

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**



**DETERMINACION DE EPICENTROS Y MAGNITUDES PARA  
SISMOS LOCALES EN EL AREA DE ITZANTUN, CHIAPAS**

**T E S I S**

que para obtener el título de

**INGENIERO GEOFISICO**

**p r e s e n t a :**

**ANTONIO URIBE CARVAJAL**

24  
25

**México, D. F.**

**1979**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## I N D I C E .

RESUMEN.....	(1)
INTRODUCCION.....	(2)
I.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LA SISMO- CIDAD INDUCIDA.....	(4)
II.- GEOLOGIA DEL AREA.....	(14)
III.- METODO DE TRABAJO Y CARACTERISTICAS - DEL EQUIPO.....	(24)
IV.- METODOS DE CALCULO.....	(29)
- <u>Determinación de Magnitudes</u> .....	(29)
- <u>Localización de Epicentros</u> .....	(34)
V.- RESULTADOS.....	(37)
- <u>Conclusiones</u> .....	(54)
APENDICES.....	(58)
1.- OTROS METODOS DE DETERMINACION DE EPI- CENTROS.....	(58)
2.- CARACTERISTICAS INTERNAS DE LOS SISMO- GRAFOS.....	(61)
3.- DATOS OBTENIDOS DE LOS SISMOGRAMAS....	(69)
BIBLIOGRAFIA.....	(75)

## RESUMEN

Para el proyecto de construir una Presa en Itzantún, Chis., se hizo necesario hacer un estudio de sismicidad local, dada la importancia de conocer las características de la actividad en la zona y tomar las medidas preventivas en el diseño y llenado de la misma.

En los primeros tres meses de esta investigación se registraron 38 sismos locales de magnitud menor a 2.5 (Richter), cuya distribución no tiene relación aparente con las fallas conocidas en la región, se ha encontrado una mayor densidad de temblores al norte del embalse que es la zona más fracturada, y en base a las características regionales observadas es de esperarse cierta sismicidad inducida cuando el agua alcance un determinado nivel.

## INTRODUCCION

Con el fin de llevar a cabo estudios sobre la sismicidad local y la inducida por la presa de Itzantón-en proyecto, el día 15 de enero de 1979 se instaló un campamento del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México en Simojovel Chis. , el cual permanecerá ahí realizando el trabajo de campo, durante nueve meses aproximadamente, a partir de esa fecha.

Esta investigación se hace necesaria dado que el número de presas en las cuales se ha observado sismicidad inducida aumenta constantemente, en algunas de estas han ocurrido temblores de magnitud 6, el tipo de actividad ha sido muy variable, por lo que no puede pensarse en algún proceso uniforme causado por el nivel de agua o del volumen de la presa exclusivamente, sin embargo estos al combinarse con otros factores pueden llegar a ser causas de terremotos.

Existen ejemplos en los cuales ningún evento fue sentido por varias décadas en la región, pero en casi en todas las ocasiones hay evidencia de actividad sísmica pasada; es decir, las rocas en las cuales se han presentado temblores han estado sometidas a grandes esfuerzos en alguna época y en muchos casos los terremotos se han presentado sobre fallas preexistentes que han sido reactivadas por el peso del agua o por algún otro fenómeno producido por los almac

mientos. Los mecanismos focales han demostrado ser consistentes ya que en su mayoría ocurren en fallas normales.

Todo tipo de heterogeneidad cercana a la superficie puede servir como punto de acumulación de esfuerzos, esto asociado con las alteraciones físicas y químicas que debilitan a la roca puede traer como resultado un movimiento.

El estudio de la sismicidad local es importante para conocer los rasgos estructurales de la zona y poder tomar medidas preventivas en el diseño de la presa. Debe estar constituido por la determinación de epicentros y magnitudes de todos los eventos cerca y dentro del área de interés y hacer una correlación con la geología local.

En México el proyecto hidroeléctrico Itzantón es el primero que comprende una investigación completa de este tipo y habiendo quedado demostrado mundialmente la importancia de estos estudios considero conveniente presentar este trabajo escrito.

---

## CAPITULO I.

### CARACTERISTICAS GENERALES DE LA SISMOCLOGIA INDUCIDA

La sismología inducida se clasifica en tres formas:

a).- La debida por construcción de presas, b).- la producida por la minería, y, c).- la ocasionada por la inyección de fluidos. Siendo en nuestro caso importante la primera.

Algunas presas han inducido temblores de magnitud cercana a seis de la escala de Richter, los sismos producidos por este fenómeno varían de esta magnitud hasta microtemblores; y su profundidad está generalmente en el rango de 5 a 10 km.

Se ha comprobado en más de 20 casos un incremento de actividad sísmica en las zonas donde se estuvieron llenando presas, como es el de Koyna en India (N. y Gupta 1968); en el cual la sismicidad tuvo un climax de la magnitud máxima ya hablada antes.

Los terremotos inducidos más grandes (listados en la tabla 1-1) son mayores de 3.5; tuvieron réplicas y algunos, sismos premonitorios.

No se ha establecido un tamaño a partir del cual un almacenamiento de agua sea capaz de inducir temblores, y se cree que la profundidad del agua es más importante que el -

**TABLE 1 RESERVOIR INDUCED SEISMICITY**

(After Simpson, 1975)

<u>Dam Name</u>	<u>Country</u>	<u>Height (m)</u>	<u>Volume (<math>\times 10^6 m^3</math>)</u>	<u>Year of Impounding</u>	<u>Year of Largest Earthquake</u>	<u>Magnitude or Intensity</u>
<b>A) MAJOR INDUCED EARTHQUAKES</b>						
Koyna	India	103	2780	1964	1967	6.5
Kremasta	Greece	165	4750	1965	1966	6.3
Hsinfengkiang	China	105	10500	1959	1961	6.1
Kariba	Rhodesia	128	160368	1959	1963	5.8
Hoover	U.S.A.	221	36703	1936	1939	5.0
Marathon	Greece	63	41	1930	1938	5.0?
<b>B) MINOR INDUCED EARTHQUAKES</b>						
Benmore	New Zealand	118	2100	1965	1966	5.0
Monteynard	France	155	240	1962	1963	4.9
Kurobe	Japan	186	199	1960	1961	4.9
Eajina-Basta	Yugoslavia	89	340	196	1967	4.5-5.0
Nurek	U.S.S.R.	317	10400	1972	1972	4.5
Mangala	Pakistan	116	7250	1967	1970	4.2
Talbingo	Australia	162	921	1971	1972	3.5
Keban	Turkey	207	31000	1973	1974	3.5
Vajont	Italy	261	61	1963		
Pieve de Cadore	Italy	112	68	1949	1951	
Grandval	France	88	292	1959	19	V
Canalles	Spain	150	678	1960	1962	V
<b>C) CHANGES IN MICROEARTHQUAKE ACTIVITY</b>						
Grancarevo	Yugoslavia	123	1280	1967		1-2
Hendrik-Verwoerd	S. Africa	88	5954	1971	1971	<2
Schlegeis	Austria	130	129	1971	197	<0
<b>D) TRANSIENT CHANGES IN SEISMICITY</b>						
Oued Fodda	Algeria	101	228	1932		
Camarilles	Spain	44	40	1960	1961	3.5
Piasta	Italy	93	13	1965	1966	V1-V11
Vouglans	France	130	605	1968	1971	4.5
Contra	Switzerland	270	86	1965	1965	

volumen total de la misma. Sin embargo se ha visto que no solo es el tiro vertical del agua lo que afecta la sismicidad, por lo que se ha combinado además, con un volumen mayor a 1 km<sup>3</sup>.

Es evidente que deben existir más factores importantes para determinar que una presa induzca sismos; por lo que se ha llegado a pensar que haya esfuerzos de origen tectónico en la zona adyacente a la presa en relación con esfuerzos en fallas cercanas.

En muchos casos se ignora el nivel de sismicidad existente antes de la construcción de la presa, o inclusive, durante la primera etapa de ésta y llenado, debido a que no se le daba importancia por creer que se trataba de una zona asísmica, y sólo después de sentir un gran temblor se elaboraron estudios. En lugares donde se ha hecho una investigación completa, se ha observado un considerable incremento a partir de que el agua alcanza un cierto nivel, como por ejemplo Oroville USA (Gough, 1976).

#### Relación entre el tiempo y la Sismicidad Inducida.

El período de tiempo en el cual la presa es llenada es determinante para conocer el proceso en el cual la sismicidad se incrementa.

El tiempo de comienzo de la sismicidad inducida, varía en un amplio rango, ya que en algunos casos (Lupta et al. 1972) empieza casi simultáneamente con el llenado de la-

presa, y en otros hasta que el agua llega a tener una profundidad determinada; ésto también depende de la velocidad del llenado, porque como en el caso de Kremasta (Gupta et. al. 1972) que se llenó en unos cuantos meses se tuvo un evento de 6.3 cuando ya casi estaba llena; o como en Koyna, donde pasaron cinco años antes de que sucediera el temblor principal.

Casi siempre se ha comparado la sismicidad con la profundidad del agua, lo cual tiene la ventaja de ser algo fácil de medir; actualmente se está tratando de hacerlo con el volumen de roca, sobre el cual se está ejerciendo un esfuerzo mayor que un cierto valor, pero el caso de Kariba (Gough, 1976) lo fija en un bar ( $10^6 \text{ N/m}^2$ ).

Se ha visto que el periodo entre el día que la presa alcanza su nivel máximo por primera vez, y la fecha en la cual ocurre el evento máximo, está relacionado con el tipo de mecanismo que origina el sismo; se cree que si el periodo es pequeño se debió al incremento del esfuerzo constante, y si fue largo por el aumento de la presión del agua en los poros de la roca.

#### MECANISMOS.

Los mecanismos por los cuales ocurren los temblores inducidos han sido determinados para algunas presas como Kariba y Kremasta (Gough 1976) las cuales se debieron al nivel

miento de fallas normales, para Koyna se dan diferentes soluciones, la más aceptada es la de una separación horizontal de una falla hasta entonces desconocida, hay otros casos en los cuales se ha pensado en que sean verticales (Narain y Gupta, 1968). Es importante señalar que no se conocen sismos inducidos en presas ocasionados por el movimiento de una falla inversa.

#### Valores b de la Relación Frecuencia-Magnitud.

Se ha visto que los temblores en una zona de fallatienden a mostrar una relación de la forma.

$$\text{Log } N = a - bm$$

donde N es el número de sismos  $\rightarrow m$

Una zona con gran energía y de esfuerzos variables es caracterizada por valores bajos de la constante b; áreas muy fracturadas y esfuerzos cercanos al crítico de afallamiento, tienen valores altos para b (Mogi, 1967); las réplicas de un gran sismo tienen valores mucho más altos que las de los premonitores. En el caso de Koyna, se presentaron valores altísimos, lo que es evidencia de que el terremoto fue inducido en una fractura preexistente a punto de moverse. El hecho de que los valores de "b" sean altos, indica que la zona está muy fracturada; por lo cual habrá muchos temblores de magnitud intermedia; y si éstos son bajos, puede tratarse de una zona donde se espera uno o dos grandes -

descargas de energía. Posiblemente la mayor importancia de los valores de "b", es que a partir de ellos puede determinarse la probabilidad de ocurrencia de sismos de diferentes magnitudes dentro de un área determinada.

#### Procesos que dan origen a temblores.

Un almacenamiento de agua que llena una zona prefracturada tendrá dos efectos: el primero, que no depende de un período de tiempo, es el refuerzo a las presiones ya existentes con unos cuantos bars, sobre la roca de la base; el segundo, que actúa en un período de uno o dos años, es el incremento de la presión en los poros, y, fracturas de las rocas, no solo bajo el embalse, sino en el área adyacente.- El tipo de origen de los sismos depende de las características de la zona.

Los tres tipos principales de afallamiento son: - normal, - horizontal, e, - inverso, éstos pueden ser estudiados en relación al proceso de desencadenamiento, usando el criterio de Mohr (Gough, 1976) - fig. 1-2 -; supongamos que existe un esfuerzo de origen tectónico, orientado de manera que produzca la falla, pero no lo suficientemente fuerte, representado por los círculos (1) de la misma figura, - si una presa de profundidad "h" más ancha que honda, se pone sobre la falla en  $t = 0$ , ésta sobrepone un esfuerzo vertical

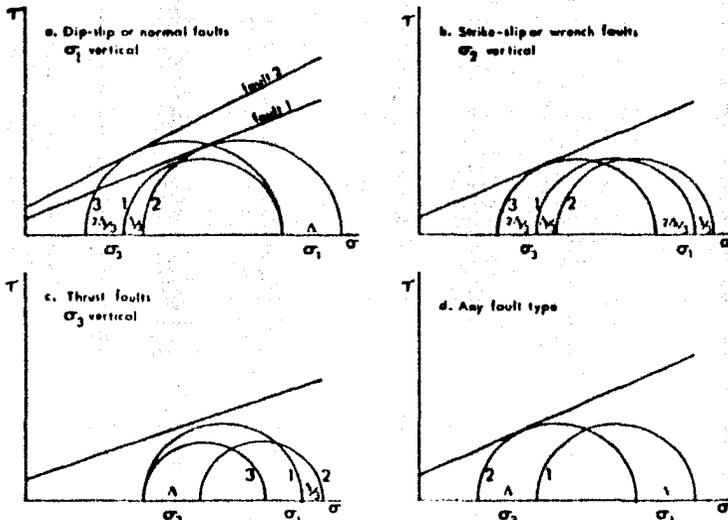


Figure 2.

Mohr failure criterion for faults having Coulomb friction.

a, b, c - faults under a large reservoir of depth h.  $\Delta = \rho gh$ . In case a, earthquakes are triggered on fault 1 by the increment to the elastic stresses, on fault 2 by the later rise of water-pressure in pores and cracks.

- Circles 1 - initial stress
- Circles 2 - initial stress + elastic load
- Circles 3 - (initial + elastic load) stress-increase in water pressure

d - Initial stress (circle 1) and effective stress (circle 2) after rise in water pressure in rock caused either by rise in the water-table near a reservoir, or by increase of water pressure near an injection well.

dgh y esfuerzos horizontales  $dgh \nu / 1 - \nu$  a las preexistentes, lo que está representado por los círculos 2. Si  $\nu = 0.25$  el incremento en los esfuerzos horizontales es de  $dgh/3$ . Siendo en la fórmula anteriormente expuesta:  $d =$  densidad,  $g =$  gravedad,  $h =$  altura o profundidad y,  $\nu =$  Peso específico.

Después de un tiempo, dependiendo de la porosidad de la roca, la presión del fluido se incrementa en la falla y reduce los esfuerzos principales  $T_1$  y  $T_2$  por  $dgh$ ; como resultado se tienen los círculos 3.

#### Nivel Freático en la Zona Adyacente.

Se piensa que los embalses en rocas porosas levantan el nivel freático de la zona adyacente, (como en el caso de un pozo al penetrar un acuífero inferior) y el área afectada puede ser mayor que la de la presa. En las cercanías a ella el mecanismo de origen de sismos se debe en mayor parte al cambio de presión en los poros.

Es importante señalar que las fallas inversas, dadas sus características, serán las predominantes en esta zona que llega a 10 o 20 kms. de la presa. El Dr. Edo Nyland estima que en un año será suficiente para que ocurran los sismos inducidos en rocas de baja porosidad a una profundidad de 10 kms. abajo del embalse.

(\*) Comunicación verbal con el Dr. Edo Nyland.

Prevención y Medidas de Control.

Los sitios donde se proyecta construir una presa deben ser estudiados cuando menos desde un año antes de empezar a construir la cortina, y durante todo el tiempo de llegado hasta algunos años después de que ha alcanzado su nivel final; ya que casos como el de Koyna indican que doce meses no es suficiente; durante los años inmediatos al término del proyecto sería aceptable tener un sismógrafo vertical a una distancia entre 20 y 50 kms. de ella con seis aparatos portátiles (por lo menos), listos para ser instalados. Si el índice de sismicidad empieza a incrementarse rápidamente, aunque lo ideal es tener dichas estaciones funcionando permanentemente. Si un evento grande es registrado sin estar trabajando los portátiles, éstos deben ser puestos en operación lo antes posible para poder estudiar las réplicas, localizar el sismo principal y determinar el mecanismo de falla.

Debe determinarse el esfuerzo existente en lugares donde sea posible el afallamiento, ya que una vez que la secuencia de un temblor se ha iniciado, puede ser muy tarde para tomar precauciones. No será posible entonces reforzar la presa, y, si ésta es grande, no se podrá vaciar a tiempo para evitar el terremoto. Así, deben mapearse todas las fallas en la región, tomando en cuenta que pueden existir algunas no conocidas.

Dadas las características geológicas del área de - Itzantún (cap. 2), fue necesario realizar estos estudios, - determinando las distribuciones de magnitudes, epicentros y profundidades focales; así como calcular el valor de "b" de esta región (cap. 5).

---

## CAPITULO II.

### GEOLOGIA DEL AREA.

#### Localización.

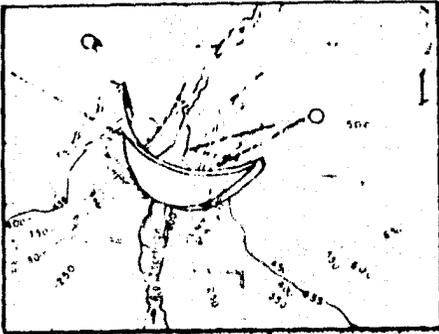
La región en estudio, se encuentra dentro del municipio de Simojovel, en el estado de Chiapas, (fig. cap.2-1); - el acceso terrestre consta exclusivamente de carreteras, - siendo la población más cercana Simojovel, que se encuentra a 120 km. de Tuxtla Gutierrez.

