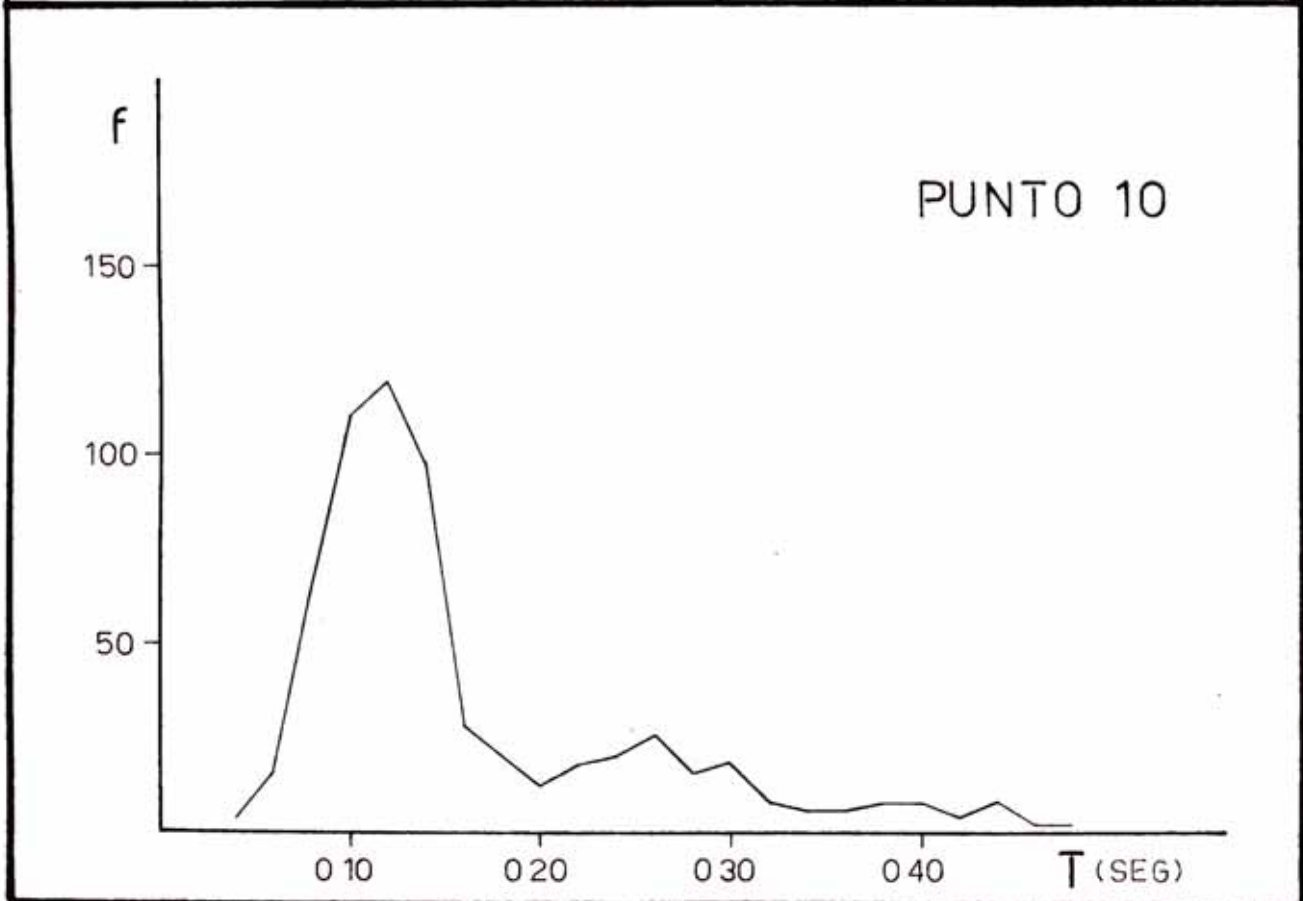
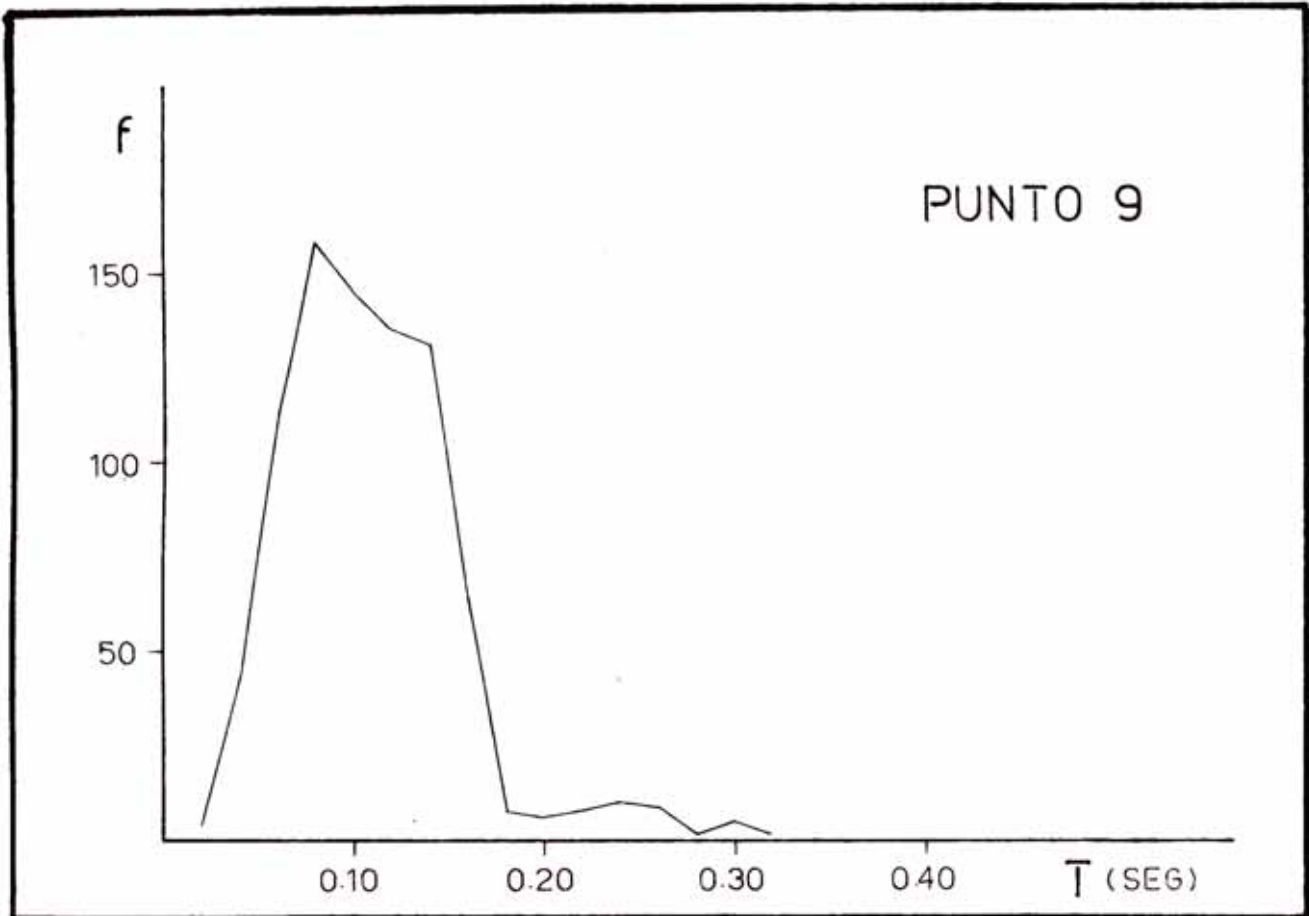


FIG 9-10

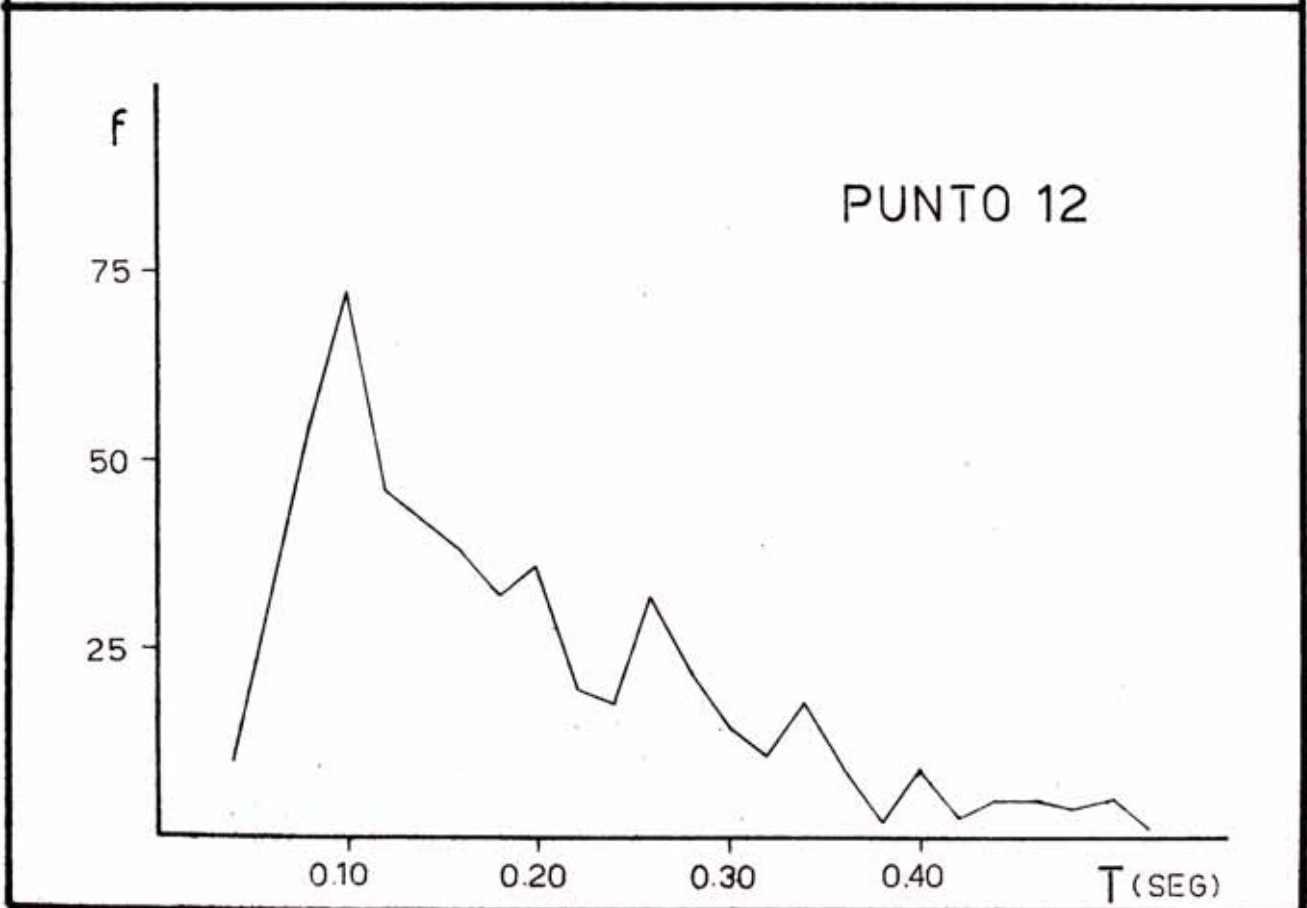
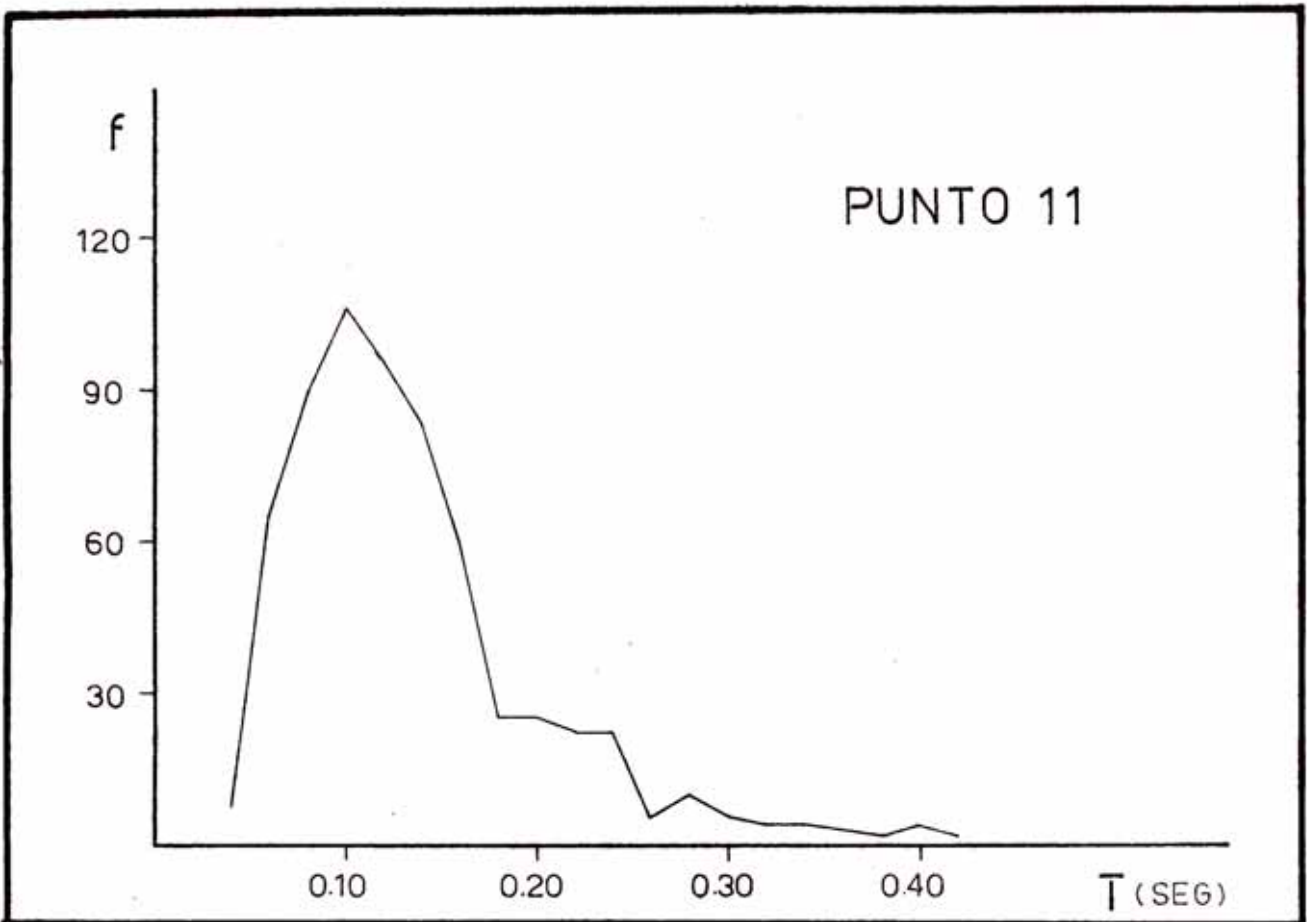


FIG 11-12

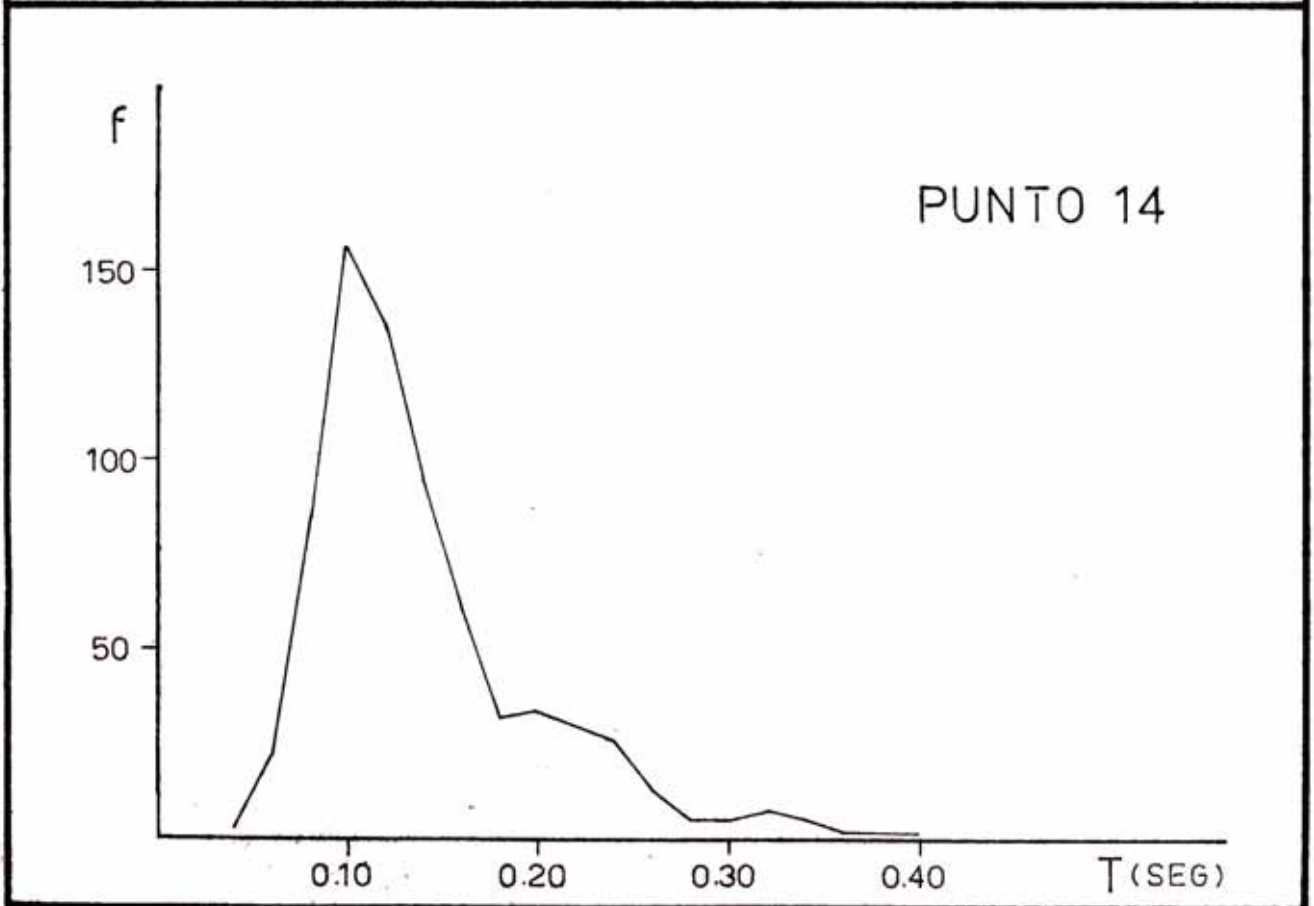
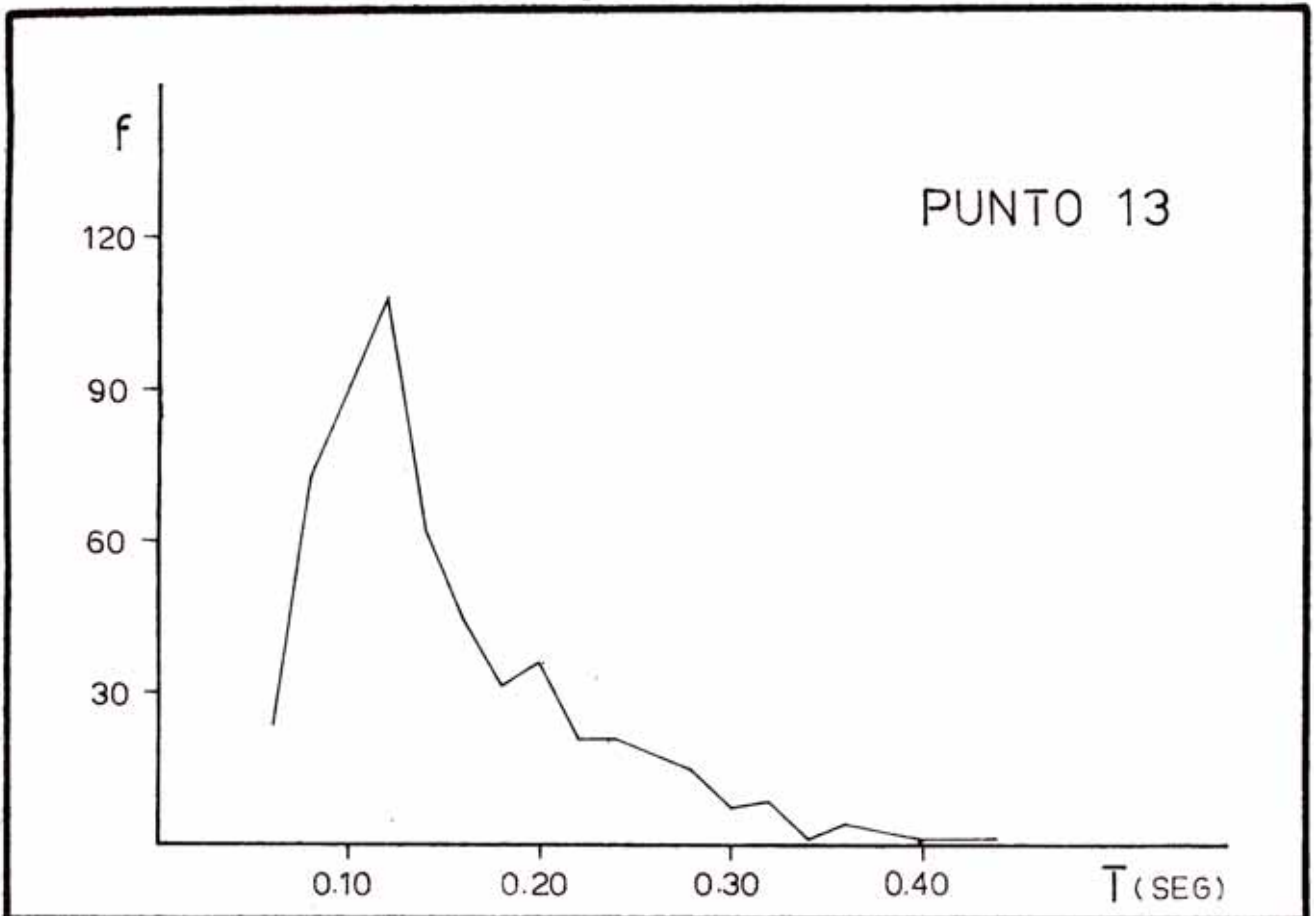


