

24  
58

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

" ESTUDIO DE LOS PULSOS DE LOS ACELEROGRAMAS  
REGISTRADOS EN UNA PRESA "

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
PRESENTA

GABRIELA CHAVEZ LOPEZ.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

UNAM



## **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 está 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Señorita GABRIELA CHAVEZ LOPEZ,  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor M. en C. Jorge Prince Alfaro, para que lo desarrolle como TESIS para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO CIVIL.

"ESTUDIO DE LOS PULSOS DE LOS ACELEROGRAMAS REGISTRADOS  
EN UNA PRESA"

- I. Introducción.
- II. Planteamiento del problema.
- III. Trabajo analítico.
- IV. Investigación experimental.
- V. Discusión de resultados.
- VI. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, a 18 de julio de 1985  
EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ.

OARCH/RCCH/sho.

# ESTUDIO DE LOS PULSOS DE LOS ACELEROGRAMAS REGISTRADOS EN LA PRESA LA VILLITA.

I.	INTRODUCCION	1
	I.1 Localización de la presa La Villita.	1
	I.2 Características generales de la presa La Villita.	2
	I.3 Instrumentación sísmica en La Villita.	3
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
	II.1 Sismicidad en la zona de La Villita.	4
	II.2 Los sismos más importantes que se han registrado en la presa.	4
	II.3 Registro de sismos en la corona de La Villita.	5
	II.4 Características y peculiaridades de los acelerogramas.	7
	II.5 Desplazamientos medidos por CFE en la presa.	7
III.	TRABAJO ANALITICO	9
	III.1 Integración de picos simulados.	9
	III.2 Influencia de las correcciones del acelerograma.	10
	III.3 Aceleraciones, velocidades y desplazamientos asociados a los picos.	11
	III.4 Convención de signos de las variables involucradas.	11
	III.5 Características geométricas de los picos.	12
IV.	INVESTIGACION EXPERIMENTAL	14
	IV.1 Objetivos de las pruebas.	14
	IV.2 Descripción de las pruebas realizadas.	15

V.	DISCUSION DE RESULTADOS	20
VI.	CONCLUSIONES	26
	VI.1 Recomendaciones.	26
	REFERENCIAS	28
	TABLAS	
	FIGURAS	
	APENDICE A	

## I. INTRODUCCION.

El objeto de este estudio es la presa José Ma. Morelos ( La Villita) donde la Comisión Federal de Electricidad (CFE) dispone de aparatos denominados acelerógrafos para el registro de temblores fuertes. Entre los instrumentos de esta clase que la CFE ha instalado en proyectos hidroeléctricos, se cuenta el localizado cerca de la corona, al centro de la cortina de la presa La Villita, el cual ha registrado los temblores ocurridos en la zona en los últimos veinte años. En los acelerogramas de varios de los sismos más importantes han aparecido pulsos de apariencia espúrea y alta frecuencia en la componente transversal a la cortina. Dichos pulsos están de tal manera superpuestos en la traza de aceleración, y espaciados a intervalos tan irregulares que su causa no es clara y para explicarlos satisfactoriamente deben examinarse en detalle las posibles fuentes de origen. Este es el tema central del presente trabajo.

### I.1 Localización de la presa La Villita.

La boquilla de la presa José Ma. Morelos, más comunmente conocida como La Villita, se encuentra a 13 km de la desembocadura del río Balsas, aguas abajo de la presa El Infiernillo, fig I.1. En la zona destacan los macizos montañosos con alturas medias de 400 m sobre el nivel del mar que constituyen la Sierra Madre del Sur, la que al ser cortada por el río Balsas forma profundos y angostos cañones. Al sur, en las estribaciones de la sierra, las montañas son redondeadas y de menor relieve hasta el estrechamiento de la boquilla de La Villita, donde se inicia el delta del río Balsas que se

extiende hacia el Océano Pacífico, ensanchando la planicie costera (1)\*. En el sitio donde se construyó la cortina, el río sirve como límite a los Estados de Guerrero y Michoacán, quedando en la margen izquierda el municipio de La Unión, Gro., y en la margen derecha el de Melchor Ocampo, Mich., fig I.1.

## I.2 Características generales de la presa La Villita.

La presa fue construida por la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) durante los años de 1964 a 1968 sobre el río Balsas; los detalles de la construcción se pueden ver en la ref 1. Tiene por objetivo el riego de 18,000 hectáreas, la generación de 1,430 millones de KWh al año y el control de avenidas. La planta hidroeléctrica La Villita fue construida por la CFE y entró en operación en 1973. Está situada al pie de la cortina, en la margen derecha.

La cortina consiste básicamente de un terraplén de tierra y enrocamiento de 60 m de altura con eje ligeramente curvo, provista de una pantalla de concreto de 60 cm de espesor y 74 m de profundidad, contados a partir del lecho del río; la corona tiene una longitud de 420 m. El núcleo central de arcilla está protegido por materiales zonificados para filtros, transiciones y enrocamientos; la pendiente en sus taludes exteriores es de 2.5:1 (fig I.2). Una descripción más detallada de la presa se puede ver en la ref 2; las propiedades de los materiales constitutivos de la presa se presentan detalladamente en la ref 1.

---

(1)\* Ver referencia 1.

### I.3 Instrumentación sísmica en La Villita.

Por encargo de la CFE, en 1966 el Instituto de Ingeniería (IdeI) de la UNAM instaló en la presa tres acelerógrafos marca United Electrodynamics tipo AR-240, de registro en papel fotográfico de 30.5 cm de ancho. Se construyeron casetas especiales para alojarlos: una en la margen derecha, sobre el macizo rocoso situado entre el vertedor y la cortina, y dos en ésta, una cerca de la base y otra 2.0 m bajo el nivel de la corona. En la fig I.3 se aprecia la localización de dichas casetas en relación con las líneas de mojoneras de nivelación que existen a lo largo de la presa en el talud aguas abajo. En julio de 1971 se retiraron los acelerógrafos AR-240 de las dos casetas de la cortina y se sustituyeron por otros más modernos, marca Kinometrics tipo SMA-1, de registro también analógico, en película fotográfica de 70 mm. Los cambios y adiciones posteriores de aparatos se muestran gráficamente en el cronograma de la fig I.4

En el siguiente capítulo se presentan los diversos aspectos del problema que se va a tratar. En los capítulos III y IV se hace referencia al trabajo de tipo analítico que se realizó y a las facetas principales de la investigación experimental, respectivamente. En el capítulo V se discuten todos los resultados obtenidos, lo cual conduce a las conclusiones que se presentan en el capítulo VI de este trabajo.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

### II.1 Sismicidad en la zona de La Villita.

La presa La Villita se localiza dentro de la zona de alta sismicidad asociada a la subducción de la placa del Océano Pacífico bajo el Continente Americano. Desde el punto de vista de temblores someros, la sismicidad - en México es la más alta de todo el Hemisferio Occidental (3), y afecta principalmente los estados costeros de Jalisco a Chiapas. Partiendo del embalse de la presa El Infiernillo (localizada a 55 km aguas arriba de La Villita) hasta el mar, el bajo Balsas se localiza en una de las áreas de mayor sismicidad dentro de la zona de subducción, y los estados de Guerrero y Michoacán tienen un largo historial de actividad sísmica, como se presenta, por ejemplo, en la ref 4.

### II.2 Los sismos más importantes que se han registrado en la presa.

Los sismos más notables en el área en cuanto a magnitud se refiere, y cuyos epicentros se muestran en la fig II.1, ocurrieron los días 11 de octubre de 1975 (I)\*, 15 de noviembre de 1975 (II)\*, 14 de marzo de 1979 (III)\*, 25 de octubre de 1981 (IV)\*, a los que deben sumarse los de septiembre 19 y 20 de 1985. En la tabla 1 se presentan los parámetros generales de estos sismos con dos columnas para los datos de cada temblor. La de la izquierda contiene determinaciones realizadas en México (por los autores indicados al pie de la tabla) y en la columna de la derecha se presentan los datos

---

\* En adelante los sismos de referencia se designarán con estos números romanos.

americanos, publicados en el boletín Preliminary Determination of Epicenters (PDE) publicado por el Geological Survey del Departamento del Interior de los EUA. Las diferencias entre los epicentros determinados localmente y en EUA, que no son de importancia para este trabajo, han sido ya observados en otros casos y aparentemente se deben a un sesgo sistemático en los procedimientos empleados para localizar epicentros; en vista de las mayores distancias a los instrumentos de registro tomando como base los epicentros de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), se considera que la localización de los epicentros proporcionada en la ref 5 es más confiable. En la tabla 2 se presentan las características principales de los acelerogramas registrados en La Villita en los tres acelerógrafos colocados en la presa (fig I.3) durante los sismos antes señalados. En las figs II.2 y II.3 se presentan las gráficas de aceleración, velocidad y desplazamiento de los cuatro sismos antes señalados registrados en la caseta de la corona. Además, en la fig II.4 se muestran los acelerogramas registrados durante los sismos de septiembre 19 y 20 de 1985.

### II.3 Registro de sismos en la corona de La Villita.

#### II.3.1 Localización y características de la caseta.

La caseta se localiza 10 m aguas abajo de la corona de la presa, en el nivel 58.23 m, como se muestra en la fig II.5. Sus dimensiones se pueden ver en la fig II.6, que también muestra el interior de la caseta. Su peso aproximado va de 21.96 a 25.40 tons (por esta variante, el cálculo se presenta en el apéndice A); la caseta es de concreto reforzado.

Como se muestra en la fig II.7 en esta caseta se ha observado que existen grietas entre ella y el cuerpo de la cortina. La más importante está del lado de aguas arriba y tiene 2.0 cm de ancho aproximadamente. En la -- fig II.7a se observa la grieta de aguas arriba entre la caseta y el cuerpo de la cortina; el detalle mostrado es del extremo izquierdo de la grieta (viendo hacia aguas abajo). En la fig II.7b se muestra la grieta del lado de aguas abajo de la caseta, que no es tan evidente como la de aguas arriba por el concreto que la cubre.

### II.3.2 Localización y características del aparato.

El aparato que se encontraba en La Villita durante los sismos antes mencionados es un SMA-1 de Kinometrics. Se trata de un acelerógrafo de registro en película de 70 mm, triaxial, el cual está contenido en una caja de aluminio a prueba de agua y luz. El instrumento permanece pasivo hasta que el temblor cause que el arrancador encienda la fuente de luz y la del motor de la película. El acelerógrafo SMA-1 puede registrar un sismo o una secuencia de sismos, hasta con una duración total de 25 minutos (cuando la película está completa).

El acelerógrafo puede calibrarse en forma externa por medio de una llave switch. La secuencia permite que la frecuencia natural y el amortiguamiento de cada acelerómetro sea determinado. Un esquema de como funciona el acelerógrafo se puede ver en la fig II.8, así como una copia reducida de un registro, en el que se muestran las trazas que se obtienen regularmente. La orientación del aparato se puede ver en la fig II.9 así como su localización dentro de la caseta.

#### II.4 Características y peculiaridades de los acelerogramas.

Las partes medulares de los acelerogramas registrados cerca de la corona de la presa se han amplificado fotográficamente en las figs II.10 a II.13. En ellas se observan algunos picos en las componentes vertical y transversal que parecen no ajustar bien dentro de las ondas que en general varían suavemente en la gráfica. Los picos se han numerado en forma ascendente - para hacer referencia a ellos posteriormente.

El origen de dichos pulsos puede encontrarse en:

- a) El instrumento mismo, debido a algún mal funcionamiento.
- b) En la conexión entre el aparato y la presa (a través de la base que lo soporta y/o la caseta que lo alberga).
- c) En el comportamiento de la cortina misma, al experimentar ésta el movimiento asociado a temblores fuertes.

#### II.5 Desplazamientos medidos por CFE en la presa.

Como parte de las diversas medidas tomadas por CFE para estudiar el comportamiento de la presa al transcurrir los años, se construyeron sobre la cortina varias líneas de mojoneras paralelas a la corona, con objeto de que - a través de mediciones sucesivas fuera posible determinar los desplazamientos verticales y horizontales. En la fig I.3 se muestran estas mojoneras y la posición de la caseta (que aloja el acelerógrafo "de la corona") con respecto a las de la línea C, la primera aguas abajo.

En la fig II.14 se muestra la gráfica de desplazamientos horizontales contra tiempo del punto C-8 desde que se iniciaron las mediciones en octubre

de 1968. En esta gráfica se aprecia que el desplazamiento entre las mediciones del 15 de junio, 1981 y 2 de diciembre, 1981, intervalo en que ocurrió el sismo IV, es considerablemente mayor que muchos de los medidos anteriormente. Estos incrementos aparentemente "cada vez mayores" han sido interpretados como una posible pérdida de resistencia progresiva de la cortina, que va sufriendo mayores y mayores deformaciones cada vez que tiembla. En tal virtud, se plantea la siguiente pregunta: ¿Existe en los acelerogramas registrados tan cerca de la línea C algún indicio de la ocurrencia de estos desplazamientos? De manera más directa se ha preguntado: ¿Son los picos indicación de deslizamientos horizontales de la cortina? El resto de este trabajo está dirigido a considerar los detalles del asunto, a evaluarlos y a dar respuesta a estas preguntas.