Del pueblo de Simojovel al lugar donde se proyecta - construir la cortina de la presa, hay una distancia de 25 km aproximadamente de brecha, la cual se encuentra en buen estado, lo que hace fácil el camino hasta la Boquilla. La Boquilla se localiza a una latitud de 17°12' N., una longitud de 92°41' W., y, a una altitud de 400 mts. sobre el nivel del - mar.

#### Hidrografía.

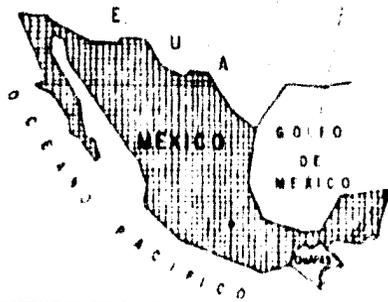
El área se encuentra irrigada por varias corrientes de agua, de las cuales las más importantes son los ríos Itacotalpa, San Pedro y Buitupan.

El gasto promedio del río Itacotalpa a la altura de la Boquilla, es de 05 m<sup>3</sup>/seg. y el acarreamiento, de dos millones de m<sup>3</sup> al año.



# P. H. ITZANTUN

ESTADO DE CHIAPAS



# LOCALIZACION

Fig. 2-1

Las formaciones que encontremos son en general de dos tipos; lutíticas, que forman gruesos paquetes impermeables; y, las calcareas, de gran permeabilidad; además existen gran cantidad de fallas y fracturas (aproximadamente rumbo N-S), lo que hace necesario llevar a cabo una investigación geológica detallada, para determinar exactamente las características hidrológicas de esta zona. (fig. cap. 2-2)

### Geología Superficial.

El vaso de la presa está delimitada al N.E. por el anticlinal Itzantún, el cual se encuentra formado por rocas del terciario, siendo la columna de abajo hacia arriba: la Formación Mampuyil, la F. Simojovel, y, la F. Jolol.

Los rasgos del anticlinal son evidentes, pues existen lugares en la superficie donde aflora el núcleo calcareo, como es el caso de la Boquilla, esto se debe al afallamiento originado por los pliegues que sufrieron estas formaciones en dirección Este-Oeste, durante la orogenia a finales del terciario.

El embalse que se formará cerrando la Boquilla de Itzantún descansará sobre el sinclinal adyacente, aguas arriba del anticlinal cuya columna es la misma descrita; rocas calizas duras abajo de las plásticas impermeables. A esta diferencia en dureza se debe al tipo de afallamiento predominante en la zona, en la cual se han formado horsts de -

rocas calcáreas como es el caso del anticlinal Itzantún.

El embalse tendrá una forma alargada en dirección E-W, cubriendo un área aproximada de 100 km<sup>2</sup>; no se conocen - disturbios tectónicos que puedan afectar el área, con excepción de una falla llamada de Itzantún, la cual está apoyada en el macizo calcáreo, poco permeable. Se espera un total - llenado del embalse, lo que da una capacidad de 5,000 a - 12,000 millones de metros cúbicos.

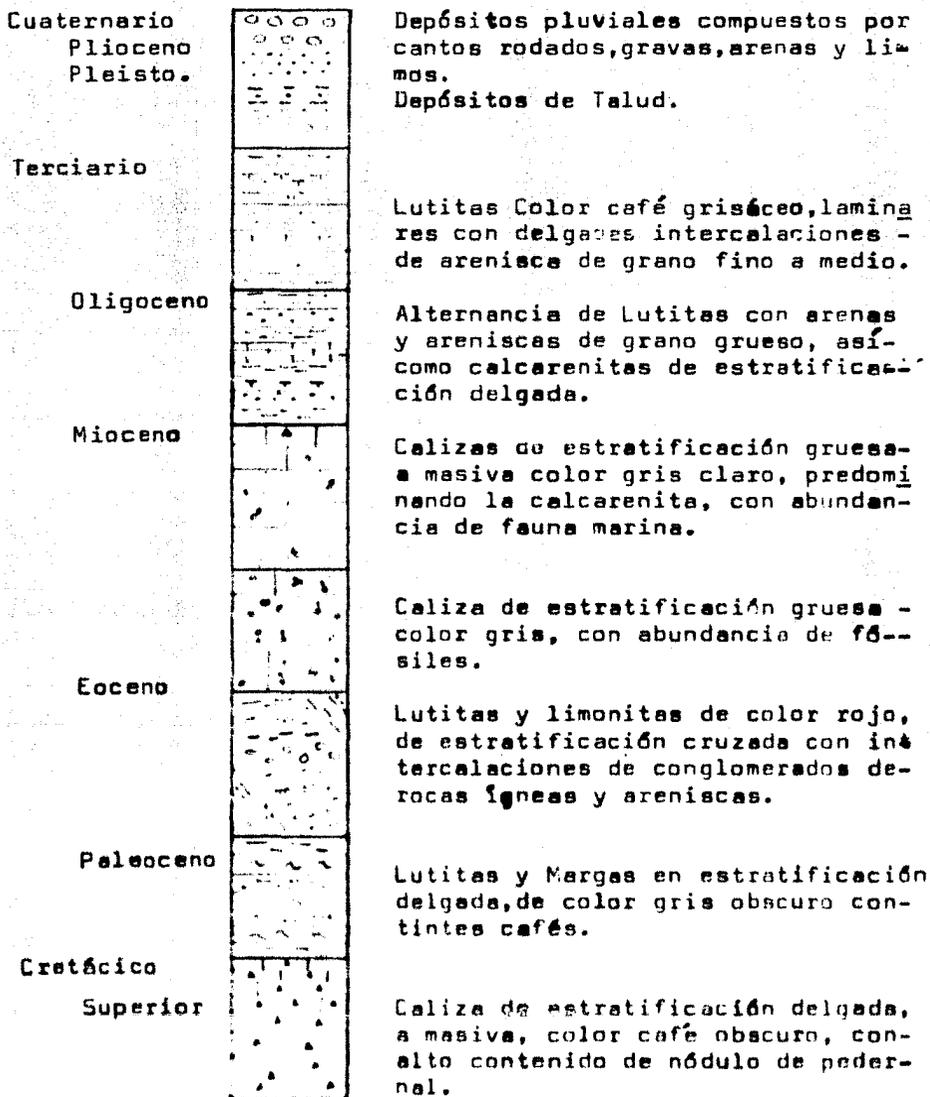
Las laderas de los valles que serán sumergidos son suaves y con pocos afloramientos.

#### Geología Estructural.

Otras estructuras que hay que tomar en cuenta son - las fallas existentes en la región, las cuales forman un - sistema orientado de Este a Oeste; cuyos elementos principales son la falla de Itzantún, que delimita al anticlinal - del mismo nombre en su flanco Suroeste y otra paralela a ésta que lo hace por el otro lado; estas fallas probablemente se extiendan a todo lo largo del horst, y, como se unen por fallas transversales secundarias lo dividen en varias partes alargadas de Norte a Sur.

En la región del valle es donde se encuentran depositados los suelos y aluviones, y desaparecen por completo en la parte donde el río Ilacotalpa corta al anticlinal Itzantún.





"Columna Geológica del Area"

Figura 2-3

### La Boquilla.

El horst calcáreo es una estructura de 2 km por 500 metros aproximadamente, con flancos abruptos contrastantes con el paisaje que los rodea.

La formación de la garganta no está relacionada con la falla, sino con las fracturas subverticales que cruzan el macizo. Sus lados están casi a noventa grados, el cauce del río a esta altura es angosto, con 17 metros de ancho, por lo que el caudal es bastante rápido.

El bloque calcáreo está formado por una sola unidad estratigráfica, la Formación Mampuyil, en la cual ha sido posible identificar tres unidades: -La superior, que es de estratificación delgada, afectada superficialmente por el carsismo al ser la más expuesta; -La unidad intermedia es la más densa, constituida por calizas compactas de gran dureza, casi sin muestras de estratificación; -la unidad inferior, la cual es visible a ambos lados del cauce del río, se le calcula un espesor de 220 metros y está formada por alternancias de calizas arenosas, calizas margosas, margas, areniscas y lutitas.

### La falla de Itzantón.

A unos cien metros de la boquilla aflora la formación Simojovel descansando discordialmente con la Mampuyil, haciendo fácil la identificación de la falla, ya que bien -

tras las calizas buzcan a 24° al NE las lutitas y areniscas lo hacen con un ángulo de 60 a 70° SW, las juntas muestran contactos estilolíticos. Su longitud ha sido estimada alrededor de catorce kilómetros, con rumbo Este-Oeste buzando a 80° al Sur.

En la parte de la entrada de la boquilla tiene un espesor de dos a tres metros.

El desplazamiento fue de tipo compuesto, vertical-horizantal, la falla como ya se mencionó pertenece al tectonismo de plegamiento correspondiente a la orogenia de finales del terciario, y como en la actualidad ésta ha quedado inactiva, se piensa que la falla debe estar también en este estado. Es importante hacer esta aclaración porque la actividad de la falla es un factor primordial en el diseño y construcción de la presa, ya que existe la posibilidad de que la presencia de la falla favorezca la sismicidad inducida. aquí cabe señalar que se han construido presas al borde de grandes fallas, pero también considerar que la cortina de Itzantón tendrá 250 metros de alto.

#### Sismicidad Inducida.

Las fallas, aún inactivas, es probable que ante la presencia de agua y el peso en conjunto de la obra y el agua ya almacenada desencadenen eventos sísmicos inducidos; para prevenir éstos durante el llenado de la presa, sabiendo que la velocidad del llenado es directamente proporcio -

nal al número y a la fuerza de los temblores y también ha sido probado que inyectando agua en una falla se provocan sismos, la operación deberá ser conducida en forma tal que la energía almacenada se descargue lentamente procediendo escalonadamente con el fin de conseguir el asentamiento total a un cierto nivel de agua, antes de proseguir a la siguiente fase de llenado, evitando así desencadenar movimientos peligrosos para las obras.

#### Sismicidad Local.

Dentro de la etapa de investigación del proyecto de construcción de la presa, se planeó el estudio de sismicidad local detallado cuyo objetivo es: "llevar a cabo un estudio completo, tanto regional como local, como se ha hecho para la falla de Chicuasén. Este estudio estará compuesto por dos partes distintas; primero, una de evaluación estadística de los movimientos sísmicos de la región, y de las estructuras regionales y locales en relación con esos movimientos. Una segunda parte de estudios para la instrumentación sismográfica de la zona, especialmente en relación con la falla de Itzantón y su comportamiento durante y después del llenado del embalse." (1)

#### Telesismos Registrados en el Area.

Para tener una mejor idea del comportamiento sísmico de la región se recurrió al sistema de información sobre sismos

(1) Comisión Federal de Electricidad "Proyecto Hidroeléctrico Itzantón" 1977 p. 23

mos (Sandoval, 1975), cuyos resultados se listan a continuación:

<u>F</u>	<u>Fecha</u>	<u>Latitud</u>	<u>Longitud</u>	<u>Magnitud</u>	<u>Profundidad</u>
G	300314	17.00	92.00	7.5	150
G	280537	17.50	92.80	6.5	160
B	211153	17.00	92.25	-	-
U	050254	17.50	92.50	6.75	100
◆B	230159	17.00	92.50	-	-
B	270863	17.50	92.40	3.6	180
◆U	050863	17.29	92.70	4.6	-
B	050868	17.23	92.25	4.6	33
◆B	060868	17.22	92.57	4.4	13
B	240169	17.24	92.31	3.8	55

Donde F es la fuente de información; B- Berkley, -  
G- U.S.G.S., U- U.N.A.M.

Los eventos con ◆ se encuentran marcados en la fig  
2-2.

### CAPITULO III.

#### METODO DE TRABAJO Y CARACTERISTICAS DEL EQUIPO.

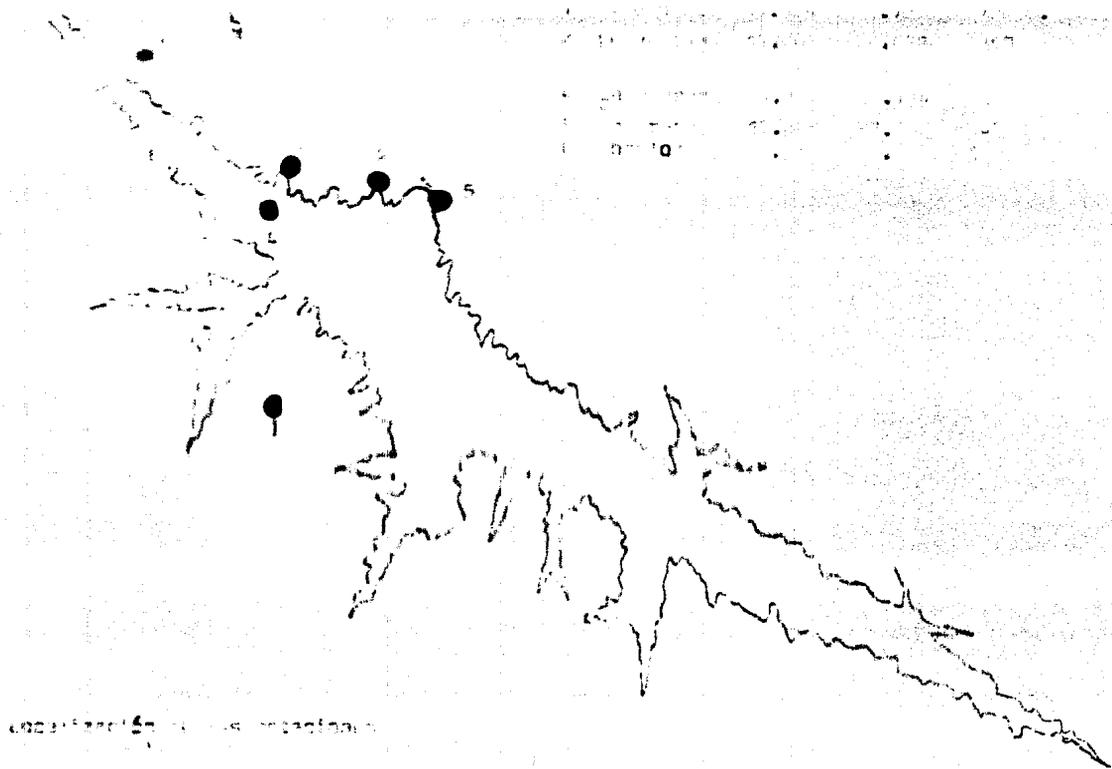
##### Método de Trabajo.

Se instalaron cinco sismógrafos en el área formando una red de veinte kilómetros por lado aproximadamente, - el arreglo está formado por dos triángulos, con los cuales es posible tener un buen control, sobre todo el lado izquierdo de manera que cualquier evento puede ser registrado y casi siempre localizado.

Debido a las características del equipo es necesario dar mantenimiento a las estaciones cada 24 hs., esto ayuda a que el registro sea lo más continuo posible, ya que en caso de haber una falla, ésta puede ser corregida, evitando que se pierdan datos valiosos.

Dada la sensibilidad del equipo, fue indispensable hacer pruebas de ruido en diferentes puntos de la zona para que las estaciones quedasen instaladas en lugares lejanos - al paso de vehículos, al cauce de los ríos, etc., creemos que las localizaciones escogidas son adecuadas para cumplir con los propósitos del proyecto.

Diariamente una vez dado el mantenimiento a los aparatos y recogidos los registros en papel ahumado de cada -



Location of the stations.

una de las estaciones, estos son llevados a Simojovel, lugar donde se encuentra instalado el campamento; ahí son fijados con una solución de laca en alcohol, se les marcan todos -- los eventos visibles anotando la hora y minuto de ocurrencia, se les colocan nuevos papeles, se les ahuma y se dejan los tambores listos para substituir a los que están en el campo, al día siguiente.

Los registros una vez marcados son estudiados con -- detalle para localizar cualquier tipo de actividad sísmica menor, una vez desglosado todo se clasifica y se anota en -- un libro, lo considerado como interesante para el proyecto haciendo hincapié en las siguientes características:

- 1.-El tiempo de arribo de la onda P (.10 seg)
- 2.-El tiempo de arribo de la onda S (.10 seg)
- 3.-El tiempo S-P.
- 4.-La longitud de la coda.
- 5.-Se busca la existencia de la fase Pn.
- 6.-La amplitud Máxima.
- 7.-La dirección del primer movimiento.
- 8.-El tipo de sismo (E o I).
- 9.-Las características de operación de cada -- estación: Ganancia, filtros y deflexión -- máxima.

Si el tiempo S-P es menor a diez segundos, el sismo

es clasificado como local, se le localiza por medio de un programa hecho para una calculadora marca Texas Instruments-TI 59, el cual trabaja con los tiempos de P y si se tienen los de S, lo que se tratará en el capítulo de cálculos. También se le localiza por medio de los métodos gráficos, para mediante una comparación, obtener una idea sobre la calidad del epicentro encontrado.

Igualmente se le calcula la magnitud por medio de la fórmula de longitud de Coda usada en California E. U. ( O' Neill and Healy, 1973). Una vez conocida la magnitud se la grafica en un mapa geológico, para conocer la distribución de magnitud y poder observar la relación entre la sismicidad local y la existencia de fallas y fracturas (conocidas o no) dentro de la zona.

#### Características de los aparatos.

Para el proyecto se cuenta con seis sismógrafos W. - H. Sprengther de registro en papel ahumado, diseñados para detectar sismicidad local, aunque han demostrado que son útiles también para eventos de magnitud intermedia. Con los cuales en el campo se esperaba localizar temblores de magnitud mayor o igual a uno, dado que los de menor rango sólo serán visibles en una o dos estaciones. Los instrumentos son portátiles y se encuentran protegidos en cajas metálicas lo que -

facilita su transporte.

De la combinación del distanciamiento entre las líneas del registro y las poleas en las cuales descansa el tambor pueden obtenerse sismogramas de 12, 24 o 48 horas con marcas de minuto cada 60 o 120 milímetros. (Las características internas del aparato se encuentran mencionadas en el apéndice No. 2).