FIG 13-14

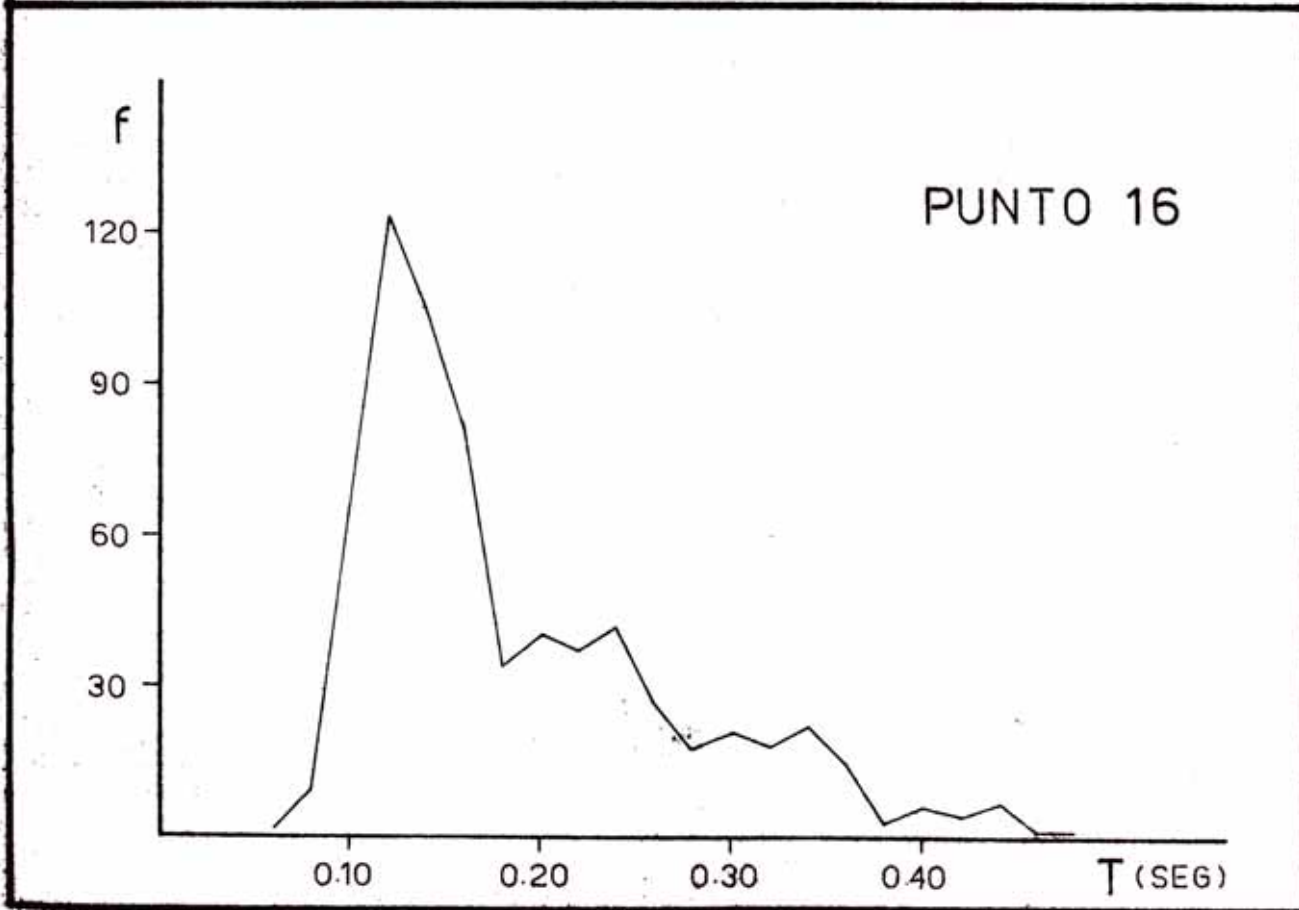
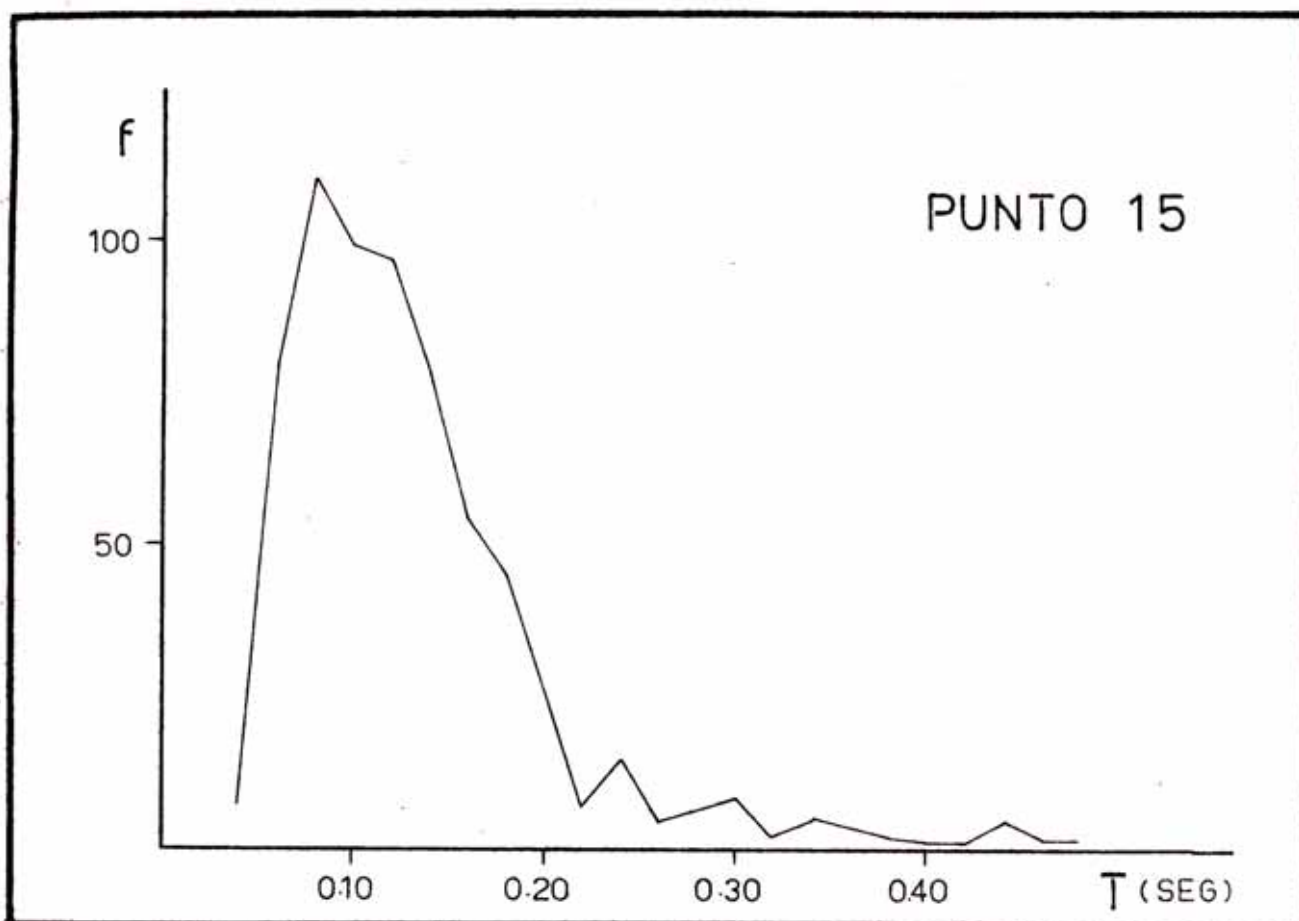


FIG 15-16

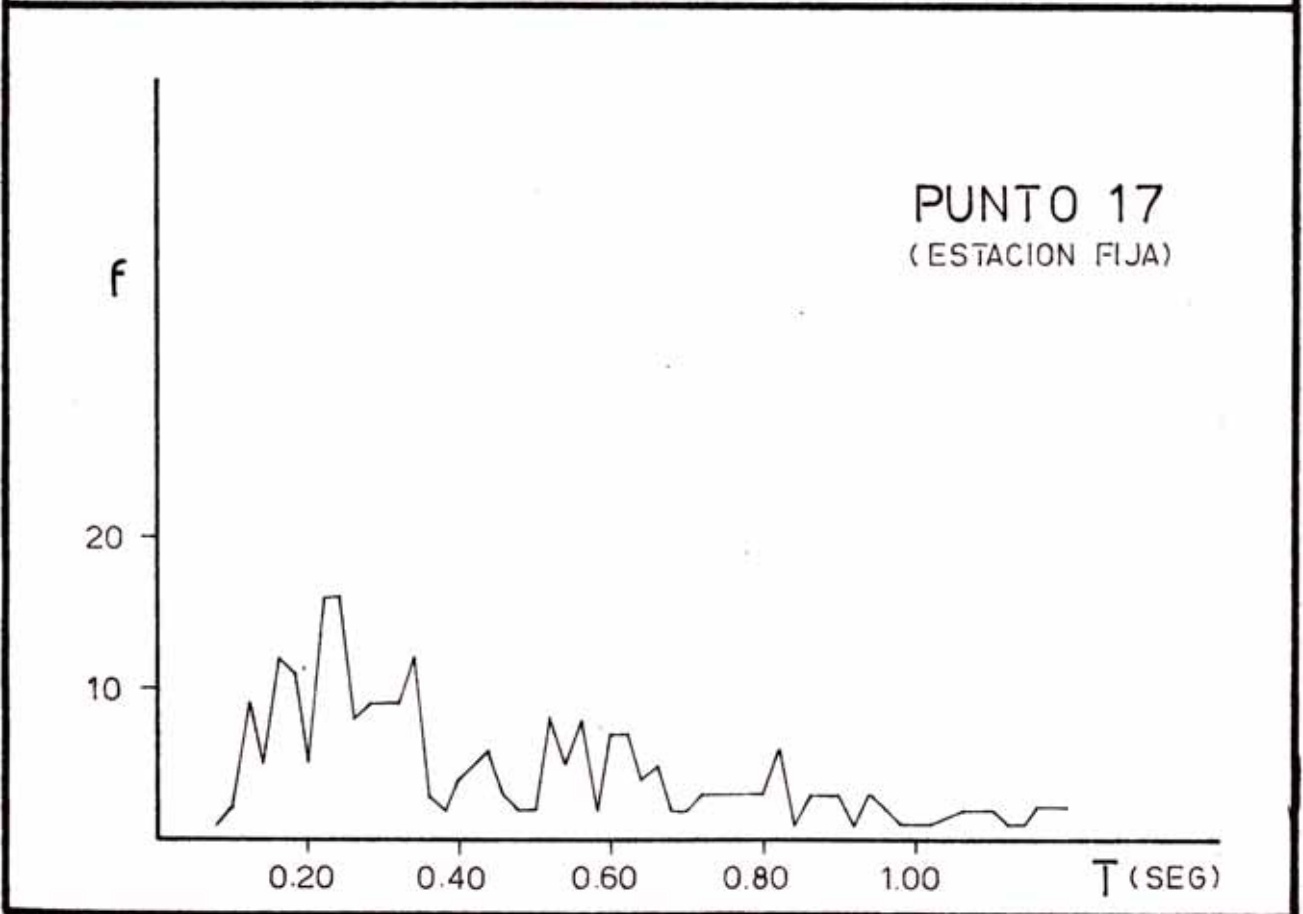
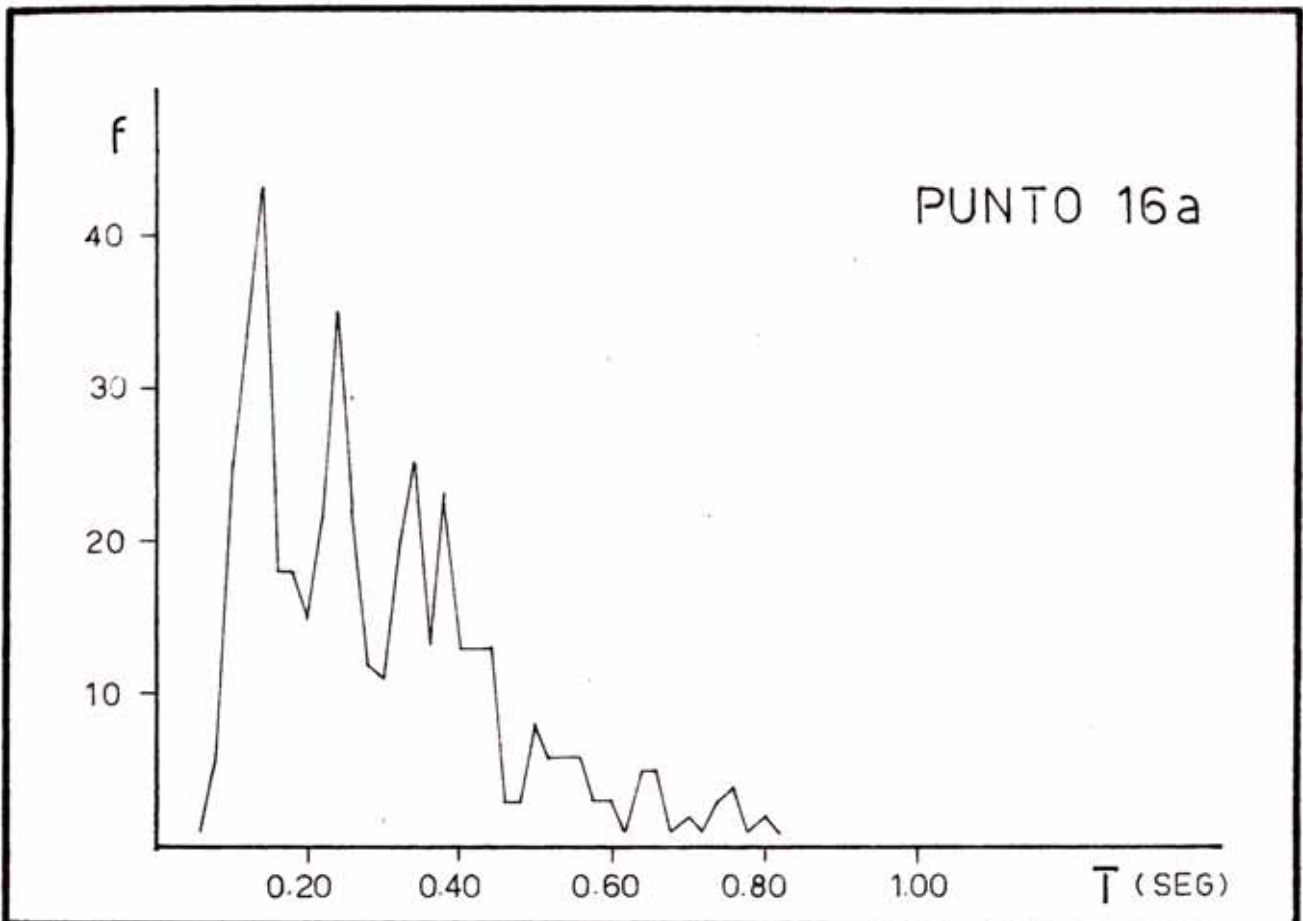


FIG 17-18

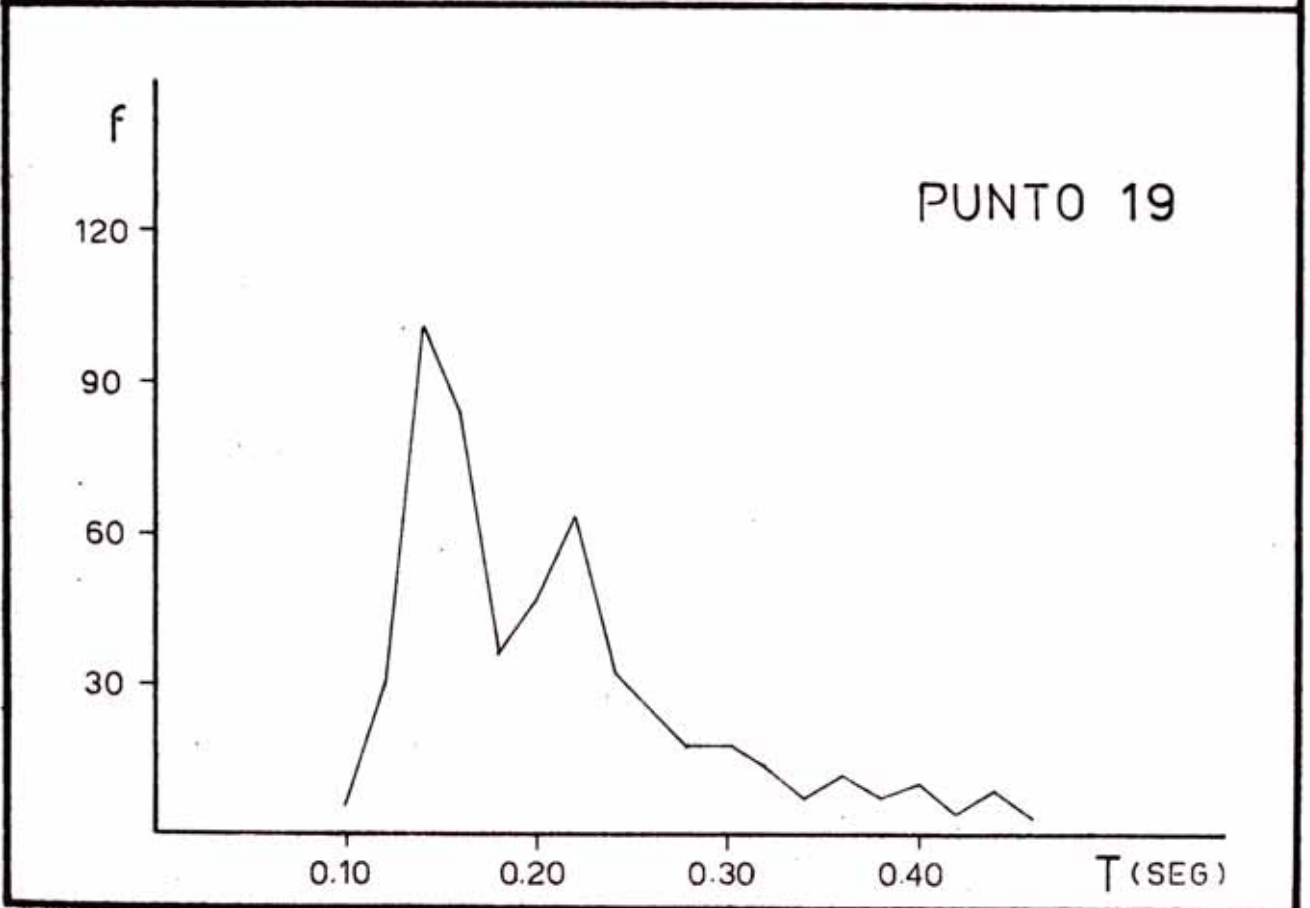
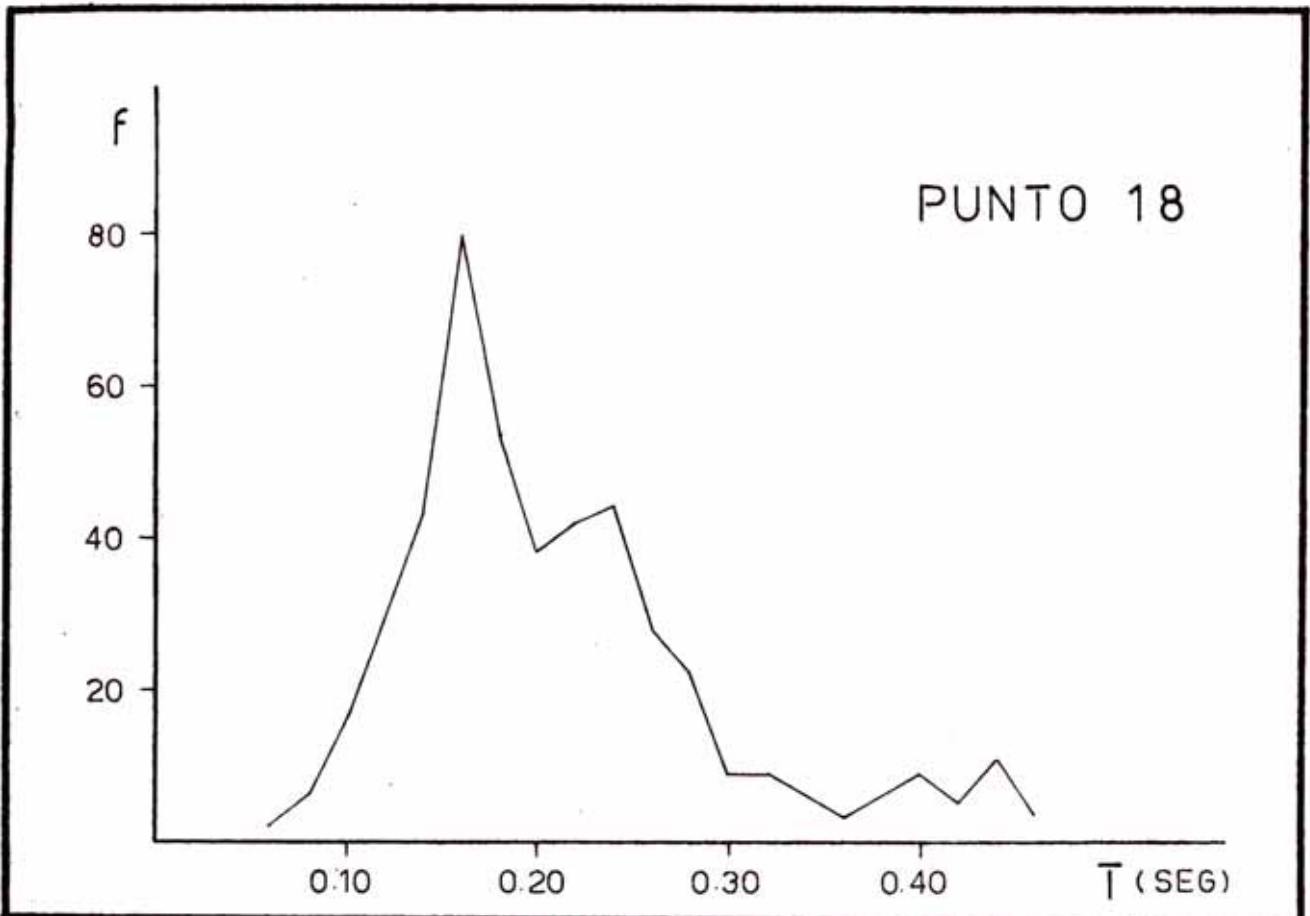


FIG 19-20

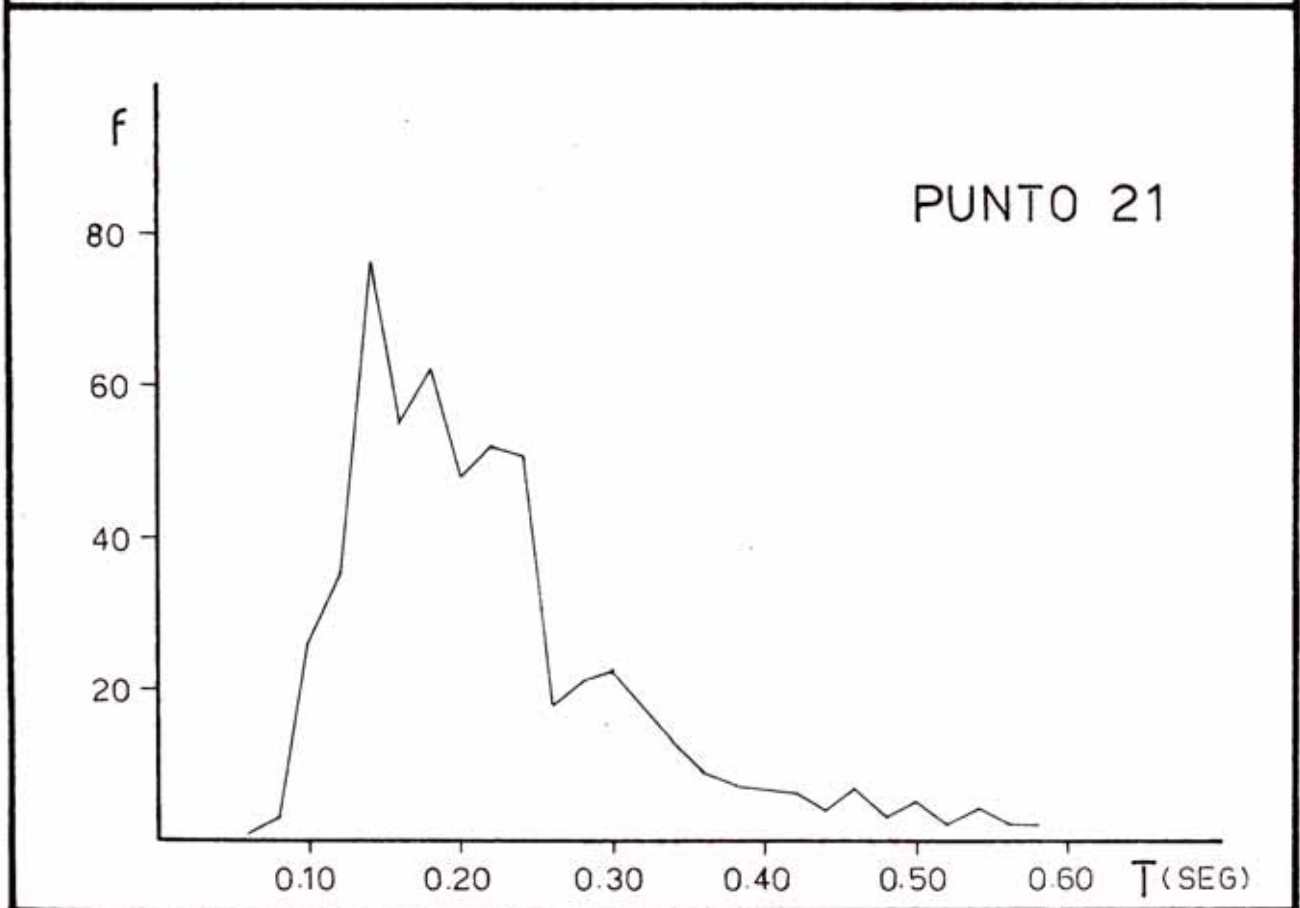
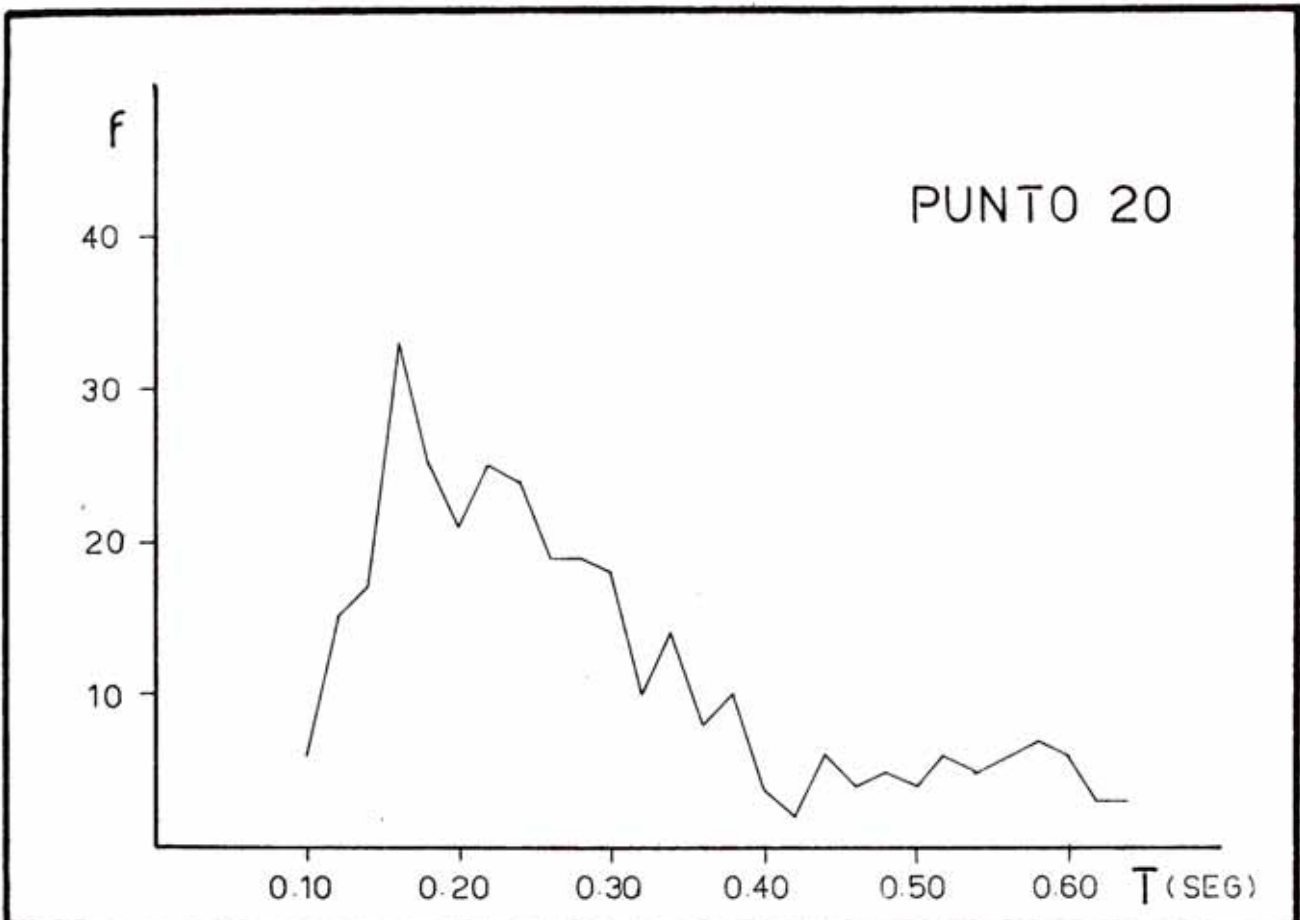