### III. TRABAJO ANALITICO.

El trabajo analítico se inició con el estudio de la equivalencia de los picos de aceleración en términos de velocidad y desplazamiento. A continuación se estudió la influencia que podía tener la corrección estándar de los acelerogramas estudiados sobre las velocidades y desplazamientos asociados; en tercer lugar se estudiaron las relaciones entre aceleración, velocidad y desplazamiento en la vecindad de los picos y, por último, se definieron los signos de dichas variables en relación con la cortina.

#### III.1 Integración de picos simulados.

En las figs III.1 y III.2 se muestra la simulación en computadora de los principales picos que aparecen en los registros de los sismos. Las aceleraciones (picos) aparecen a la izquierda; en el centro de la figura y en la columna derecha se muestran, respectivamente, velocidad y desplazamiento. En cada caso se tomó el inicio del pico en aceleración nula y el fin en un punto de aceleración semejante en el acelerograma; se procuró mantener la duración real del pico. Para esto se midió dicha duración desde donde aparenta iniciarse en el registro hasta donde la traza parece volver a la oscilación más lenta y suave, como se considera que es el movimiento de la presa. Para cada integración se formaron familias de picos simulados, con objeto de tener en cuenta la importancia de los posibles errores que pudieran haberse cometido al medir sobre los acelerogramas.

En las gráficas de las figs III.1 y III.2 puede observarse que si los picos duran 0.20 seg o menos, la mayoría de los desplazamientos relativos asociados son cercanos a 2 ó 3 cm.

### III.2 Influencia de las correcciones del acelerograma.

Los acelerogramas que se obtienen en aparatos analógicos de registro en película fotográfica deben ser digitizados para que la información pueda manejarse en computadora. Este proceso de conversión analógica/digital introduce errores que, sumados a las imperfecciones mismas del aparato, producen resultados físicamente improbables (por ejemplo velocidad final del terreno diferente de cero) al integrar una y dos veces los datos ya digitizados. Dichos errores llegan a ser tan fuertes después de integrar dos veces que es frecuente obtener desplazamientos finales de cientos de metros, o aún varios kilómetros, cuando el registro dura varios minutos (el error en este caso crece con el cuadrado de la duración). Con objeto de evitar tales absurdos se han ideado procedimientos que corrigen los errores en gran medida y a la vez permiten eliminar la influencia de las características dinámicas del aparato registrador, para obtener una representación más fiel de lo que fue el movimiento real del terreno.

La aceleración "corregida" de un sismo difiere poco de la no corregida pero, para los fines de este trabajo, era necesario examinar cuál era el efecto de la corrección en las velocidades y desplazamientos asociados a la ocurrencia de los picos. En la fig III.3 se muestran las gráficas de un pico típico en las versiones corregida y sin corregir y se observa que la diferencia es mínima. Comparaciones de esta clase en velocidad y desplazamiento, indican que no hay mucha diferencia entre los datos provenientes de aceleraciones corregidas o no, siempre y cuando se mida con respecto a una recta inclinada (fig III.3a). La fuerte desviación de ésta "línea media" al integrar es lo que produce velocidades y desplazamientos inaceptables al crecer el tiempo.

### III.3 Aceleraciones, velocidades y desplazamientos asociados a los picos.

En la fig III.4 se muestran las fracciones de acelerograma de los cuatro diferentes temblores que contienen picos típicos. Las gráficas están a escala apropiada para apreciar el detalle fino de la traza de aceleración en la vecindad de cada pico, aunque éste quede menos pronunciado que en el original. En igual forma se presentan las curvas de velocidad y desplazamiento correspondientes. En la tabla 3 se presentan las principales características de los picos más notables de los cuatro acelerogramas.

La fig III.4 indica que los picos de aceleración corresponden a cambios de velocidad que van de  $-20.0$  cm/seg (aproximadamente) a casi cero. Los desplazamientos asociados llegan hasta  $1.8$  cm. Estos valores son la mayoría mayores que los máximos de las mismas variables en los puntos del acelerograma donde no hay picos. Como puede observarse en la fig III.4 la integración numérica del acelerograma respeta aceptablemente bien las relaciones que deben existir entre las tres variables (aceleración y velocidad son nulas para velocidades y desplazamientos máximos o mínimos, respectivamente).

### III.4 Convención de signos de las variables involucradas.

En la fig III.4 se tiene la siguiente convención para los signos: aceleración, velocidad y desplazamiento hacia aguas arriba se presentan con signo positivo, y los contrarios con signo negativo. Por ejemplo, un movimiento lineal del aparato hacia aguas arriba, que fuera uniformemente acelerado y durara dos segundos, estaría representado como una recta de aceleración constante positiva de la misma duración. La velocidad (creciente con el tiempo) sería también positiva, lo mismo que el desplazamiento. Por otra

parte, para la correcta interpretación de los acelerogramas debe señalarse, siguiendo el ejemplo anterior, que si el aparato se mueve hacia aguas abajo, durante los mismos dos segundos, con movimiento uniformemente desacelerado, la aceleración sería también una recta de aceleración constante positiva en el acelerograma, que estaría asociada a una velocidad y a un desplazamiento decrecientes, aunque no necesariamente negativos.

Esta convención de signos no es arbitraria: queda definida por la orientación del aparato con respecto a la presa, es decir, si el aparato se coloca exactamente en el mismo sitio, pero girado  $180^\circ$  alrededor del eje vertical, se tendría una convención de signos opuesta a la indicada.

### III.5 Características geométricas de los picos.

Los picos positivos y los más/menos (que tienen partes importantes positivas y negativas) empiezan siempre positivos, indicando con ello un movimiento hacia aguas arriba del aparato. En porcentaje, 65% del total de los picos empiezan con una aceleración que crece en sentido positivo.

Las formas geométricas generales de los picos se ven en la fig III.5 donde se señala también cuántos hay de cada forma.

#### III.5.1 Relación de componentes.

Se observó que hay picos que se manifiestan en las otras componentes, además de la transversal, y es en el canal correspondiente a la aceleración vertical donde más se nota. Esto se ha señalado con las flechas incluidas en las figs III.6 a III.9, donde se aprecia que los picos que más claramente se manifiestan en las otras dos componentes son los positivos, y

por el contrario, los que menos se manifiestan son los negativos.

Todos estos conceptos se utilizan en el capítulo V donde se discutirán y se compararán con los resultados del capítulo que sigue.

#### IV. INVESTIGACION EXPERIMENTAL.

La investigación experimental consistió en tres partes: la primera se refiere a las pruebas realizadas en la caseta de la corona de la presa; la segunda a las pruebas realizadas al aparato SMA-1 que se encontraba en la mencionada caseta al ocurrir los temblores a que hace referencia el capítulo II y, finalmente, a los registros que se obtuvieron imprimiendo al aparato en el laboratorio cierto tipo de movimiento.

##### IV.1 Objetivos de las pruebas.

Las pruebas en la caseta de la corona de la presa La Villita tuvieron como objetivo definir qué tanto se podía mover la caseta con una fuerza determinada, y ver qué tan firmemente está actualmente conectada al cuerpo de la presa. Tales observaciones podían dar alguna luz sobre si los registros obtenidos representan fielmente el movimiento de la cortina.

Las pruebas con el aparato SMA-1 tuvieron como objetivo calibrarlo y tratar de definir cuál era el movimiento que se registraba como positivo y cuál como negativo, es decir, el sentido físico de los picos registrados. El acelerógrafo se sometió a una revisión cuidadosa y detallada, de la que pudo concluirse, sin lugar a mayor duda, que los picos no aparecen en los registros por algún funcionamiento irregular del instrumento. Por tal razón, no se hará referencia adicional a este aspecto.

## IV.2 Descripción de las pruebas realizadas.

### IV.2.1 Pruebas en la presa La Villita.

Se hicieron algunas pruebas de carga y de vibración libre a la caseta de la corona de la presa La Villita.

#### IV.2.1.1 Descripción de los soportes empleados.

A fin de contar con una referencia fija, aguas arriba y aguas abajo de la caseta, se colocó un puente formado por tres tramos de 3 m de torre ligera, de sección triangular y 30 cm por lado para montar los micrómetros. Este puente de torre se puso sobre unas bases de arena y rocas (fig IV.1), con un aplanado de yeso para que estuvieran niveladas. En esa misma figura se puede ver la posición del puente de torre y sus bases.

#### IV.2.1.2 Mecanismo para aplicar la fuerza.

En la ref 7 se describe una forma relativamente simple de aplicar una fuerza, del orden de algunas toneladas, a una estructura. Se trata de un sistema de cables y poleas, dispuestos de tal manera que la tracción desarrollada con un tirfor (de aproximadamente 0.5 a 1.0 ton) se multiplica algunas veces para llegar a la magnitud requerida. En la fig IV. 2 se pueden apreciar algunos detalles de este sistema al aplicarse a la caseta en La Villita dicha fuerza, que puede medirse fácilmente intercalando una celda de carga en el sitio apropiado.

En la fig IV.3 se presenta un diagrama operacional de la instrumentación empleada para registrar el movimiento producido en la caseta al liberar la carga aplicada, y la instrumentación para medir esa fuerza aplicada.

#### IV.2.1.3 Descripción general de las pruebas realizadas.

Se hicieron dos clases de pruebas: la primera para medir la relación entre la fuerza aplicada y el desplazamiento provocado, y la segunda para generar un movimiento en la caseta y registrarlo.

La primera, que llamaremos "prueba estática", consistió en aplicar gradualmente una carga a la caseta, medir su magnitud y el desplazamiento resultante, descargándola después lentamente.

La segunda, que llamaremos "prueba dinámica", consistió en aplicar una carga a la caseta y liberarla después bruscamente, para producir un movimiento oscilatorio.

Para liberar la carga se usaron las piezas de fierro fundido (fig IV.4), que se rompían una vez que la carga estaba totalmente aplicada, como se muestra en la fig IV.4

Para aplicar la carga se usó como punto de apoyo una roca situada aguas arriba de la corona, para las pruebas en que la fuerza se aplicó hacia el vaso, y se utilizó un riel empotrado aguas abajo de la caseta para las pruebas en que la tensión fue en esta dirección.

#### IV.2.1.4 Distribución de medidores.

Se les da aquí el nombre genérico de medidores a los aparatos que se emplearon para medir tanto el movimiento, como el desplazamiento estático de la

caseta.

#### IV.2.1.4.1 Micrómetros.

Se usaron cuatro micrómetros de 0.01 mm, cada uno sujeto al puente de torre mediante dos prensas. Para evitar que la rugosidad del concreto afectara en algo las lecturas hechas, se adhirieron al muro de la caseta vidrios planos en los lugares donde iban a ir apoyados los apéndices de los micrómetros; un detalle de esto se puede ver en la fig IV.5 así como la posición de los micrómetros.

#### IV.2.1.4.2 Acelerómetros.

Los acelerómetros Donner son instrumentos muy pequeños, ligeros y sensibles; para fijarlos en su posición a la caseta se usó yeso. Esto tenía la doble función de sujetarlos y ponerlos a nivel. En la fig IV.6 se aprecia lo anterior con más detalle. La posición de los acelerómetros en las pruebas se puede ver en la fig IV.7.

#### IV.2.1.5 Realización de las pruebas.

Las pruebas estáticas consistieron en jalar la caseta hacia aguas arriba (fig IV.8) y medir los desplazamientos de la caseta con los micrómetros instalados aguas arriba. Se midió la fuerza aplicada con el mecanismo antes descrito, y se tomaron lecturas de los micrómetros cada vez que se aumentaba la fuerza aplicada.

La dirección del jalón en las pruebas dinámicas se muestra en la fig IV.8. En estas pruebas los acelerómetros fueron cambiados de posición durante las mismas. En todas las pruebas dinámicas se disparó el DCA-333 (que está en la caseta de la corona), alcanzándose a registrar el movimiento resultante con este aparato.

#### IV.2.1.6 Datos captados.

##### a) Pruebas estáticas.

Las fuerzas aplicadas variaron de 0 a 2400 kg, lográndose mover la caseta 0.007 cm en promedio; la dirección de la fuerza en todas estas pruebas fue la misma (fig IV.8).

##### b) Pruebas dinámicas.

En estas pruebas, el desplazamiento de la caseta varió de 0.00475 a 0.009 cm dependiendo de la dirección de aplicación de la fuerza (medido en campo).

#### IV.2.2 Pruebas con el aparato SMA-1.

El aparato utilizado fue el SMA-1 N/S 266 que se encontraba en La Villita durante el período de 1971 a 1982, como se indicó anteriormente.

##### IV.2.2.1 Descripción de las pruebas realizadas.

Se hicieron dos clases de pruebas: estática y dinámica, ambas con el objeto de ver cuál era el movimiento que provoca un "pico" positivo.

La prueba estática consistió en inclinar el aparato como se ve en la fig IV.9.

El aparato se inclinó suavemente subiéndolo en un plano inclinado a  $30^\circ$  y luego bajándolo lentamente. Se hizo en un cuarto oscuro para observar cuál era el movimiento de la traza del canal transversal.