## CAPITULO IV.

### MÉTODOS DE CÁLCULO.

#### Determinación de Magnitudes.

La magnitud de un temblor depende del esfuerzo inherente al rompimiento de las rocas. Intenta ser una medición del terremoto independiente del lugar de observación; es calculada de las medidas hechas a sismogramas; fue definida originalmente (Richter, 1958) como el logaritmo de la amplitud máxima de un sismograma, tomado a 100 kilómetros del epicentro, y se han construido tablas (tabla 4-1) para reducir - cualquier distancia a 100 km. está relacionada con la cantidad total de energía liberada por el temblor.

La magnitud en California está definida matemáticamente por:

$$M = \text{Log } A - \text{Log } A_0$$

Donde A es la amplitud de la traza en un sismógrafo Wood Anderson, con un período de 0.8"

A<sub>0</sub> es la amplitud de un evento estándar registrado en un Wood Anderson.

Para eventos muy locales se han desarrollado diferentes fórmulas para determinarlas.

Un método basado en la lectura de la amplitud y el conocimiento de la distancia es el usado por Brune and Allen en California (1967), para el cual se usan las curvas teóricas

**Table 22-1** Logarithms\* of the Amplitudes  $A_0$  (in millimeters) with which a Standard Torsion Seismometer ( $T_0 = 0.8$ ,  $V = 2800$ ,  $h = 0.8$ ) Should Register an Earthquake of Magnitude Zero

$\Delta$ (km)	$-\log A_0$	$\Delta$ (km)	$-\log A_0$	$\Delta$ (km)	$-\log A_0$
0	1.4	150	3.3	390	4.4
5	1.4	160	3.3	400	4.5
10	1.5	170	3.4	410	4.5
15	1.6	180	3.4	420	4.5
20	1.7	190	3.5	430	4.6
25	1.9	200	3.5	440	4.6
30	2.1	210	3.6	450	4.6
35	2.3	220	3.65	460	4.6
40	2.4	230	3.7	470	4.7
45	2.5	240	3.7	480	4.7
50	2.6	250	3.8	490	4.7
55	2.7	260	3.8	500	4.7
60	2.8	270	3.9	510	4.8
65	2.8	280	3.9	520	4.8
70	2.8	290	4.0	530	4.8
80	2.9	300	4.0	540	4.8
85	2.9	310	4.1	550	4.8
90	3.0	320	4.1	560	4.9
95	3.0	330	4.2	570	4.9
100	3.0	340	4.2	580	4.9
110	3.1	350	4.3	590	4.9
120	3.1	360	4.3	600	4.9
130	3.2	370	4.3		
140	3.2	380	4.4		

\* Since  $A_0$  is less than 1, its logarithm is negative, and the table shows values for  $-\log A_0$ .

Valores de  $-\log A_0$  para hacer correcciones por distancia

Tabla 4-1  
(Richter, 1950; p.342)

cas de los aparatos utilizados en el campo, realizaron una comparación con los resultados obtenidos con un sismógrafo (Wood-Anderson standart), para justificarlo de manera semejante a lo hecho en este trabajo.

Siendo su expresión final:

$$M = \text{Log } A + \text{Log } (G_{wa}/G_{20}) - \text{Log } A_0 - \text{Log } A_{20}$$

Donde: A es amplitud máxima (mm)

G<sub>wa</sub> es ganacia del sismógrafo standart.

G<sub>20</sub> es ganacia del instrumento a una respuesta máxima a 20 C.P.S.

A<sub>0</sub> es amplitud del nivel cero (mm) Richter (tabla 4-1).

A<sub>20</sub> es amplitud/corrección a 20 C.P.S. para ondas sísmicas determinada empíricamente.

Log A<sub>20</sub> es 0.55 a 5km., 1 a 8 km., 1.5 a 15 km., 1.7 a 20 km., y, 1.8 a 24 km.

Dadas las necesidades de este método y la semejanza existente con nuestros aparatos, también se le incluye en la correlación de magnitudes.

\* Tsboi en Japón desarrolló dos fórmulas..... -

$$M = 0.20 D + 0.67 \text{ Log } A + 3.8 \quad \text{Para } D \text{ menor de } 500 \text{ km.}$$

$$M = 0.13 D + 0.6 \text{ Log } A + 5.0 \quad \text{Para } D \text{ mayor de } 500 \text{ km.}$$

Donde: D es medida en unidades de 100 km.

y A es la máxima amplitud del desplazamiento del suglo en micras.

Posteriormente reemplazó estas fórmulas por:

$$M = 1.73 \text{ Log } D + \text{Log } A - 0.83. \quad (2)$$

### Longitud de Coda.

Para temblores pequeños con magnitud menor de cuatro se ha observado que la cantidad de energía liberada guarda estrecha relación con la longitud de registro, lo que ha generado la postulación de fórmulas empíricas para su determinación.

Cualquier evento que exceda el nivel de ruido, podrá ser medido, lo que es más, para determinar su magnitud no es necesario conocer su localización, y a pesar de no tener más justificación teórica de que la duración de un temblor es dependiente de su amplitud y de la distancia al epicentro, sus bases prácticas son fuertes y se cree que las magnitudes así determinadas, tienen una exactitud igual a las determinadas por cualquier otro método.

Estas fórmulas se han desarrollado principalmente, en California, E.U. y en Japón.

"En California, para eventos locales en condiciones normales de ruido, el tiempo T, registrado en aparatos de (2) Richter. "Elementary Seismology" 1958 p.364.

período menor o igual a uno, desde el primer impulso (llegada de la onda P) hasta que la señal alcanza el doble de la amplitud del ruido por última vez, se ha relacionado a la escala de Richter por:

$$M_L = -0.87 + 2.0 \log T$$

y en Ragely Colorado

$$M_L = -1.0 + 1.8 \log T. \quad (3)$$

"En Japón, Tsumura desarrolló una fórmula semejante la cual para eventos menores de 1.5 o mayores de 3 tiene una diferencia considerable con el resultado de la aplicación de las fórmulas de amplitudes (descrita anteriormente). La expresión final a la que llega es:

$$M_L = 2.85 \log T - 2.53. \quad (4)$$

Es importante determinar si alguna de estas fórmulas pueden aplicarse en nuestro país y qué exactitud en cada rango nos están dando, ya que en trabajos de campo es más útil recurrir a fórmulas de coda que aquellas que involucran a amplitudes y distancias, además se tiene el problema de que a veces la amplitud de la traza queda cortada por el grado de saturación del aparato; pues con las primeras se puede hacer una rápida interpretación de los eventos y tomar decisiones acertadas sobre las ganancias, filtros y demás constantes, bajo las cuales debe operar un aparato en uso.

Para poder usarse alguna, deben hacerse las calibraciones necesarias para representar las condiciones locales.

(3) O'Neill "Bulletin of the Seismological Society of America." 1973 p. 603

(4) Tsumura "Bulletin of the Earthquake Research Institute" - p. 16

les del área, lo que se logra encontrando las constantes adecuadas.

Cabe señalar que en estas fórmulas se tiene una corrección debida a la distancia de 0.0014 por km., y los autores recomiendan que en eventos a menos de 100 km. ésta no sea usada.

### Localización de Epicentros.

Se empleó un programa para una calculadora TI 59 basado en el método de mínimos cuadrados. El programa plantea un sistema de  $N$  ecuaciones para los residuos de distancia (apéndice No 1) de las  $N$  estaciones. Supone un semiespacio con velocidad constante y todos los cálculos son hechos en un sistema de coordenadas lineales, cuyo origen es la estación cinco (la presa), la profundidad es mantenida constante y para resolver el sistema por mínimos cuadrados es necesario transformar las  $N$  ecuaciones residuales en las tres normales correspondientes. Lo que se resuelve haciendo correcciones al epicentro y tiempo de origen de prueba  $X$ ,  $Y$ ,  $T$ ; para realizar una nueva aproximación. El error medio cuadrático  $R$  (km.) es calculado cada vez; el programa separa: - El RMS es mayor de 999 y nos pedirá nuevos valores iniciales para los cálculos; - Si el cambio entre los valores de RMS de dos aproximaciones sucesivas es menor de 0.11, el programa pasa entonces a calcular la latitud y longitud del

epicentro y finaliza.

Parte de los tiempos de llegada de las ondas P y S a las diferentes estaciones, puede trabajar con un mínimo de 3 y con un máximo de 5.

De esta manera se localizaron todos los eventos registrados en el campo y, a partir de ello se sacaron conclusiones preliminares, por ejemplo sirvió para decidimos a hacer el cambio de lugar de la estación ubicada en el Rancho de la Ventana, la cual se trasladó hasta el poblado de Morelos para tener un mejor control de la zona.

Una vez en México, se realizó un nuevo cálculo de epicentros por medio del programa "MICRO", el cual, además calcula la velocidad aparente, la profundidad del foco, la magnitud local promedio, y, la  $CHI^2$  (Parámetro de error).

El programa MICRO localiza sismos en un semiespacio homogéneo e isotrópico, utilizando los arribos de las ondas P y S, y los tiempos S - P, trabaja preferiblemente con tiempos de llegada que con diferencias; por lo que el tiempo de origen es un parámetro de igual peso que las coordenadas X, Y, Z del hipocentro; la ventaja de esta aproximación es el incremento en la estabilidad en la profundidad con respecto a pequeños errores en los datos.

MICRO fue pensado para utilizarse con una red poco espaciada; los datos son estimados de acuerdo a la calidad de las lecturas, ninguno es ignorado totalmente, y dada la

naturaleza de los procesos cuadráticos, si uno o dos datos son erróneos no afectan mucho el resultado, si el resto de los mismos son razonablemente consistente.

El proceso matemático es semejante al anterior, con la ventaja de que puede ser usado para veinte estaciones; a la lectura de cada estación se le da un peso.

Puesto que el programa fue hecho para microsismos, - calcula la magnitud de los mismos por medio de la fórmula - de medición de coda, usada en California (Brune + Allen 1967) para magnitud local.

Debido a las características de la función Gauss-Newton, utilizada, el rango de convergencia depende de la geometría de las estaciones, el número de ecuaciones y el número de tiempos S - P leídos (o estaciones con ambos S y P).

La localización se realiza en dos pasos: 1).- Búsqueda de un epicentro, 2).- Búsqueda de un hipocentro. Si el MICRO diverge en el segundo paso, recupera el resultado del primero.

#### Hypo 78.

Este programa utiliza los mismos principios matemáticos del MICRO, pero además es mejor porque se pueden introducir modelos de varias capas con velocidades prefijadas, y se puede obtener una gran cantidad de información sobre la calidad de la localización para cada modelo de velocidades de una cierta área.

## CAPITULO V.

### R E S U L T A D O S.

#### Hipocentros.

De la aplicación de los diferentes modelos de capas por medio del uso del programa HYP078 y así como el del MICRO, - se obtuvieron los resultados que se encuentran en la tabla - 5-2, y los modelos empleados fueron:

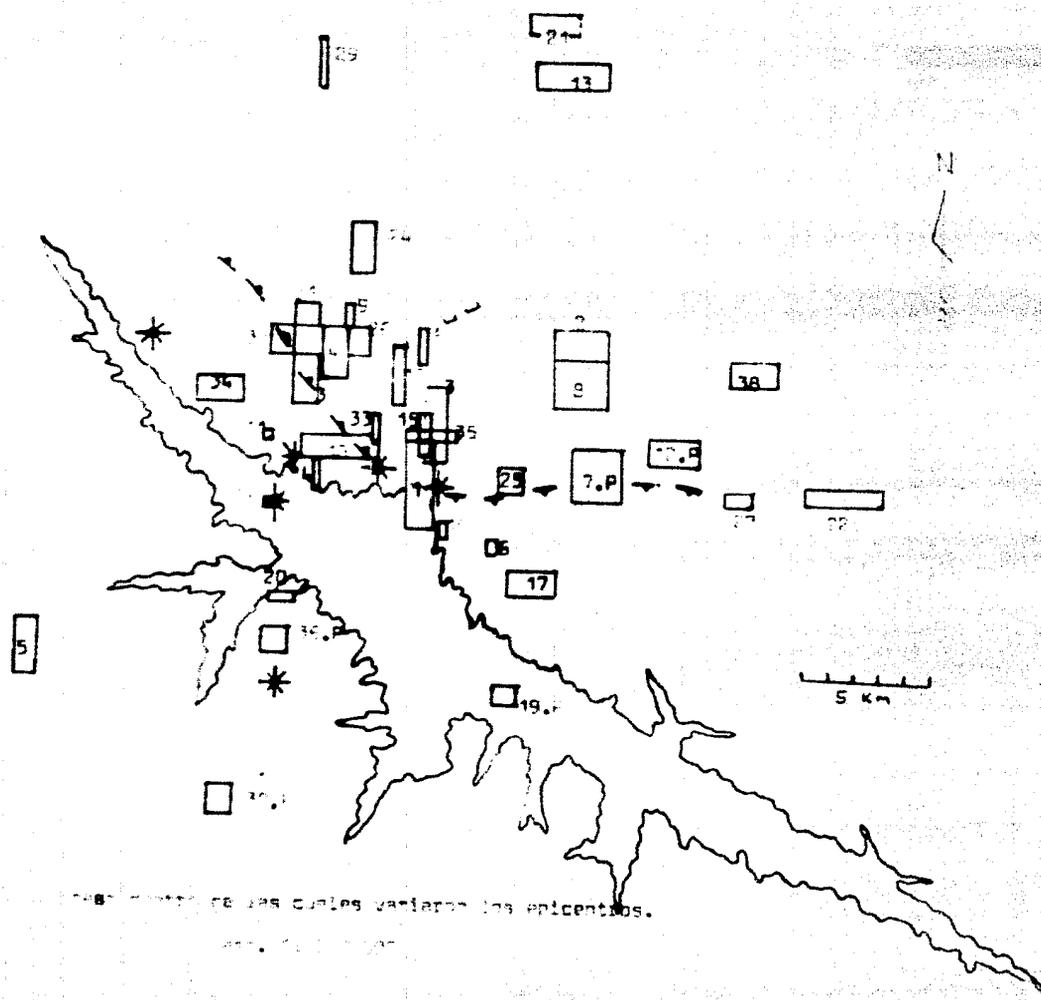
No. 1 Modelo de Nicaragua, determinado de las réplicas del temblor de Managua, del 23 de diciembre de 1972 (Brown 1973)

	Capa	Vel.
	0 - 1 Km.	2.5 km/Seg
	1 - 3	3.5
	3 - 5	5.0
	6 - 15	6.0
	15 - 25	6.8
	25	8.0
No. 2	0 - 2	3.5
	2 - 10	5.0
	10 -	6.1
No 3	0 - 2	3.5
	2 - 6	5.0
	6 -	6.1

No	Capa	Vel
No 4	0 - 2	3.5
	2 - 4	5.0
	4 -	6.1
No 5	0 - 2	4.0
	2 - 10	5.5
	10 -	6.1
No 6	0 - 2	4.0
	2 - 10	5.0
	10 -	6.1

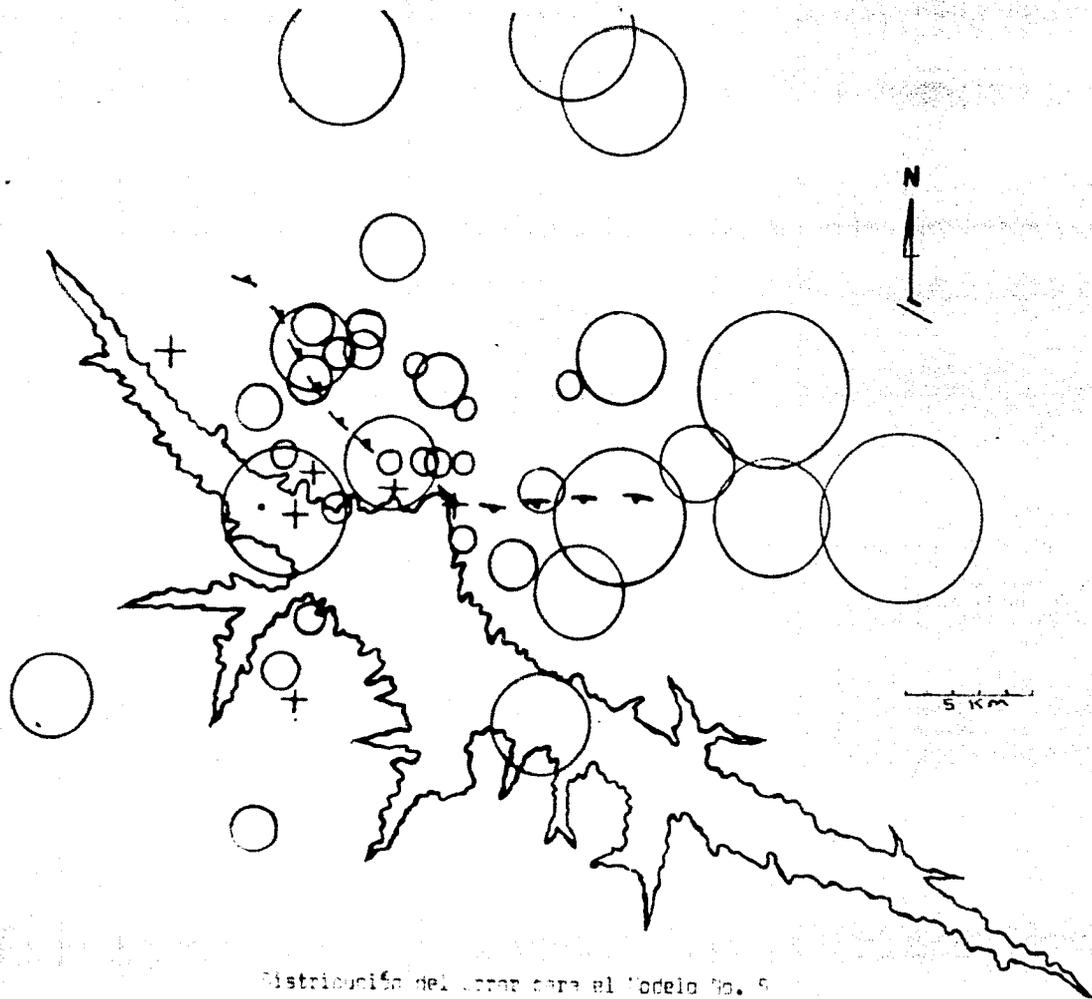
Considerando los errores medios cuadráticos para cada modelo, fue el número cinco el elegido como tentativo del área, pero esto no significa que sea el correcto, ya que los datos no son suficientes en la tabla 5-2, y en la figura 5-1 (en la cual se presenta el área dentro de la cual varían los epicentros) se demuestra que las localizaciones son consistentes y casi no varían. A través de los diferentes modelos se puede observar que éstos no cambian más de 2 km., y que el rango de variación de las profundidades es del orden de 3 km para todos los modelos del HIPD78. El modelo MICRO da una profundidad con una diferencia hasta de 25 km. debido a que no considera capas, ya que éste lo ve como un semiespacio homogéneo isotrópico.