FIG 21-22

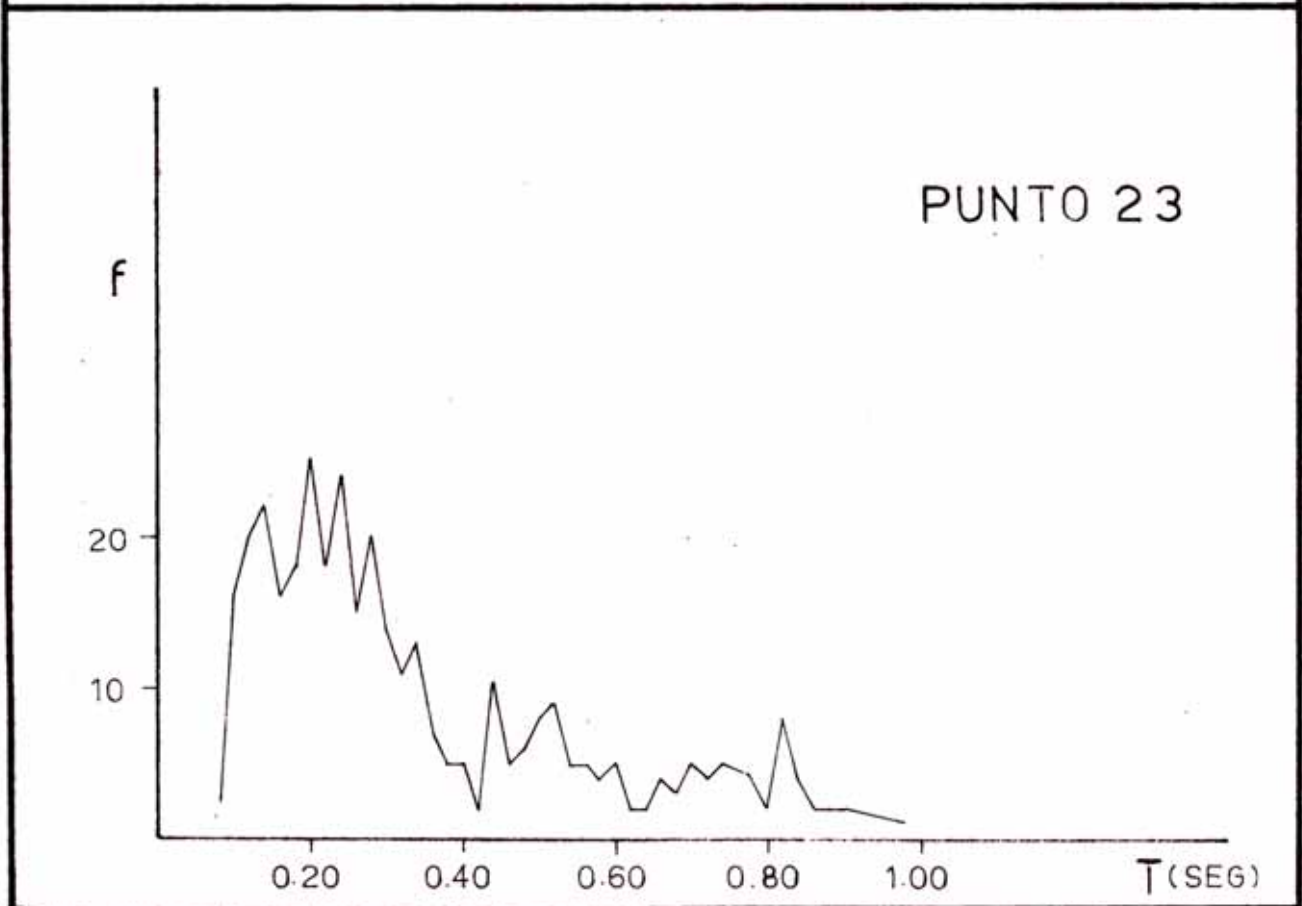
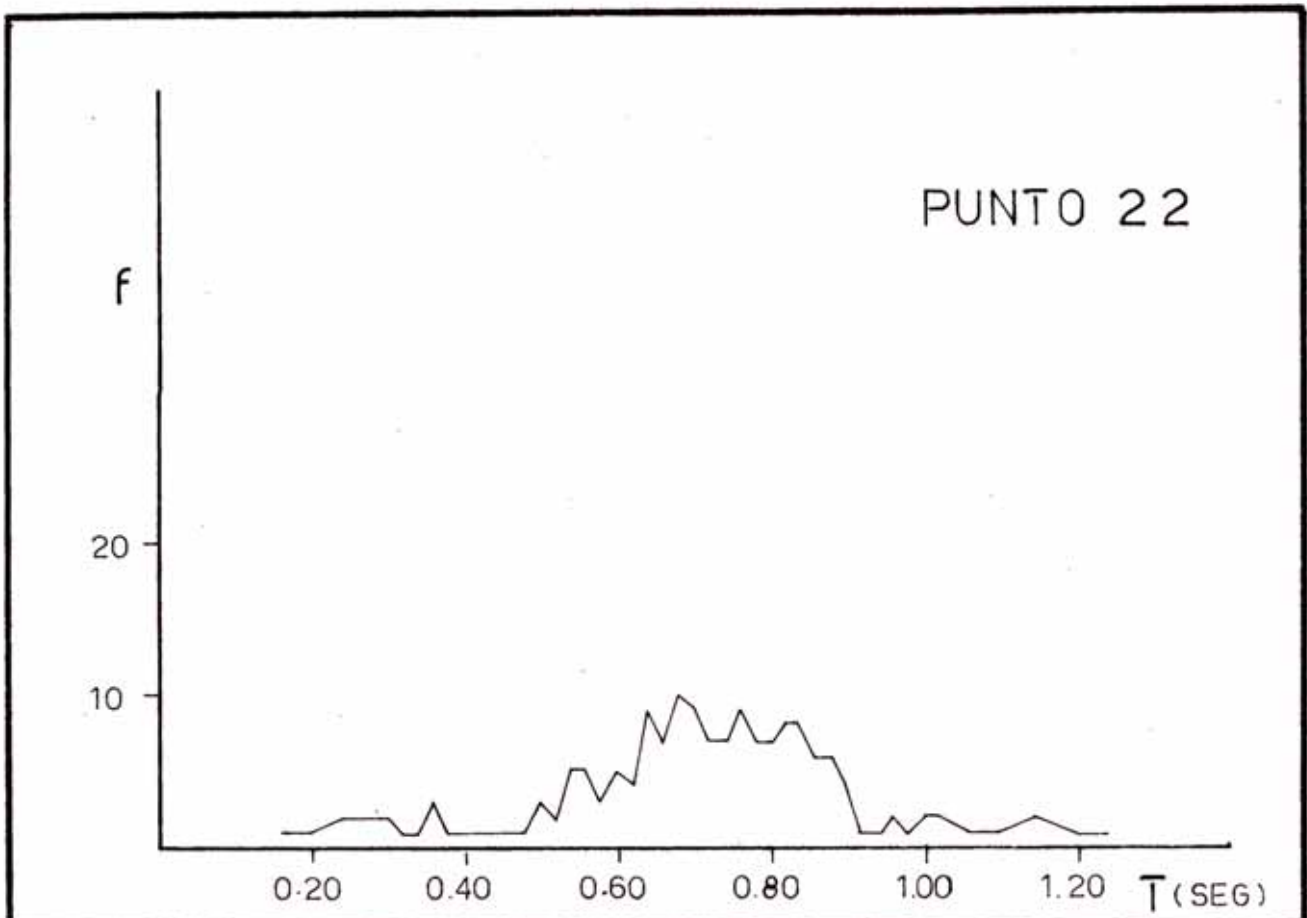


FIG 23-24

a). - Suelos de periodo corto que comprendo de 0.08 a 0.14 seg.

b). - Suelos de periodo medio que comprende de 0.16 a 0.22 seg.

Los suelos de periodo corto se encuentran ubicados en casi la totalidad del área urbana y los suelos de periodo medio se encuentran ubicados en las afueras de la ciudad en dirección norte y este.

De la forma de las curvas frecuencia periodo podemos distinguir dos grupos, uno caracterizado por la presencia de un pico bastante conspicuo y el restante constituido por dos o mas picos.

La presencia de solo un pico predominante nos hace suponer que el suelo esta compuesto de un solo lecho y si tiene mas de dos picos indica distribución del suelo en más de dos estratos de espesores variables (6)

El área observada, presenta un comportamiento gradacional tanto por el valor de sus periodos como por su distribución estratificada; variando desde periodos cortos y la presencia probable de varios lechos, a periodos medios y a una configuración del suelo como de un solo lecho, de espesor potente, en dirección hacia el rio Casma.

Como consecuencia de las características observadas se pueden establecer que en el área de Casma se distinguen dos tipos de suelos :

TIPO I Suelos caracterizados por períodos fundamentales de vibración cuyos valores oscilan entre 0.08 y 0.14 segundos.

Este tipo de suelo esta localizado en el área urbana; que visto desde el punto de vista sísmico es un suelo de buena calidad.

TIPO II Presenta un período fundamental de vibración que va de 0.16 a 0.22 segundos.

El modo de vibración de este suelo lo hace desde el punto de vista sísmico como de buena calidad pero se espera que tengan mayores ~~amplificaciones~~ que en los suelos de Tipo I.

De la figura D. (en el apendice), se muestra que para un terremoto de magnitud 6 el periodo predominante de la onda es 0.25 seg. para distancias epicentrales menores de 40 Km.

Por lo que se puede afirmar que para suelos del tipo I cuyos periodo de vibración varían entre 0.08 y 0.14 seg. son suelos de buena calidad por estar alejados del periodo predominante de la onda sísmica. A medida que aumenta la magnitud y la distancia epicentral también aumenta el periodo de la onda sísmica.

3.30 CONCLUSIONES

- En el área de Casma se pueden distinguir dos tipos de suelos cuyos modos de vibración se hallan comprendidos unos de 0.08 a 0.14 y otros de 0.16 a 0.22 segundos

- Del estudio de las microtrepidaciones y complementandose con los otros estudios efectuados en el capítulo anterior se ha llegado a definir dos tipos de suelos :

TIPO I que es un suelo de buena calidad, compacto y cuyas propiedades físicas son muy similares, su capacidad de amplificación dinámica al paso de las ondas sísmicas es mínima dentro del rango de su frecuencia predominante.

TIPO II Suelo de buena calidad, medianamente compacto y la amplificación dinámica al paso de una onda elástica será mayor que para el tipo I.

- El suelo de tipo I se extiende casi en la totalidad del área urbana mientras que el tipo II ocupa la parte restante en dirección hacia el río.

- Ambos suelos desde el punto de vista sísmico son de buena calidad.

- El área situada al sur de la ciudad o sea la zona comprendida entre la ciudad y el río Casma no son recomendables para edificaciones o expansión de la ciudad, no por mala calidad del suelo, sino porque es una área de inundaciones cuando se desborda el río Casma.
- Otra zona peligrosa es en la parte norte de la ciudad en las cercanías de los afloramientos rocosos debido a que es una zona de contacto y se esperan en ellas mayores aceleraciones.

CAPITULO IV

Sismología

4.10 INTRODUCCION

La sismología es una rama de la ciencia que estudia los fenómenos sísmicos, esta ciencia es todavía muy joven ya que se inició a fines del siglo XIX, pero en este lapso de tiempo se han alcanzado grandes logros, viéndolo desde el punto de vista de la Ingeniería como la determinación de normas de diseño sismorresistente, pero aún quedan incógnitas por resolver, como por ejemplo el comportamiento del suelo que se considera en forma lineal cosa cierta para pequeñas magnitudes, pero para magnitudes mayores en un rango de 3 a 5 ya no es lineal, o sea, para sismos destructores no hay aún una norma que los controle dado el carácter complejo del comportamiento del suelo.

El objeto de la sismología, en una primera etapa es la de información y recopilación de datos y para ello se basa en instrumentos como los sismógrafos y otros visuales como la evaluación de daños, todo esto para estudiar las características de las ondas sísmicas; como una segunda etapa sería la de verificación haciendo uso de estadísticas para luego hacer inferencias y formular una hipótesis, teniendo como última etapa la tesis o formulación de alguna expresión matemática que rige a dicho fenómeno.

En la actualidad se han desarrollado diferentes tipos de sismógrafos dependiendo de la relación entre el período natural del sismógrafo y el período de las ondas a registrar es la que determina si el instrumento medirá el desplazamiento, velocidad o aceleración asociado con el movimiento de la tierra. Si el período natural es mucho menor que el de la vibración de la tierra el desplazamiento del sismógrafo es proporcional a la aceleración de la tierra y el instrumento funciona como acelerómetro. Si

los dos períodos son aproximadamente iguales, la lectura del instrumento será proporcional a la velocidad del movimiento de la tierra. Si el período natural es mucho mayor que el período de vibración de la tierra las lecturas resultarán proporcionales al actuar registrador de desplazamiento(7).

4.20 RELACION AMPLITUD PERIODO

La relación amplitud - período depende de diversos parámetros, tales como, la magnitud, la distancia epicentral, profundidad, estructura geológica del suelo, factor de amortiguamiento.

La amplitud de un movimiento sísmico es más grande así como su período es más largo cuando mayor es la magnitud del terremoto.

Según la distancia epicentral, en general la amplitud del movimiento decrece con el incremento de la distancia, si la profundidad es poca, en un terremoto se producirán grandes aceleraciones en la superficie del suelo para puntos localizados cerca del origen del sismo

La estructura geológica dependen en gran parte de la tectónica del lugar, como por ejemplo una falla su orientación, su inclinación.

El factor de amortiguamiento depende del tipo de suelo, si es un suelo blando se encontrarán amplitudes mayores que en una duro.

Según los Drs. H. Honda y H. Itc . reduciendo a un punto de 100 Kms del origen del sismo, análisis hechos para muchos sismos en el Japon, han hallado la relación entre el período y la amplitud para movimientos iniciales de ondas P, en que la amplitud es aproximadamente proporcional al cuadrado del período; en el

SISMOGRAMAS REGISTRADOS EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA : 28-10-70