Las pruebas dinámicas se hicieron en una "mesa corrediza" de fabricación sencilla. El movimiento de la mesa solo era en una dirección, así que se acomodó el aparato de manera que su movimiento fuera hacia aguas arriba o hacia aguas abajo orientado según estaba en la presa, como puede verse en la fig II.9. El aparato se jalaba hacia "aguas abajo" por medio de un peso y se amortiguaba con un resorte. Una de las pruebas fue para ver cuál era el movimiento del aparato que producía un pico positivo, se jaló el aparato hacia aguas abajo y se registró un movimiento positivo. Las otras pruebas fueron para ver la relación que había entre el pico producido en la traza del canal transversal y un posible enfrenón hacia aguas abajo combinado esto con un giro en uno u otro sentidos y tratando de relacionar - también el registro en el canal vertical.

Estos resultados se discutirán en el siguiente capítulo, comparando lo que se obtuvo en el trabajo analítico, del capítulo III, y finalmente llegar a las conclusiones en el último capítulo de este trabajo.

## V. DISCUSION DE RESULTADOS.

Al comparar los picos que presentan los acelerogramas de las figs II.10 a II.13, se observa que varios de ellos son muy semejantes entre sí, tanto dentro del mismo acelerograma como de un acelerograma a otro. Por ejemplo, en la parte izquierda de la fig V.1 se reproducen tramos de tres sismos - diferentes, y se identificaron los picos que aparecen en cada uno. En la parte derecha de la figura se han copiado el pico 1 del primer tramo (sismo I) y los picos análogos de la parte izquierda correspondiente. En esta figura puede apreciarse que muy probablemente se trate del mismo fenómeno y no de un movimiento propio de la presa, para lo cual sería necesario que cierto desplazamiento se repitiera casi idénticamente a lo largo de un mismo temblor, y luego durante sismos posteriores. Si bien una repetición de esta clase no es teóricamente imposible, es difícil imaginar qué mecanismo interno de una estructura tan heterogénea como una cortina de enrocamiento podría producirla.

Entre las causas que se enumeran en el capítulo II como posibles generadoras de los picos, fue posible eliminar con certeza la debida a un mal funcionamiento del aparato, la de una mala conexión entre el aparato y la base y la de una mala conexión entre la base y la caseta, es decir, el aparato funcionó muy bien en el laboratorio y en el campo se observó que las conexiones entre el acelerógrafo y su base, y entre ésta y la caseta, eran lo suficientemente firmes para asegurar que los picos sólo podrían representar movimientos reales de la caseta y de la presa. Se plantean, por lo tanto, las siguientes dos posibilidades sobre el origen de los picos:

- i) que sean movimientos de la presa, sin movimiento relativo de

con respecto a la cortina, y

- ii) que sea un movimiento combinado, parte de la presa y parte de movimiento relativo entre caseta y cortina.

Cabe señalar que de ser cierto el primero de estos supuestos la presa estaría sufriendo deslizamientos súbitos. Como se verá a continuación, la evidencia que se ha reunido indica que el segundo caso es mucho más probable que el primero. Por una parte, la existencia de la grieta de la fig II.7 indica un movimiento relativo entre cortina y caseta, de cerca de 2 cm. Esta separación puede haberse originado por lo menos en dos formas diferentes. Una posibilidad es que la presa se haya deformado localmente y la caseta se haya separado de la cortina en su lado de aguas arriba (fig II.7), pero manteniéndose todavía rígidamente unida a ella. La otra es que aunque al construir la caseta se haya intentado cimentarla de tal manera que su movimiento siguiera fielmente el de la cortina, la conexión rígida entre ellas se haya perdido, y ahora puedan existir desplazamientos relativos cuando se aplican a la caseta fuerzas suficientemente grandes. Dichas fuerzas deben ser superiores a las de una a dos toneladas que se aplicaron al realizar las pruebas descritas en el capítulo IV, que sólo produjeron desplazamientos del orden de fracciones de milímetro. Un cálculo simple indica que las fuerzas asociadas a un sismo pueden ser varias veces mayores que las anotadas: la caseta tiene un peso aproximado de 22 toneladas (como mínimo), por lo que una aceleración de 150\* gals en su base resulta en una fuerza cercana a 3.37 toneladas. Esta fuerza es casi vez y media mayor que la máxima de 2.4 toneladas aplicada en las pruebas, pero no ha habido observaciones directas de que es suficiente para mo

---

\* Este nivel de aceleración es frecuente en los registros.

ver la caseta lo necesario para cerrar una parte considerable (por ejemplo, 0.5 cm ó más) de la grieta de aguas arriba. La única indicación es la derivada de los registros de temblores, según se comenta a continuación.

En la fig III.4 se muestran tramos selectos de los acelerogramas de los sismos I a IV, con la escala de tiempos suficientemente ampliada para notar claramente el detalle del cambio temporal de las tres variables. En ésta figura están contenidas curvas de aceleración corregida, y de velocidad y desplazamiento obtenidos de aquella. En éstas gráficas pueden hacerse las siguientes observaciones:

- a) Prácticamente todos los picos importantes (aceleración positiva) son precedidos por un cierto lapso, más largo que el pico, de aceleraciones negativas menos pronunciadas, al que se asocia un incremento de velocidad en sentido negativo.
- b) A la velocidad mínima (es decir, máxima negativa) se asocia, como debe ser, una aceleración nula (a este punto, o a su abscisa, lo llamaremos "punto I" para cada pico).
- c) El valor numérico de la velocidad disminuye rápidamente del punto I (donde se inicia prácticamente el pico) en adelante.
- d) En la mayoría de los casos la velocidad es nula, o muy pequeña, al alcanzarse la ordenada máxima del pico.
- e) Los desplazamientos son nulos, o relativamente pequeños, en los puntos I y son positivos antes de estos.
- f) Los desplazamientos positivos máximos, previos a los puntos I son para todos los casos cercanos a 2 cm, y los negativos son, en general, menores.

De la combinación de estas observaciones puede concluirse que los picos re

presentan la aceleración asociada a un "frenado", relativamente brusco, de la caseta después de sufrir un desplazamiento hacia aguas arriba y devolverse, hasta detenerse desde los puntos I hasta los de velocidad nula. Esto revela que es mucho más probable que los picos representen una componente grande de movimiento relativo entre caseta y cortina y una pequeña de movimiento absoluto de ésta que lo contrario. Es decir, si los picos llevan asociada la reducción prácticamente total de la velocidad absoluta del conjunto y hay indicaciones físicas de que la caseta puede moverse más de un centímetro a partir de su posición de equilibrio, la evidencia reunida indica que al volver la caseta a ella la aceleración con que se detiene es la de los picos, y ésta por tanto, no es una aceleración real de la presa. Hay dos clases de observaciones independientes que tienden a confirmar lo anterior:

- 1) En la fig II.14 se muestra una gráfica de los desplazamientos horizontales hacia aguas abajo medidos en la mojonera C-8, (la más cercana a la caseta que aloja el acelerógrafo) desde 1968. En esta gráfica se aprecia que los incrementos asociados a cada temblor son del orden de una a 2.5 cm, o sea, el mismo orden de magnitud que el desplazamiento asociado a cualquiera (uno sólo) de los relativamente numerosos picos de cada sismo.
- 2) Se han obtenido registros con picos semejantes en otros sitios. En la fig V.2 se muestra un tramo del acelerograma obtenido el 10 de junio de 1980 en la estación Cerro Prieto en Baja California Norte, cerca de la planta geotérmica del mismo nombre. La base de concreto en donde se encuentra la caja metálica que aloja al aparato se construyó sobre roca, pero ha sido eviden

te que no quedó rígidamente unida a ella por falta del anclaje necesario. (Nótese el pico indicado con flechas).

Aún así, queda todavía por responder a la pregunta de por qué en la fig II.14 el incremento asociado al sismo IV es considerablemente mayor que los demás. Es probable que una buena parte de la respuesta esté contenida en la siguiente observación: los desplazamientos en la mojonera C-8 aparentan estar directamente relacionados con el nivel de aceleraciones alcanzados (fuera de los picos) y con la duración de cada registro acelerográfico (o sea, la duración de cada sismo en el sitio de la presa). El acelerograma de éste último temblor tuvo una duración de 72 seg y una aceleración máxima de -180 gals ( sin incluir picos); una comparación de éste temblor con los otros se puede apreciar en la siguiente tabla:

SISMO	DURACION DEL ACELEROGRAMA		ACELERACION MAXIMA*	
	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.
	I	14.0	1.00	100
II	17.0	1.21	110	1.10
III	32.0	2.29	150	1.50
IV	72.0	5.14	180	1.80
V	115.0	8.21	280	2.80

\*Sin incluir los picos.

Es probablemente por eso que el desplazamiento relativo medido en la mojonera C-8 de este temblor es mayor que los demás, por ser éste un sismo más fuerte y más largo que los demás. Es de esperarse que con el último temblor de septiembre de 1985 (V) el desplazamiento medido sea mucho mayor.

Los acelerogramas de los sismos del 19 y 21 de septiembre de 1985, registrados con un acelerógrafo SMA-1 que se encuentra en la caseta de la corona, presentan los mismos problemas de picos que los acelerogramas de sismos anteriores registrados en el mismo lugar. Un tramo del acelerograma del -

19 de septiembre se presenta en la fig V.3, donde se pueden apreciar con bastante claridad varios picos semejantes a los estudiados.

## VI. CONCLUSIONES.

1. Los desplazamientos horizontales asociados a los picos de los acelerogramas son individualmente demasiado grandes, en relación con las mediciones de campo, para ser deslizamientos de la presa.
2. Los picos son antecidos por un desplazamiento considerable hacia la corona, que probablemente cierra una parte de la grieta de aguas arriba.
3. Todos los picos representan un descenso brusco de velocidad hasta prácticamente cero o un valor relativamente pequeño.
4. Los sentidos de aceleración, velocidad y desplazamiento indican que los picos se presentan al regresar la caseta a su posición de equilibrio y detener su movimiento relativo con respecto a la presa. Dicho "regreso" implica un desplazamiento (y su giro asociado) hacia aguas abajo cuya velocidad disminuye rápidamente como se indica en 3.
5. Picos semejantes se han observado en otros sitios donde se ha comprobado que base y terreno no están sólidamente unidos.

### VI.1 Recomendaciones.

- 1) Unir perfectamente la caseta al cuerpo de la cortina de la presa, cementándola rígidamente con un material apropiado, o bien,
- 2) Hacer una nueva base para el acelerógrafo en la cortina de la presa, asegurándose de que tiene un buen anclaje, es decir, haciendo que la unión entre base y cortina sea perfecta, para sí registrar fielmente el movimiento absoluto de la presa y evitar el problema que en este estudio se planteó. Para este propósito sería posible utilizar una

base relativamente pequeña conectada a la presa mediante el riel que se colocó para realizar las pruebas y una cubierta metálica que protegiera el aparato.

## REFERENCIAS.

1. Varios, "comportamiento de presas construidas en México", SRH, CFE, UNAM, 1976.
2. Varios, "Comportamiento de las presas El Infiernillo y La Villita, incluido el temblor de marzo 14, 1979", CFE, 1980.
3. Gutenberg y Richter, 1954.
4. S.K. Singh, et al, "Seismic gaps and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican Subduction Zone: a reexamination", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 71, No.3, Junio 1981.
5. J. Figueroa y A. Martínez, "catálogo de sismos ocurridos en la República Mexicana de 1970 a 1982.", IdeI, No. 478, 1984.
6. J. Prince, J. Anderson, et al, "Preliminary presentation of accelerogram data from the Guerrero Strong Motion Accelerograph Array. Michoacán-Guerrero, Mexico, earthquakes of 19 and 21 September, 1985." GAA-1A, Octubre, 1985.
7. J. Prince, "Building vibration problems in Mexico",

SISMO	I		II		III		IV		190985		210985	
	IdeI	PDE										
FECHA	111075	111075	151175	151175	140379	140379	251081	251081	190985	190985	210985	210985
HORA	14:41:09	14:41:14	15:28:33	15:28:30	11:07:02	11:07:16	03:21:58	03:22:16	13:18:00	13:17:48	01:37:00	01:37:14
LATITUD DEL EPICENTRO	17.580° N	18.335° N	18.110° N	18.225° N	17.150° N	17.813° N	17.860° N	18.048° N	17.680° N	18.182° N	17.300° N	17.823° N
LONGITUD DEL EPICENTRO	102.280° W	102.031° W	102.230° W	102.185° W	101.960° W	101.279° W	103.210° W	102.084° W	102.470° W	102.573° W	102.230° W	101.671° W
MAGNITUD ( $M_{sz}$ )	a	4.9 *	a	5.9	a	7.6	a	7.3	a	8.1	a	7.5
DISTANCIA DE LA PRESA AL EPICENTRO	46 km	37 km	20 km	27 km	100 km	93 km	100 km	10 km				
PROFUNDIDAD DEL FOCO	33 km	63 km	33 km	33 km	33 km	49 km	50 km	33 km		33 km		33 km

IdeI (I,II,III,IV) J. Figueroa y A. Martínez.

" Sep/1985 Ref 6

\* MB (magnitud Richter determinada mediante ondas P).

$M_{sz}$  Magnitud determinada a partir de la componente vertical de ondas superficiales.

a Las magnitudes directamente comparables son las del boletín PDE.

Tabla 1. Parámetros generales de los sismos más notables.