En la figura 5-2 se muestra la desviación estandar mediante el cálculo de cada uno de los epicentros para el modelo 5, sin embargo debido a que estadísticamente tenemos pocas estaciones y a la poca variación de los epicentros, creemos que el error en el procedimiento no es mayor de 2 km. La



Los centros de las cuales variaron los epicentros.

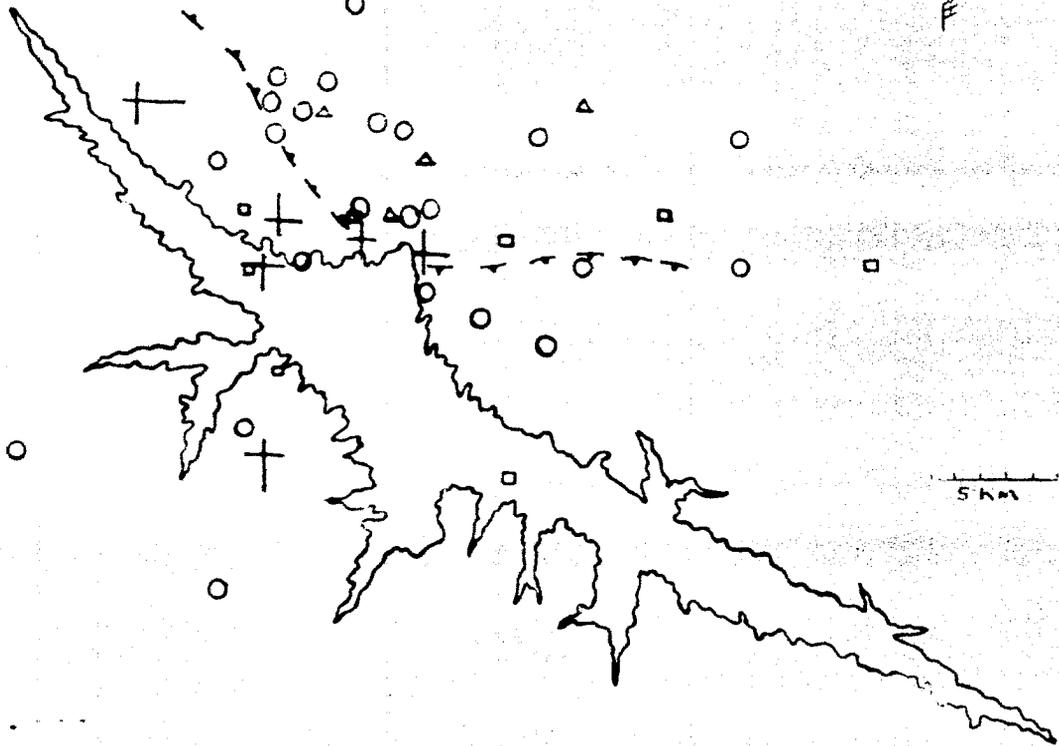
Map. 1950-1951



Distribución del agua para el Modelo No. 5

esc. 1 : 250 000

Fig. 5-1



1000

1000

1000

1000

1000

1000

Localities of the ...  
 ...

1000

ra efectos de relacionar éstos con las fallas se ha incluido la figura 5-3, en la cual se les ha clasificado por su magnitud.

los temblores registrados fueron en su mayoría superficiales, es decir a menos de 10 kms. de la superficie, (fig. 5-4); cabe señalar que aquellos eventos mas profundos fueron marcados con una P en la fig. 5-1, éstos últimos ocurrieron en zonas específicas, lo que tendra que ser objeto de una interpretación detallada de continuar sucediendo al termino del proyecto.

La actividad durante la primera etapa del estudio se mantuvo más o menos constante y el incremento de eventos pequeños de algunas semanas no correspondió necesariamente a un aumento en el número de eventos localizables. (Fig. 5-6)

#### Magnitud.

Dadas las características de la escala de Brune y Allen pudimos utilizarla para obtener una fórmula de coda propia para el área de interés.

Teóricamente, la coda de magnitudes relativamente mejores por ser independiente del mecanismo focal, heterogeneidades locales, se han observado variaciones entre ambos métodos (fig. 5-5); sin embargo la escala de magnitud por amplitudes en promedio determina buenos valores para poder calibrar la fórmula de coda.

A partir de que la expresión para determinar la magnitud en base a la longitud de la coda es de la forma:

$$y = ax + b$$

Supusimos  $y = \text{Log } T$  y  $x = M_L$

y por medio de mínimos cuadrados se llegó a:

$$M_c = 1.54 \text{ Log } T - 0.7$$

Se hace notar que esta fórmula es más parecida a la usada en California, en Japón, y ésta será la usada dentro del área, hasta que se pueda disponer de más información que la mejore.

El problema de las fórmulas de amplitud (como se puede ver en la fig. 5-5) es que la actividad casi no muestra incrementos a diferentes magnitudes, cosa que no sucede con la coda.

El valor de B (determinado en la fig. 5-4a) para la magnitud de coda de 0.83 fue obtenido aplicando mínimos cuadrados al rango de  $M_c = 1.0$  a  $M_c = 1.7$ , puesto que no tenemos registrados suficientes eventos mayores y que no podemos registrar todos los menores de 1.0.

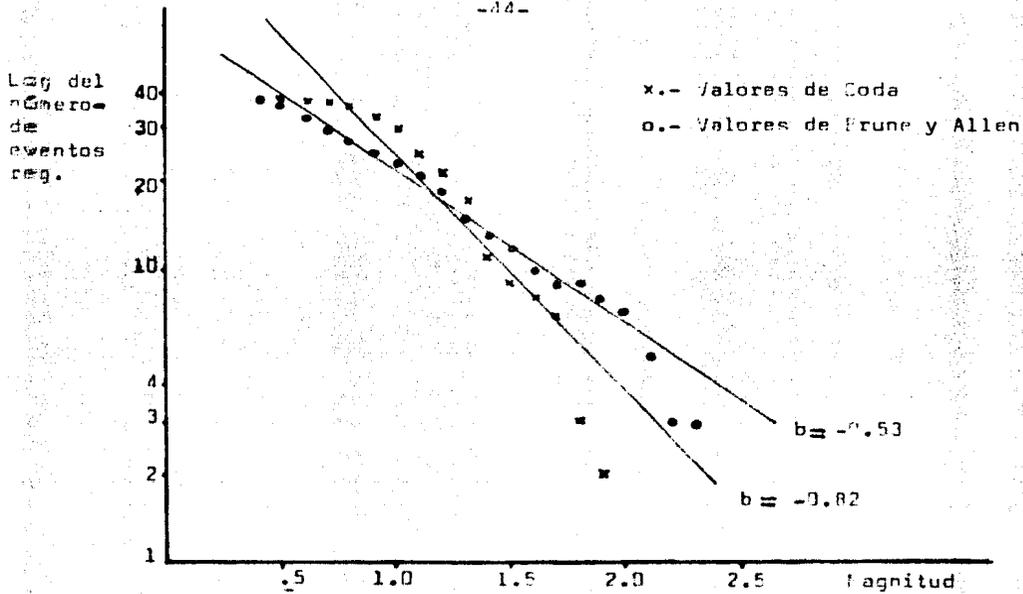
La ecuación de la recta es:

$$\text{Log } N = a + bm \quad (\text{Cap. I})$$

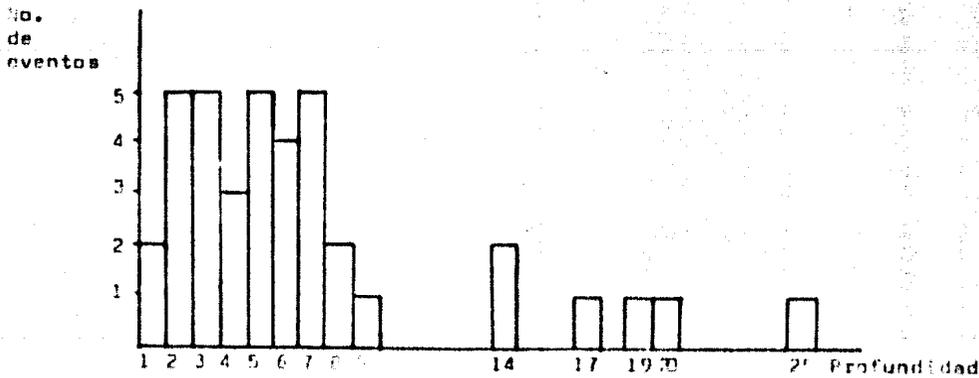
y con las constantes determinadas

$$\text{Log } N = 2 - 0.24 m$$

Prolongando esta recta se tiene que para  $m = 0$ , deben tenerse 1600 eventos aproximadamente, y dadas las característi



b) "Relación frecuencia-magnitud"  
Valores 'b' "



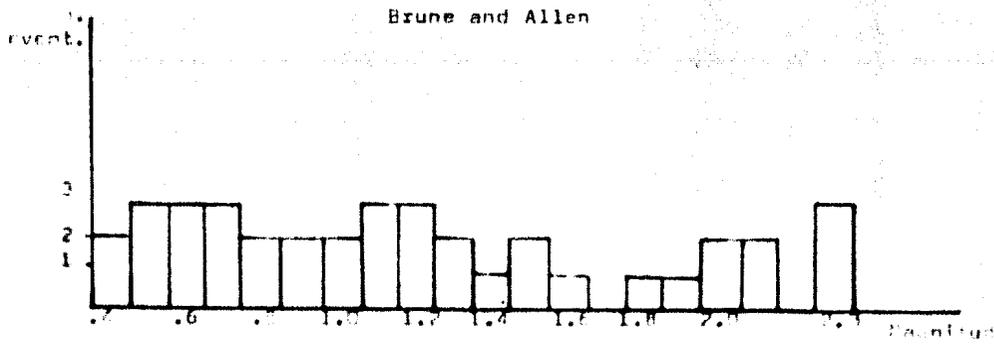
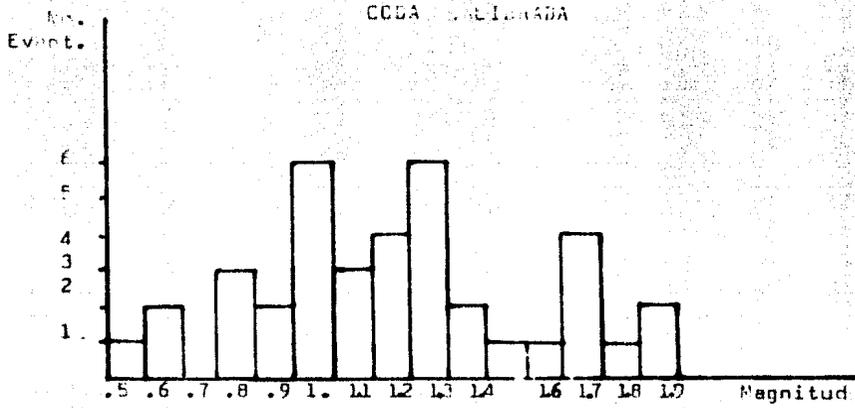
a) "Relación entre la frecuencia y la profundidad."

( Fig. 5-4 )

TABLA 5-1

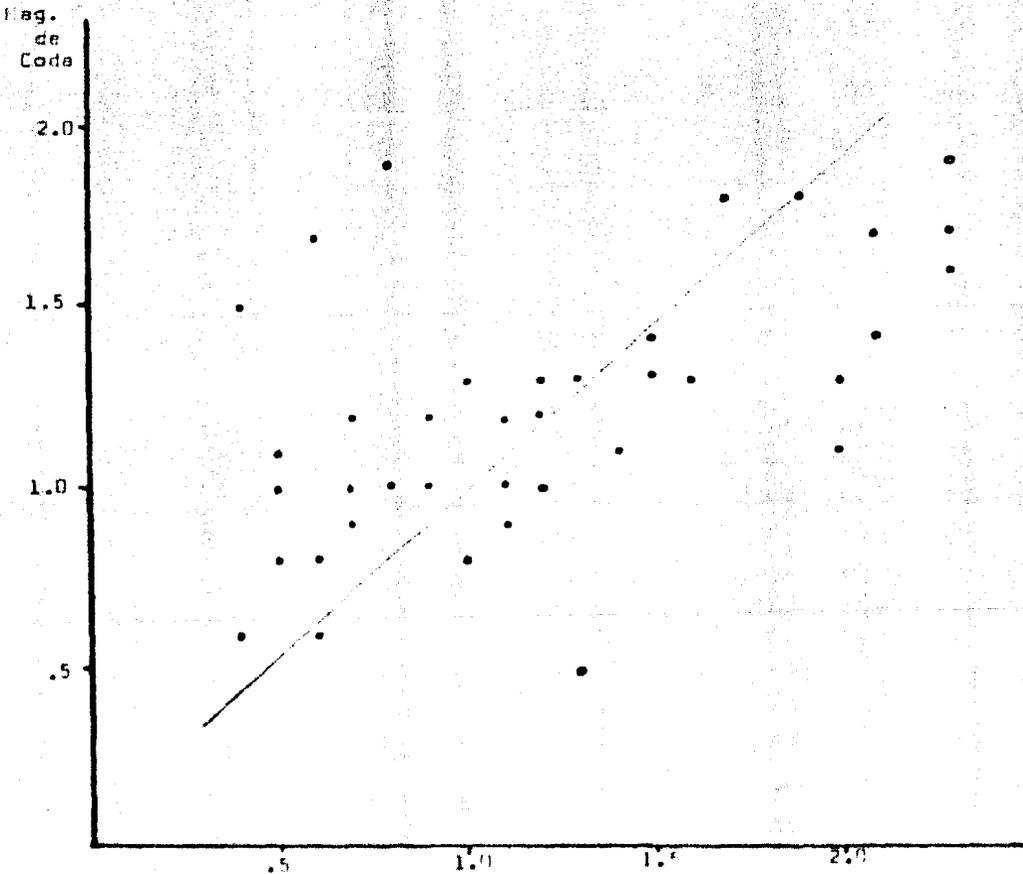
No.	Fecha	brune-Allen	Coda
1	Ene 27 10 11	1.2	1.3
2	" 27 12 29	1.3	0.5
3	" 27 13 06	0.4	0.6
4	" 29 01 23	1.1	1.2
5	" 29 13 33	1.0	1.3
6	Feb 01 05 08	0.8	1.0
7	" 01 06 28	1.5	1.4
8	" 03 15 48	1.2	1.0
9	" 04 11 25	0.5	0.8
10	" 06 07 16	0.7	1.0
11	" 06 08 26	0.4	1.5
12	" 08 02 26	1.9	1.8
13	" 10 02 14	2.0	1.1
14	" 15 07 04	0.5	1.1
15	" 17 13 27	0.6	0.6
16	" 20 06 57	0.5	1.0
17	" 21 07 21	0.7	0.9
18	" 21 14 35	1.8	1.7
19	" 22 10 57	2.1	1.7
20	" 23 01 39	0.6	1.7
21	" 25 15 00	2.3	1.6
22	" 27 11 14	2.3	1.7
23	Mar 07 03 27	1.1	0.9
24	" 10 11 52	2.1	1.4
25	" 13 11 05	2.3	1.9
26	" 22 13 36	1.0	0.8
27	" 27 07 30	2.0	1.3
28	" 28 10 26	0.8	1.9
29	" 30 18 23	1.5	1.3
30	Abx 03 08 03	1.4	1.1
31	" 03 09 30	1.1	1.0
32	" 04 14 44	0.9	1.0
33	" 05 01 20	1.2	1.2
34	" 06 03 05	0.9	1.2
35	" 07 07 00	0.6	0.8
36	" 09 18 52	1.0	1.3
37	" 13 18 07	0.7	1.2
38	" 14 06 55	1.6	1.3

" Magnitudes determinadas para los diferentes eventos."



" Frecuencia Vs Magnitud."

(Figuras 1-2)



"Correlación entre las magnitudes determinadas con la fórmula de Bruce and Allen y la de Coda Calibrada".