HORA : 19^h 55^m

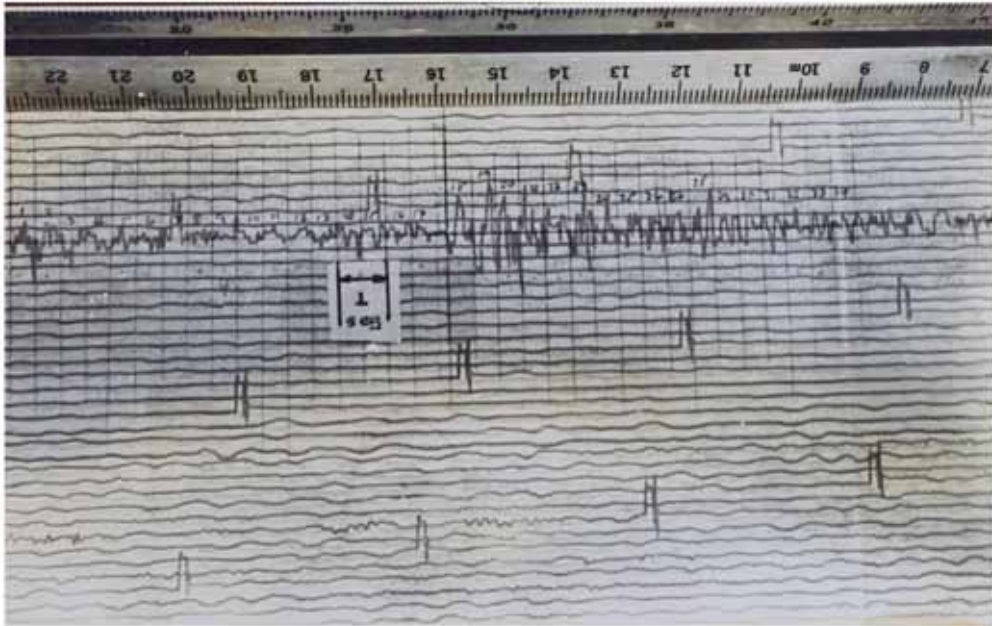


FOTO 9

ESTACION BASE
G = 0.5

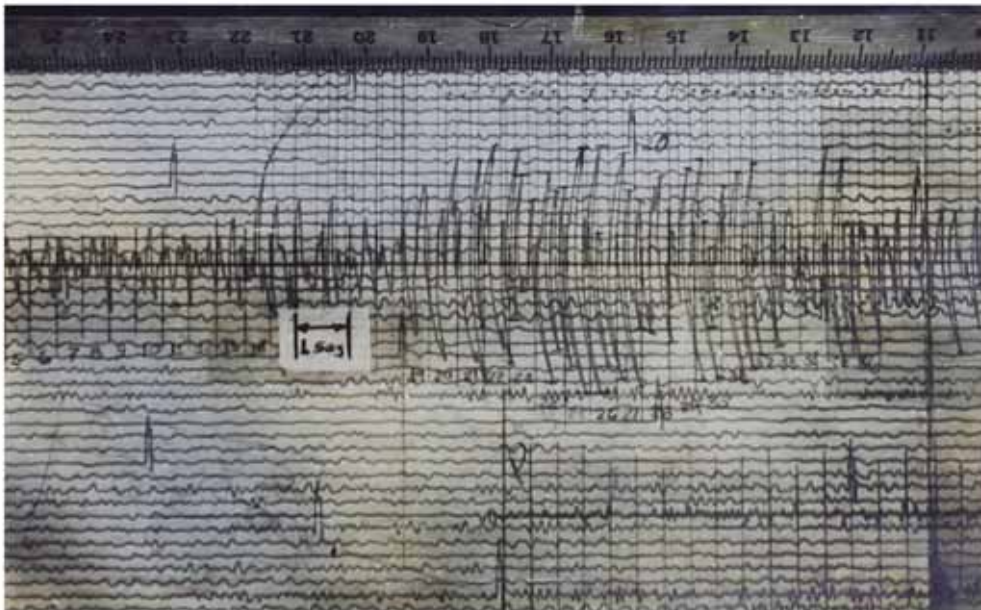


FOTO 10

ESTACION MOVIL : FUNDO LA LAMPARA
G = 0.25

FECHA : 28-10-70

HORA : 21^h 41^m

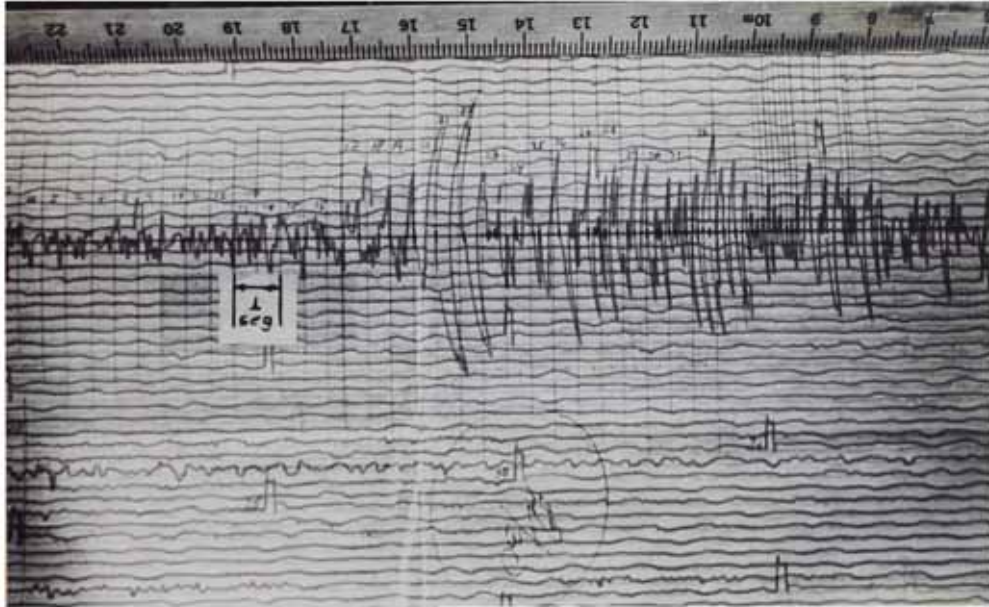


FOTO 11

ESTACION BASE

G = 0.5

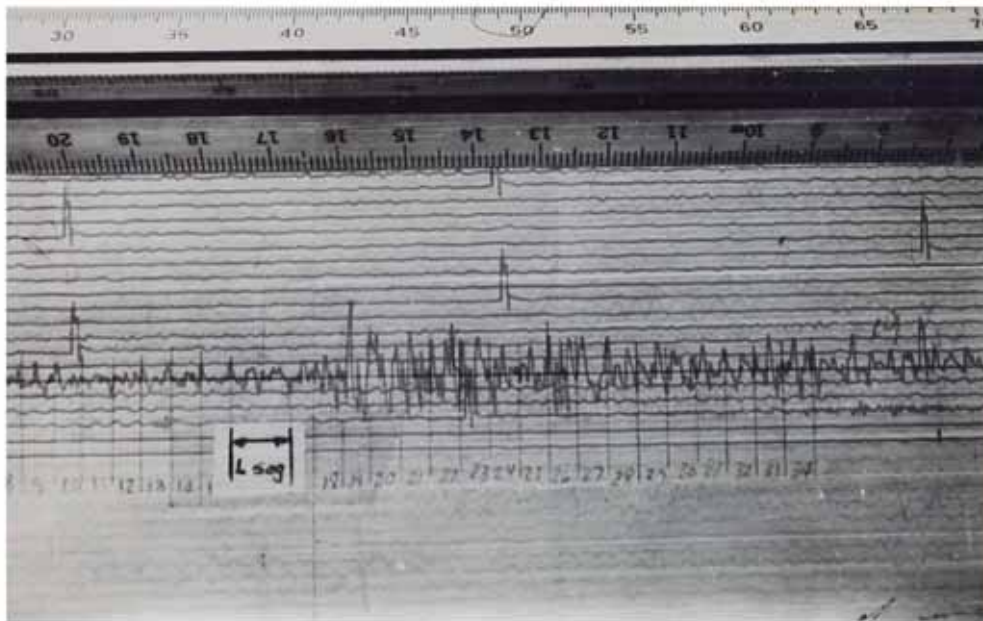


FOTO 12

ESTACION MOVIL: FUNDO LA LAMPARA

G = 0.5

FECHA 26-10-70

HORA 19^h 14^m

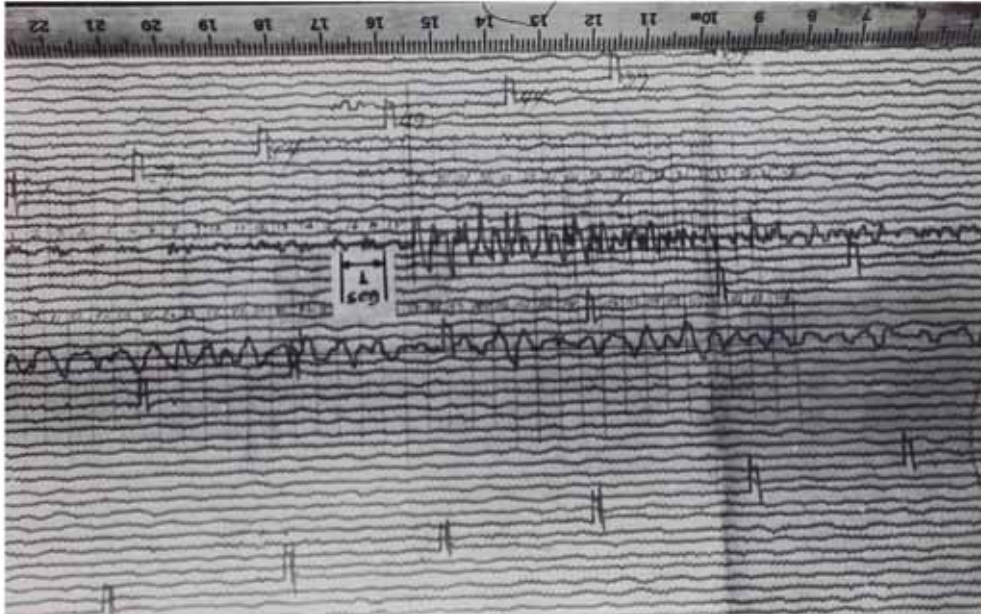


FOTO 13

ESTACION BASE

G = 2.5

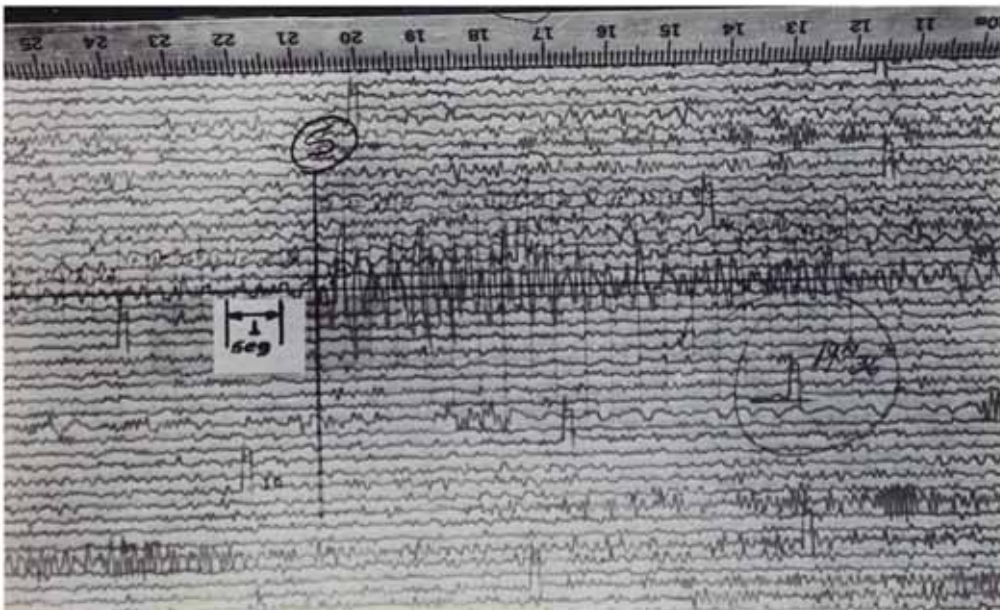


FOTO 14

ESTACION MOVIL: MOLINO FUNG TAC

G = 0.5

FECHA : 26-10-70

HORA : 19^h 36^m

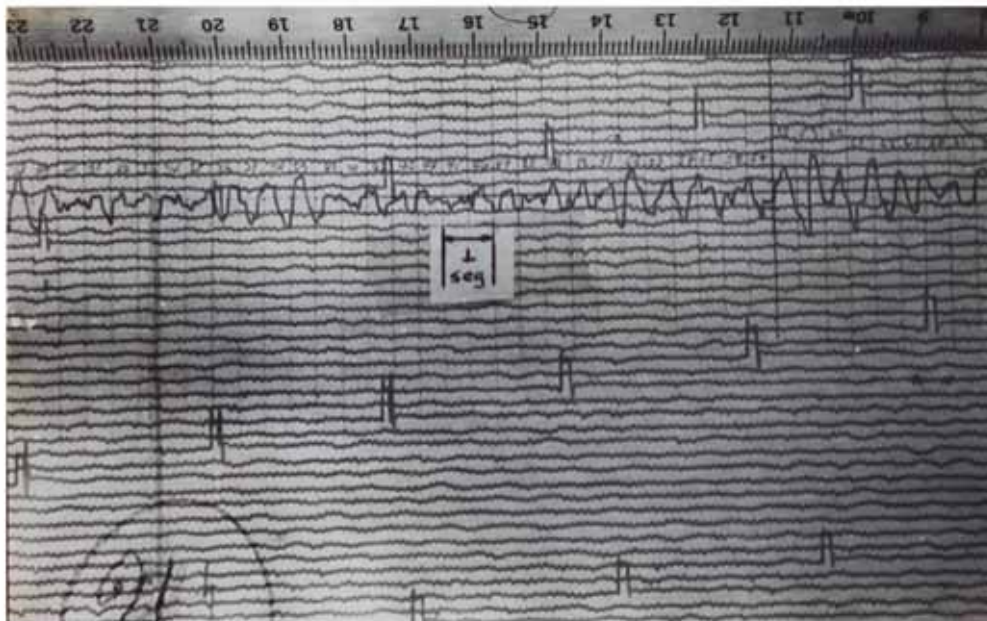


FOTO 15

ESTACION BASE

G = 2.5

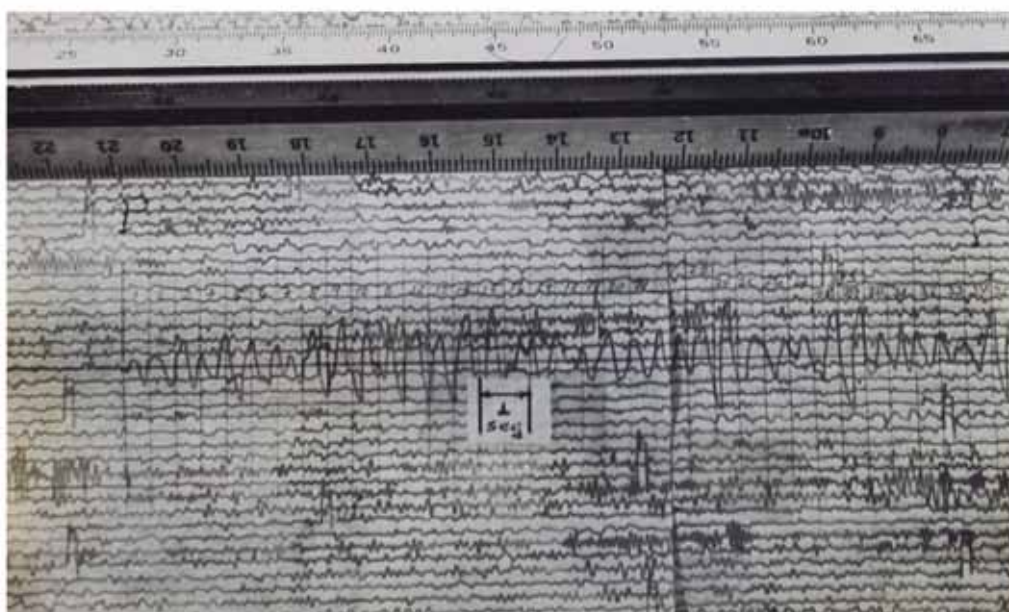


FOTO 16

ESTACION MOVIL: MOLINO FUNG TAC

G = 0.5

FECHA : 29-10-70

HORA : 20^h 34^m

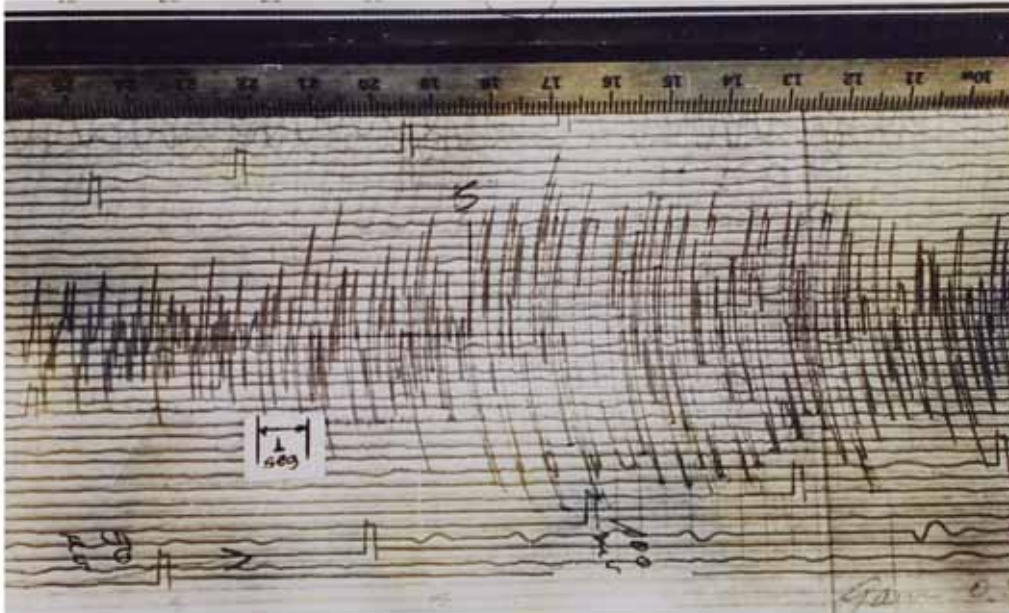


FOTO 17

ESTACION BASE

G = 0.5

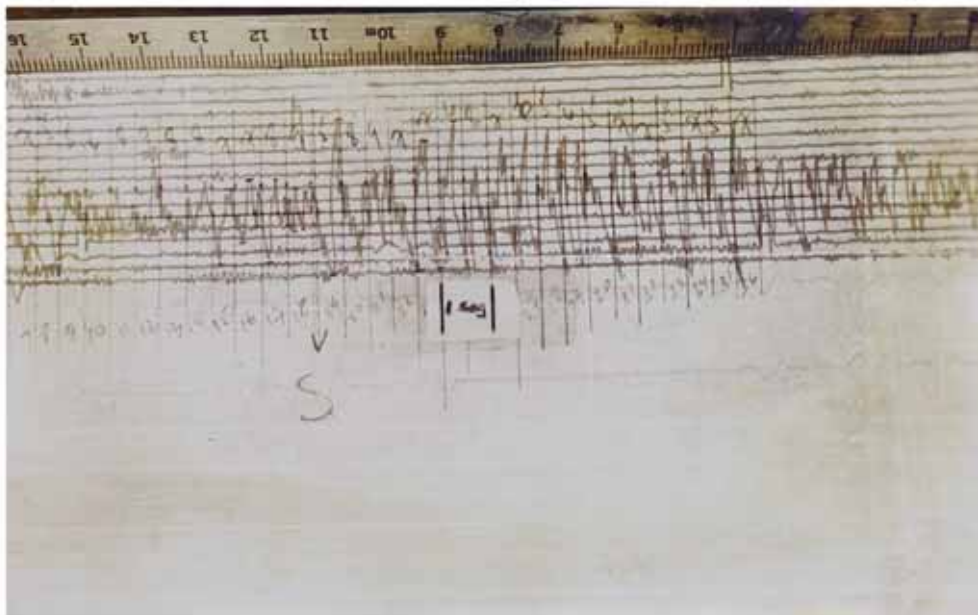


FOTO 18

ESTACION MOVIL : PLAZA DE ARMAS

G = 0.1

caso de ondas S, es muy complicado por que la influencia de los temblores preliminares del movimiento inicial pueden no estar alejados totalmente.

Por lo tanto; la relación entre la amplitud y el periodo de ondas sísmicas en la roca se puede expresar como :

$$\text{Amplitud} \Rightarrow (\text{Periodo})^2$$

Del análisis espectral de sismogramas de sismos producidos en la Mina Hitachi a 300 mts. de profundidad y teniendo en consideración lo siguiente :

- 1).- Reducción de la amplitud de ondas sísmicas de acuerdo a la distancia hipocentral .
- 2).- Siendo la variación de los períodos correspondientes a la máxima amplitud raramente reconocidas entre el periodo de ondas y distancia hipocentral, se considera que la reducción del período de la onda sísmica de acuerdo a la distancia hipocentral se dejará de considerar.
- 3).- Como las observaciones donde se hicieron comprenden solo una componente de onda sísmicas, las amplitudes resultantes serán calculadas asumiendo las ondas S.

Se ha encontrado que el máximo valor de desplazamiento y el período correspondiente, están relacionados empíricamente por :

$$A_{ms} = 53 T_m^{2.56} \quad \text{----- (2)}$$

En donde A_{ms} en micrones y T_m en seg.

La relación amplitud-periodo, exceptuando periodos considerablemente cortos o largos pueden ser asumidos como ;

FECHA 28 10 70

HORA 21^h 41^m

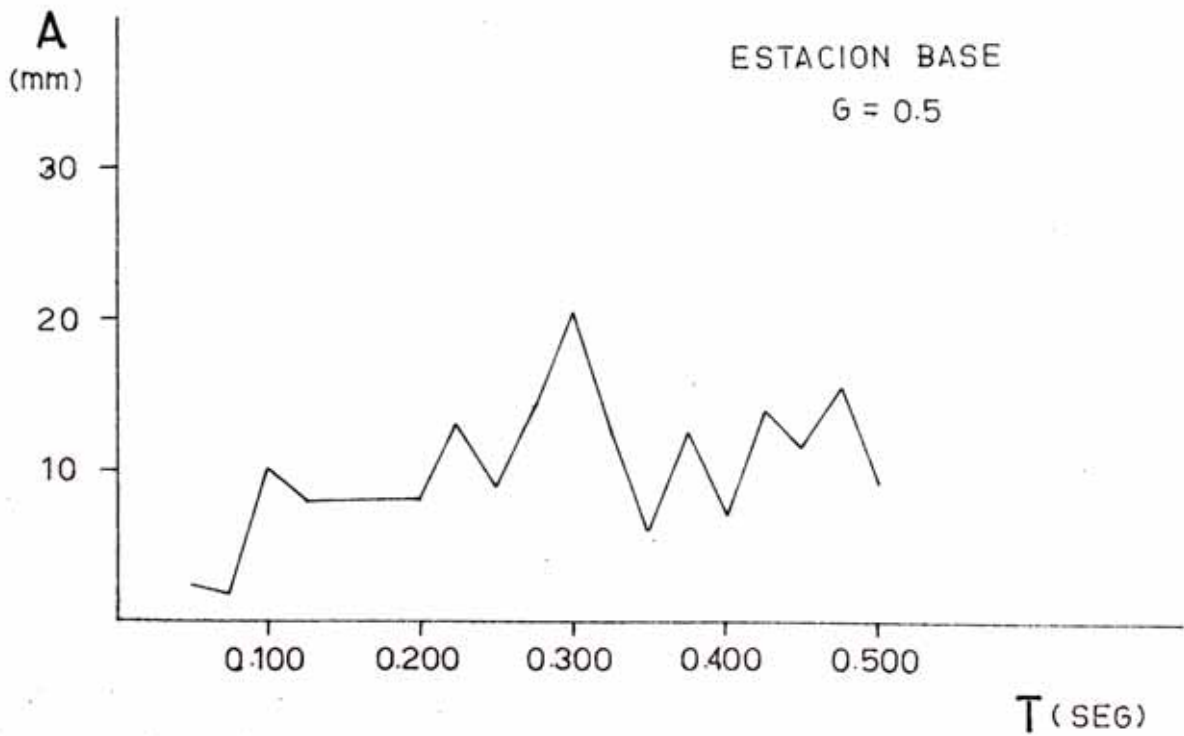
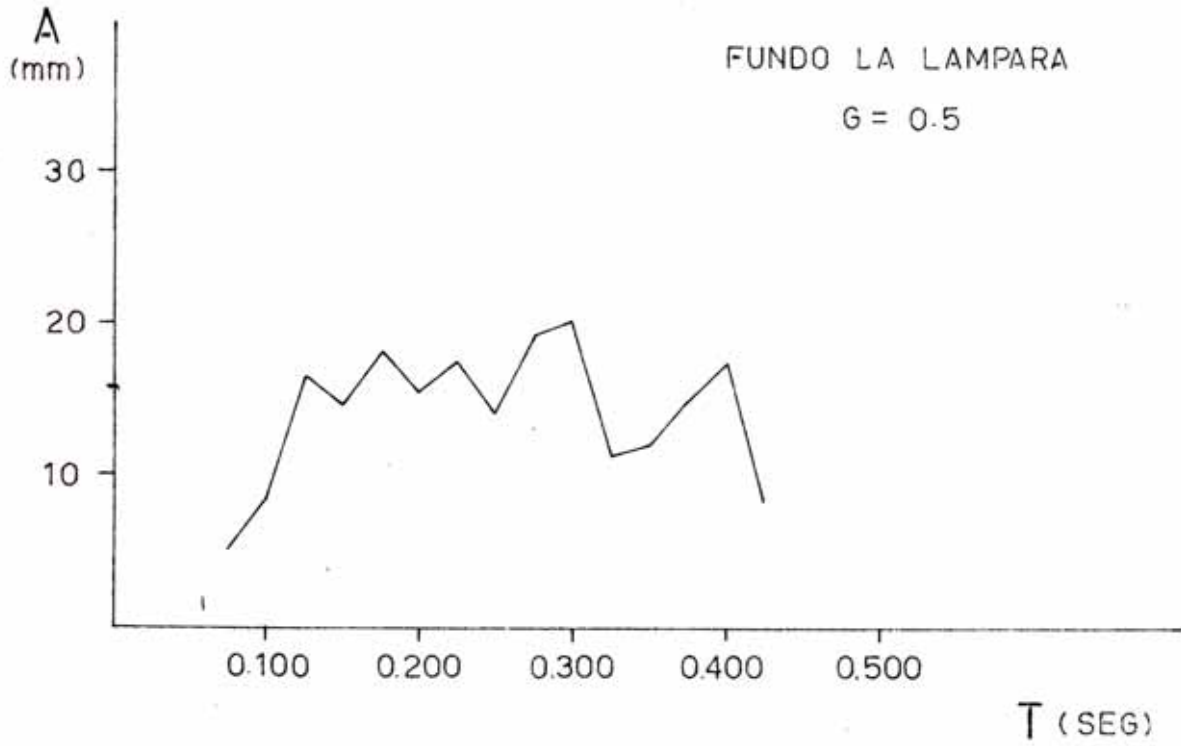


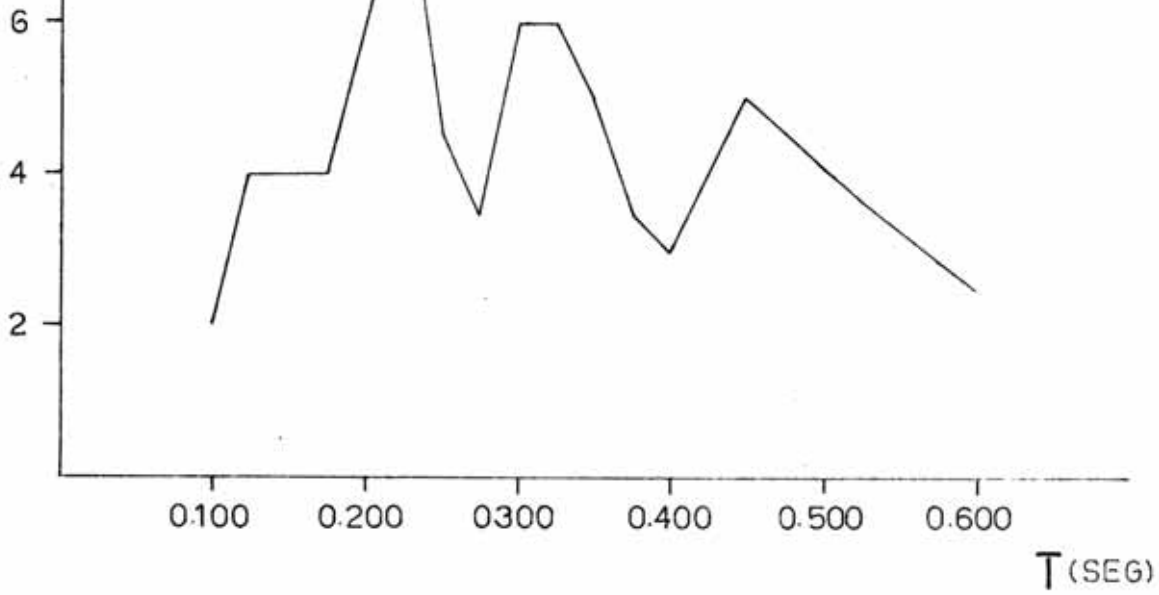
FIG 25-26

FECHA 28 10 70

HORA 19^h 55^m

A
(mm)

FUNDO LA LAMPARA
G = 0.25



A
(mm)

ESTACION BASE
G = 0.5

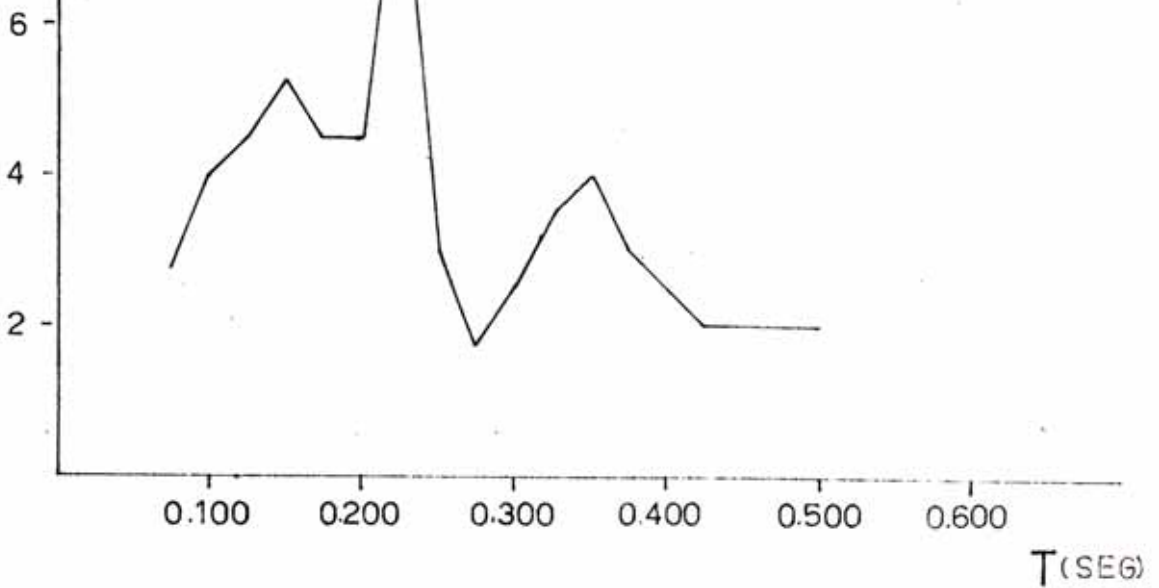


FIG 27-28

FECHA 28 10 70

HORA 15^h 37^m

A
(mm)

FUNDO LA LAMPARA

G = 0.25

3

2

1

0.100

0.200

0.300

0.400

0.500

T (SEG)

A
(mm)

ESTACION BASE

G = 0.5

3

2

1

0.100

0.200

0.300

0.400

0.500

T (SEG)

FIG 29-30

FECHA 26 10 70

HORA 19^h14^m

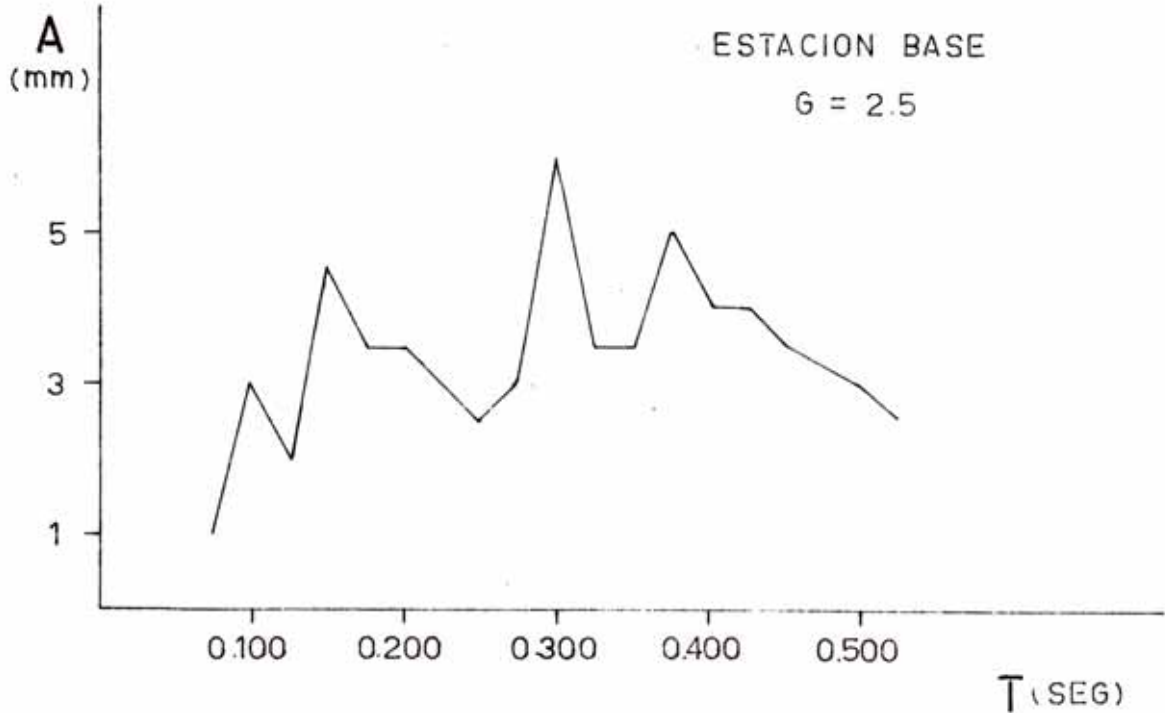
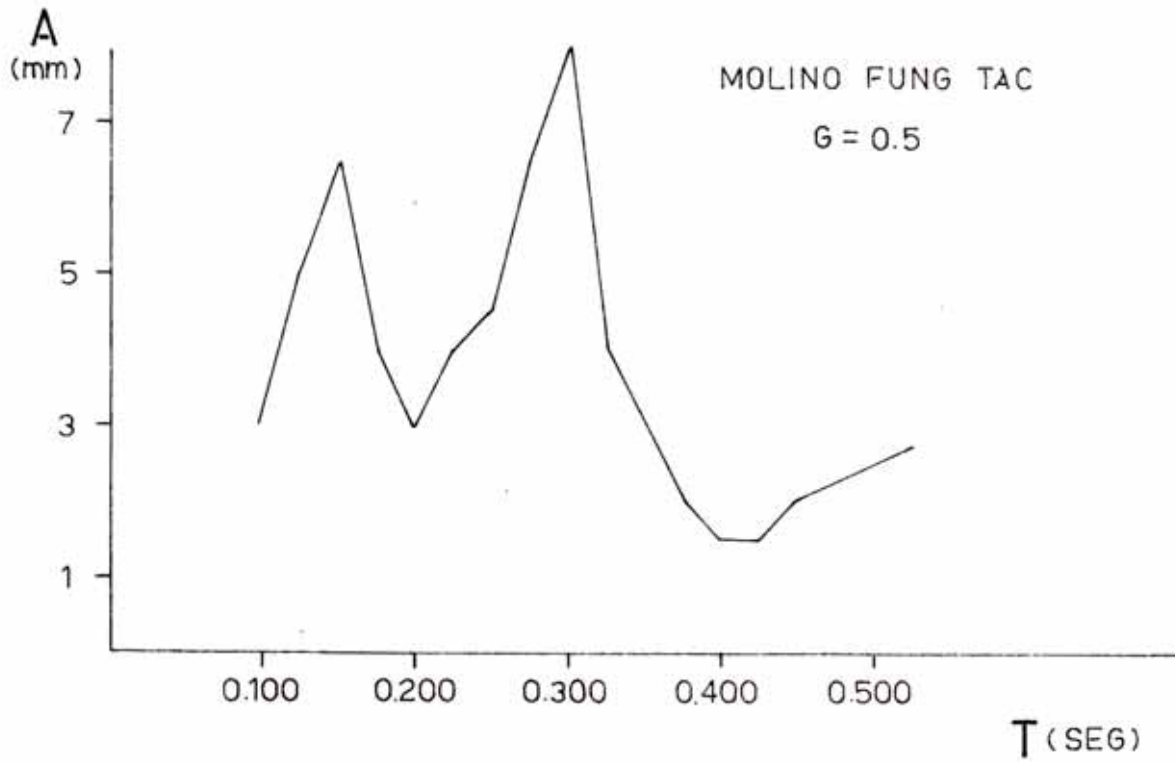