SISMO	FECHA	ESTACION	C O M P O N E N T E								
			Transversal			Longitudinal			Vertical		
			A <sub>máx</sub>	V <sub>máx</sub>	D <sub>máx</sub>	A <sub>máx</sub>	V <sub>máx</sub>	D <sub>máx</sub>	A <sub>máx</sub>	V <sub>máx</sub>	D <sub>máx</sub>
I	111075	Margen Derecha	72.0	2.60	0.19				32.0	1.70	0.13
		Base	82.0	7.90	1.00	80.0	3.08	0.29	109.0	3.30	0.24
		Corona	343.0	20.10	1.78	85.0	6.64	0.65	116.0	3.71	0.28
II	151175	Margen Derecha	39.0	2.08	0.12	41.0	2.18	0.19	28.0	1.19	0.10
		Base	85.0	5.12	1.27	84.0	3.35	0.32	59.0	1.71	0.18
		Corona	209.0	13.42	1.27	73.0	4.00	0.40	73.0	2.34	0.20
III	140379	Margen Derecha	17.0	0.70	0.06	18.0	0.70	0.06	15.0	0.70	0.05
		Base	133.0	8.20	1.09	124.0	8.70	1.28	60.0	5.10	0.57
		Corona	371.0	14.90	1.60	155.0	11.40	1.41	184.0	7.30	0.62
IV	251081	Margen Derecha									
		Base									
		Corona	423.0	26.80	3.68	194.0	47.0	16.20	151.0	22.54	7.42

A<sub>máx</sub>: aceleración máxima, cm/s<sup>2</sup>

V<sub>máx</sub>: velocidad máxima, cm/s

D<sub>máx</sub>: desplazamiento máximo, cm

Transversal: transversal al eje de la cortina

Longitudinal: longitudinal al eje de la cortina

Datos IdeI.

Tabla 2. Características principales de los acelerogramas registrados en la presa La Villita.

SISMO	FECHA	ESTACION	C O M P O N E N T E								
			Transversal			Longitudinal			Vertical		
			A <sub>máx</sub>	V <sub>máx</sub>	D <sub>máx</sub>	A <sub>máx</sub>	V <sub>máx</sub>	D <sub>máx</sub>	A <sub>máx</sub>	V <sub>máx</sub>	D <sub>máx</sub>
	850919	Margen (1) Derecha									
		Base (2)									
		Corona	696.0	45.89	13.61	305.0	32.38	4.61	297.0	12.91	2.04
	850921	Margen (1) Derecha									
		Base (2)									
		Corona (3)									

A<sub>máx</sub>: aceleración máxima, cm/s<sup>2</sup>

Transversal: transversal al eje de la cortina.

V<sub>máx</sub>: velocidad máxima, cm/s

Longitudinal: longitudinal al eje de la cortina.

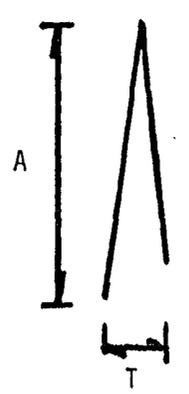
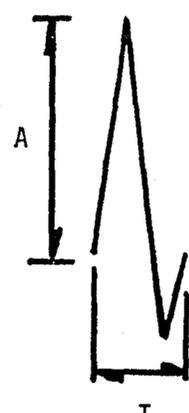
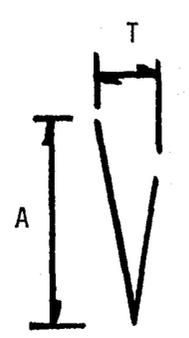
D<sub>máx</sub>: desplazamiento máximo, cm

(1) No hubo registro.

(2) No hay aparato.

(3) Datos sin procesar.

Continuación de tabla 2. Características principales de los acelerogramas registrados en La Villita.

	PICO No.	T (seg)	A (gals)	
P O S I T I V O S	1	0.13	542	
	2	0.26	283	
	3	0.17	542	
	4	0.10	166	
	5	0.15	308	
	6	0.13	370	
	7	0.12	496	
	8	0.27	549	
	9	0.15	232	
	10	0.16	253	
	11	0.20	586	
	12	0.29	442	
	13	0.19	312	
	14	0.23	363	
	15	0.18	177	
	16	0.20	168	
	17	0.23	317	
	18	0.17	273	
	19	0.21	591	
	20	0.15	205	
	21	0.15	168	
	22	0.24	418	
	23	0.17	425	
	24	0.25	414	
	25	0.20	443	
	26	0.32	496	
	27	0.29	581	
	28	0.15	159	
N E G A T I V O S	- 1	0.17	-113	
	- 2	0.10	-168	
	- 3	0.09	-177	
	- 4	0.13	-283	
	- 5	0.13	-126	
	- 6	0.12	-250	
	- 7	0.10	-350	
	- 8	0.08	-210	
	- 9	0.14	-191	
	-10	0.10	-117	
	-11	0.11	-216	
	-12	0.11	- 94	
	-13	0.17	-188	
	-14	0.12	-271	
	-15	0.20	-253	

Datos tomados de los registros originales.

Tabla 3. Características principales de los picos localizados en los acelerogramas de los sismos en estudio.

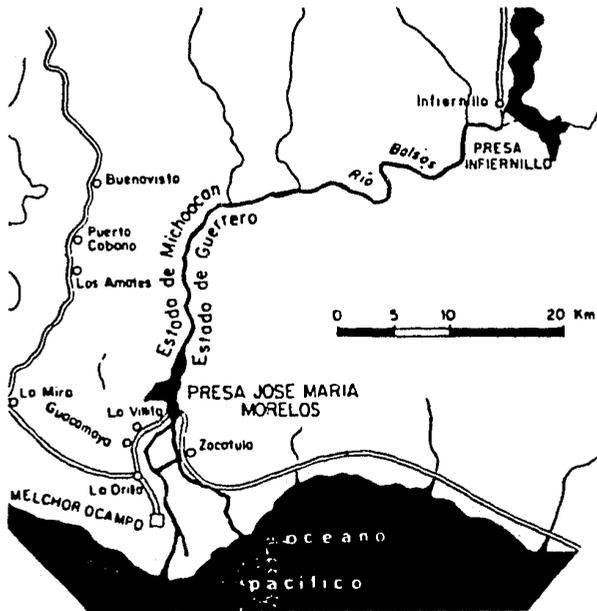
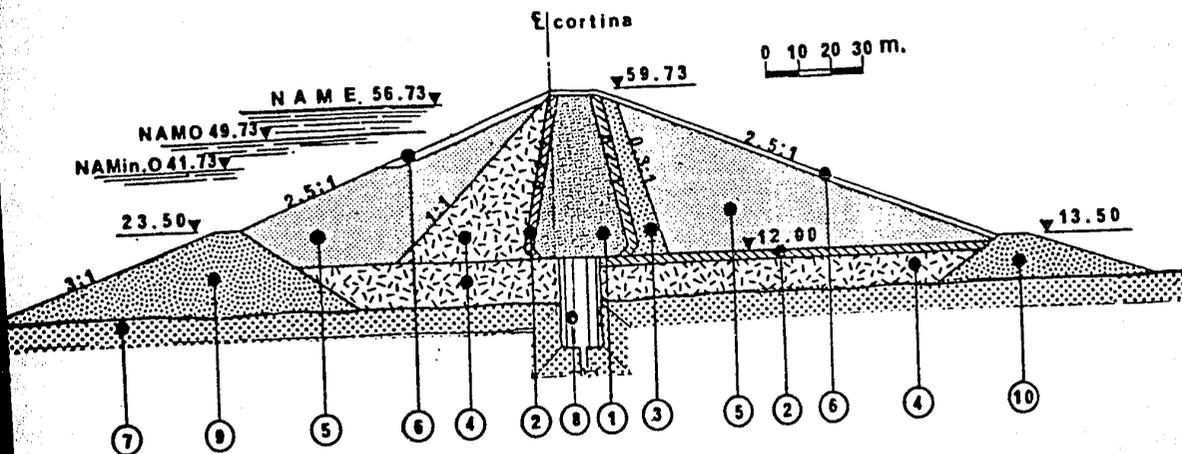
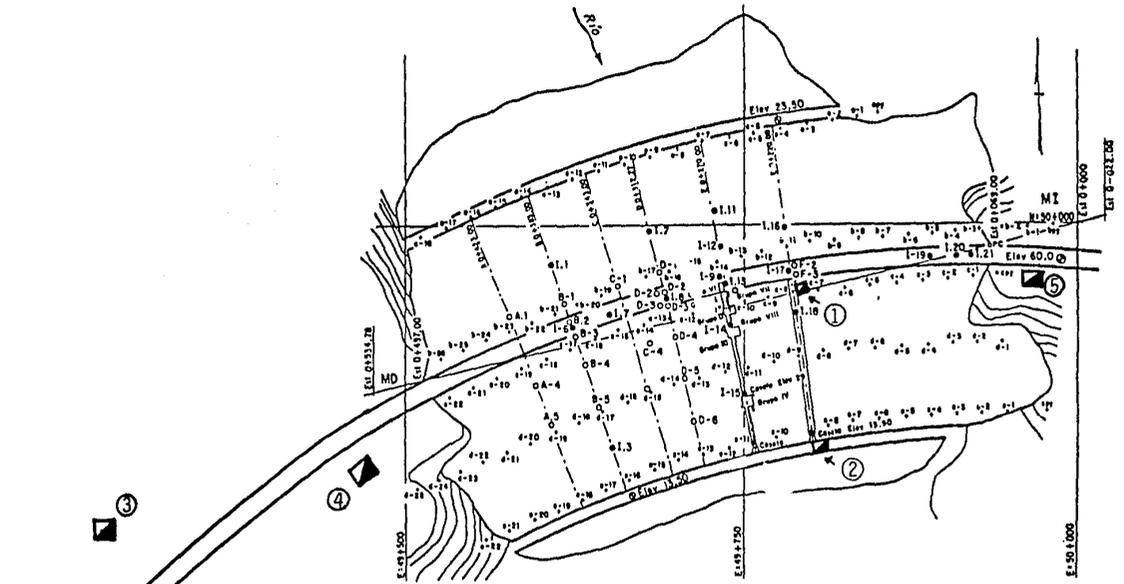


Fig I.1 Localización de la presa "La Villita".



- ① NUCLEO IMPERMEABLE
- ② FILTRO
- ③ REZAGA
- ④ GRAVA-ARENA
- ⑤ ENROCAMIENTO
- ⑥ ENROCAMIENTO PESADO
- ⑦ ALUVION DEL RIO
- ⑧ PANTALLA (CONCRETO)
- ⑨ ATAGUIA AGUAS ARRIBA
- ⑩ ATAGUIA AGUAS ABAJO

Fig I.2 Sección máxima de la cortina de La Villita.



Acelerógrafos

- ① Corona (Elev. 58.23)
- ② Base Cortina (Elev. 13.5 m)
- ③ Margen Derecha, aguas arriba (Elev. 85 m)
- ④ Margen Derecha, aguas abajo (Elev. 60 m)
- ⑤ Margen Izquierda (Elev. 60 m)

Fig I.3 Localización de los acelerógrafos.

ESTACION	APARATOS TIPO	N/S	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
			CORONA (Elev. 50.23 m)	AR-240																		
	SMA-1	266																				
	DCA-310	151																				
	DCA-333	165																				
BASE CORTINA (Elev. 13.5 m)	AR-240																					
	SMA-1	269																				
MARGEN DERECHA (aguas arriba) (Elev. 85 m)	AR-240	185																				
MARGEN DERECHA (aguas abajo) (Elev. 60 m)	DCA-333	105																				
MARGEN IZQ. (aguas abajo) (Elev. 60 m)	DCA-333	166																				

Fig I.4 Cronograma de instalación de aparatos en La Villita.

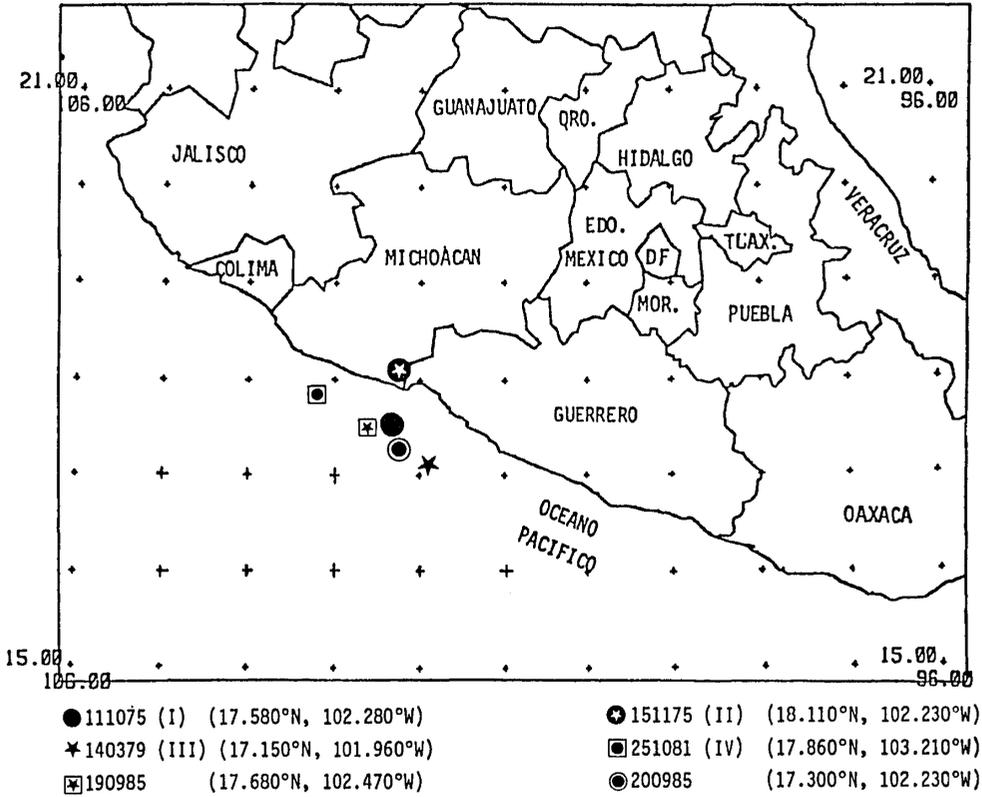


Fig II.1 Epicentros de los sismos más notables registrados en La Villita.