(Figura 5-5)

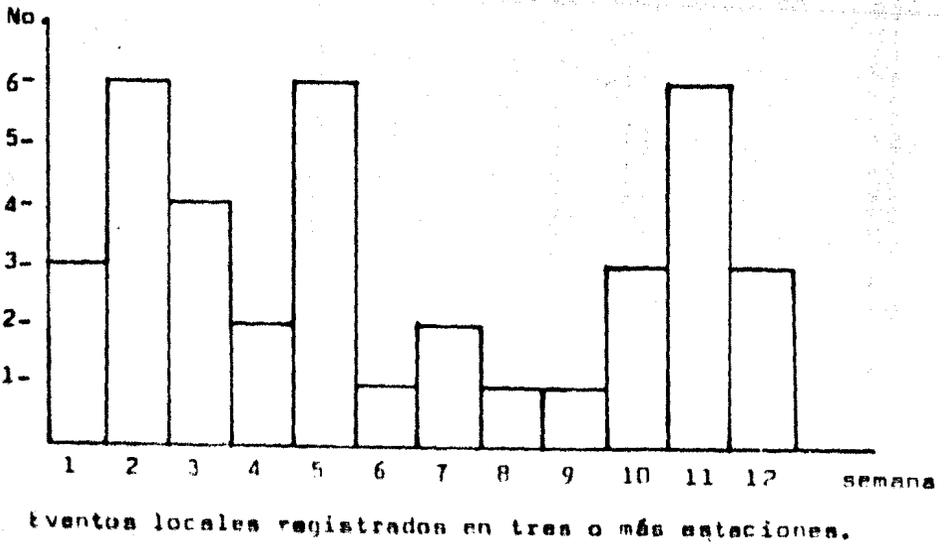
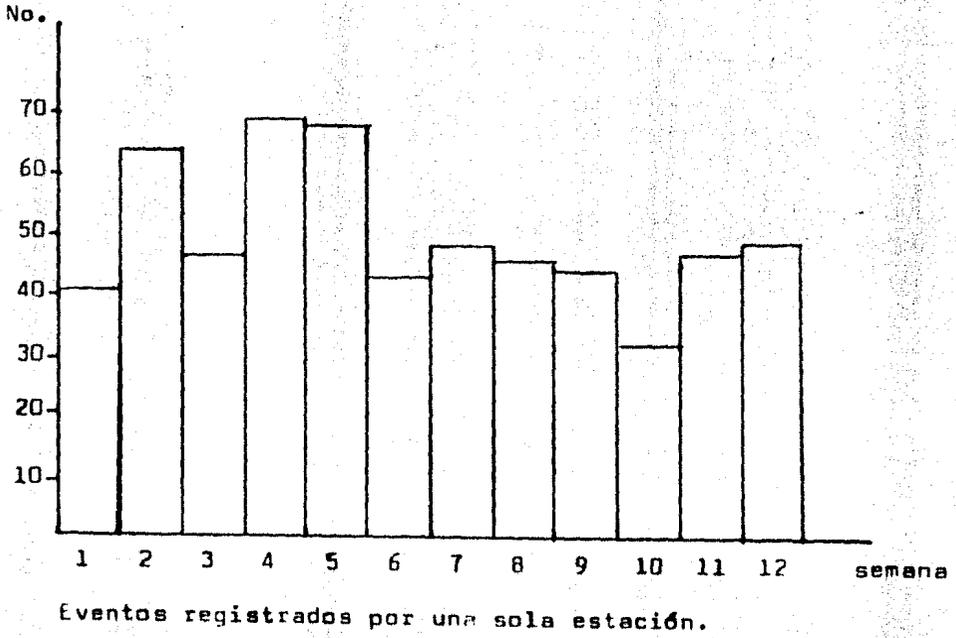


Fig. 5-6

TABLA 5-2

No.	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Micro	Lat.	Long.	Prof.	RMS
1	17.19 92.67 1.50 0.05	17.20 92.67 3.18 0.01	17.20 92.67 3.18 0.01	17.20 92.67 3.27 0.01	17.22 92.66 3.66 0.02	17.22 92.66 3.79 0.02	17.21 92.66 3.62 0.01	17.24 92.66 1.20				
2	17.26 92.61 9.00 0.13	17.26 92.61 5.00 0.13	17.26 92.61 5.00 0.13	17.25 92.59 4.98 0.16	17.26 92.59 5.00 0.14	17.25 92.59 5.65 0.14	17.25 92.60 7.51 0.15	17.26 92.58 0.41				
3	17.21 92.67 2.71 0.05	17.22 92.65 3.02 0.07	17.22 92.65 3.20 0.07	17.23 92.66 1.27 0.02	17.24 92.65 0.94 0.02	17.24 92.65 1.04 0.06	17.24 92.65 1.10 0.02	17.25 92.63 0.0				
4	17.25 92.70 5.60 0.13	17.25 92.70 7.12 0.10	17.26 92.70 6.26 0.08	17.26 92.70 5.97 0.06	17.26 92.70 6.60 0.06	17.25 92.70 7.21 0.06	17.25 92.70 7.15 0.09	17.27 92.70 7.59				
5	17.14 92.79 4.22 0.16	17.15 92.80 5.00 0.13	17.14 92.80 2.83 0.11	17.13 92.81 2.13 0.12	17.13 92.81 2.05 0.08	17.13 92.81 2.74 0.09	17.15 92.80 5.00 0.12	17.14 92.80 1.98				
6	17.18 92.66 2.40 0.26	17.18 92.63 5.00 0.23	17.18 92.63 5.00 0.23	17.18 92.63 5.00 0.23	17.18 92.63 5.00 0.22	17.18 92.63 5.00 0.22	17.18 92.63 5.00 0.23	17.18 92.62 5.00				
7	17.17 92.52 12.90 0.15	17.20 92.54 22.37 0.12	17.22 92.58 27.64 0.11	17.22 92.58 13.28 0.13	17.20 92.59 13.78 0.18	17.22 92.60 20.72 0.23	17.21 92.58 12.51 0.12	17.24 92.67 38.00				
8	17.23 92.61 3.19 0.23	17.23 92.61 1.57 0.22	17.23 92.61 1.56 0.22	17.22 92.61 1.75 0.22	17.25 92.61 1.51 0.23	17.24 92.59 1.72 0.22	17.23 92.61 1.56 0.22	17.24 92.58 0.54				
9	17.26 92.70 2.89 0.11	17.26 92.69 2.00 0.05	17.26 92.69 2.24 0.05	17.26 92.69 1.96 0.05	17.27 92.69 2.02 0.03	17.27 92.69 0.58 0.02	17.27 92.69 1.93 0.03	17.28 92.68 1.61				

Continúa...

No.	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Micro
10	17.18 92.67 3.12 0.02	17.18 92.66 5.26 0.00	17.18 92.66 5.26 0.00	17.19 92.66 5.83 0.00	17.19 92.65 6.37 0.00	17.19 92.66 6.09 0.00	17.19 92.66 5.73 0.00	17.23 92.66 5.71
11	17.22 92.72 5.00 0.02	17.22 92.72 5.00 0.01	17.22 92.72 5.00 0.01	17.22 92.72 5.00 0.01	17.22 92.72 5.00 0.01	17.22 92.72 5.00 0.01	17.22 92.72 5.00 0.01	17.20 92.71 5.00
12	17.21 92.57 23.94 0.06	17.21 92.59 24.07 0.07	17.22 92.55 23.71 0.09	17.22 92.56 24.05 0.07	17.22 92.56 24.74 0.06	17.21 92.57 24.47 0.07	17.21 92.57 24.24 0.07	17.21 92.60 24.81
13	17.33 92.61 5.95 0.10	17.34 92.62 2.06 0.07	17.35 92.61 6.55 0.10	17.35 92.57 5.00 0.09	17.36 92.59 5.00 0.08	17.35 92.60 5.00 0.07	17.35 92.62 2.07 0.07	17.39 92.55 0.00
14	17.20 92.70 4.23 0.16	17.20 92.70 4.13 0.10	17.20 92.70 4.13 0.10	17.21 92.70 4.20 0.08	17.20 92.70 4.07 0.05	17.20 92.70 4.36 0.06	17.20 92.70 4.23 0.09	17.21 92.70 3.88
15	17.19 92.67 1.42 0.09	17.21 92.66 2.79 0.05	17.21 92.66 2.79 0.05	17.21 92.66 3.00 0.06	17.22 92.66 2.03 0.06	17.23 92.66 2.20 0.05	17.21 92.66 2.97 0.06	17.24 92.66 0.00
16	17.24 92.69 2.25 0.10	17.25 92.67 2.07 0.02	17.23 92.67 2.07 0.02	17.23 92.68 1.52 0.03	17.25 92.67 2.84 0.01	17.25 92.67 3.04 0.01	17.25 92.67 1.96 0.01	17.26 92.66 2.51
17	17.17 92.64 2.55 0.07	17.17 92.62 2.10 0.06	17.16 92.62 2.76 0.06	17.17 92.63 3.11 0.06	17.17 92.61 1.66 0.05	17.17 92.61 1.64 0.05	17.17 92.62 1.83 0.04	17.17 92.60 0.00
18	17.21 92.72 5.00 0.23	17.21 92.71 7.82 0.24	17.21 92.71 7.82 0.26	17.22 92.69 13.22 0.20	17.22 92.68 13.37 0.20	17.22 92.68 12.98 0.19	17.21 92.71 8.31 0.25	17.20 92.65 16.39

Continúa...

No.	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Micro
19	17.12	17.12	17.12	17.12	17.12	17.13	17.13	17.10
	92.64	92.63	92.61	92.62	92.62	92.62	92.62	92.61
	13.97	14.03	15.50	16.04	16.67	15.90	15.69	18.31
	0.17	0.18	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	
20	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.14
	92.73	92.73	92.73	92.73	92.71	92.72	92.72	92.70
	3.14	4.36	4.36	5.00	5.48	5.25	5.12	11.14
	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	
21	17.37	17.38	17.38	17.39	17.38	17.37	17.37	17.37
	92.62	92.62	92.60	92.62	92.62	92.62	92.62	92.61
	5.00	9.59	5.00	5.00	5.00	9.62	9.32	12.61
	0.11	0.11	0.12	0.01	0.01	0.11	0.11	
22	17.20	17.20	17.20	17.20	17.20	17.20	17.20	17.21
	92.53	92.51	92.52	92.49	92.48	92.50	92.51	92.49
	3.36	2.32	1.14	4.22	2.32	2.58	2.32	0.87
	0.22	0.22	0.22	0.29	0.21	0.22	0.22	
23	17.24	17.25	17.25	17.25	17.25	17.26	17.25	17.27
	92.66	92.66	92.66	92.66	92.66	92.66	92.66	92.65
	4.36	4.37	4.37	3.23	0.91	1.05	4.46	0.00
	0.25	0.21	0.21	0.19	0.16	0.17	0.20	
24	17.28	17.28	17.28	17.30	17.30	17.28	17.28	17.29
	92.69	92.69	92.69	92.68	92.68	92.69	92.69	92.68
	7.45	8.53	8.53	7.77	7.77	8.80	8.70	9.41
	0.20	0.21	0.19	0.17	0.19	0.19	0.20	
25	17.20	17.20	17.20	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21
	92.65	92.64	92.63	92.62	92.62	92.63	92.63	92.62
	5.91	6.94	6.17	5.72	6.34	7.42	7.19	6.37
	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	
26	17.25	17.26	17.26	17.25	17.26	17.26	17.25	17.28
	92.69	92.69	92.69	92.68	92.69	92.69	92.69	92.69
	2.56	4.04	2.55	5.00	5.31	5.62	5.56	0.00
	0.01	0.06	0.06	0.18	0.07	0.08	0.09	
27	17.20	17.31	17.30	17.20	17.20	17.20	17.31	17.34
	92.69	92.61	92.59	92.53	92.53	92.54	92.61	92.59
	5.00	5.85	9.79	5.00	5.00	5.00	5.63	0.00
	0.56	0.04	0.08	0.17	0.11	0.25	0.04	

Continúa...

No.	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Micro
28	17.20	17.20	17.20	17.20	17.20	17.20	17.20	17.19
	92.72	92.72	92.72	92.72	92.72	92.72	92.72	92.73
	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	24.76
	0.31	0.39	0.39	0.42	0.43	0.45	0.42	
29	17.34	17.35	17.36	17.25	17.37	17.36	17.36	17.38
	92.70	92.70	92.70	92.76	92.70	92.70	92.70	92.68
	5.25	6.29	5.91	5.00	6.88	7.64	7.19	0.00
	0.02	0.00	0.02	0.35	0.01	0.00	0.00	
30	17.09	17.10	17.08	17.08	17.08	17.09	17.09	17.11
	92.73	92.73	92.73	92.74	92.73	92.73	92.73	92.75
	17.56	18.41	18.26	18.61	19.50	18.76	18.44	18.00
	0.08	0.08	0.09	0.27	0.09	0.08	0.08	
31	17.26	17.28	17.28	17.28	17.27	17.27	17.27	17.28
	92.71	92.70	92.70	92.71	92.71	92.71	92.70	92.72
	3.02	2.70	2.53	5.99	7.08	6.01	5.31	10.98
	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	
32	17.25	17.25	17.25	17.26	17.26	17.26	17.25	17.26
	92.72	92.72	92.72	92.71	92.71	92.71	92.71	92.69
	8.43	8.11	8.11	8.17	8.31	8.13	8.08	2.57
	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.23	0.23	
33	17.22	17.22	17.22	17.22	17.22	17.23	17.22	17.22
	92.69	92.68	92.68	92.68	92.68	92.68	92.68	92.67
	2.74	1.62	1.62	1.46	1.31	1.45	1.87	1.63
	0.19	0.13	0.13	0.15	0.13	0.15	0.14	
34	17.24	17.24	17.23	17.23	17.24	17.24	17.24	17.26
	92.73	92.73	92.73	92.74	92.73	92.73	92.73	92.73
	1.76	2.27	2.27	2.20	1.27	1.35	2.10	2.64
	0.22	0.12	0.12	0.23	0.08	0.06	0.10	
35	17.21	17.22	17.22	17.22	17.22	17.22	17.22	17.24
	92.66	92.66	92.66	92.65	92.65	92.65	92.65	92.64
	2.74	4.17	4.17	3.94	4.41	4.52	4.35	4.19
	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	
36	17.15	17.15	17.14	17.14	17.14	17.14	17.15	17.12
	92.72	92.71	92.71	92.71	92.72	92.71	92.71	92.71
	16.11	16.78	17.86	18.35	18.25	17.51	17.22	48.19
	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	

Continúa...

No.	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Micro
37	17.23	17.23	17.23	17.23	17.25	17.24	17.24	17.24
	92.70	92.71	92.71	92.71	92.71	92.71	92.71	92.69
	5.00	5.43	5.43	5.00	6.26	6.20	5.98	23.38
	0.07	0.07	0.07	0.08	0.06	0.06	0.06	
38	17.25	17.25	17.26	17.26	17.25	17.25	17.25	17.25
	92.57	92.55	92.55	92.53	92.53	92.54	92.54	92.51
	4.41	1.91	5.91	4.27	1.72	1.53	1.94	0.00
	0.27	0.25	0.33	0.35	0.19	0.25	0.20	

"Localizaciones epicentrales obtenidas por medio de los diferentes modelos del subsuelo utilizados."

Los datos anteriores se encuentran de la siguiente manera:

1o.- En el extremo izquierdo se localiza el número asignado a cada evento, referido en la tabla 5-1.

2o.- Cada columna corresponde a los resultados obtenidos para cada uno de los diferentes modelos utilizados, como se hace mención en este capítulo, y se encuentran listados como sigue: Latitud Norte en grados, Longitud Oeste en grados, Profundidad en Km., Error mínimo Cuadrático en segundos

cas de la red se registraron 597 lo que es un número razonable. De esta misma ecuación se tiene que eventos mayores de 4.5, deben existir 0.1 por año, ésto es comparable con la actividad registrada en el sistema de información sobre sismos en el cual se tienen tres eventos en cincuenta años, o sea 0.06 al año.

### CONCLUSIONES.

Se ha encontrado que la zona de mayor actividad se encuentra al norte de la red, lo que probablemente esté relacionado con la existencia de un gran número de fallas en esa zona; los eventos en su mayoría son superficiales, y hasta la fecha se ha observado que los profundos ocurren al sur de la presa, lo cual deberá seguir siendo estudiado. Debido a esta distribución sería conveniente instalar estaciones en estas localidades. La actividad sísmica ha sido poca en general, lo que está de acuerdo con la historia sísmica del área.

La densidad de eventos registrados no permite afirmar que tenga alguna relación con las fallas conocidas, pero basándose en la fig. 5-2, es probable que la falla conocida, con azufrito, al norte del embalse tenga cierta actividad.

Debido a que sólo fueron registrados 38 sismos locales, en los tres primeros meses debe prolongarse este estudio en el mayor tiempo posible, para poder tener una idea precisa de las características del área.

Dado que el valor "b" determinado es normal, no puede predecirse el comportamiento de las fallas cuando empiece el llenado, pero ya que es una región activa sísmicamente y muy afallada se espera que en cuanto éste comience, deberá presentarse sísmicidad inducida; pero no puede asegurarse que ocurrirá en alguna de las fallas conocidas.

## APENDICE I

### DETERMINACION DE EPICENTROS.

La localización de temblores es de interés para encontrar fallas activas, y así prevenir los efectos de los sismos en estructuras cercanas al origen de los mismos.

Se han estructurado varios métodos de diferentes grados de exactitud, y, es necesario formarse una idea del error involucrado en cada uno de estos procedimientos.

#### Métodos Gráficos.

El gran problema de éstos es que no toman en cuenta la profundidad del foco, es decir, consideran la profundidad como igual a cero.

Estos métodos son útiles para encontrar la dirección y la distancia aproximada al epicentro, con lo cual se pueden evitar divagaciones en los sistemas analíticos y elaborar una crítica de los mismos. Dentro de ellos tenemos:

#### - Por el uso de Arcos de Circunferencia.

Este método se basa en conocer las distancias a tres estaciones y en trazar arcos de magnitud igual a éstas. El punto en el cual los arcos se cruzan debe ser el epifoco.