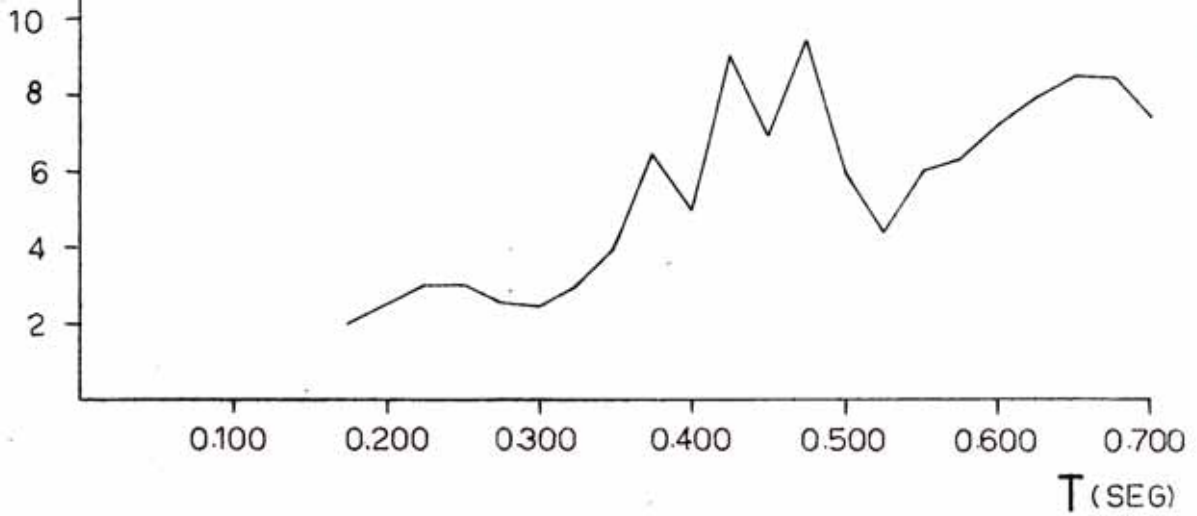
FIG 31-32

FECHA 26 10 70

HORA 19^h 36^m

A
(mm)

MOLINO FUNG TAC
G = 0.5



A
(mm)

ESTACION BASE
G = 2.5

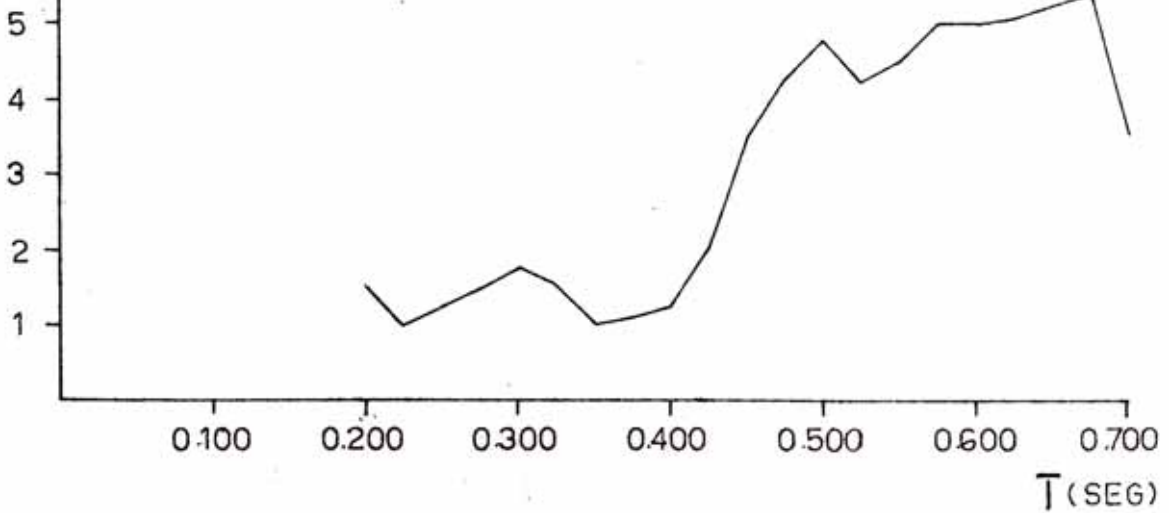


FIG 33-34

FECHA 29 10 70

HORA 20^h34^m

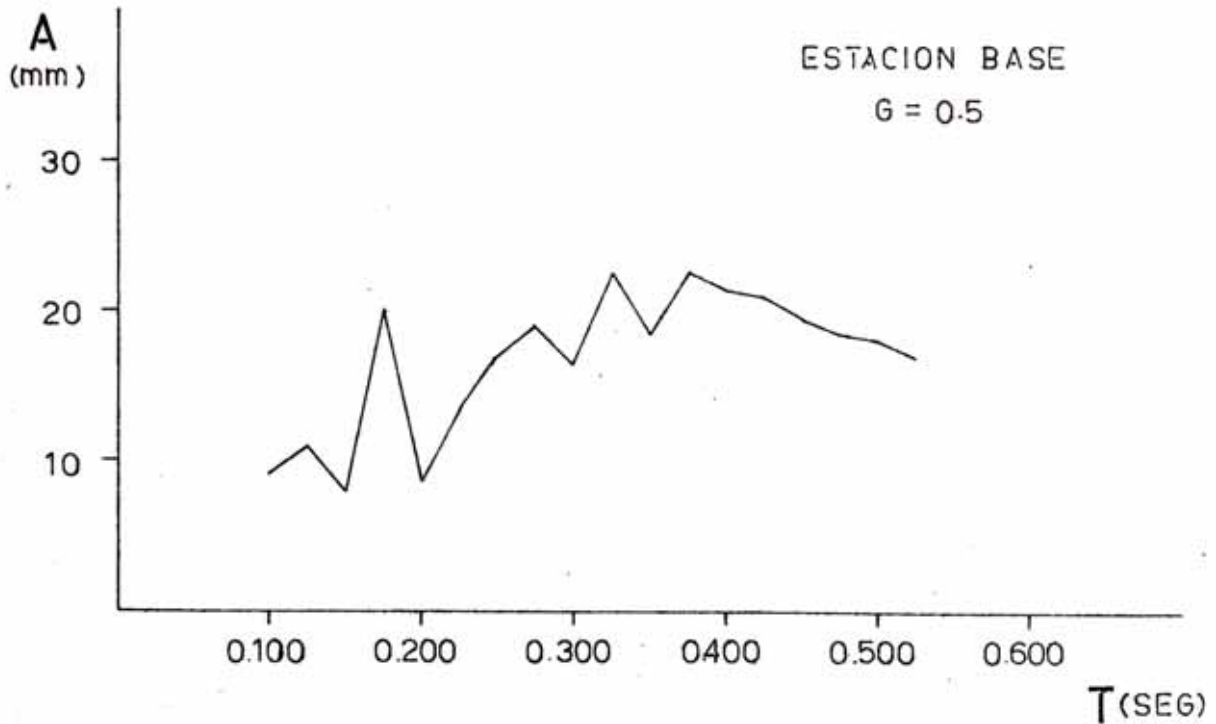
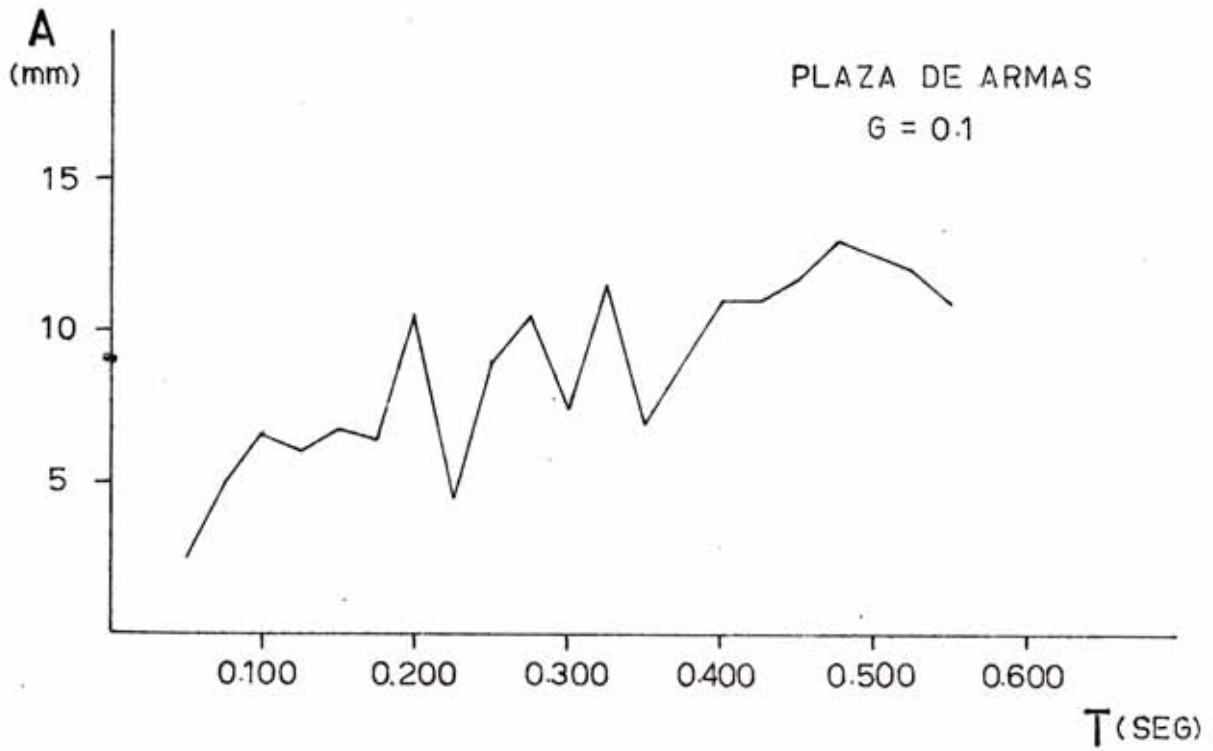


FIG 35-36

FECHA: 30 10 70
HORA 03^h 14^m

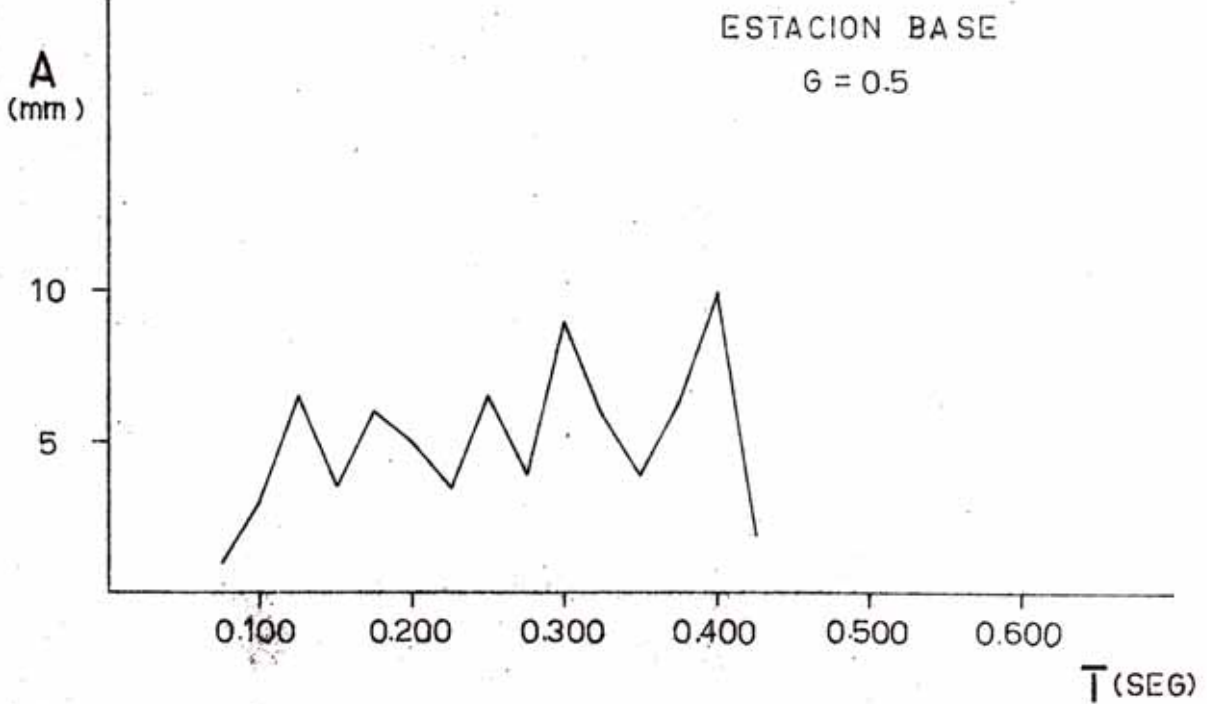
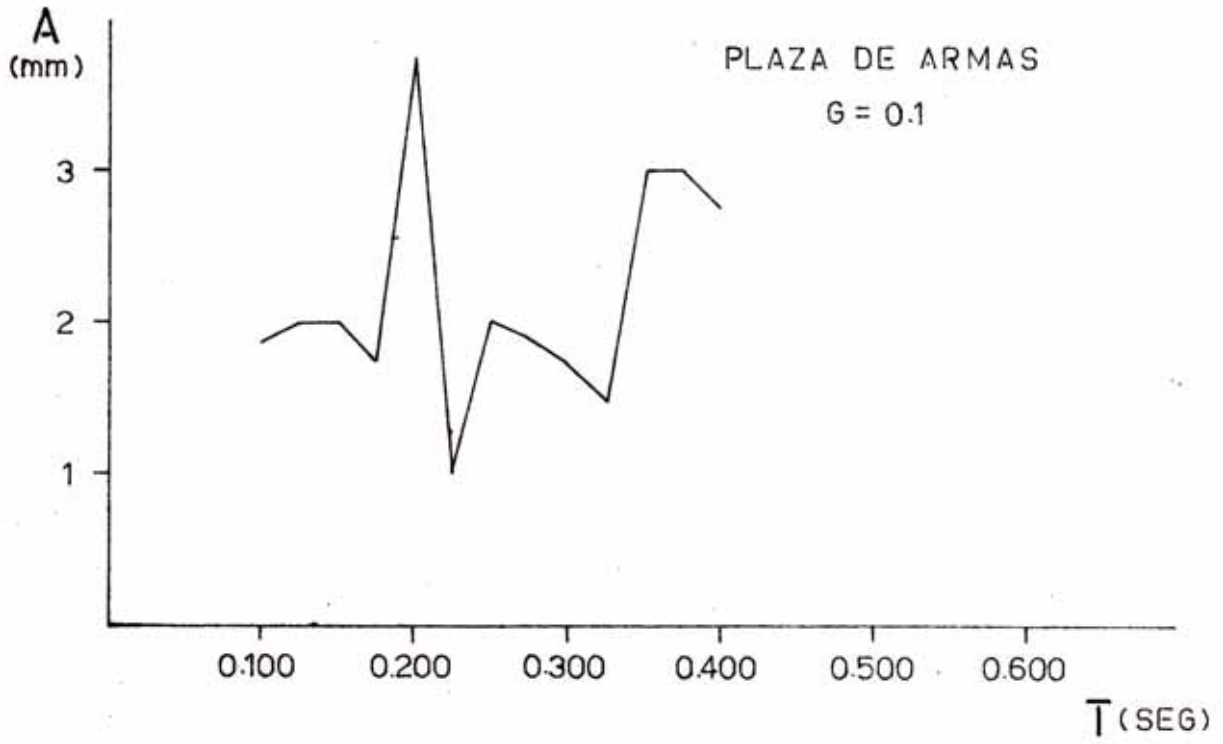


FIG 37-38

$$\frac{2 \pi f A}{T} = (\text{veloc}) = \text{cte.} \quad \text{---(3)}$$

En la ciudad de Casma se han obtenido registros de sismos tanto en roca colocado sobre un afloramiento rocoso así como en el suelo de diferentes partes de la ciudad, en las figuras 25 al 38 nos muestran los espectros de velocidad tanto en la base como en la estación móvil

4.21 CORRECCION POR INSTRUMENTACION

4.21.1 Calibración del amplificador.

Para realizar la calibración es necesario contar con :

- a).- Oscilador de ultra baja frecuencia, que genere de 0.01 hasta 100 cp.s. siendo variable el voltaje de salida hacia el divisor de voltaje, emplea ondas de tipo sinusoidal. Rango de frecuencia trabajado es de 0.1 a 12 c.p.s.
- b).- Osciloscopio, sirve para observar la señal de salida del amplificador y verificar la señal de entrada al amplificador, cuya lectura se lee en la escala de la pantalla y se multiplica por un factor indicado en variable CAL, este producto nos da en voltios.
- c).- Divisor de voltaje, para reducir los voltios a microvolts (μV) y conducir la cantidad necesaria de μV al amplificador.
- d).- Resistencia, se emplea de 50 ohm reemplazando al galvanometro.

4.21.2 Forma de calibración

Partiendo de 0.1 a 12 c.p.s. se introdujo 200 μV para las diferentes ganancias desde 0.1 a 2.5, terminadas las lecturas se procedió a realizar las gráficas de las curvas de respuesta, con estas curvas se hacen las correcciones en las curvas-

CURVAS DE CORRECCION DEL AMPLIFICADOR

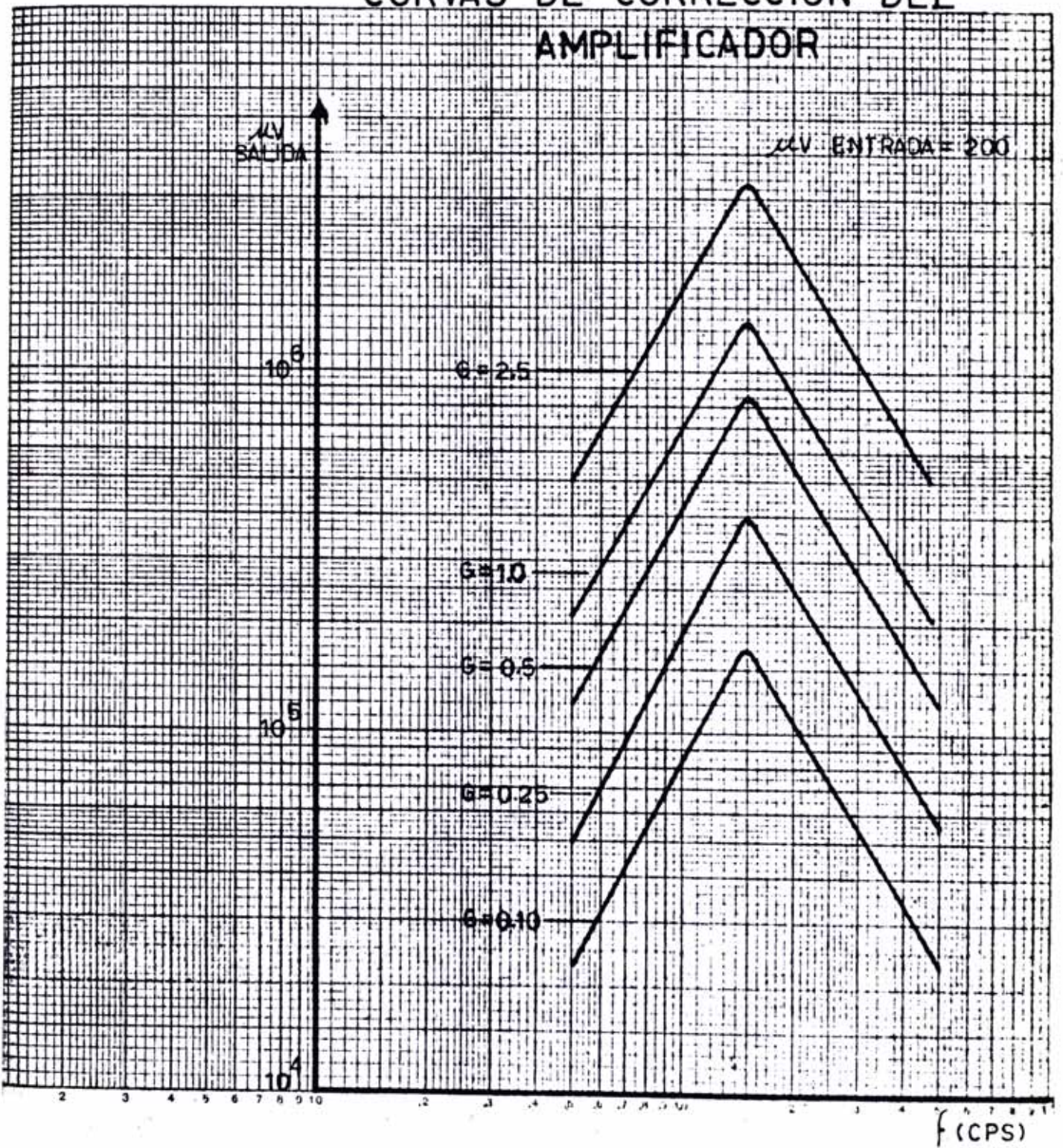


FIG 39

TABLA 1

G, F	f	V SALIDA	V ENTRADA
G _m 0.1 F _m 1.5	0.5	2.3 x 10 ⁴	200
	1.0	8.6 x 10 ⁴	200
	1.5	1.7 x 10 ⁵	200
	2.0	1.1 x 10 ⁵	200
	3.0	5.5 x 10 ⁴	200
	4.0	3.4 x 10 ⁴	200
	5.0	2.3 x 10 ⁴	200
G _m 0.25 F _m 1.5	0.5	5.0 x 10 ⁴	200
	1.0	2.0 x 10 ⁵	200
	1.5	4.0 x 10 ⁵	200
	2.0	2.6 x 10 ⁵	200
	3.0	1.3 x 10 ⁵	200
	4.0	8.2 x 10 ⁴	200
	5.0	5.6 x 10 ⁴	200
G _m 0.5 F _m 1.5	0.5	1.3 x 10 ⁵	200
	1.0	4.4 x 10 ⁵	200
	1.5	8.7 x 10 ⁵	200
	2.0	5.4 x 10 ⁵	200
	3.0	2.7 x 10 ⁵	200
	4.0	1.7 x 10 ⁵	200
	5.0	1.2 x 10 ⁵	200
G _m 1.0 F _m 1.5	0.5	2.1 x 10 ⁵	200
	1.0	7.7 x 10 ⁵	200
	1.5	1.3 x 10 ⁶	200

TABLA 1

G, F	f	V SALIDA	V ENTRADA
G = 2.5 F = 1.5	2.0	8.8 x 10 ⁵	200
	3.0	4.4 x 10 ⁵	200
	4.0	2.8 x 10 ⁵	200
	5.0	1.9 x 10 ⁵	200
	0.5	5.3 x 10 ⁵	200
	1.0	1.8 x 10 ⁶	200
	1.0	3.4 x 10 ⁶	200
	2.0	2.2 x 10 ⁶	200
	3.0	1.1 x 10 ⁶	200
	4.0	6.6 x 10 ⁵	200
	5.0	4.5 x 10 ⁵	200

resultantes de los sismos para obtener la amplitud real del movimiento del suelo; en la tabla 1 se dan los valores para la corrección del amplificador; y en la fig. 39 la curva respectiva.

4.21.3 Proceso de uniformación de amplitudes de gráfica.

- 1.- Comparación de respuestas de diferentes amplificadores, Ver la relación de aumento o disminución, de aquí se sacará un factor de reducción a una sola tabla.
- 2.- Se toma la respuesta de las ganancias de 2.5, 1.0, 0.5, 0.25, 0.10.
- 3.- De la gráfica de las amplificaciones se toma valores de amplitud para frecuencia de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 c.p.s.
- 4.- Los valores de amplitudes sacados en el paso anterior nos servirán de comparación para sacar el factor de transformación de ganancias.
- 5.- Obtención de la curva de magnificación.