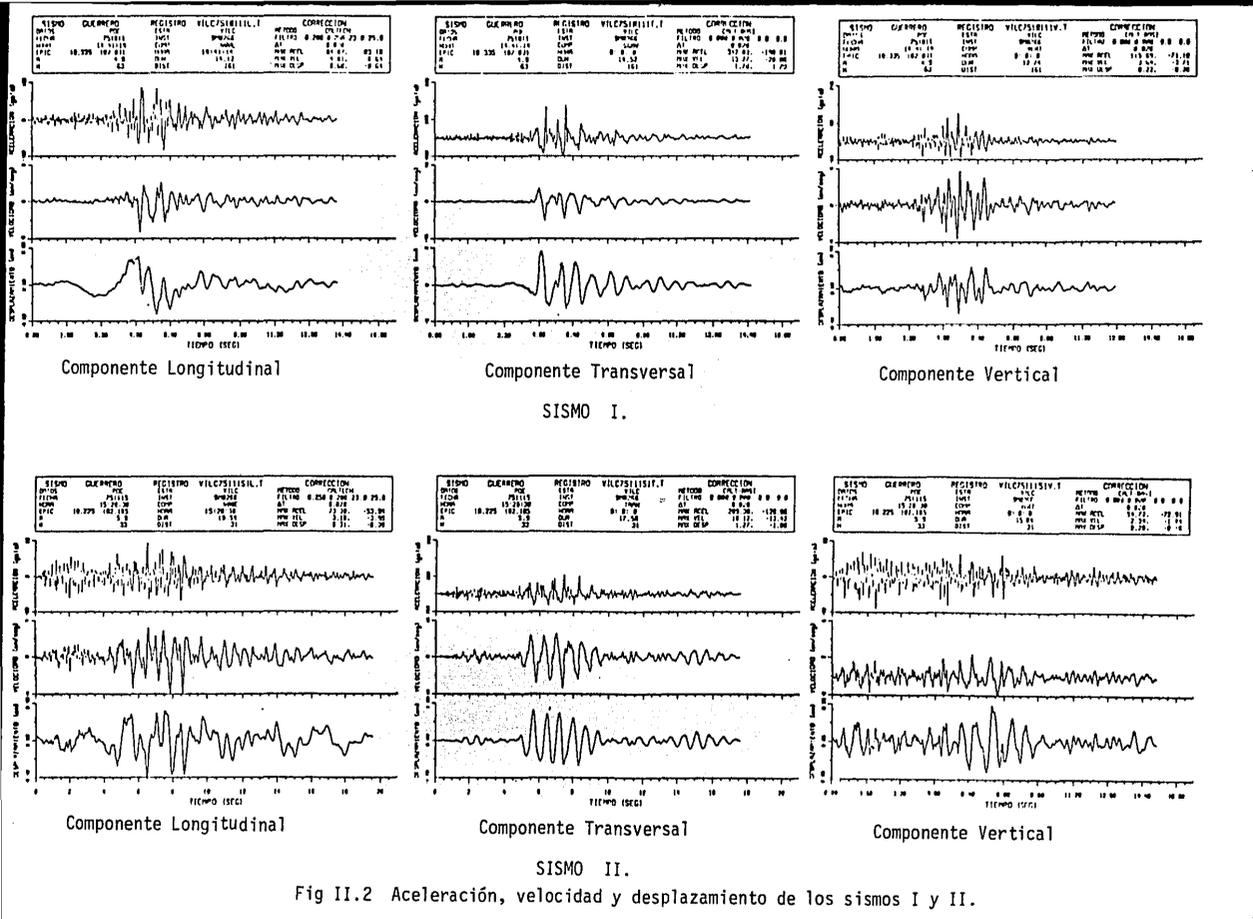


Fig II.2 Aceleración, velocidad y desplazamiento de los sismos I y II.



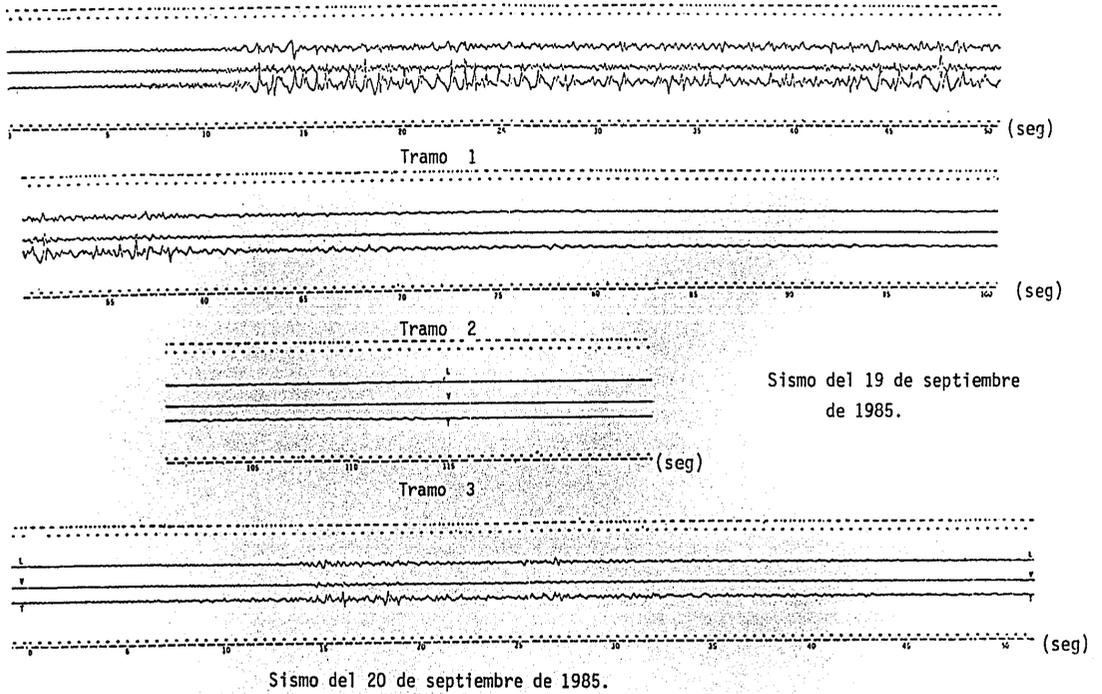


Fig II.4 Acelerogramas registrados en la caseta de la corona de la presa La Villita de los sismos de septiembre de 1985.

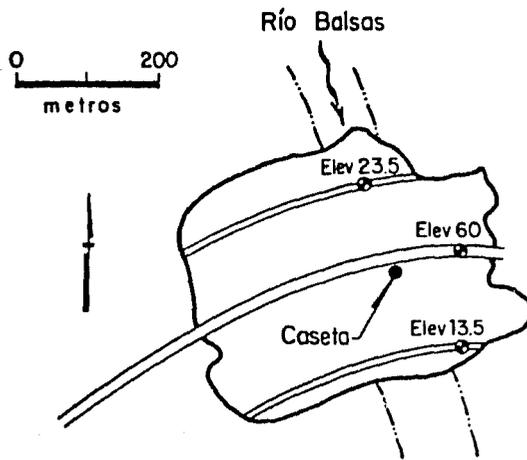


Fig II.5a Localización de la caseta cercana a la corona.

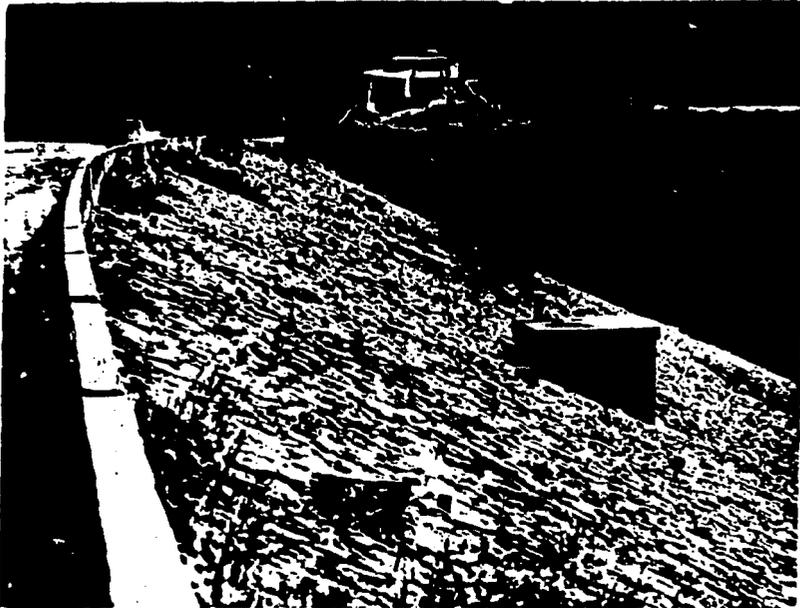
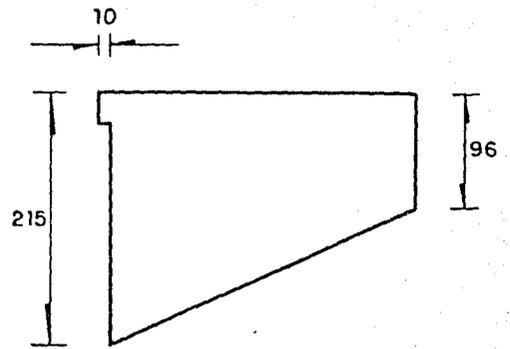
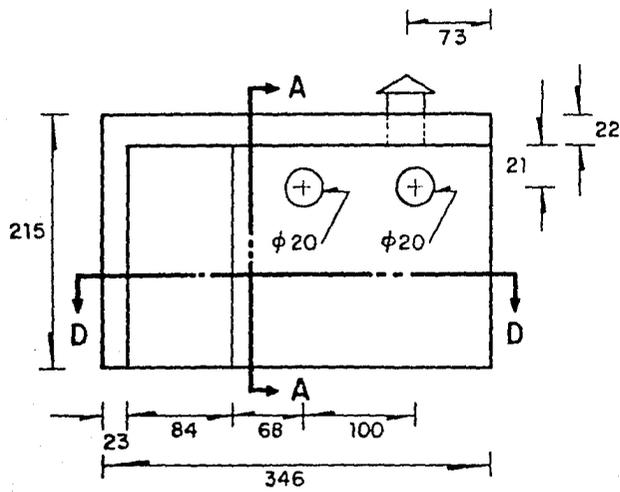
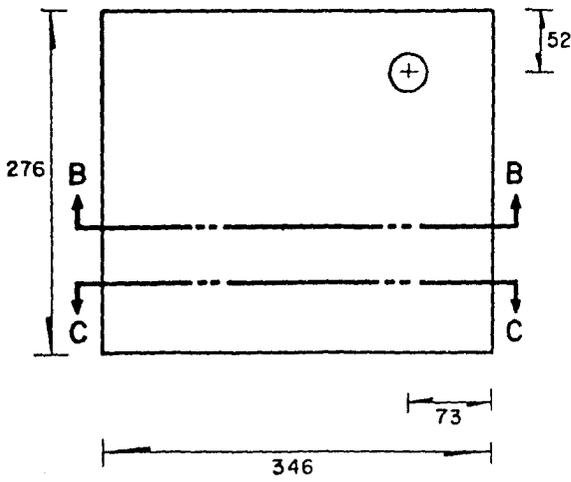
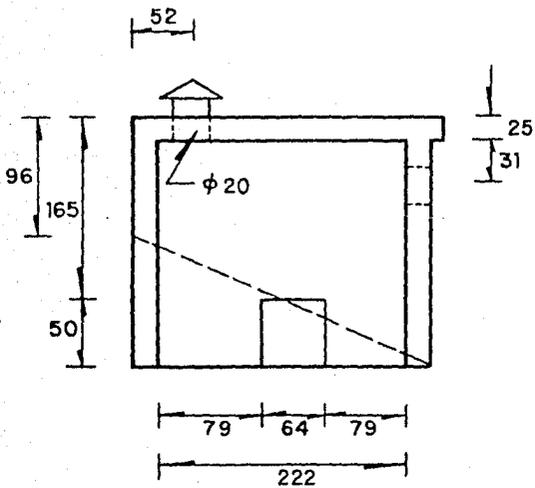


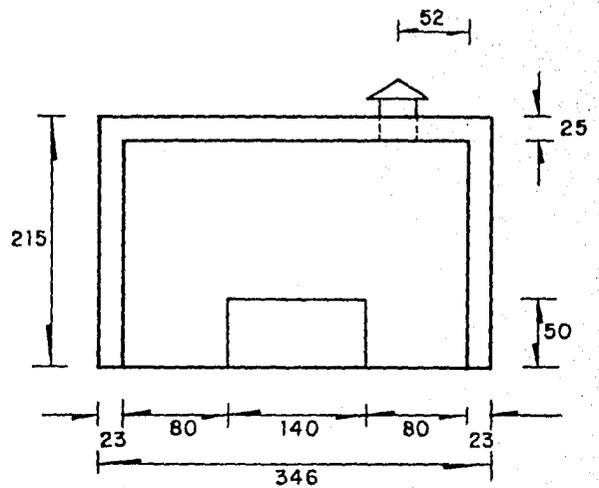
Fig II.5b Vista de la misma caseta desde el lado de Michoacán.