La distancia puede calcularse con la tabla 4-1 de la manera descrita anteriormente, o bien, si se conoce la

velocidad aparente de la zona se sustituye en las siguientes expresiones:

$$t_p = \text{dist} / V_p$$

$$t_s = d / V_s$$

$$S-P = d \left( \frac{1}{V_s} - \frac{1}{V_p} \right) = \left( \frac{V_p - V_p \sqrt{3}/3}{V_p \cdot V_p \cdot 1/\sqrt{3}} \right) d$$

$$d = (s - p) = V_p (1/(\sqrt{3}-1)) = (s-p) V_p / .732$$

Entonces se tienen los siguientes valores:

$V_p$	$d = (S-P) \times$
4.5 km/s	6.15
5.0	6.8
5.5	7.5
5.6	7.65
6.0	8.2
7.0	9.6

Como puede observarse en la figura I-1 las curvas - que teóricamente deberían cortarse en un punto, no lo hacen pero encierran un área dentro de la cual se encuentra el epicentro. Existen criterios para encontrar el punto adecuado, pero éstos son convencionales y lo cierto es que no es posible conocerlo exactamente.

#### - N. de los Círculos.

Conocida la velocidad aparente del área y los tiempos de llegada a tres o más estaciones es posible postular,

que si se trata con un medio homogéneo: si a los diferentes tiempos de arribo se les resta el menor y se le multiplica por la velocidad aparente, se obtendrá una serie de círculos que serán tangentes a otro de centro en el epicentro y de distancia igual a  $V_a T_0$ , ésto es:

Si

$$T_1 > T_0$$

$$T_2 > T_0$$

$$T_3 > T_0$$

$V_a$  - velocidad aparente

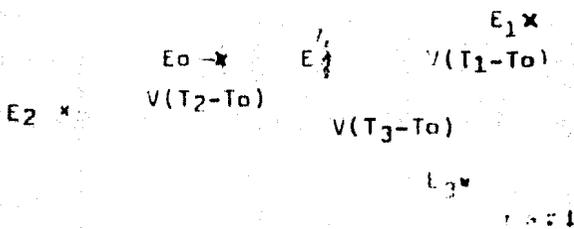
$E_i$  - iésima estación

$D_i$  - distancia a la iésima estación.

$E$  - epicentro

$$D_i = V_a T_i$$

$$V_a T_i - V_a T_0 = (T_i - T_0) V_a$$



En la práctica, con la experiencia se hace posible encontrar "E", sin necesidad de realizar todos estos cálculos. Este método nos forma una idea de la velocidad aparente que deberá emplearse en algunos casos cuando se tienen los tiempos de "P" en tres estaciones; el método puede fallar al presentar dos probables epicentros; el criterio a seguir para tomar el correcto será de acuerdo a la lectura de S-P que se tenga en alguna estación.

Este método presenta la ventaja de que para aplicarlo sólo es necesario conocer el tiempo de llegada de las ondas a las estaciones, lo que es primordial para nosotros, pues dado el tipo de temblores estudiados en este proyecto, a veces no es posible leer ninguna otra fase de los sismo -

grámas.

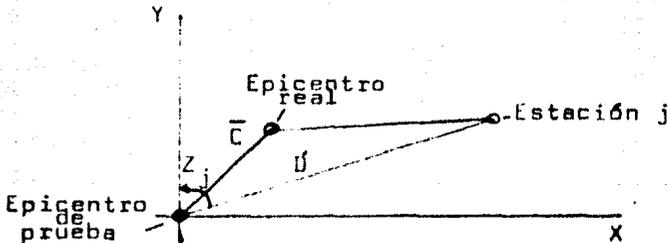
Este sistema ha sido la base de los programas de computación utilizados para determinar la localización exacta de los eventos registrados.

Si se introduce la profundidad focal como incógnita entonces el número de estaciones que registren la llegada de la onda "P" deberán ser cuatro.

Localización por Mínimos Cuadrados.

De acuerdo a Bullen una ecuación que condiciona a los tiempos de trayectoria, con correlaciones de primer orden, sería de la forma:

$$(C_x \text{ Sen } Z_j + C_y \text{ cos } Z_j) (\partial T / \partial D)_{H_0} - \xi_0 = T(D, H_0) - (T_j - T_0) \dots (1)$$



- Donde:
- $\bar{C} = (C_x, C_y)$  Corrección que debiera hacerse al epicentro de prueba.
  - D Distancia entre la estación y el epicentro de prueba.
  - $Z_j$  Azimut del vector que va del epicentro a la estación.
  - $T(D, H_0)$  Tiempo de trayectoria en función de la distancia y la profundidad.
  - $T_j$  Tiempo de llegada en la estación j.
  - $T_0$  Tiempo de origen de prueba.
  - $\xi_0$  Corrección para el tiempo de origen.
  - $(\partial T / \partial D)_{H_0}$  Derivada parcial del tiempo de tra -

vectoria a una profundidad constante.

Si suponemos un seriespacio homogeneo isotrópico:

$$T(D, H_0) = \frac{\sqrt{D^2 - H^2}}{V}$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial D}\right)_{H_0} = \text{sen } i / V = H_0 / \sqrt{D^2 - H_0^2}$$

Donde i es el ángulo de incidencia.

Multiplicando la ecuación (1) por V/sen i y sustituyendo - las expresiones anteriores se tiene:

$$C_x \text{sen } 2j + C_y \text{Cos } 2j - \xi_0 (V/\text{Sen } i) = (1/\text{Sen } i) (\sqrt{D^2 - H_0^2} - V(T_j - T_0))$$

Esta ecuación puede ser escrita como:

$$C_x A_{j1} + C_y A_{j2} + \xi_0 A_{j3} = A_{j4}$$

Si se tienen los tiempos de arribo de tres o mas estaciones puede plantearse un sistema de ecuaciones normales:

$$A_{k1} C_x + A_{k2} C_y + A_{k3} \xi_0 = A_{k4} \dots \dots \dots (2)$$

donde k = 1, 2, 3

$$y \quad A_{KL} = \sum_{j=1}^n A_{jL} \cdot A_{jk}$$

Resolviendo la ecuación (2) se obtienen las correc- ciones para Cx, Cy, y  $\xi_0$  que deberan aplicarse a los parame- tros de prueba.

Puede observarse que para facilidad de cálculo se - tomó la profundidad como un dato; pero en la realidad no se le puede fijar un cierto valor apriori, con lo cual en la - ecuación (1) se tendrían cuatro incógnitas y para resolver- la se necesitarían, cuando menos, tiempos en cuatro estacio- nes.

Si se tienen más ecuaciones que incógnitas, es decir datos de más estaciones que las requeridas, no se tendrá u- na solución única por lo cual será conveniente calcular un parámetro estadístico del error.

## APENDICE 2.

### CARACTERÍSTICAS INTERNAS DEL EQUIPO.

Constantes para la fórmula de Brune and Allen.

$$M_L = \text{Log } A + G + \text{Gain} + A_0 + A_{20}$$

En la cual: Gain es ganancia máxima instrumental menos ganancia de operación entre 20 en dB.

G es  $\text{Log } (2800 / \text{Ganancia})$ ; donde 2800 es igual a ganancia del aparato a 20 Hz; ganancia es igual a la sensibilidad máxima de desplazamiento del sismómetro a 20 Hz. (Fig. 11-3) sobre la sensibilidad del voltaje a 20 Hz para la curva del filtro alto usado. (Fig 11-2).

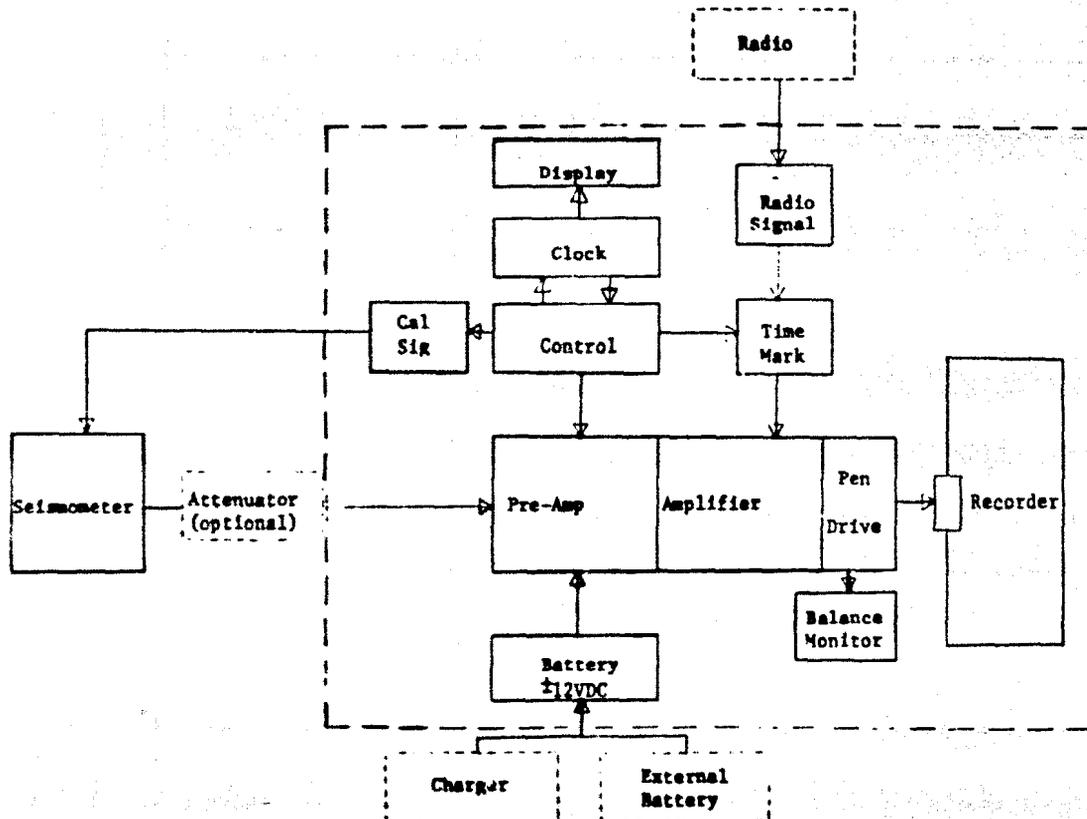
Por ejemplo: si se tiene una amplitud de 1 mm. a 5 - km. del epicentro con un instrumento funcionando a 84 dB y - 5-10 Hz.

$$M = 0 \text{ Log } (2800 / [4.5 \times 10^7 / 4.16]) + (120 - 84) / 20 + 1.4 + 0.55)$$

$$M = 0 - 3.59 + 1.8 + 1.4 + 0.55, \quad \Delta = 0.16$$

X	$A_{20}$	dB	Gain
5 Km.	0.55	90	1.5
8 "	1.0	84	1.8
15 "	1.5	78	2.1
20 "	1.7	72	2.4
24 "	1.8		

Filtro Alto	G (dB)	$A_0$
10	-3.59	Se obtiene de la tabla 4-1.
5	- 3.36	



MEQ-800 FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

MRO-800  
 30 OCT 75

1.4 SYSTEM SPECIFICATIONS

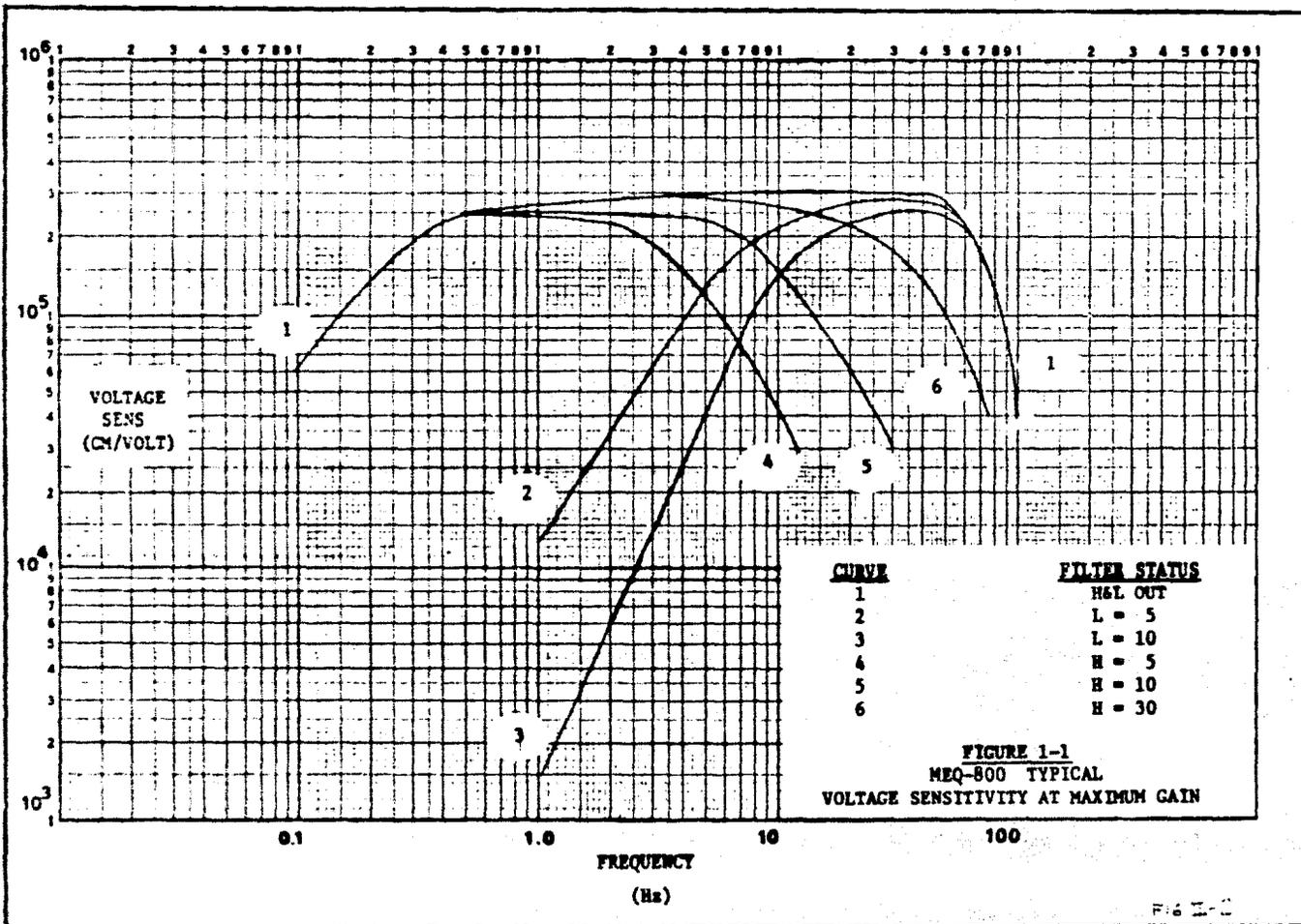
1.4.1 GENERAL

- Size: ..... 18½" x 12½" x 9½" (46cm x 32cm x 24cm)
- Weight: ..... 32 Lbs. (14.5 Kg) (excluding seismometer)
- Maximum Voltage Sensitivity: .....  $3 \times 10^5$  cm/volt
- Minimum Voltage Sensitivity: ..... 3 cm/volt with input attenuator,  $3 \times 10^2$  cm/volt without input attenuator
- Power Requirements: . Internal batteries, +12VDC and -12VDC
- Velocity Sensitivity (Sv):....  $5.6 \times 10^5$  cm/cm/sec, maximum
- Displacement Sensitivity (Sd):....  $35.0 \times 10^6$  cm/cm, maximum at 10 Hertz
- Temperature Range ... 0° to 50°C (32° to 122°F)