4.30 RAZON DE AMPLITUD

Llamamos razón de amplitud al coeficiente que se obtiene al efectuar el cociente de amplitudes reales entre la roca y el suelo. Para hallar el movimiento real (MRS) del suelo se usará :

$$MRS = \frac{A (mm) \times 1000}{Magnific.}$$

y la razón de amplitud será :

CURVAS DE MAGNIFICACION

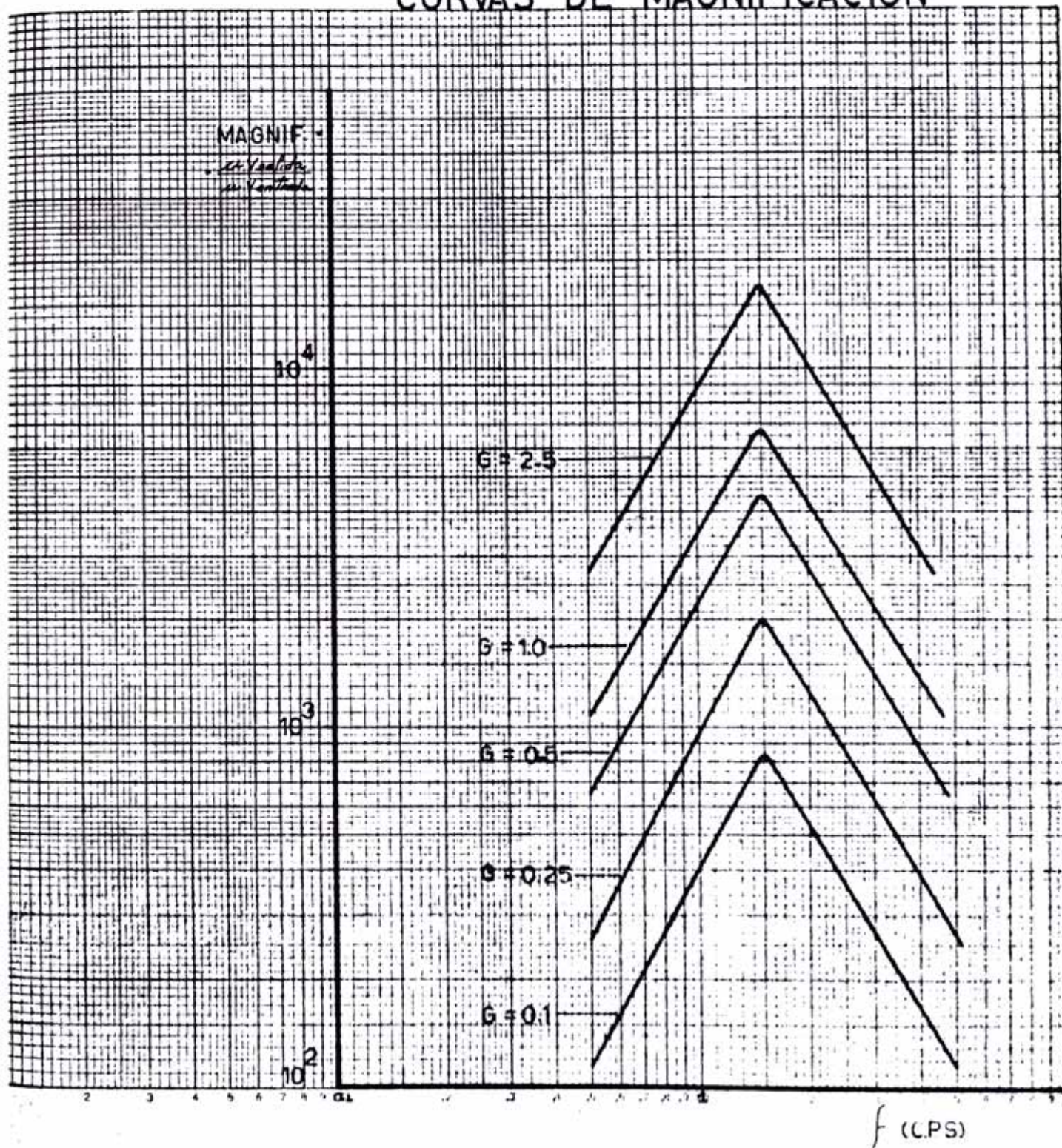


FIG 40

TABLA 2.- VALORES DE MAGNIFICACION

f	G = 0.1	G = 0.25	G = 0.50	G = 2.50
13.4				
10.0	36	80	190	720
8.0	49	118	260	980
6.7	72	165	370	1400
5.72	100	225	500	1900
5.00	118	270	600	2300
4.45	140	320	710	2700
4.00	170	400	860	3300
3.64	210	485	1050	4100
3.34	230	540	1180	4600
3.08	255	590	1280	5000
2.85	300	690	1500	5900
2.67	340	780	1700	6700
2.50	380	869	1860	7300
2.36	405	925	2000	7800
2.23	460	1050	2200	9000
2.10	500	1150	2500	9800
2.00	540	1250	2700	10500
1.95	590	1300	2900	11300

$$\frac{\text{MRS estac. móvil}}{\text{MRS estac. base}} = \frac{A}{A_0} = \frac{\frac{A_{\text{móvil}} \times 1000}{\text{Magnif. móvil}}}{\frac{A_{\text{base}} \times 1000}{\text{Magnif. base}}}$$

Luego:

$$\frac{A}{A_0} = \frac{A_{\text{est. móvil}} \times \text{Magnif. base}}{A_{\text{est. base}} \times \text{Magnif. móvil}}$$

En tablas 3 al 9 se muestran los valores hallados del M.R.S. de las diferentes estaciones sísmicas en la ciudad.

A la razón de amplitudes obtenidos del análisis de sísmos gramas lo llamaremos "Razón de amplitudes observadas", por cuanto se van a comparar estos valores con aquellas obtenidas por Kanai que llamaremos "Razones de amplitud calculadas". La razón de amplitudes observadas se muestran en las figuras 42 al 47.

En la Ciudad de Casma, en la aplicación de la teoría de Kanai se ha considerado que el suelo donde está construida la ciudad esta compuesto de solo un estrato cuya potencia varía según el punto de la ciudad; Kanai relacionó la amplitud del movimiento sísmico con la naturaleza del estrato superficial teniendo en consideración; la potencia del estrato, su densidad, velocidad de ondas transversales y la rigidez como los parámetros principales que controlan las características dinámicas del suelo y la amplificación se supone que es originada por la multireflexión de las ondas; para el desarrollo de esta teoría Kanai supone que las ondas se propagan en un plano vertical hacia arriba en un medio visco elástico semi-infinito donde una parte es transmitida y otra reflejada en el fondo basal de la superficie del estrato visco elástico y reflejada en la superficie libre.

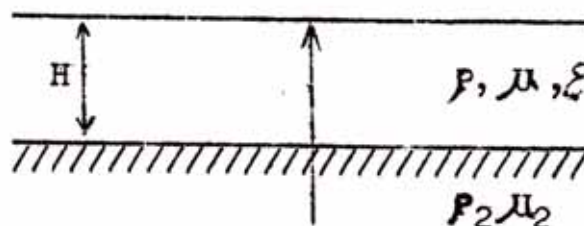


Fig. 41

Si H es el espesor del suelo, ρ la densidad, μ la rigidez, \mathcal{E} coeficiente de viscosidad del estrato, T el período de las ondas sísmicas, $\tilde{\tau}$ el amortiguamiento, T_0 el periodo predominante del suelo y α la impedancia sísmica, la ecuación que se obtiene es :

$$\frac{A}{A_0} = \frac{2}{\sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}} \quad \text{----- (4)}$$

En la cual:

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= \cos P \cosh Q + \alpha (R \cos P \sinh Q - S \sin P \cosh Q) \\ \rho_2 &= \sin P \sinh Q + \alpha (R \sin P \cosh Q + S \cos P \sinh Q) \end{aligned} \right\} (5)$$

En (5):

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{\pi T_0}{2T} M \cos(N) \\ Q &= \frac{\pi T_0}{2T} M \sin(N) \\ R &= M \cos(N) + \frac{\tilde{\tau}}{T} \sin(N) \\ S &= M \left[\frac{\tilde{\tau}}{T} \cos(N) - \sin(N) \right] \\ \alpha &= \frac{V_1 \rho_1}{V_2 \rho_2}; \quad T_0 = \frac{4H}{V_1} \end{aligned} \right\} \text{----- (6)}$$

En (6):

$$\left. \begin{aligned} M &= 1 - \left(\frac{\tilde{\tau}}{T} \right)^2^{-1/4} \\ N &= \frac{1}{2} \text{Tg}^{-1} \left(\frac{\tilde{\tau}}{T} \right) \\ \tilde{\tau} &= \frac{2\pi \mathcal{E}_1}{\mu_1} \end{aligned} \right\} \text{----- (7)}$$

TABLA 3

DATOS: FECHA: 28/10/70
HORA: 19h. 55m.

T	f	BASE G = 0.5			MOVIL G = 0.25			MRS MOVIL MRS BASE
		A (m.m)	MAGNIF.	M. R. S	A (m.m)	MAGNIF.	M. R. S	
0.100	10.0	4.00	190	21.1	2.00	80	25	1.20
0.125	8.0	4.50	260	17.3	4.00	118	33.90	1.96
0.150	6.7	5.25	370	14.2	4.00	165	24.20	1.66
0.175	5.72	4.50	500	9.0	4.00	225	17.80	1.98
0.200	5.00	4.50	600	7.5	6.00	270	22.20	2.97
0.225	4.45	9.00	710	12.7	8.00	320	25.00	1.97
0.250	4.00	3.00	860	3.50	4.50	400	11.30	3.33
0.275	3.64	1.75	1050	1.67	3.50	435	7.22	4.33
0.300	3.34	2.50	1180	2.12	6.00	540	11.10	5.22
0.325	3.08	3.50	1280	2.73	6.00	590	10.15	3.73
0.350	2.85	4.00	1500	2.67	5.00	690	7.25	2.75
0.375	2.67	3.00	1700	1.76	3.50	780	4.48	2.54
0.400	2.50	2.50	1860	1.34	3.00	860	3.48	2.59
0.425	2.36	2.00	2000	1.00	4.00	925	4.32	4.32
0.450	2.23	2.00	2250	0.90	5.00	1050	4.75	5.30
0.475	2.10	2.00	2500	0.80	4.50	1150	3.92	4.90
0.500	2.00	2.00	2700	0.74	4.00	1250	3.20	4.33

TABLA 4

DATOS: FECHA: 28/10/70
HORA: 21h.41m.

T	f	BASE G = 0.5			MOVIL G = 0.5			MRS MOVIL MRS BASE
		A (m.m)	MAGNIF.	M. R. S	A (m.m)	MAGNIF	M. R. S	
0.075	13.4	2.000	130	15.6	5.00	130	30.5	1.50
0.100	10.0	10.00	190	51.6	8.50	190	44.8	0.85
0.125	8.0	8.00	260	30.7	16.50	260	60.3	2.06
0.150	6.7	8.00	370	21.6	14.50	370	39.2	1.81
0.175	5.72	8.00	500	16.0	18.00	500	30.0	2.25
0.200	5.00	8.00	600	13.8	15.50	600	25.8	1.94
0.225	4.45	13.00	710	18.3	17.50	710	24.0	1.35
0.250	4.00	9.00	860	11.4	14.00	860	10.2	1.56
0.275	3.64	14.00	1050	13.7	19.00	1050	18.1	1.36
0.300	3.34	20.50	1180	17.4	20.00	1180	16.9	0.98
0.325	3.08	12.50	1280	9.8	11.50	1280	9.2	0.92
0.350	2.85	6.00	1500	4.0	12.00	1500	8.0	2.00
0.375	2.67	12.50	1700	7.35	15.00	1700	8.0	1.20
0.400	2.50	7.00	1860	3.76	17.50	1860	9.4	2.50
0.425	2.36	14.00	2000	7.00	8.50	2000	4.25	0.61

TABLA 5

DATOS: FECHA: 28/10/70
HORA: 15h. 37m.

T	f	BASE G = 0.5			MOVIL G = 0.25			MRS MOVIL MRS BASE
		A (m.m)	MAGNIF	M. R. S	A (m.m)	MAGNIF.	M. R. S	
0.100	10.00	1.5	190	7.80	1.00	80	12.5	1.61
0.125	8.00	1.75	260	0.35	1.75	118	14.8	2.33
0.150	6.70	2.00	370	5.40	1.50	165	9.10	1.68
0.175	5.72	0.75	500	1.50	2.50	225	11.10	7.45
0.200	5.00	0.75	600	1.25	1.00	270	3.70	2.90
0.225	4.45	1.00	710	1.41	2.00	320	6.20	4.44
0.250	4.00	1.00	860	1.16	2.25	400	5.62	4.85
0.275	3.64	2.00	1050	1.91	0.50	4.85	1.03	0.54
0.300	3.34	1.25	1180	1.04	1.00	540	1.83	1.78
0.325	3.08	3.00	1280	2.34	2.50	590	4.24	1.81
0.350	2.85	2.00	1400	1.43	2.50	650	3.85	2.68

TABLA 6

DATOS: FECHA: 26/10/70
HORA: 19h. 36m.

T	f	BASE G = 2.5			MOVIL G = 0.50			MRS MOVIL MRS BASE
		A (m.m)	MAGNIF.	M. R. S	A (m.m)	MAGNIF.	M. R. S	
0.200	5.00	1.5	2300	0.65	2.50	600	4.17	6.40
0.225	4.45	1.0	2700	0.37	3.00	710	4.22	11.40
0.250	4.00	1.25	3300	0.30	3.00	860	3.50	9.20
0.275	3.64	1.50	4100	0.36	2.50	1050	2.38	6.52
0.300	3.34	1.75	4600	0.30	2.50	1180	2.54	6.60
0.325	3.08	1.50	5000	0.30	3.00	1280	2.70	9.00
0.350	2.85	1.00	5900	0.17	4.00	1500	2.66	15.00
0.375	2.67	1.10	6700	0.16	6.50	1700	3.83	12.30
0.400	2.50	1.25	7300	0.17	5.00	1860	2.96	17.40
0.425	2.36	2.00	7800	0.26	9.00	2000	4.50	17.55
0.450	2.23	3.50	9000	0.37	7.00	2200	3.18	9.60
0.475	2.10	4.25	9800	0.43	9.50	2500	3.80	8.76
0.500	2.00	4.25	10500	0.40	6.00	2700	2.22	5.48
0.525	1.90	4.25	11300	0.37	4.50	2900	1.55	4.12
0.550	1.82	4.50	12500	0.35	6.00	3150	1.90	5.22
0.575	1.74	5.00	13500	0.37	6.25	3400	2.13	5.76
0.600	1.67	5.00	14400	0.34	7.25	3700	2.16	6.23
0.625	1.60	5.10	14800	0.31	8.00	3800	2.24	6.40
0.650	1.54	5.30	16500	0.34	8.50	4200	2.02	6.20
0.675	1.48	5.40	16000	0.35	8.50	4100	1.83	5.42
0.700	1.43	3.50	15500	0.23	7.50	4000	1.63	4.60

TABLA 7

DATOS: FECHA: 26/10/70
HORA: 19h. 14m.

T	f	BASE G = 2.5			MOVIL G = 0.5			MRS MOVIL MRS 500
		A (m.m)	MAGNIF.	M.R.S	A (m.m)	MAGNIF.	M.R.S	
0.100	10.0	3.0	720	4.17	3.0	190	15.8	3.80
0.125	8.0	2.0	980	2.05	5.0	260	19.2	9.35
0.150	6.7	4.5	1400	3.21	6.5	370	17.6	5.58
0.175	5.72	3.5	1900	1.85	4.0	500	8.0	4.35
0.200	5.00	3.5	2300	1.52	3.0	600	5.0	2.28
0.225	4.45	3.0	2700	1.12	4.0	710	5.5	5.00
0.250	4.00	2.5	3300	0.76	4.5	860	5.3	6.80
0.275	3.64	3.0	4100	0.73	6.5	1050	6.2	8.50
0.300	3.34	6.0	4600	1.30	8.0	1180	6.7	5.20
0.325	3.08	3.5	5000	0.70	4.0	1280	3.12	4.45
0.350	2.85	3.5	5900	0.60	3.0	1500	2.00	3.18
0.375	2.67	5.0	6700	0.75	2.0	1700	1.18	1.64
0.400	2.50	4.0	7300	0.60	1.5	1860	0.806	1.47
0.425	2.36	4.0	7800	0.512	1.5	2000	0.75	1.46
0.450	2.23	3.5	9000	0.39	2.0	2200	0.91	2.22
0.475	2.10	3.25	9800	0.332	2.25	2500	0.90	2.72
0.500	2.00	3.00	10500	0.28	2.50	2700	0.93	3.23
0.525	1.90	2.60	11300	0.23	2.75	2900	0.95	4.00

TABLA 8

DATOS: FECHA: 30/10/70
HORA: 3h. 14m.

T	f	BASE G = 0.5			MOVIL G = 0.1			MRS MOVIL MRS BASE
		A (m.m)	MAGNIF.	M. R.S	A (m.m)	MAGNIF.	M. R.S	
0.075	13.4	1.00	130	7.70	1.25	25	50	6.50
0.100	10.0	3.00	190	15.80	2.00	36	55.5	3.50
0.125	8.0	6.50	260	25.00	2.00	49	40.8	1.60
0.150	6.7	3.50	370	10.90	2.00	72	30.6	2.82
0.175	5.72	6.00	500	12.00	1.75	100	17.5	1.46
0.200	5.00	5.00	600	8.33	4.00	118	32.8	4.06
0.225	4.45	3.50	710	4.94	1.00	140	7.15	1.45
0.250	4.00	6.50	860	7.06	2.00	170	10.80	1.54
0.275	3.64	4.00	1050	3.82	1.90	210	9.05	2.37
0.300	3.34	9.00	1180	7.62	1.75	230	7.60	1.00
0.325	3.08	6.00	1280	4.68	1.50	255	5.90	1.26
0.350	2.85	4.00	1500	2.56	3.00	300	9.70	3.77
0.375	2.67	6.50	1700	3.83	3.00	340	8.82	2.30
0.400	2.50	10.00	1860	5.28	2.75	380	7.25	1.35

TABLA 9

DATOS: FECHA: 29/10/70
HORA: 20h. 34m.

T	f	BASE G = 0.5			MOVIL G = 0.1			MRS MOVIL
		A (m.m)	MAGNIF.	M. R. S	A (m.m)	MAGNIF.	M. R. S	MRS BASE
0.100	10.0	9.0	190	47.3	6.50	36	180.0	3.80
0.125	8.00	11.0	260	42.3	6.00	49	122.00	2.88
0.150	6.7	8.0	370	21.6	6.75	72	94	4.33
0.175	5.72	20.0	500	40.0	6.50	100	65	1.63
0.200	5.00	8.5	600	14.2	10.50	118	37.2	5.85
0.225	4.45	13.5	710	19.0	4.50	140	32.2	1.69
0.250	4.00	17.0	800	19.8	9.00	170	53.0	2.73
0.275	3.64	19.0	1050	18.1	10.50	210	50.0	2.76
0.300	3.34	10.5	1180	14.0	7.50	230	32.6	2.33
0.325	3.08	22.5	1280	17.6	11.50	255	45.2	2.50
0.350	2.85	18.5	1500	11.85	7.00	300	22.6	1.90
0.375	2.67	22.5	1700	13.25	9.00	340	26.5	2.00
0.400	2.50	21.5	1860	11.55	11.00	380	29.0	2.50
0.425	2.36	21.0	2000	10.00	11.00	405	27.2	2.58
0.450	2.23	19.5	2250	8.30	12.50	460	26.2	3.15
0.475	2.10	18.5	2500	7.40	13.00	500	26.0	3.52
0.500	2.00	18.0	2700	6.67	12.50	540	23.2	3.48
0.525	1.95	17.0	2900	5.86	12.00	570	20.4	3.47