Acotaciones en cm



CORTE A-A



CORTE B-B

Fig II.6 Dimensiones de la caseta.



Vista del lado de  
aguas arriba de la  
caseta de la corona.



Detalle de la grieta entre la caseta y el  
cuerpo de la cortina, del lado de aguas arriba.

Fig II.7a Grieta entre la caseta y el cuerpo de  
la cortina aguas arriba de la caseta.



Fig II.7b Vista del lado de aguas abajo de la caseta de la corona

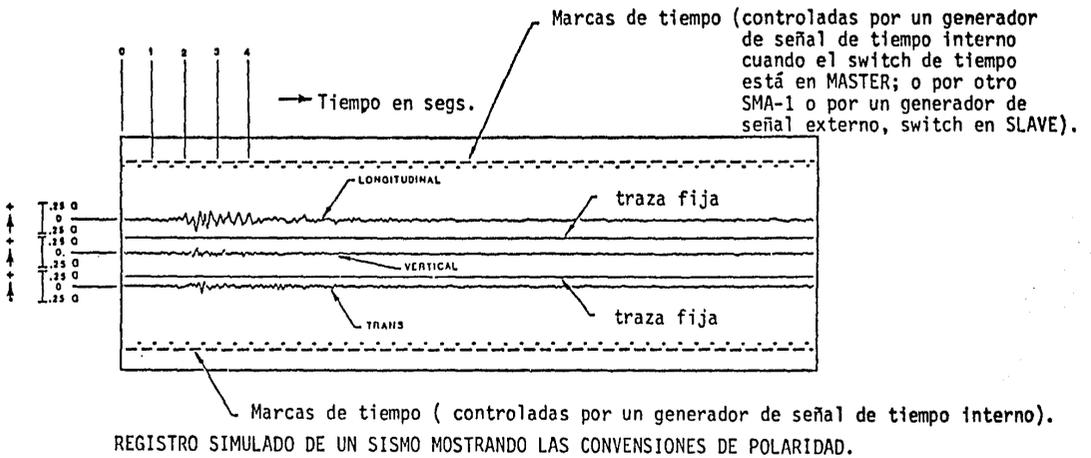
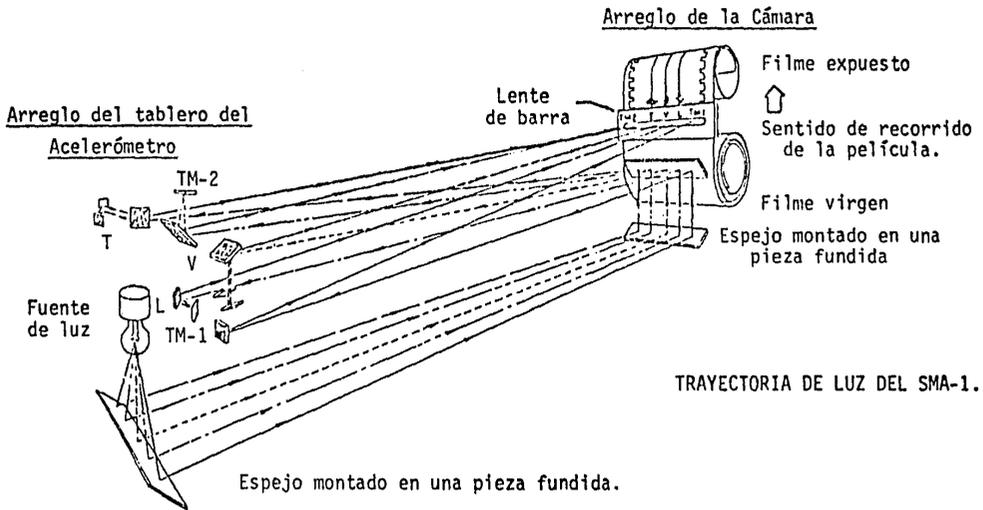
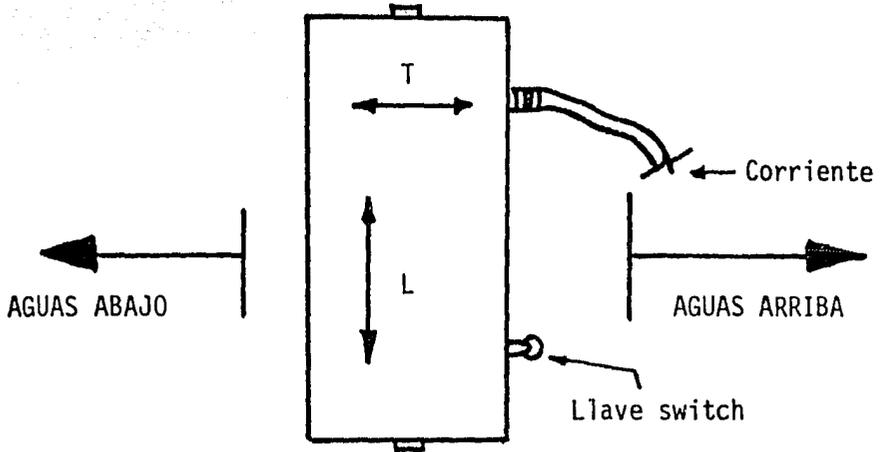


Fig II.8 Esquema del funcionamiento del aparato SMA-1 y registro típico.

Aparato SMA-1



L = longitudinal  
T = transversal

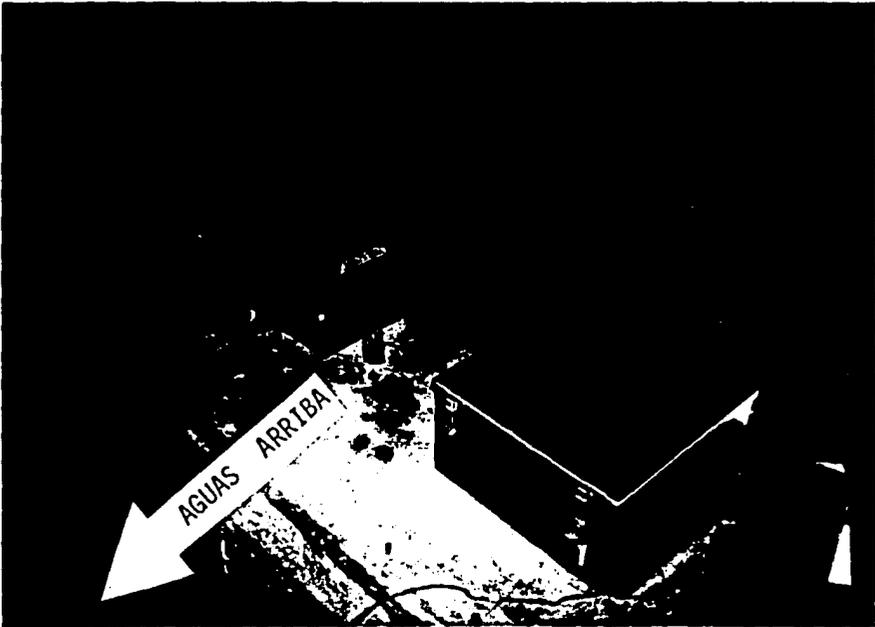


Fig II.9 Localización y posición del acelerógrafo en la caseta.

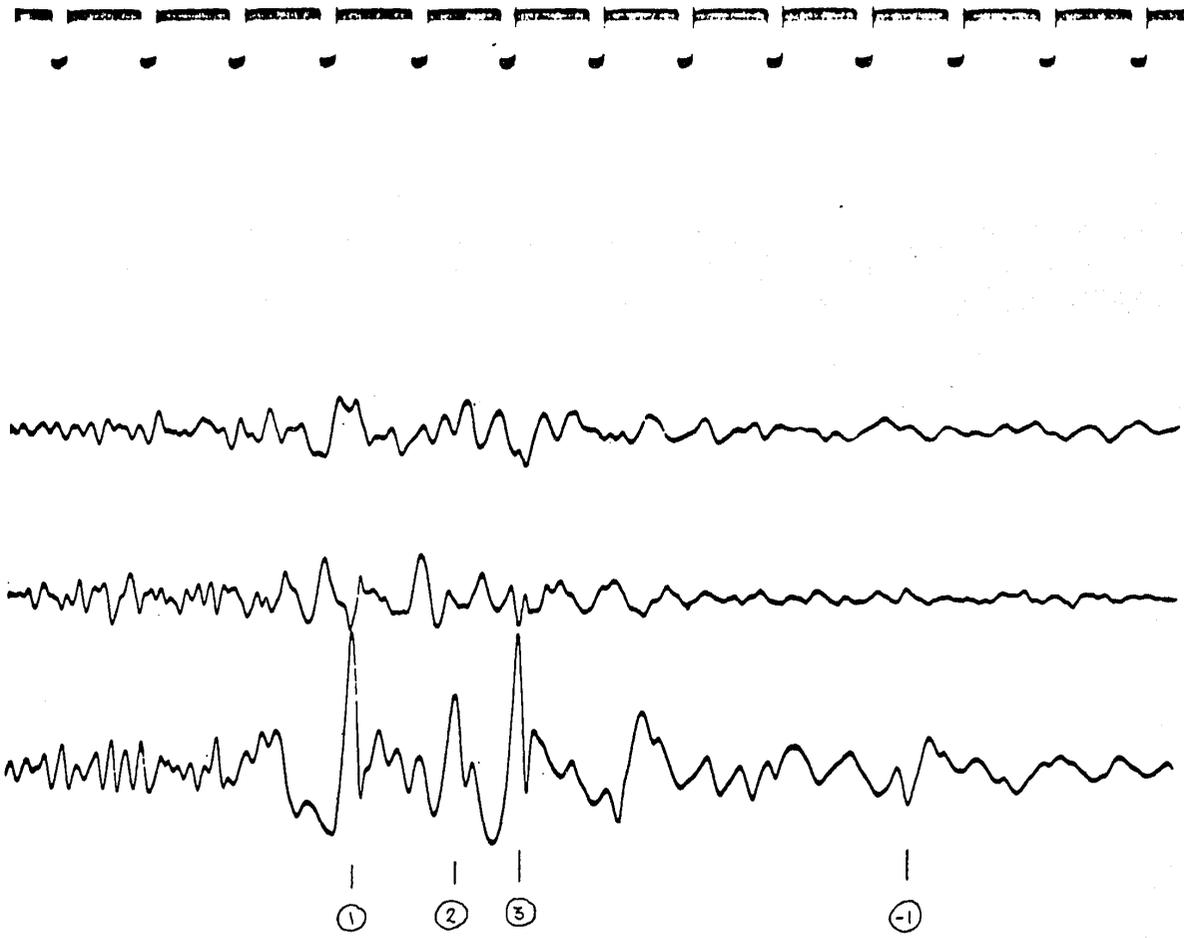


Fig II.10 Acelerograma del sismo del 11 de octubre de 1975 registrado en la caseta de la corona de la presa. Parte del registro.

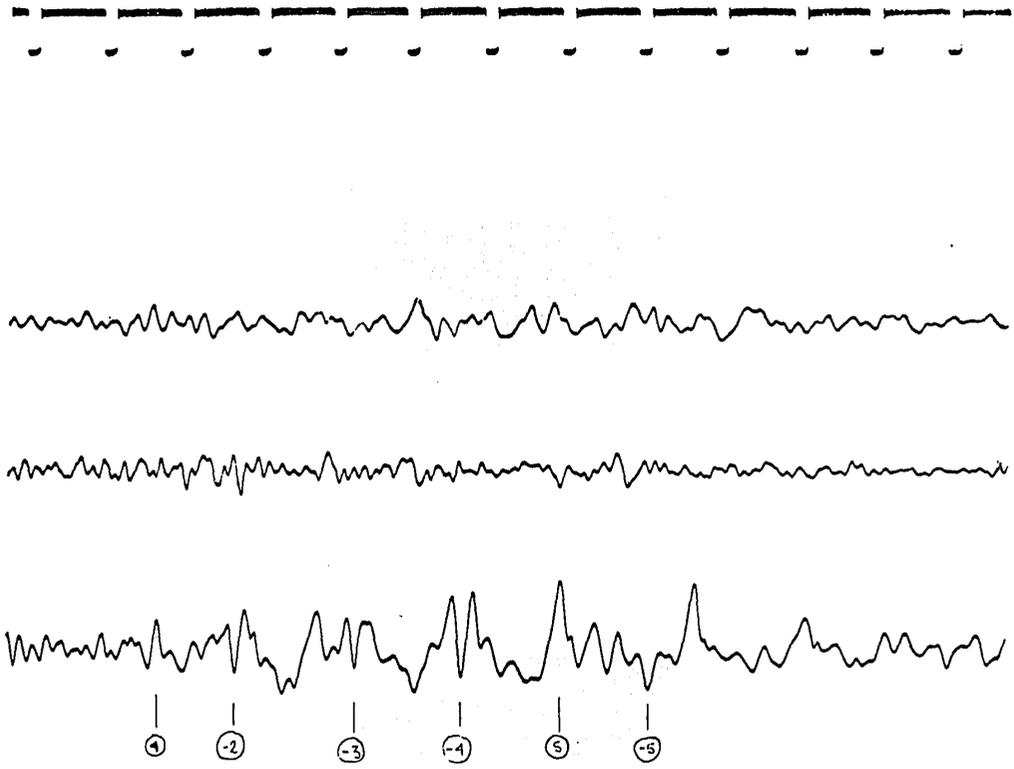


Fig II.11 Acelerograma del sismo del 15 de noviembre de 1975 registrado en la caseta de la corona de la presa. Parte del registro.