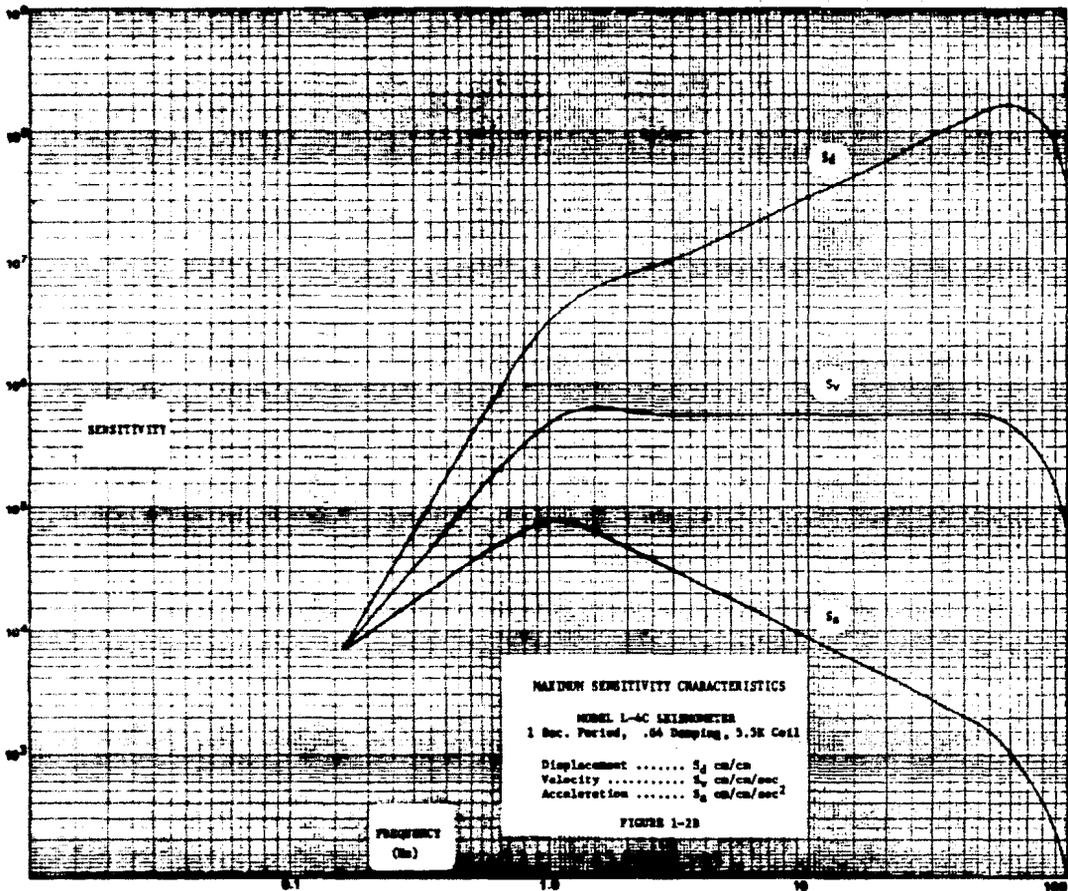
1.4.2 AMPLIFIER

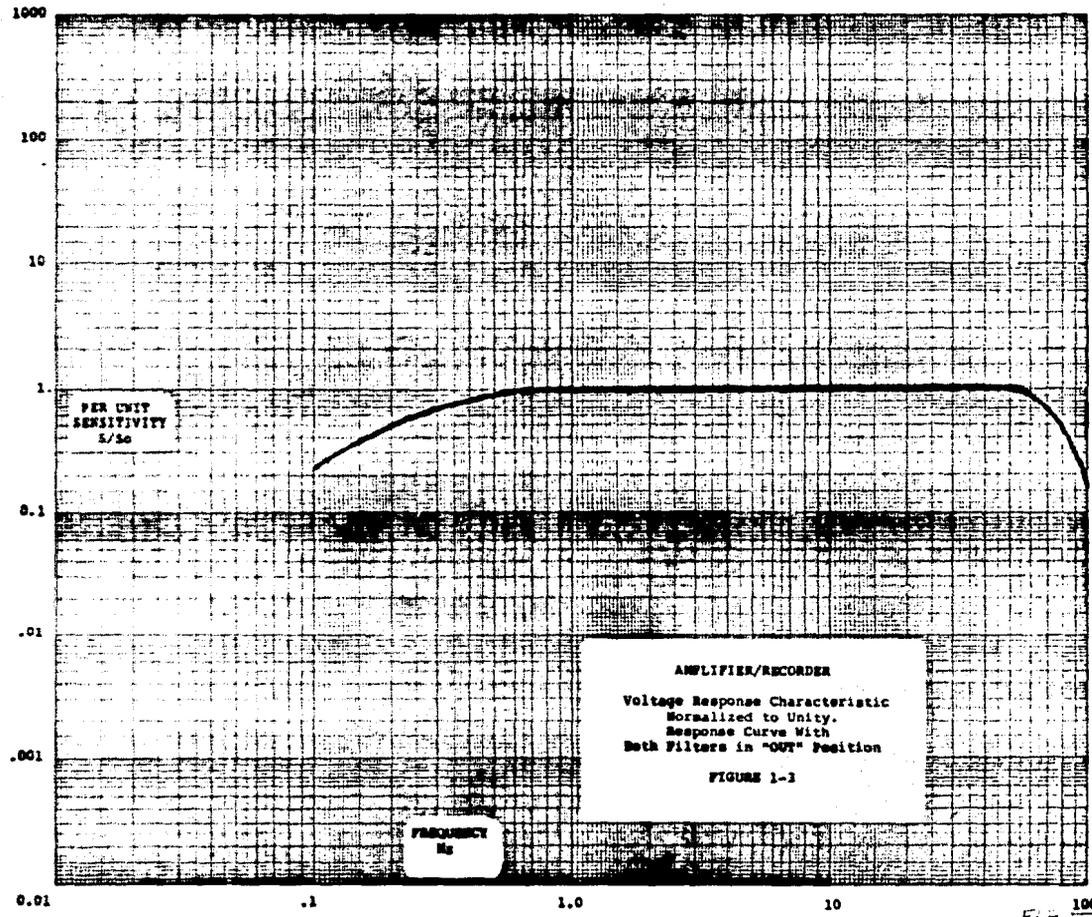
- Voltage Gain: .....  $1 \times 10^3$  minimum,  $1 \times 10^6$  maximum
- Gain Control: ..... 60 dB to 120 dB in 6 dB increments
- Gain Stability: .....  $\pm 1\%$
- Noise Referred To Input: ..... .3 microvolt peak
- Unfiltered Frequency Response: ..... 3 dB points at .3 Hz and 70Hz
- Frequency Band Pass Limits: ..... .3Hz, 5Hz, or 10Hz (low end) and 5Hz, 10Hz, 30Hz, or 70Hz (high end)
- Input Impedance: .... 100 K ohms

Typical system performance curves for voltage sensitivity at maximum gain input are shown in Figure 1-1. IB to current or voltage ratio conversions are contained in Table 1-2.



30 OCT 78





TA L 5-1

No.	Fecha	Magnitud	Códel
1	Enero 27	10	11
2	" 27	12	19
3	" 27	13	16
4	" 29	31	23
5	" 29	13	33
6	Febrero		
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			

1.4.3 SEISMOMETER

MODEL

- Moving Mass: ..... 9774 Kg
- Period: ..... 1 Sec, Nominal
- Weight: ..... 4.75 Lbs (2.15 Kg)

SIGNAL COIL

- Turns: ..... -
- Resistance: ..... 5500 ohms
- Electrodynamic Constant: ..... 273 V/M/Sec., Nominal
- Effective Output (across 13K ohm damping resistor) 188 V/M/Sec.
- CDRX: ..... 11,000 ohms
- CDR: ..... 11,000 ohms
- External Damping Resistor ( $R_{ex}$ ) .6H:.. 13,000 ohms
- Location of damping resistor ..... IN SEISMOMETER

CALIBRATE COIL

- Turns: ..... -
- Motor Constant (K):.. 426 Newtons/Aspere
- Resistance: ..... 5 ohms, Nominal

Typical system maximum sensitivity curves for displacement ( $S_d$ ), velocity ( $S_v$ ), and acceleration are shown on Figure 1-2A and Figure 1-2B.



APENDICE 3.

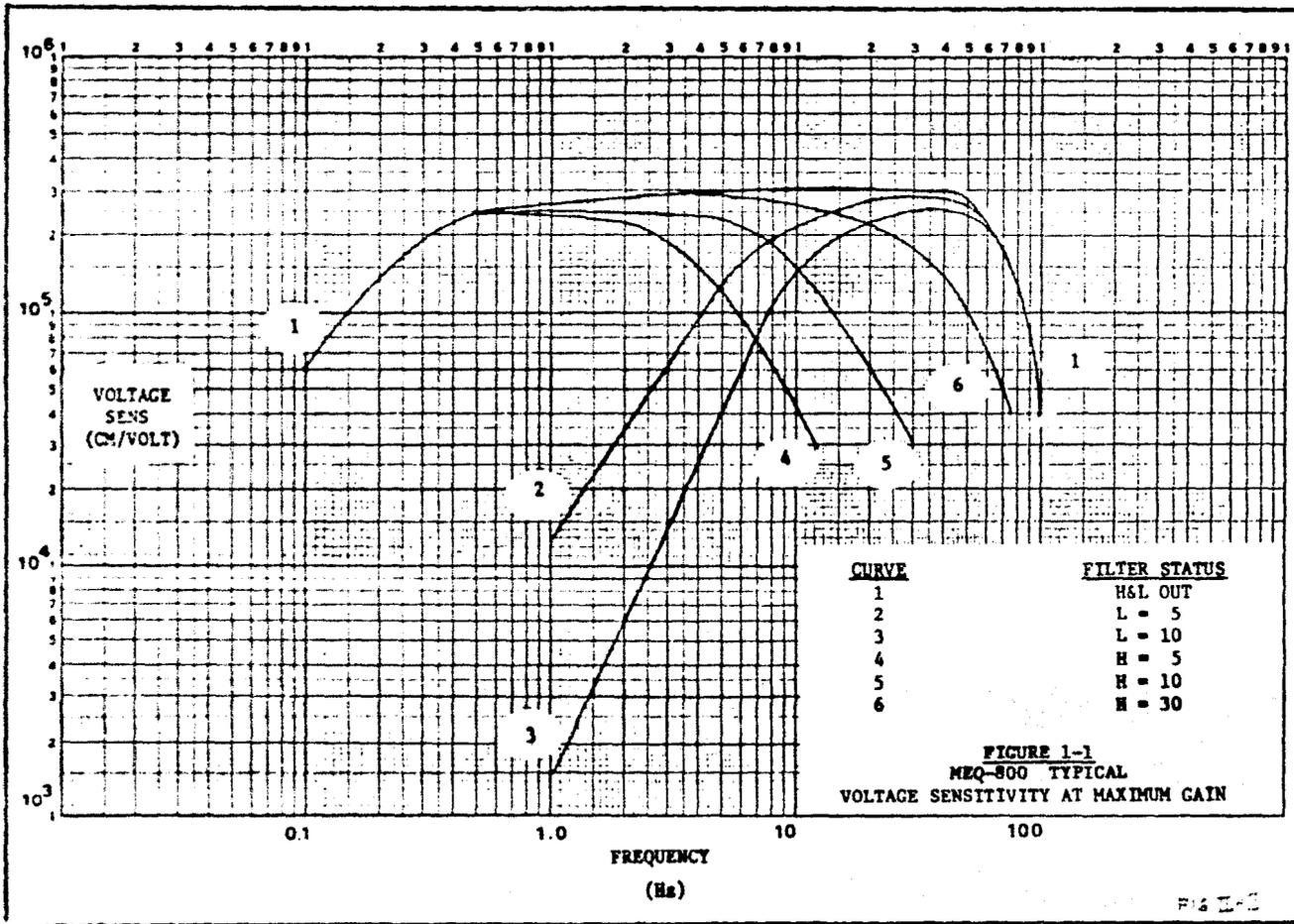
DATOS OBTENIDOS DE LOS SISMOGRAMAS.

Est.	P	S	Coda	Amp.	U. M.	Gen.	Filtros
<u>1.- Ene 27 10 11</u>							
2	36.	36.7	25	52	25	90	5-10
4	36.6	37.7	20	12	25	84	5-10
5	36.	36.7	13	60	25	84	5-10
<u>2.- Ene 27 12 29</u>							
2	10.	12.1	6	3	25	90	5-10
4	11.1		5	3	25	84	5-10
5	10.		7	4.8	25	84	5-10
<u>3.- Ene 27 13 06</u>							
2	20.9	21.8	5	3	25	90	5-10
4	21.8		7	4	25	84	5-10
5	20.9	21.7	7		25	84	5-10
<u>4.- Ene 29 01 23</u>							
1	15.7		15	2.5	25	84	5-10
2	14.5		12	2.	10	90	5-10
3	14.5		20	5.5	25	84	5-10
4	14.6	16.1	20	2.5	10	84	5-10
<u>5.- Ene 29 13 33</u>							
1	33.0	34.6	30	2.5	25	84	5-10
3	33.6		20	0.8	25	84	5-10
4	33.5		20	1.2	10	84	5-10
<u>6.- Feb 1 05 00</u>							
2	17.3	17.1	20	6.5	10	90	5-10
4	17.4		10	1.5	10	84	5-10
5	16.6	17.2	15	5.0	25	84	5-10
<u>7.- Feb 1 06 20</u>							
1	1.3		15	1.0	25	84	5-10

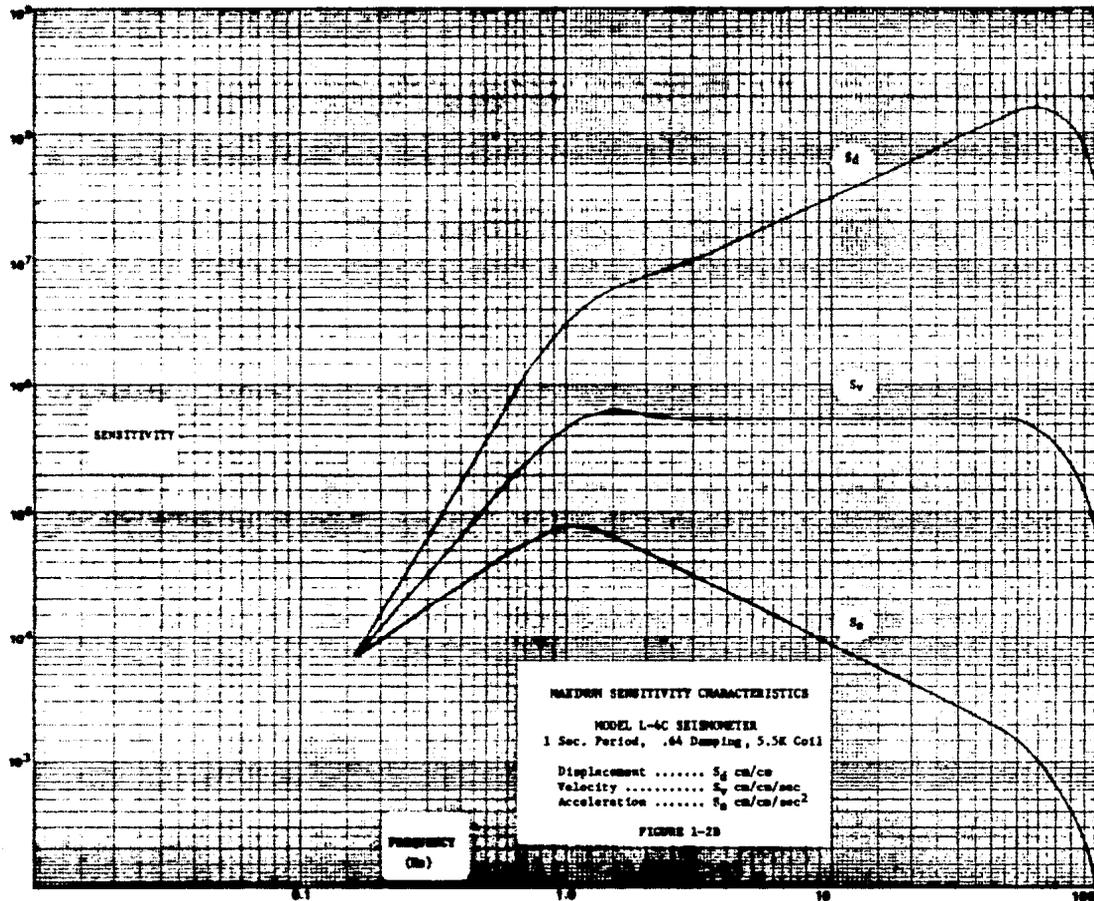
Continúa.....

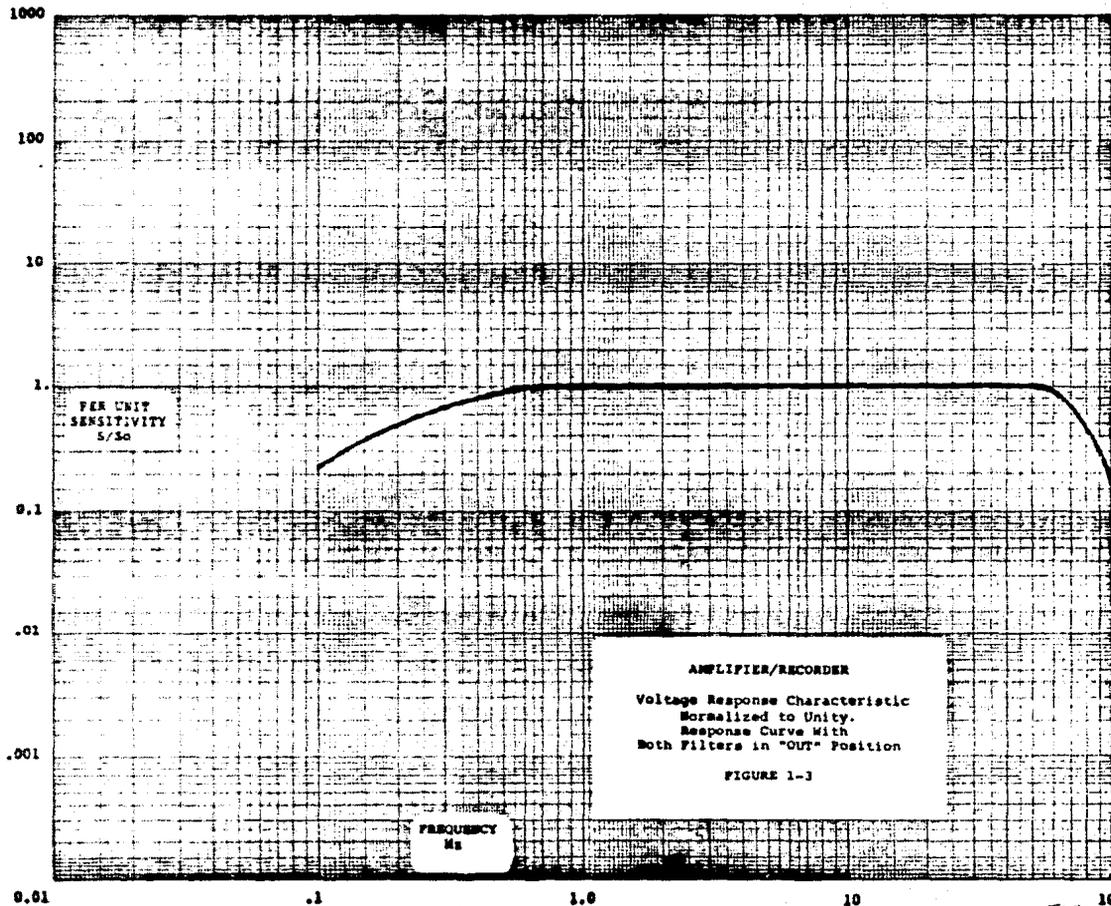
Est.	P	S	Coda	Amp.	D.M.	Gen.	Filtros
2	0.3		30	2.5	10	90	5-10
4	0.8	4.	30	3.	10	84	5-10
5	0.3		27	2.	25	84	5-10
<u>8.- Feb 3 15 48</u>							
1	43.5	46.7	9	1.6	25	84	5-10
2	42.	43.	12	0.6	25	84	5-10
4	43.0	45.2	15	5.	25	84	5-10
<u>9.- Feb 4 11 25</u>							
2	25.8	27.	20	1.5	25	84	5-10
3	26.		20	0.5	25	84	5-10
4	26.1		25	2.5	10	84	5-10
<u>10.- Feb 6 07 16</u>							
2	41.5		10	2.	10	84	5-10
4	41.9	43.3	15	3.5	10	84	5-10
5	41.4	42.4	15	4.	10	94	5-10
<u>11.- Feb 6 08 26</u>							
2	33.6		25	0.8	10	84	5-10
3	33.9		25	2.	25	84	5-10
4	33.4		30	5.	10	84	5-10
<u>12.- Feb 8 02 26</u>							
1	29.5		40	5.	25	84	5-10
3	29.8		42	2.	25	84	5-10
4	29.4	33.3	45	5.	10	84	5-10
5	28.8		36	2.	25	84	5-10
<u>13.- Feb 10 02 14</u>							
2	19.6	22.5	12	3.	10	78	5-10
4	20.3	23.6	17	3.	10	84	5-10
5	19.6	22.6	13	3.5	25	84	5-10
<u>14.- Feb 15 07 04</u>							
1	30.6		20	0.7	25	84	5-10
2	29.8	30.5	10	4.	10	84	5-10
3	30.6		15	1.5	25	84	5-10
4	29.7	30.3	20	7.	10	84	5-10
5	30.	31.	15	1.	25	78	5-10

Continúa...