FUNDO LA LAMPARA

HORA 21^h 41^m

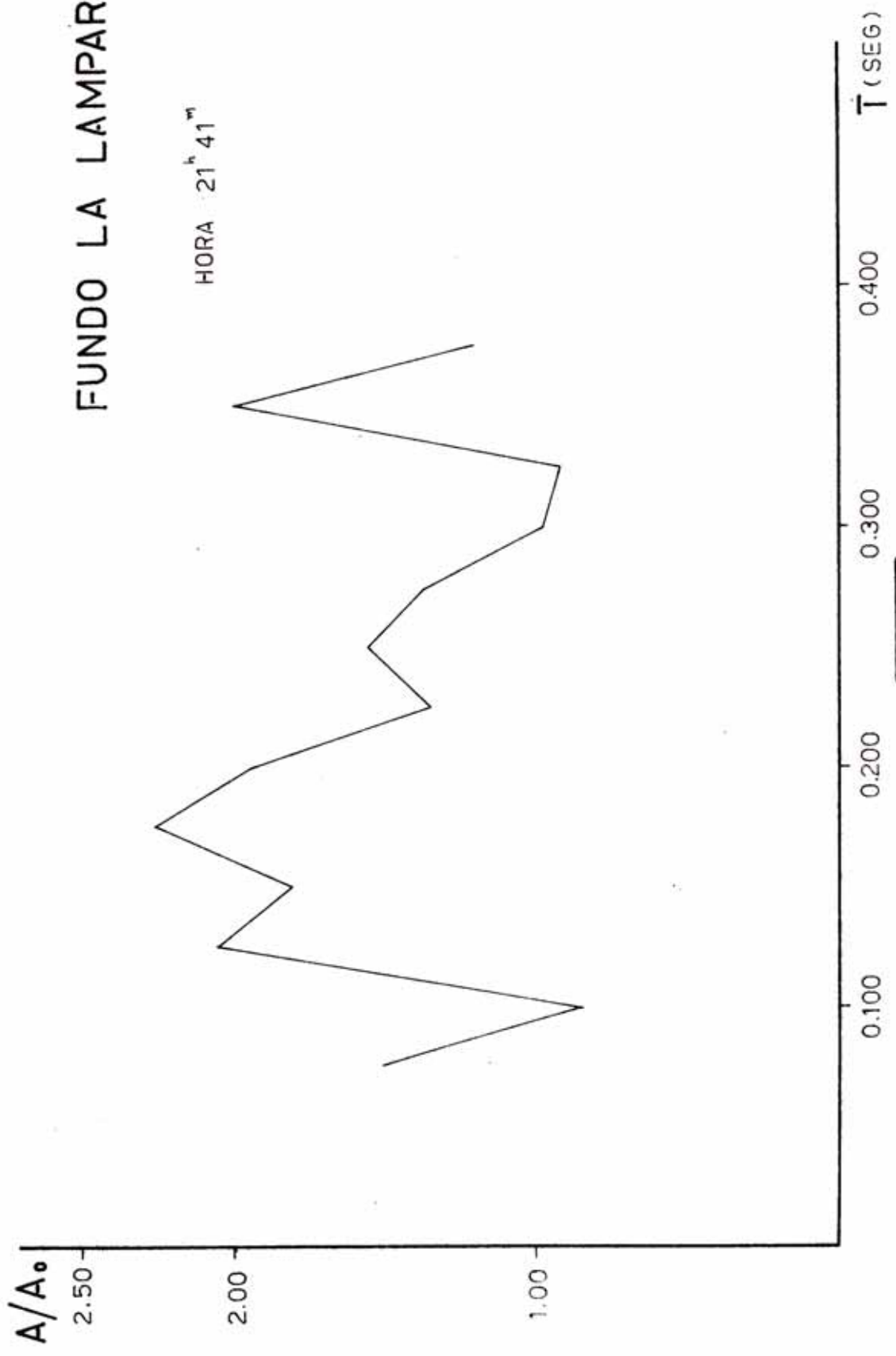


FIG 42

FUNDO LA LAMPARA

HORA : 19^h 55^m

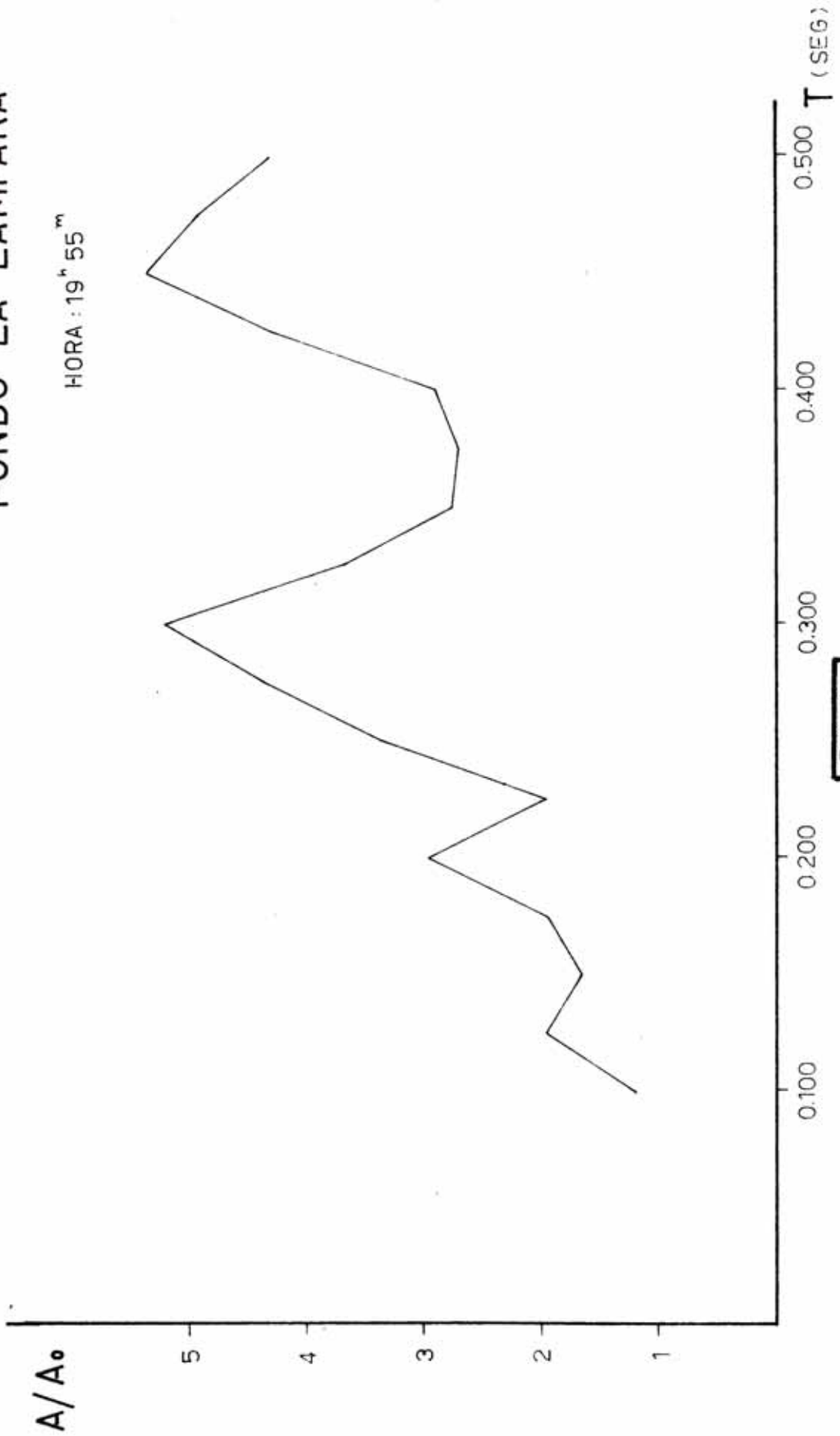


FIG 43

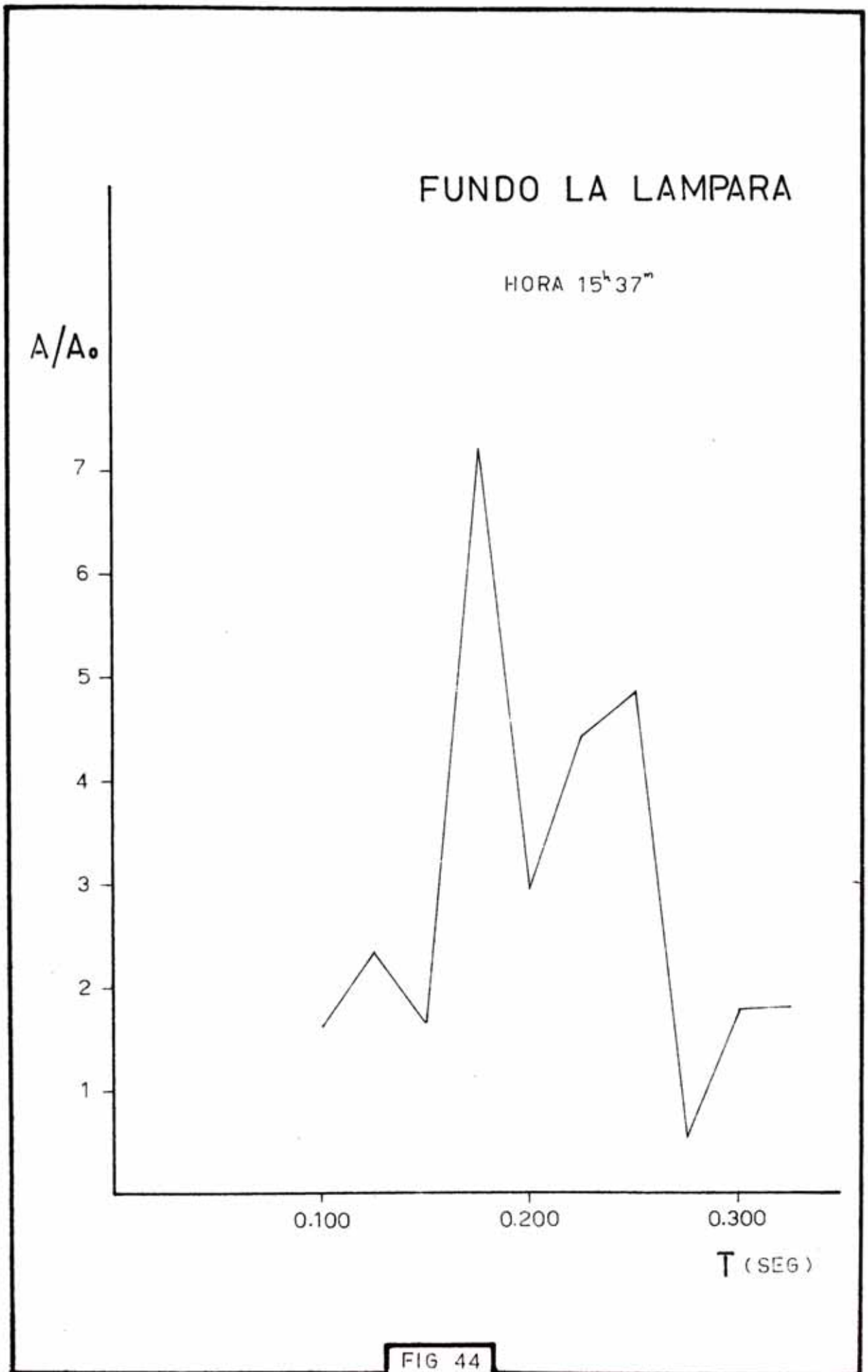


FIG 44

MOLINO FUNG TAC

HORA 19^h 14^m

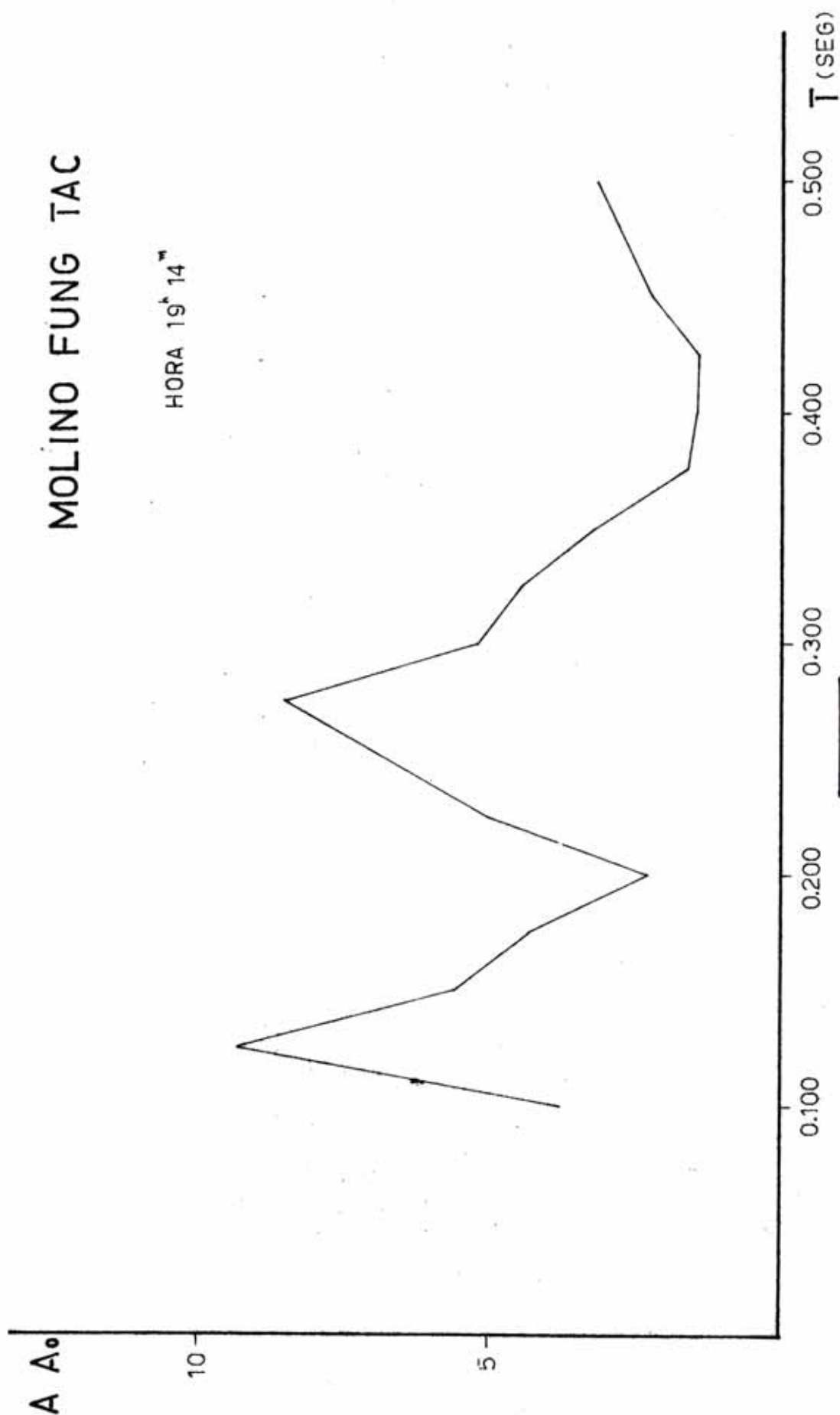


FIG 45

MOLINO FUNG TAC

HORA: 19^h 34^m

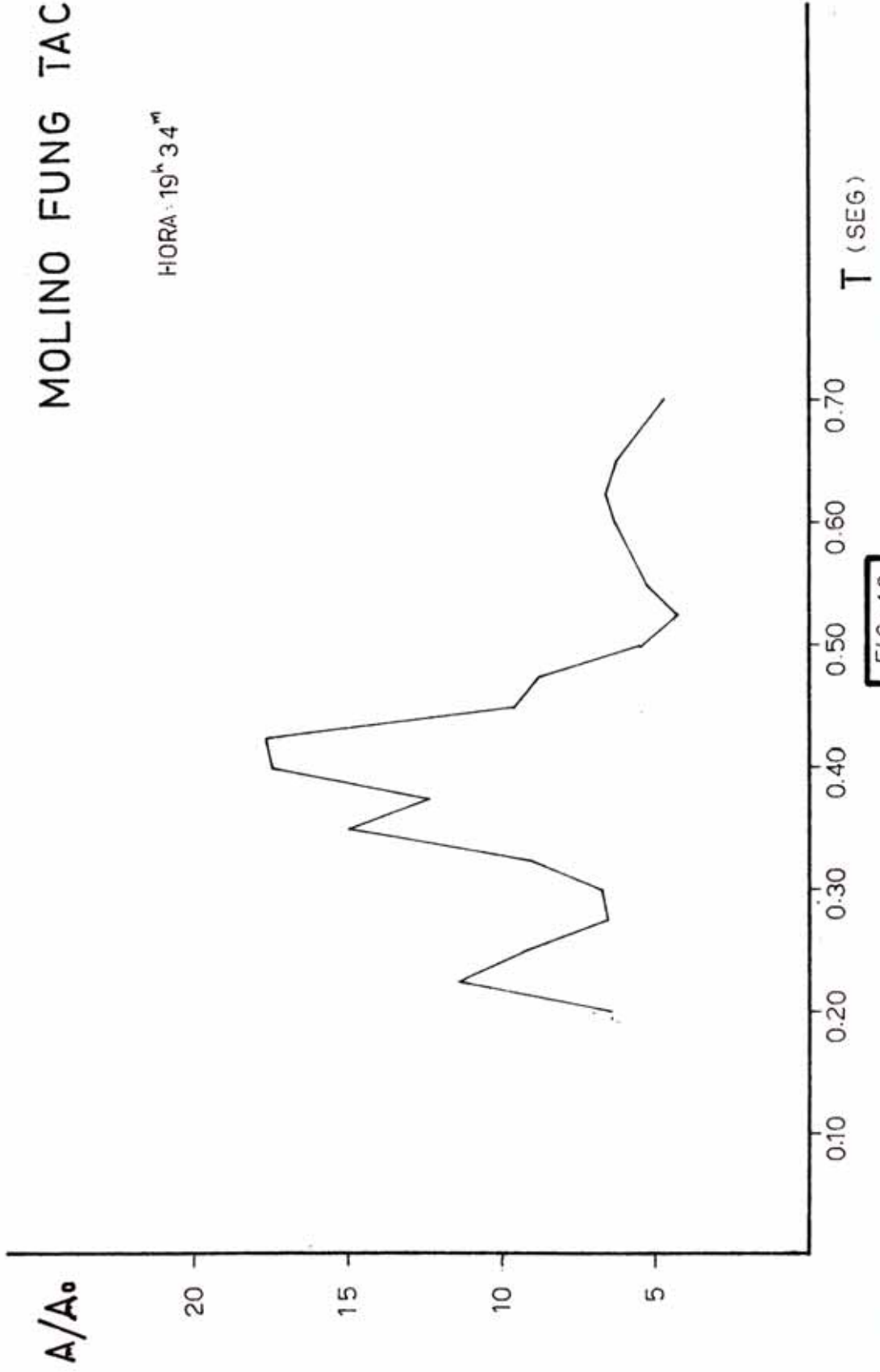


FIG 46

PLAZA DE ARMAS

HORA: 20^h34^m

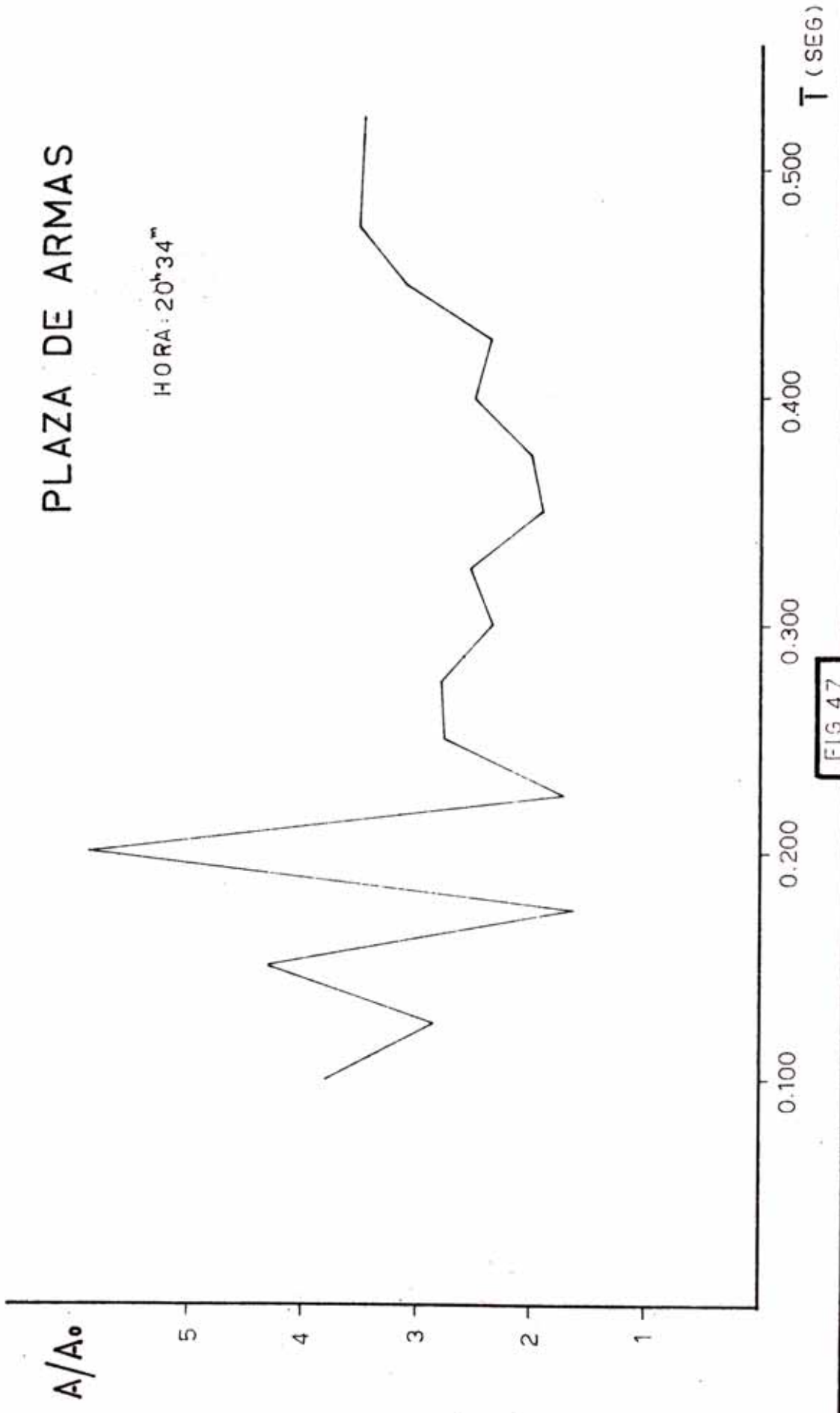


FIG 47

PLAZA DE ARMAS

HORA 03^h14^m

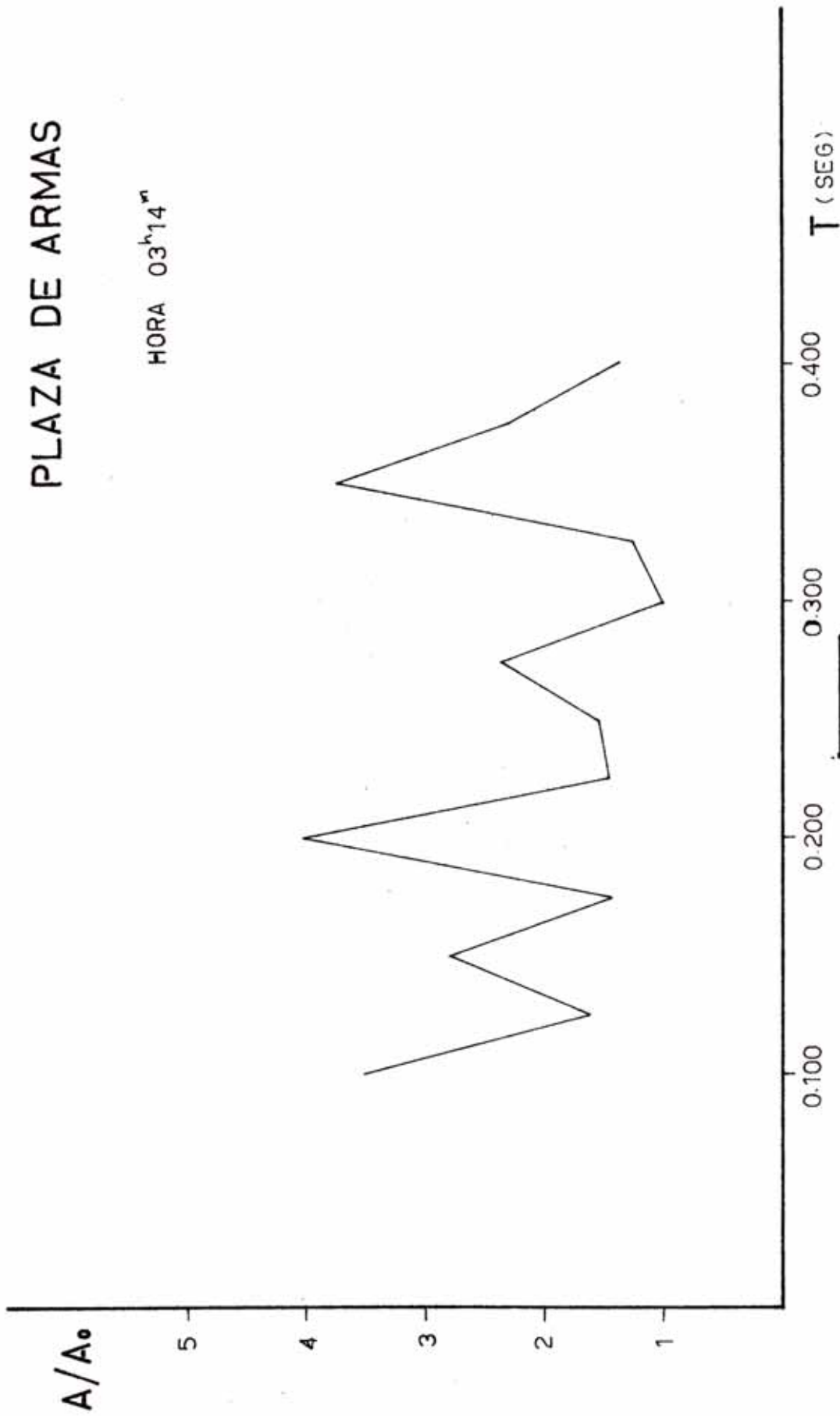


FIG 48

4.40 CONSTANTES CARACTERISTICAS DEL SUELO : α , τ

A partir de la ecuación (4) la que nos dará la curva teórica y que se deberá aproximar a la curva de razones de amplitud observadas mediante el incremento finito, haciéndose variar los valores de α y τ así tenemos que:

$$A_{obs} = A_{teo} + \Delta A_{teo}$$

y los incrementos serán :

$$\Delta A_{teo} = \frac{\partial A_{teo}}{\partial \alpha} + \frac{\partial A_{teo}}{\partial \tau}$$

para ajustar estas dos curvas se hace por el método de mínimos cuadrados

$$S = \sum_{i=1}^n (A_{obs\ i} - A_{teo\ i} - \Delta A_{teo\ i})^2$$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

Para efectuar este cálculo se ha realizado por medio de computadora, programa confeccionado por los Ingenieros Ernesto Deza y Antonio Flores, en la cual se dan valores iniciales de α y τ y mediante proceso iterativo de ajuste por mínimos cuadrados se toma valor final α y τ . Aquella en la cual la raíz mediacuadrática (RMS) es menor, cuyos resultados se muestran en las tablas 10, 11 y 12.

El programa efectuado está en el apéndice y los valores obtenidos ha sido graficados como se muestran en las fig.: 49 al 51.

En el gráfico correspondiente a la estación " Fundo la Lampara se puede

TABLA 10 - FUNDO " LA LAMPARA "

PUNTO	PERIODO SEG.	RAZON DE AMPL. OBS.	RAZON DE AMPL. CAL.	DIFERENCIA
1	0.025	0.0	0.130	-0.130
2	0.050	0.0	0.593	-0.593
3	0.075	1.667	1.036	0.631
4	0.100	1.000	1.413	-0.413
5	0.125	1.700	1.710	-0.010
6	0.150	1.760	1.902	-0.142
7	0.175	2.160	2.006	0.154
8	0.200	2.283	2.055	0.228
9	0.225	1.557	2.075	-0.518
10	0.250	2.150	2.080	0.070
11	0.275	2.350	2.079	0.271
12	0.300	2.293	2.074	0.319
13	0.325	1.857	2.069	-0.212
14	0.350	2.250	2.063	0.187
15	0.375	1.647	2.057	-0.411
16	0.400	2.530	2.052	0.478
17	0.425	1.847	2.048	-0.201
RMS =	0.3338E	00		
ALF =	0.8398E	00		
TAU =	0.5135E	01		

TABLA II.- MOLINO FUNG TAC

PUNTO	PERIODO SEG.	RAZON DE AMPL. OBS	RAZON DE AMPL. CAL	DIFERENCIA
1	0.025	0.0	0.932	-0.932
2	0.050	0.0	2.043	-2.043
3	0.075	0.0	2.317	-2.317
4	0.100	3.800	4.908	-1.108
5	0.125	9.350	8.208	1.142
6	0.150	5.580	5.379	0.201
7	0.175	4.350	3.939	0.411
8	0.200	2.283	3.280	-0.997
9	0.225	1.557	2.920	-1.364
10	0.250	2.150	2.700	-0.550
11	0.275	2.350	2.553	-0.203
12	0.300	2.393	2.449	-0.056
13	0.325	1.857	2.373	-0.516
14	0.350	2.250	2.315	-0.065
15	0.375	1.647	2.270	-0.624
16	0.400	1.470	2.235	-0.765
17	0.425	1.460	2.206	-0.746
18	0.450	2.220	2.182	0.038
19	0.75	2.720	2.162	0.558
20	0.500	3.230	2.145	1.085
21	0.525	4.000	2.131	1.869
RMS -	0.8766E 00			
ALF -	0.1798E 00			
TAU -	0.9379E-02			

TABLA 12.- PLAZA DE ARMAS

PUNTO	PERIODO SEG.	RAZON DE AMPL. OBS.	RAZON DE AMPL. CAL	DIFERENCIA
1	0.025	0.00	0.266	-0.266
2	0.050	0.0	0.948	-0.948
3	0.075	0.0	1.682	-1.682
4	0.100	3.650	2.378	1.272
5	0.125	2.240	2.677	-0.437
6	0.150	2.820	2.656	0.164
7	0.175	2.545	2.548	-1.003
8	0.200	1.600	2.444	-0.844
9	0.225	1.570	2.360	-0.790
10	0.250	3.010	2.296	0.714
11	0.275	2.565	2.247	0.318
12	0.300	1.665	2.208	-0.543
13	0.325	1.910	2.178	-0.268
14	0.350	2.835	2.154	0.681
15	0.375	2.150	2.134	0.016
16	0.400	1.925	2.118	-0.193
RMS	--	0.7400E	00	
ALF	-	0.4826E	00	
TAU	-	0.4544E	- 01	