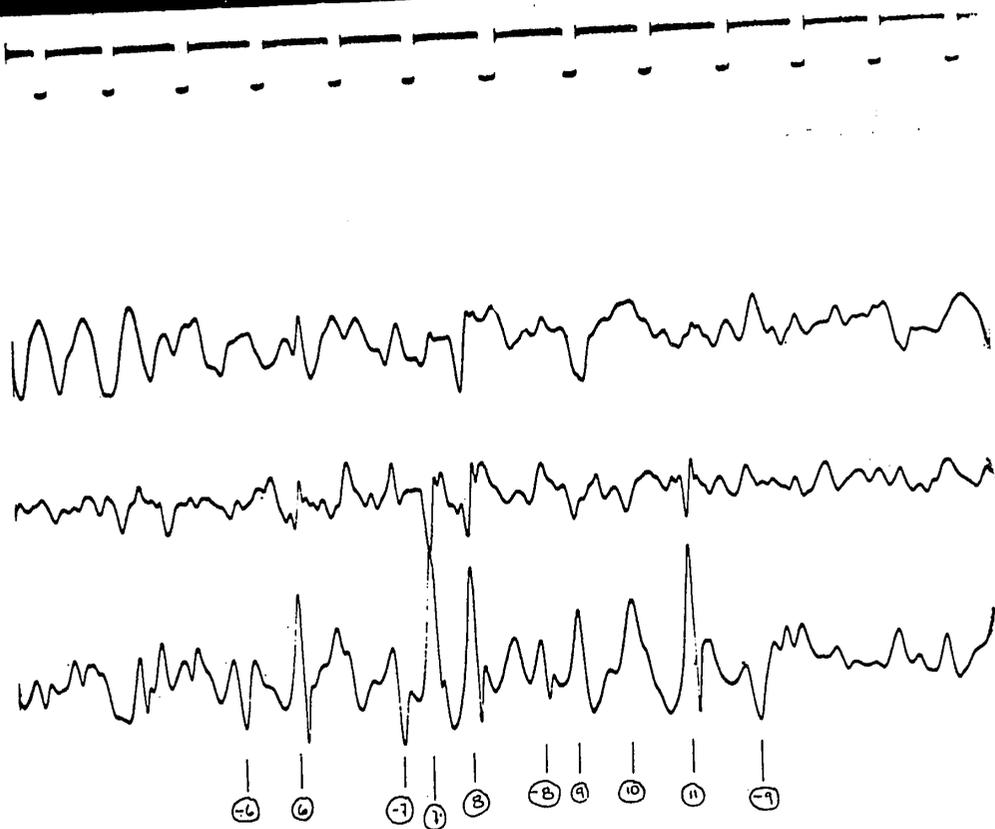


Fig II.12 Acelerograma del sismo del 14 de marzo de 1979 registrado en la caseta de la corona de la presa. Parte del registro.

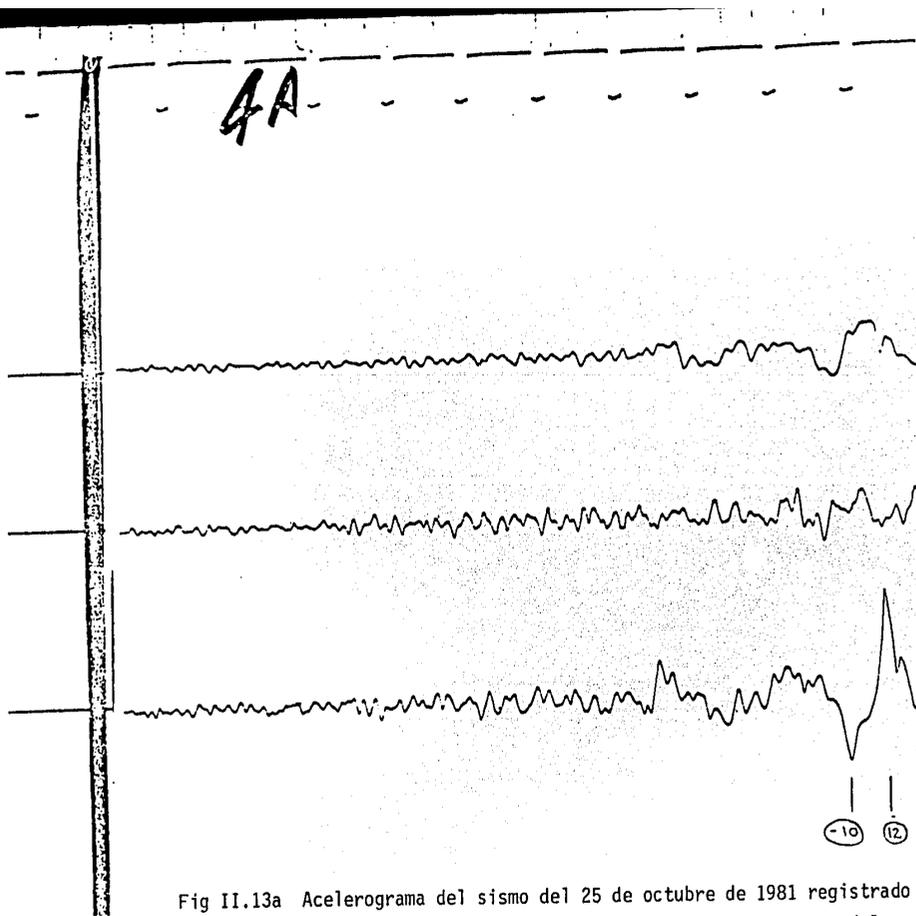


Fig II.13a Acelerograma del sismo del 25 de octubre de 1981 registrado en la caseta de la corona de la presa. Primera parte del registro.

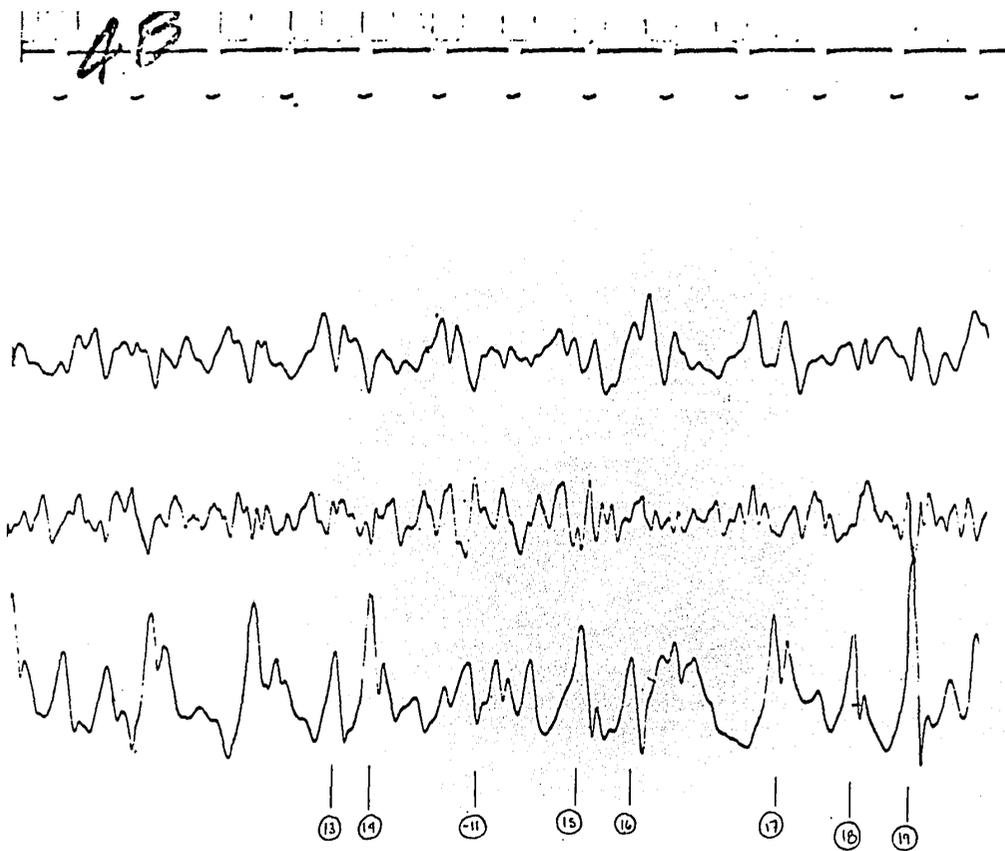


Fig II.13b Acelerograma del sismo del 25 de octubre de 1981 registrado en la caseta de la corona de la presa. Segunda parte del registro.

40

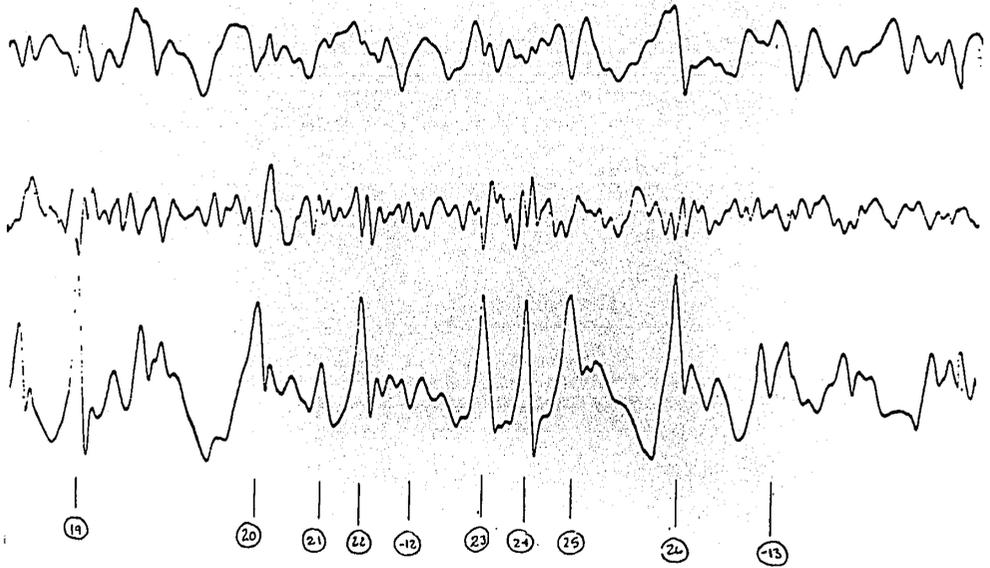


Fig II.13c Acelerograma del sismo del 25 de octubre de 1981 registrado en la caseta de la corona de la presa. Tercera parte del registro.

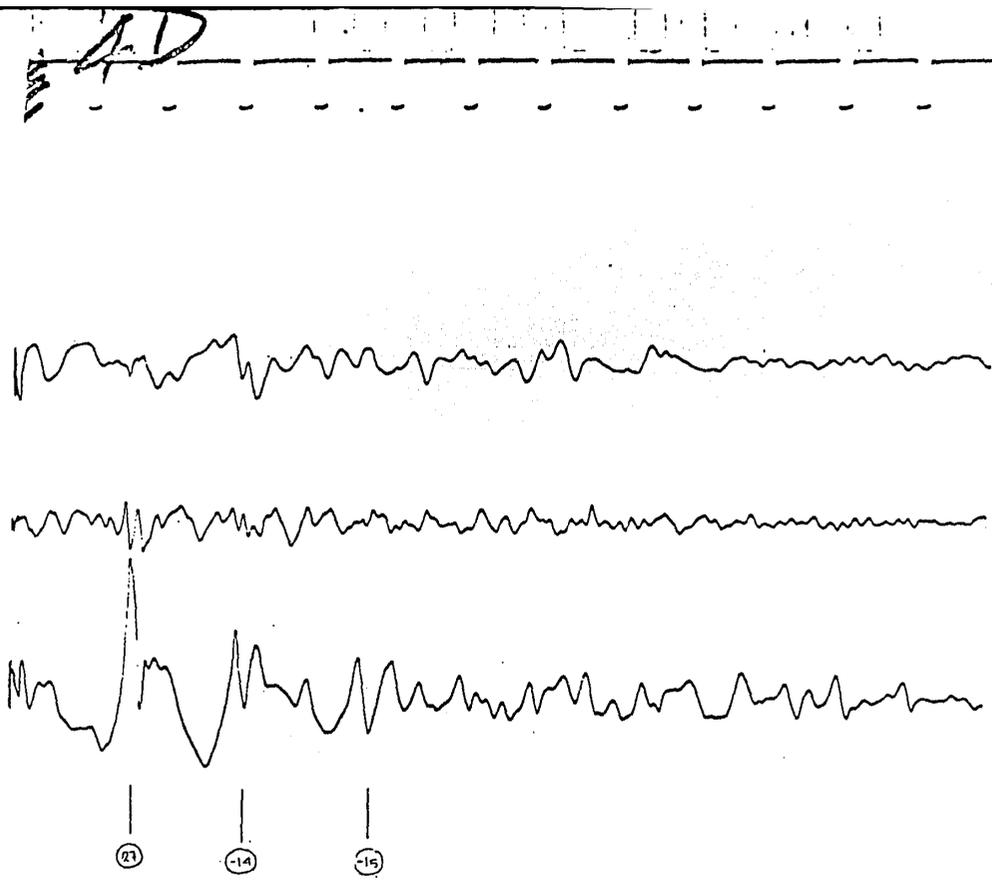


Fig II.13d Acelerograma del sismo del 25 de octubre de 1981 registrado en la caseta de la corona de la presa. Cuarta parte del registro.