30 OCT 75





TAL 5-1

No.	Fecha	Magnitud	Códel
1	Enero 27	10	11
2	" 27	12	09
3	" 27	12	06
4	" 25	01	23
5	" 29	12	33
6	Febrero		
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			

1.4.3 SEISMOMETER

MODEL

- Moving Mass: ..... 0.9774 Kg
- Period: ..... 1 Sec, Nominal
- Weight: ..... 4.75 Lbs (2.15 Kg)

SIGNAL COIL

- Turns: ..... —
- Resistance: ..... 5500 ohms
- Electrodynamic Constant: ..... 273 V/W/Sec., Nominal
- Effective Output (across 13K ohm damping resistor) 188 V/W/Sec.
- CDRX: ..... 11,000 ohms
- CDR: ..... 11,000 ohms
- External Damping Resistor ( $R_{ex}$ ) .6M:.. 13,000 ohms
- Location of damping resistor ..... IN SEISMOMETER

CALIBRATE COIL

- Turns: ..... —
- Motor Constant (K):.. 0.426 Newtons/Ampere
- Resistance: ..... 5 ohms, Nominal

Typical system maximum sensitivity curves for displacement ( $S_d$ ), velocity ( $S_v$ ), and acceleration are shown on Figure 1-2A and Figure 1-2B.

1.4.4 RECORDER

- Record Size: ..... 343mm x 600mm (13.5" x 24")
- Line Spacing: ..... 1/2 mm,  
1 mm, or  
2 mm
- Recording Speeds: ... 60 mm per min, or  
120 mm per min.
- Motor Type: ..... 60Hz synchronous inductive.
- Motor Accuracy: ..... Equal to base frequency oscillator of system clock.
- Drum Drive  
Motor Speed: ..... 1 RPM
- Translation Drive  
Motor Speed: ..... 1/6 RPM
- Stylus Length: ..... 12.5cm
- Pen Motor  
Frequency Response: . DC to 75 Hz

Recorder Speed, duration, and line spacing options are specified in Table 1-3.

APENDICE 3.

DATOS OBTENIDOS DE LOS SISMOGRAMAS.

Est.	P	S	Coda	Amp.	D. M.	Gan.	Filtros
<u>1.- Ene 27 10 11</u>							
2	36.	36.7	25	52	25	90	5-10
4	36.6	37.7	20	12	25	84	5-10
5	36.	36.7	13	60	25	84	5-10
<u>2.- Ene 27 12 29</u>							
2	10.	12.1	6	3	25	90	5-10
4	11.1		5	3	25	84	5-10
5	10.		7	4.8	25	84	5-10
<u>3.- Ene 27 13 06</u>							
2	20.9	21.8	5	3	25	90	5-10
4	21.8		7	4	25	84	5-10
5	20.9	21.7	7		25	84	5-10
<u>4.- Ene 29 01 23</u>							
1	15.7		15	2.5	25	84	5-10
2	14.5		12	2.	10	90	5-10
3	14.5		20	5.5	25	84	5-10
4	14.6	16.1	20	2.5	10	84	5-10
<u>5.- Ene 29 13 33</u>							
1	33.0	34.6	30	2.5	25	84	5-10
3	33.6		20	0.8	25	84	5-10
4	33.5		20	1.2	10	84	5-10
<u>6.- Feb 1 05 02</u>							
2	17.3	10.1	20	0.5	10	90	5-10
4	17.4		10	1.5	10	84	5-10
5	16.6	17.3	15	5.0	25	84	5-10
<u>7.- Feb 1 06 20</u>							
1	1.2		15	1.0	25	84	5-10

Continúa.....

Est.	P	S	Coda	Amp.	W.M.	Gen.	Filtros
2	0.3		30	2.5	10	90	5-10
4	0.8	4.	30	3.	10	84	5-10
5	0.3		27	2.	25	84	5-10

8.- Feb 3 15 48

1	43.5	46.7	9	1.6	25	84	5-10
2	42.	43.	12	0.6	25	84	5-10
4	43.0	45.2	15	5.	25	84	5-10

9.- Feb 4 11 25

2	25.8	27.	20	1.5	25	84	5-10
3	26.		20	0.5	25	84	5-10
4	26.1		25	2.5	10	84	5-10

10.- Feb 6 07 16

2	41.5		10	2.	10	84	5-10
4	41.9	43.3	15	3.5	10	84	5-10
5	41.4	42.4	15	4.	10	94	5-10

11.- Feb 6 08 26

2	33.6		25	0.8	10	84	5-10
3	33.9		25	2.	25	84	5-10
4	33.4		30	5.	10	84	5-10

12.- Feb 8 02 26

1	29.5		40	5.	25	84	5-10
3	29.8		42	2.	25	84	5-10
4	29.4	33.3	45	5.	10	84	5-10
5	28.8		36	2.	25	84	5-10

13.- Feb 10 02 14

2	19.6	22.5	12	3.	10	78	5-10
4	20.3	23.6	17	3.	10	84	5-10
5	19.6	22.6	13	3.5	25	84	5-10

14.- Feb 15 07 04

1	30.6		20	0.7	25	84	5-10
2	29.8	30.5	10	4.	10	84	5-10
3	30.6		15	1.5	25	84	5-10
4	29.7	30.3	20	7.	10	84	5-10
5	30.	31.	15	1.	25	78	5-10

Continúa...

Est.	P	S	Coda	Amp.	D.M.	Gen.	Filtros
<u>15.- Feb 17 13 27</u>							
2	6.	6.7	7	1.	10	84	5-10
4	6.8	7.8	10	0.7	10	84	5-10
5	6.0	6.7	17	2.	25	84	5-10
<u>16.- Feb 20 06 57</u>							
2	40.7	41.7	13	4.	10	84	5-10
3	41.6		15	3.5	25	84	5-10
4	41.2		15	1.5	10	84	5-10
<u>17.- Feb 21 07 21</u>							
1	60.6		10	0.3	25	84	5-10
2	59.9	62.4	12	0.7	10	84	5-10
4	60.6		10	4.	10	84	5-10
<u>18.- Feb 21 14 35</u>							
1	27.8		40	8.5	25	84	5-10
2	26.7		32	5.	10	84	5-10
3	27.6				25	84	5-10
5	27.1	29.5	30	12.	25	84	5-10
<u>19.- Feb 22 10 57</u>							
1	12.6		35	7.5	25	84	5-10
2	12.6		33	7.	10	84	5-10
3	13.8		40	3.	25	84	5-10
4	13.2	16.	35	10.	10	84	5-10
5	12.6	15.1	35	22.	25	84	5-10
<u>20.- Feb 23 01 39</u>							
1	43.	44.	30	5.3	25	84	5-10
3	44.4		35	0.6	25	84	5-10
4	43.2		25	1.	10	84	5-10
<u>21.- Feb 25 15 00</u>							
1	15.3	20.3	30	3.5	25	84	5-10
2	13.9	17.1	20	6.	10	78	5-10
3	14.		35		25	84	5-10
<u>22.- Feb 27 11 14</u>							
1	8.8		40	4.5	25	84	5-10

Continúa.....

Est.	P	S	Coda	Amp.	D.M.	Gan.	Filtros
2	8.	11.	25	3.	10	78	5-10
4	8.5	12.	35	8.	10	84	5-10
5	6.9	9.7	30		25	84	10-10

23.- Mar 7 03 27

2	27.	27.7	10	5.	10	72	5-10
3	27.8		15	1.5	10	84	5-10
4	27.6	29.4	15	5.	10	84	5-10
5	26.9	27.7	5	8.	25	84	5-10

24.- Mar 10 11 52

1	54.2	57.5	30	6.	25	84	5-10
2	53.2	55.2	15	8.	10	72	5-10
3	53.0	54.8	30	10.	10	84	10-10
5	53.	54.8	20	32.	25	84	5-10

25.- Mar 13 11 05

1	32.2	34.2	60	42.	25	84	5-10
2	30.9	32.1	30	16	10	72	10-10
3	32.7	35.2	50	15	10	84	10-10
4	31.8	34.	60	36	10	84	5-10
5	31.	32.1	40	72	25	84	5-10

26.- Mar 22 13 36

2	27.8	29.1	6	3.	10	84	10-10
4	28.1	29.7	13	7.2	10	84	10-10
5	28.2		4	2.	25	84	5-10

27.- Mar 27 07 30

2	58.6	61.	20	3.2	10	84	5-10
4	59.2	62.3	25	4.7	25	78	10-10
5	58.5	60.9	10	13.5	25	84	5-10

28.- Mar 28 10 26

2	44.8	49.7	15	5.1	10	84	5-10
3	45.2	48.2	40	1.7	25	84	10-10
4	44.8	48.9	45	6.5	10	84	10-10
5	44.9	49.7	60	22.	25	84	5-10

Continua ...

Est.	P	S	Coda	Amp.	D.M.	Gen.	Filtros
<u>29.- Mar 30 18 23</u>							
2	14.8	17.8	20	2.	10	84	5-10
3	14.2		15	0.8	25	78	10-10
4	15.		25	2.5	10	84	10-10
<u>30.- Abr 3 08 03</u>							
1	40.9		17	3.	25	84	5-10
2	41.5		12	0.5	10	84	10-10
3	42.1	45.9	20	1.	25	84	10-10
4	41.4	44.4	15	2.5	10	84	10-10
5	41.7	45.3	14	4.5	25	90	5-10
<u>31.- Abr 3 09 30</u>							
2	49.9	51.2	12	3.5	10	84	10-10
3	49.5	50.9	13	1.5	25	84	10-10
4	49.8	51.6	13	3.5	10	84	10-10
5	50.	52.	10	5.	25	90	5-10
<u>32.- Abr 4 14 44</u>							
3	31.1	31.6	15	2.0	25	84	10-10
4	31.1	32.7	17	8.	10	84	10-10
5	31.2		20	0.8	25	90	5-5
6	30.6	32.6	14	2.5	10	84	10-10
<u>33.- Abr 5 01 20</u>							
1	44.7	46.9	18	10.	25	84	10-10
3	44.7	46.3	17	7.	10	84	10-10
4	43.8	44.5	20	13.	10	84	10-10
5	43.5		35	25	25	90	5-5
6	43.	43.6	22	10.	10	84	10-10
<u>34.- Abr 6 03 05</u>							
1	50.3		15	1.5	25	84	5-10
3	49.7	49.2	20	0.5	10	84	10-10
4	49.		20	7.	10	84	10-10
6	49.7	49.3	20	6.	10	84	10-10

Est.	P	S	Coda	Amp.	D.M.	Gan.	Filtros
<u>35.- Abr 7 07 00</u>							
4	34.5	35.9	10	2.	10	84	10-10
5	33.7	34.6	10	5.	25	90	5-5
6	34.2	35.3	10	1.5	10	84	10-10
<u>36.- Abr 9 18 52</u>							
1	42.3		17		25	84	10-10
3	43.		20	2.	25	84	10-10
4	42.4		20	0.8	10	84	10-10
5	42.6	45.5	23	3.	25	90	5-5
6	42.8		15	1.	10	84	10-10
<u>37.- Abr 13 18 07</u>							
4	13.2		15	2.5	10	84	10-10
6	12.8	14.	15	3.5	10	84	10-10
<u>38.- Abr 14 06 55</u>							
1	15.7	20.4	18	1.	25	84	10-10
4	15.3	18.5	17	3.	10	84	10-10
5	14.1	15.8	20	6.	25	90	5-5
6	14.9	17.5	15	2.	10	84	10-10

Est. - Estación

P - Tiempo de arribo de la onda P

S - Tiempo de arribo de la onda S

Coda - Tiempo de duración del evento

Amp. - Amplitud máxima leída en mm.

D.M. - Deflexión máxima del aparato

Gan. - Ganancia máxima del aparato en dB.

Filtros- Posición de los filtros de corte de frecuencia:  
baja-alta en Hz.

## BIBLIOGRAFIA.

- I.- BAKUR, W. H.; LINDH, A. G. (1977) Local Magnitudes, Seismic Moments And Coda Durations for Earthquakes Near-Oroville, California; BSSA Vol. 67 No. 3 p.p. 615-629.
- II.- BASURTO G., JESUS. (1977) Apuntes del Curso de Prospección Sismológica; Fac. de Ingeniería, U.N.A.M.
- III.- BATH, M. (1970) Introduction to Seismology; Birkhäuser - Verlag; p.395.
- IV.- BROWN, R. D., WARD P.L. AND PLAFKER, G. (1973), Geologic and Seismologic Aspects of the Managua, Nicaragua, - Earthquakes of December 23, 1972; Geologic Survey, - professional paper 838, p.34.
- V.- BRUNE, J. N., ALLEN, C. R. (1967), A Micro Earthquake Survey of the San Andreas Fault System in Southern California, BSSA, Vol. 57 No. 2; p.p. 277-296.
- VI.- BULLEN K., E. (1953), An Introduction to the Theory of - Seismology; University Press, Cambridge, Mass; second edition, p. 296
- VII.- COMISION AMERICANA DE NOMENCLATURA ESTRATIGRAFICA. (1970) Código de Nomenclatura Estratigráfica; U.N.A.M. México, D.F.; p. 28.
- VIII.- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD. (1977), Proyecto Hidroeléctrico Itzantón; Informe Preliminar No. 1, México-D.F. p.p. 7-20.

IX.- DAPPLES E., C. (1963), Geología Básica en Ciencia e Ingeniería; Omega, S.A., Barcelona, p. 640.

X.- GOUGH D, I. (1976), Induced Seismicity; Department of Physics the University of Alberta, Edmonton, p. 52.

XI.- CRANT F, S; and WEST G., F. (1965), Interpretation Theory - in Applied Geophysics; Mc. Graw Hill, New York.

XII.- GUPTA H., K. and NARAIN, H. (1968), Koyna Earthquake; Nature, Vol. 217, p.p. 1138-1149.

XIII.- GUPTA H., K; RASTOGI B, K., and NARAIN, H. (1972), Common Features of the Reser Voir-Associated Seismic Activities; B. Seism. Soc of America, Vol. 62, p.p. 481-492.

XIV.- GUPTA H., K; RASTOGI B, K; and NARAIN, H. (1972), Some Discriminatory characteristics of Earthquakes near the Kariba Kremasta, and Koyna Artificial Lakes; Bull Seism. Soc. of America, Vol. 62, p.p. 493-507.

XV.- HASKOV, JENS. (1978), System of Equations to Find the Epicenter; Conferencia (próxima edición).

XVI.- HASKOV, JENS. (1978), Epicenter Program for Texas Instru - ment I-1 52; conferencia (próxima edición).

XVII.- KISSLINGER, C. (1976), A Review of Mechanisms of Induced - Seismicity; Engineering Geology, Vol. 10, No. 2 ; p.p. 15-23

XVIII.- KREYSZIG, E. (1978), Matemáticas Avanzadas para Ingenieros; Limusa, México; 3a. ed. p.p. 942-946.

XIX.- LEIT L., D. and GIBSON, S. (1975), Fundamentos de Geología Física; México, Limusa, p. 450.

- XX.- MOGI, KIYOO. (1967), Effect of the Intermediate Principal Stress on Rock Failure; J. Geophys Res, Vol. 72 , - p.p. 5117-5131.
- XXI.- O'NEILL M., E. and HEALY J., H. (1973), Determination of Source for Meter of Small Earthquakes from P-wave Rise Time; BSSA, Vol. 63, No. 2; p.p. 559-614.
- XXII.- RALEIGH C., J.; HEALY J., D. and BREDENHOF J., D. (1973), - An Experiment in Earthquake Control at Rangely, Colorado; Science, Vol. 191, p.p. 1230-1257.
- XXIII.- RICHTER C., F. (1958), Elementary Seismology; W.H. Freeman and Company, p. 768.
- XXIV.- SANDOVAL J., H. (1975), Sistema de Información sobre Sismos; Instituto de Ingeniería, U.N.A.M., No. 348.
- XXV.- SCHOLZ C., H. (1968), The Frequency-Magnitude Relation of Microfracturing in Rock and Its Relation to Earthquakes; Bull of Seis. Soc. of America, Vol. 58, No. 1- p.p. 399-415.
- XXVI.- STEWART S., W; LEE W., H. K. and EATON J., P. (1971), Location and Real-time Detection of Micro Earthquakes along the San Andreas Fault System in Central California; Royal Society of New Zealand, bulletin 9, p.p. 205-226.
- XXVII.- TSUBOKA, T. (1967), Determination of Earthquake Magnitude - from total Duration of Oscillation; Bull of Earth - quakes Research Institute, Vol. 15, p.p. 7-18

XXVIII.- W. F. SPRENGNETHER. (1976), Introduction Manual for  
Microearthquake System Model MEQ-800; San Louis  
USA, p. 92