FUNDO LA LAMPARA

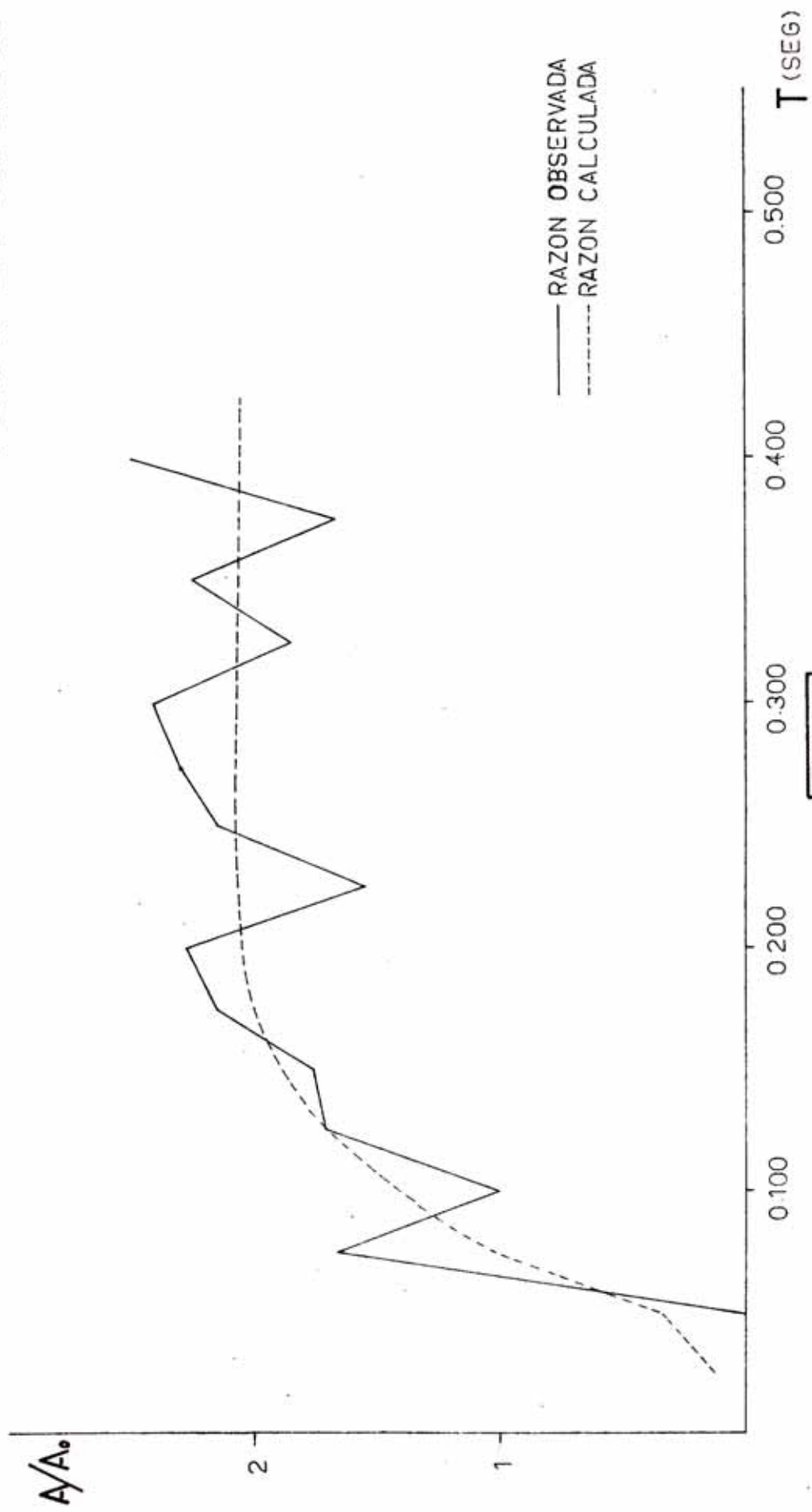


FIG 49

MOLINO FUNG TAC

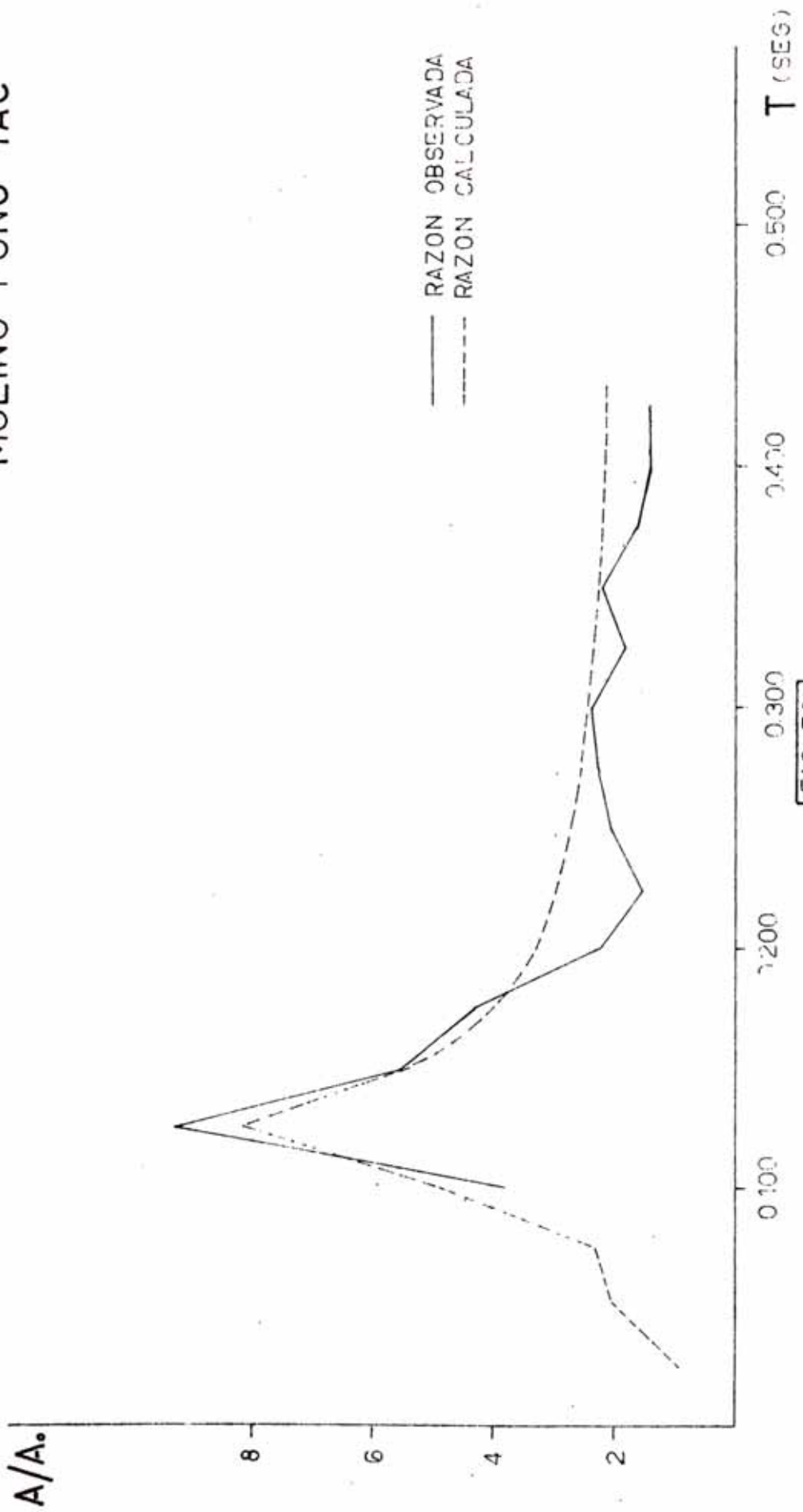


FIG 50

PLAZA DE ARMAS

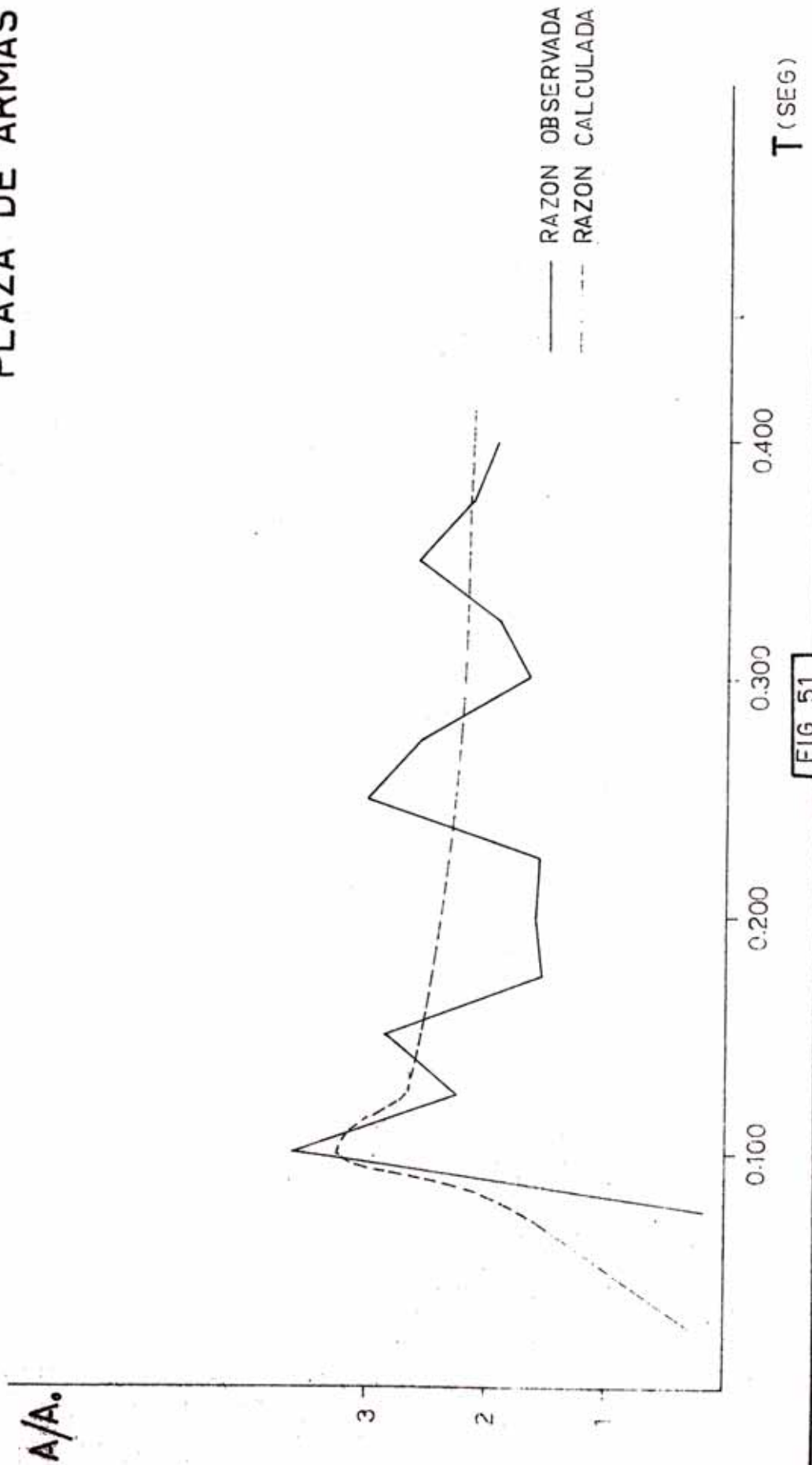


FIG 51

apreciar que la amplificación del suelo es de 2 veces para períodos mayores a 0.175 seg., para períodos menores que el mencionado las amplitudes calculadas decrecen rápidamente; para el período correspondiente al período predominante del suelo las razones calculada y observada han coincidido e igual a 1.7 .

El valor de la impedancia sísmica encontrado es de 0.340 que nos indica que el suelo es de buena calidad. Para conceptos prácticos se puede generalizar diciendo que la amplificación del suelo en éste punto es de 2.

La fig. : 50 que corresponde al punto de nominado "Molino Fung Tac " se observa que las amplificaciones alcanzan a 3 veces que para un punto cuyo período predominante de suelo es de 0.12 seg. se considera que es un valor muy alto por lo cual se supone que hay errores de tipo instrumental o humano razón por la cual se dejará de considerar el valor de la impedancia sísmica obtenida e igual a 0.130 y de este modo evitar posibles errores futuros o llegar a resultados falsos.

La fig. 51 que corresponde a la " Plaza de Armas muestra que la razón de amplificación calculada está entre 2 y 2.5 exceptuando a los períodos cercanos al período predominante del suelo en la cual las amplitudes son mayores alcanzando valores hasta 3.2. La impedancia sísmica con la cual las 2 curvas se ajustan mejor es de 0.483.

4.50 FORMULA SEMIEMPIRICA DE KANAI PARA LA ACELERACION

Partiendo del hecho de que todo suelo amplifica en mayor o menor proporción las ondas incidentes se puede dar la siguiente expresión :

$$a_{\text{suelo}} = a_{\text{roca}} \times \text{amplificación} \quad \text{-----} (7)$$

Además, podemos relacionar la magnitud, distancia epicentral y la máxima amplitud ¹² como :

$$\text{Log } A_m = M - 1.73 \log \Delta + 0.83 \quad \text{-----} (10)$$

donde Δ en Kms y A_m en micrones.

Igualando el log de (2), y en el caso especial para $\Delta = 100$ Kms. en (10) tenemos :

$$\text{Log } T_m = 0.32 M - 1.7 \quad \text{-----} (11)$$

De (10) y (11) :

$$\text{Log } \frac{A_m}{T_m} = 0.61 M - 1.73 \text{ Log } \Delta + 2.53 \quad \text{-----} (12)$$

Si equipartimos energía, aplicando a las ondas sísmicas, esto es :

$$\frac{A_m}{T_m} = \frac{A}{T} = \text{cte.}$$

La amplitud en cm., el cual corresponde a cada periodo T de ondas sísmicas, se puede expresar :

$$A = 10^{0.61 M - 1.73 \log \Delta - 1.47/T} \quad \text{----- (13)}$$

luego la aceleración en roca expresado en gal ó cm/seg^2 :

$$a = \frac{10^{0.61 M - 1.73 \log \Delta + 0.13}}{T} \quad \text{----- (14)}$$

Por otro lado, conociendo las características sísmicas del suelo por medio de análisis de los sismogramas y microtrepidaciones, realizando análisis estadístico de daños sísmicos Kanai ¹³ llega a la siguiente fórmula semi-empírica para determinar las características sísmicas del suelo consistente en un solo estrato que descansa sobre un medio semi infinito :

$$\text{Amplificac} = 1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{1+\alpha}{1-\alpha} \left[1 - \left(\frac{T}{T_0} \right)^2 \right]^2 + \left[\frac{0.3}{\sqrt{T_0}} \left(\frac{T}{T_0} \right) \right]^2}} \quad \text{---(15)}$$

En donde T y T_0 representan el período de la onda sísmica y el período predominante del suelo respectivamente.

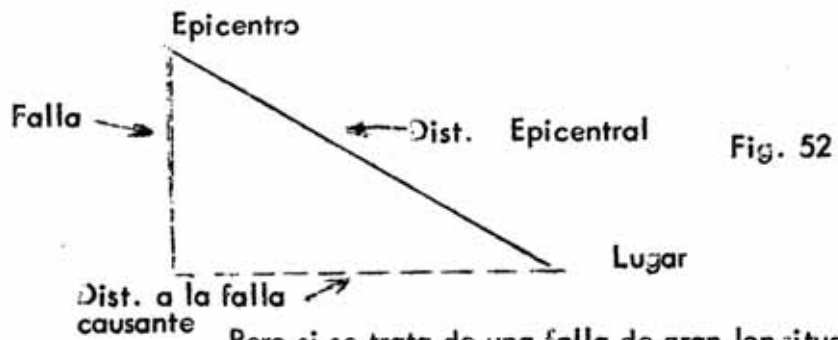
De (15) y (16) en (9) tenemos :

$$a = \frac{10^{0.61 M - 1.73 \log \Delta + 0.13}}{T} \times \left\{ 1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{1+\alpha}{1-\alpha} \left[1 - \left(\frac{T}{T_0} \right)^2 \right]^2 + \left[\frac{0.3}{\sqrt{T_0}} \left(\frac{T}{T_0} \right) \right]^2}} \right\} \quad \text{---(16)}$$

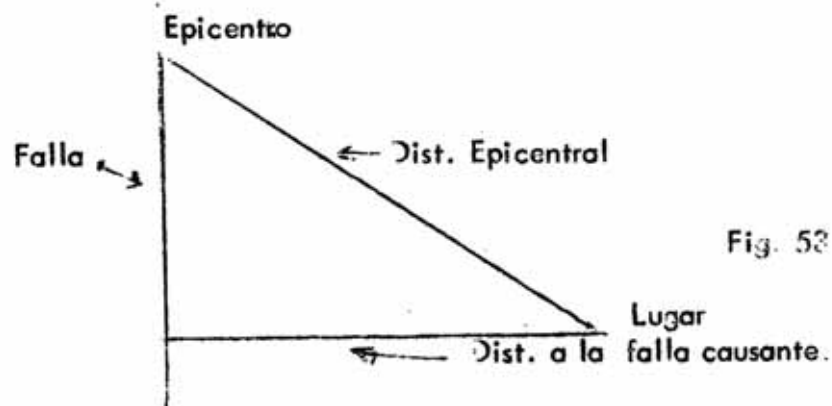
4.51 DISTANCIA EPICENTRAL

Después de muchos terremotos se ha creído como origen de los terremotos al resultado de un fallamiento.

Si el fallamiento es corto en longitud la distancia significativa al sitio de la zona de liberación de energía puede ser expresado por la distancia epicentral como se muestra en la fig: 52



Pero si se trata de una falla de gran longitud, la distancia epicentral nos puede llevar a grandes errores, tal como se muestra en la fig. 53.



El lugar está a considerable distancia del epicentro, de donde se inició el fallamiento, pero solo a corta distancia de la zona de liberación de energía cuando la falla ha progresado, en tal caso, la distancia que se debe de considerar sería la distancia más próxima a la falla, llamada distancia a la falla causante ¹⁰.

Por lo tanto, si hacemos la misma consideración en profundidad podemos obtener la real distancia a la falla causante y en el caso específico de la ciudad de Casma lo podemos estimar como la menor distancia en 25 Km.

4.51 CALCULO DE LAS ACELERACIONES Y EL COEFICIENTE C

Partiendo de la fórmula semi-empírica de Kanai - (expresión 16) se ha elaborado un programa de computadora, lenguaje WATFIV, tal como se muestra en el apéndice mediante la cual para efecto de los cálculos se hace un juego de 2 parámetros : magnitud y distancia epicentral. Los valores de la impedancia sísmica a considerar son : para fundo la Lampara 0.840 y Plaza de Armas 0.493.

De los resultados obtenidos de este programa se procede a hacer una gráfica de T vs aceleración tal como se muestra en la figura - 54, seguidamente, se efectuó la envolvente de todas las curvas y que a continuación se hallará la ley matemática que rige a esta curva :

Asemejándola a una curva conocida, en este caso a una hipérbola equilátera cuya expresión es :

ESPECTRO DE ACELERACIONES

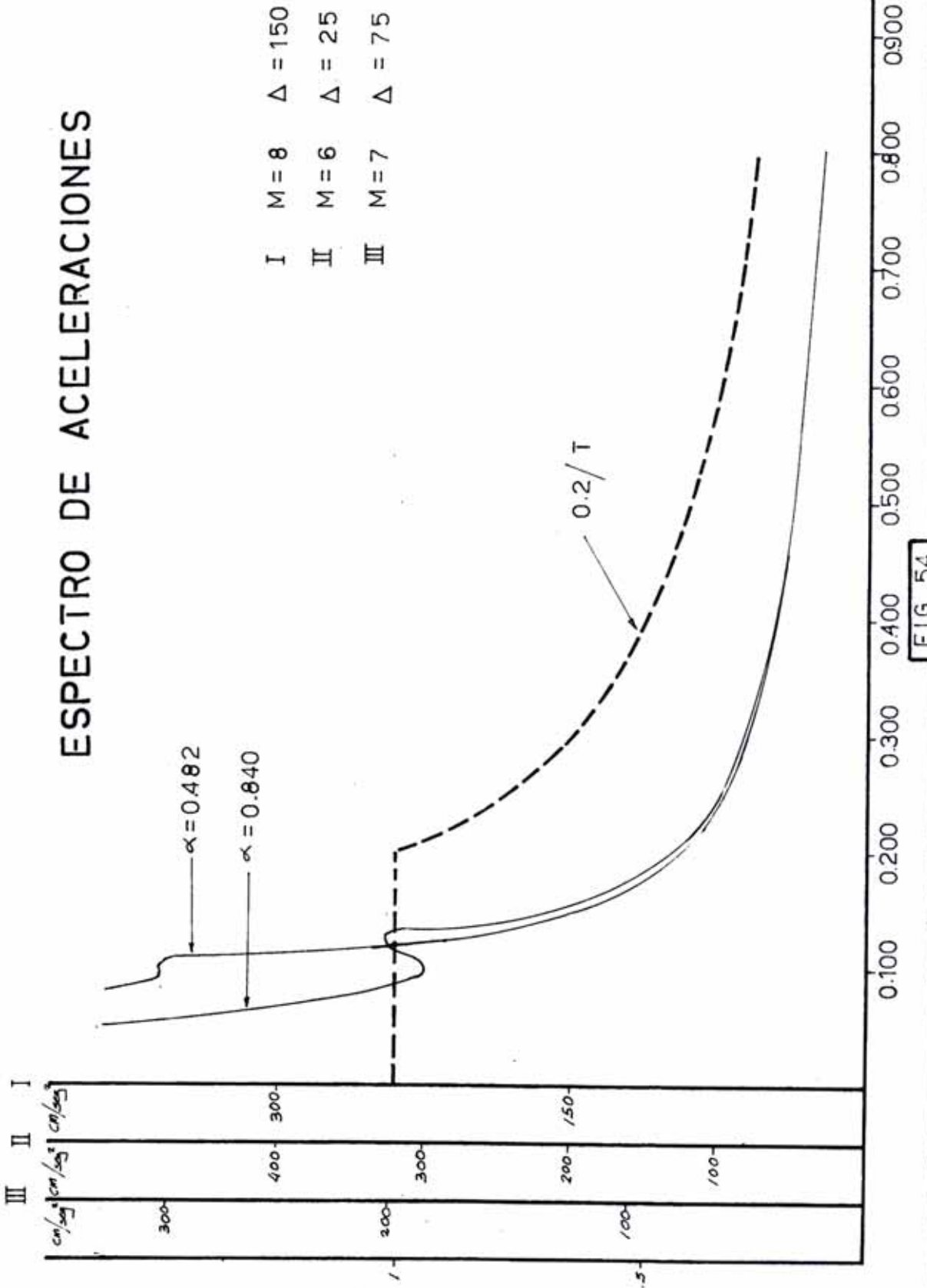


FIG 54

$$x y = \frac{a^2}{2}$$

Del cual se obtiene el valor del coeficiente $C_1 = 0,20/T$.

La respuesta espectral aproximada se podrá estimar a través de la estadística sísmica o historia sísmica del sismo destructivo más probable a ocurrir en la zona, dicho sismo podría ser uno de $M = 7$ y distancia epicentral de 75 Km. La envolvente normalizada del espectro tiene un valor máximo de 0.2 g.

Por lo que el coeficiente sísmico "C" para el valor máximo normalizado de 0.2 g será :

$$C = (0.20 / T) \cdot 0.2$$

$$C = 0.040/T.$$

4.50 CONCLUSIONES

- El valor del coeficiente sísmico "C" es $0.040/T$, donde T es el período fundamental de vibración de la estructura cuyo valor está normalizado por el reglamento general de construcciones.
- De los análisis y comparaciones de los sismogramas registrados se ve que las amplitudes en el suelo son mayores hasta 2.5 veces que sobre la roca.
- De la historia sísmica se puede decir que el sismo de mayor probabilidad que pudiera ocurrir con efectos destructivos es de magnitud 7 y distancia epicentral 75 Kms.

- Los periodos que son cercanos al periodo predominante del suelo tienen en sus amplitudes correspondientes mayor amplificación.

CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

- Las edificaciones en la ciudad de Casma pueden efectuarse sobre la mayor parte del valle con excepción a las cercanías de los afloramientos rocosos por ser una zona llamada de contacto porque según experiencias de otros países se afirma que alcanzan grandes amplitudes durante un movimiento sísmico, otra zona que no es recomendable la edificación son las partes cercanas al río Casma por donde hay desbordes periódicamente por lo que puede producir asentamientos diferenciales del suelo bajo la edificación.

- Las zonas antes mencionadas, no recomendables para las edificaciones, pueden ser destinadas para áreas verdes o vías de circulación.

- La mayor parte de las construcciones destruidas durante el sismo del 31 de Mayo de 1970 fueron por consecuencia de un mal diseño o estructuración y no se ha tenido criterio sismoresistente, la mayoría de las construcciones afectadas son de adobes los cuales son impropias en una zona sísmica.

Se recomienda iniciar un programa de concientización sísmica en la población como así mismo dentro de los planes de enseñanza escolar.

- Para el uso del adobe como material de construcción se debe reglamentar su utilización dando normas como especificación de tamaño, mezcla, forma de prepararlo, altura máxima de construcción, ancho de las calles.
- La arquitectura de las casas se deben diseñar de tal manera que permita a sus moradores tener fácil acceso a las salidas y no se conviertan en trampas para ellos.

- Para las futuras construcciones, hacer un estudio detenido de las principales fallas en la zona afectada para así poder mejorar las técnicas y así mismo evitar los errores cometidos
- En la medida de lo posible aliviar las estructuras en las partes superiores como así mismo evitar elementos superfluos e innecesarios tales como cornisas, menúsallas, techumbres inutilmente altas, y en general las decoraciones sobrepuestas que representan en potencia grietas y desprendimientos que pueden atentar contra la vida de los habitantes.
- La homogeneidad de la estructura influirá de manera importante en los elementos resistentes así como el adecuado empleo y calidad de los materiales especificados. La falla de un material puede producir, en el elemento respectivo, una zona de resistencia mas baja que lo tolerable, exponiendo al fracaso al conjunto completo.
- El conocimiento de las cualidades y características del suelo de fundación es de gran utilidad y poder dimensionar adecuadamente los cimientos de edificios que pudieran estar sometidos al impacto, del sismo. Un buen cimiento representa una economía en los gastos de conservación de la estructura y un alto grado de seguridad en su funcionamiento. Por lo tanto, es importante hacer reconocimientos previos a la edificación que permitirán decidir el tipo de fundación mas adecuado.

APENDICE