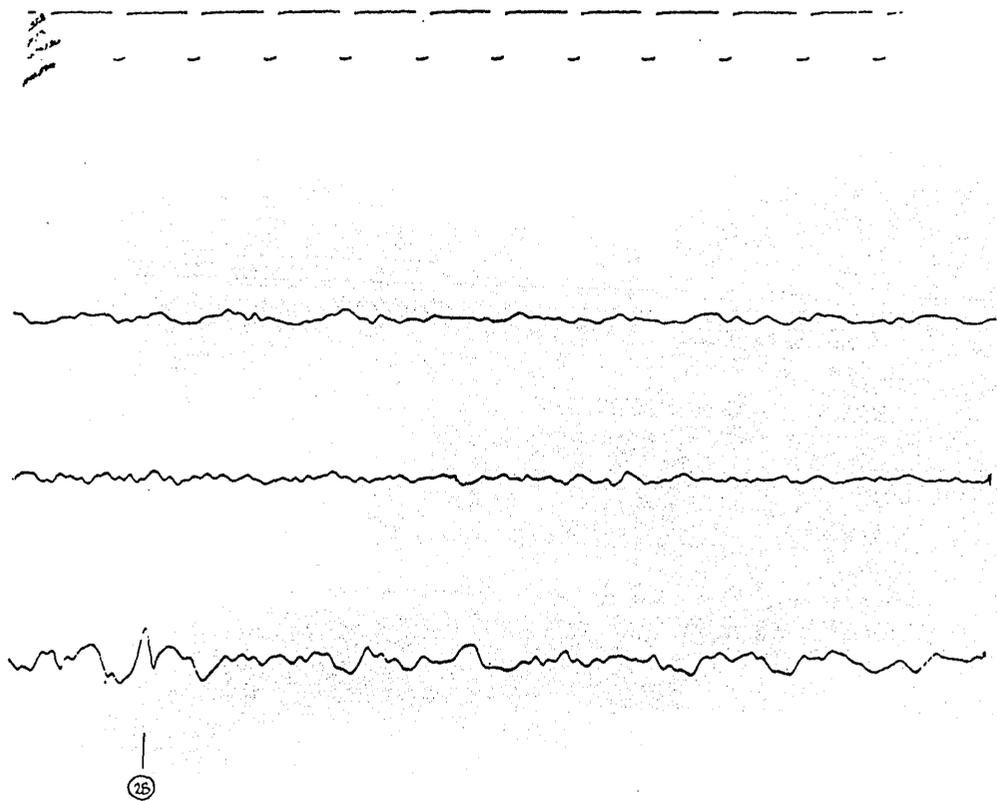
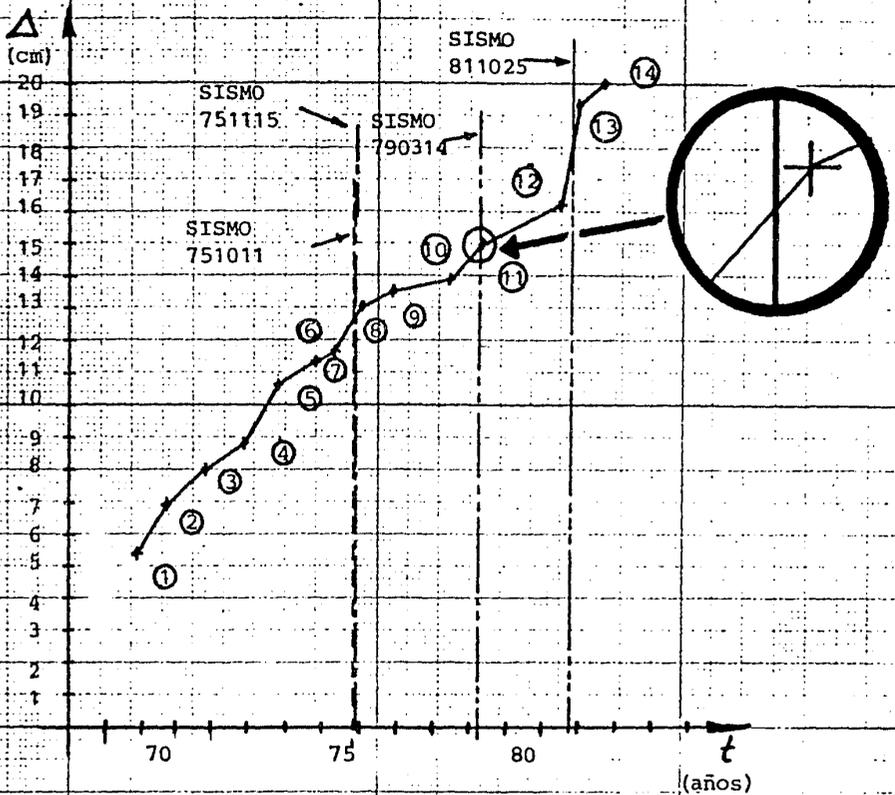


Fig II.13e Acelerograma del sismo del 25 de octubre de 1981 registrado en la caseta de la corona de la presa. Quinta y última parte del registro.



DESPLAZAMIENTOS MEDIDOS: (acumulados) \*

Observación base: 3 de octubre de 1968

①	7 de octubre, 1969	5.4	cm
②	22 de septiembre, 1970	6.9	cm
③	26 de octubre, 1971	8.05	cm
④	10 de noviembre, 1972	8.8	cm
⑤	18 de octubre, 1973	10.6	cm
⑥	24 de octubre, 1974	11.3	cm
⑦	4 de abril, 1975	11.65	cm
⑧	28 de enero, 1976	13.05	cm
⑨	3 de noviembre, 1976	13.5	cm
⑩	7 de junio, 1978	13.9	cm
⑪	26 de marzo, 1979	15.0	cm
⑫	15 de junio, 1981	16.2	cm
⑬	2 de diciembre, 1981	19.3	cm
⑭	16 de agosto, 1982	20.0	cm

\* CFE

Fig II.14: Desplazamientos horizontales contra tiempo de la mojonera C-8 en la Villita.

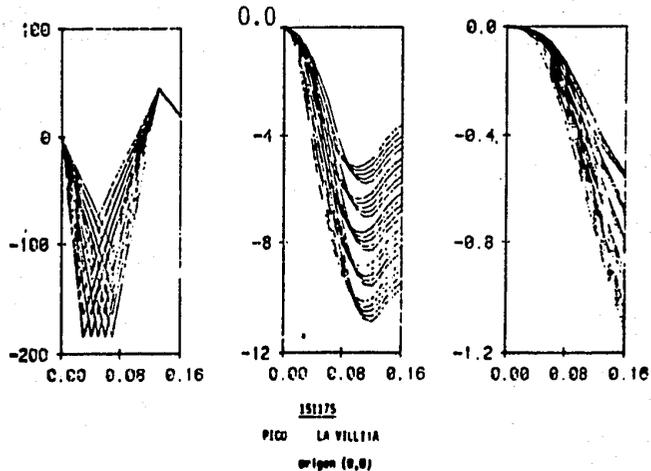
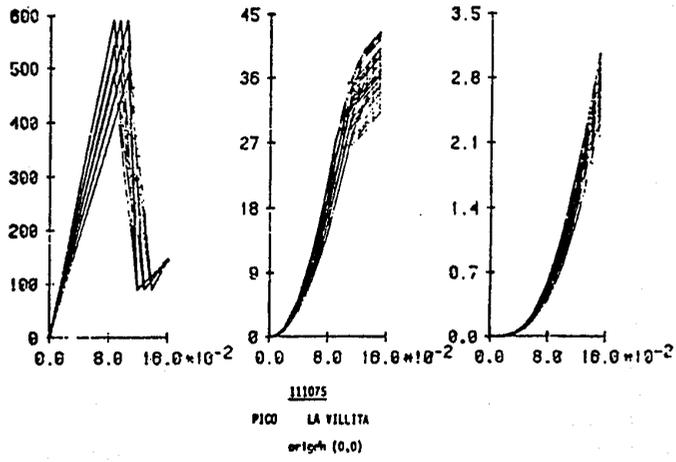
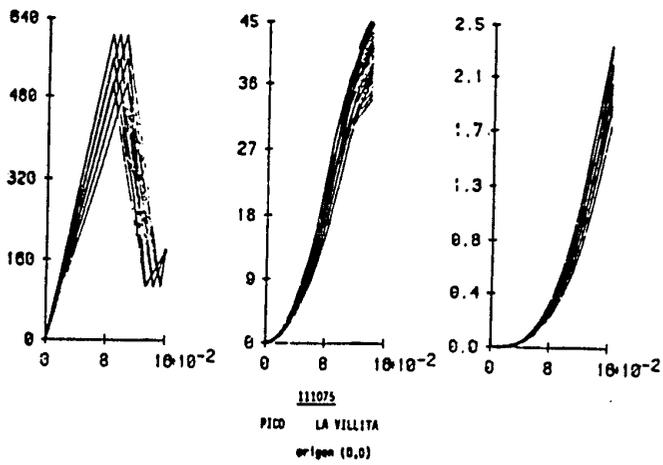
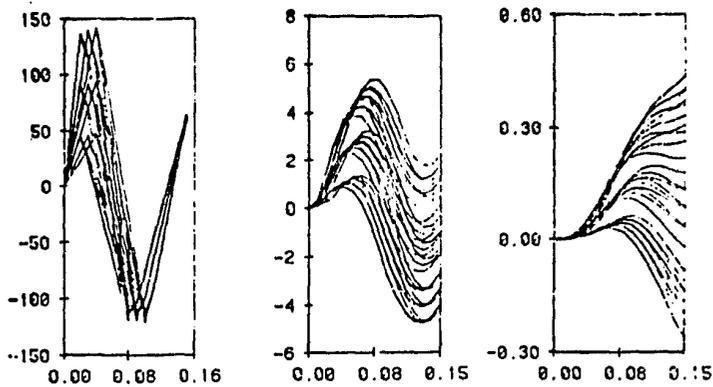
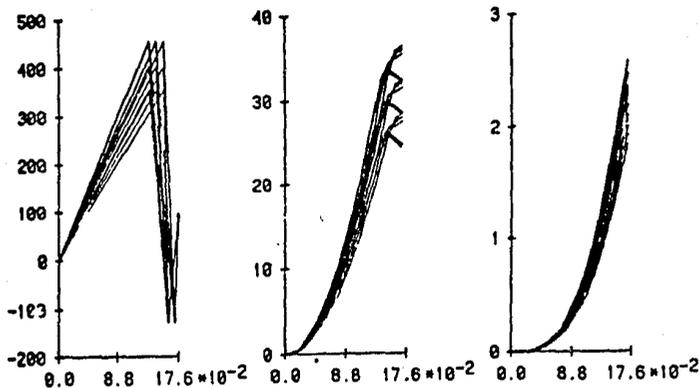


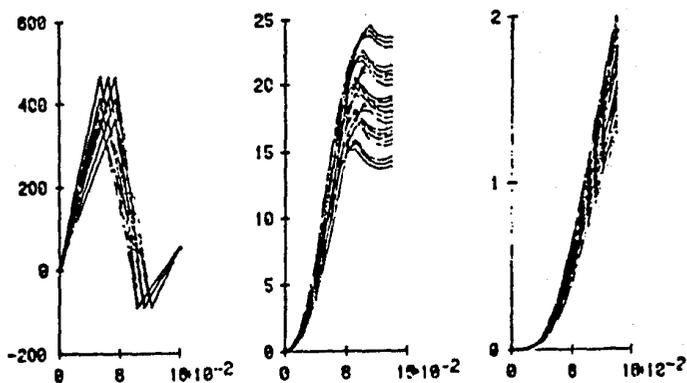
Fig III.1 Simulación en computadora de algunos picos de los sismos registrados en La Villita.



151175  
 PICO LA VILLITA  
 origen (0,0)



170379  
 PICO LA VILLITA  
 origen (0,0)



170379  
 PICO LA VILLITA  
 origen (0,0)

Fig III.2 Simulación en computadora de algunos picos de los sismos registrados en La Villita.

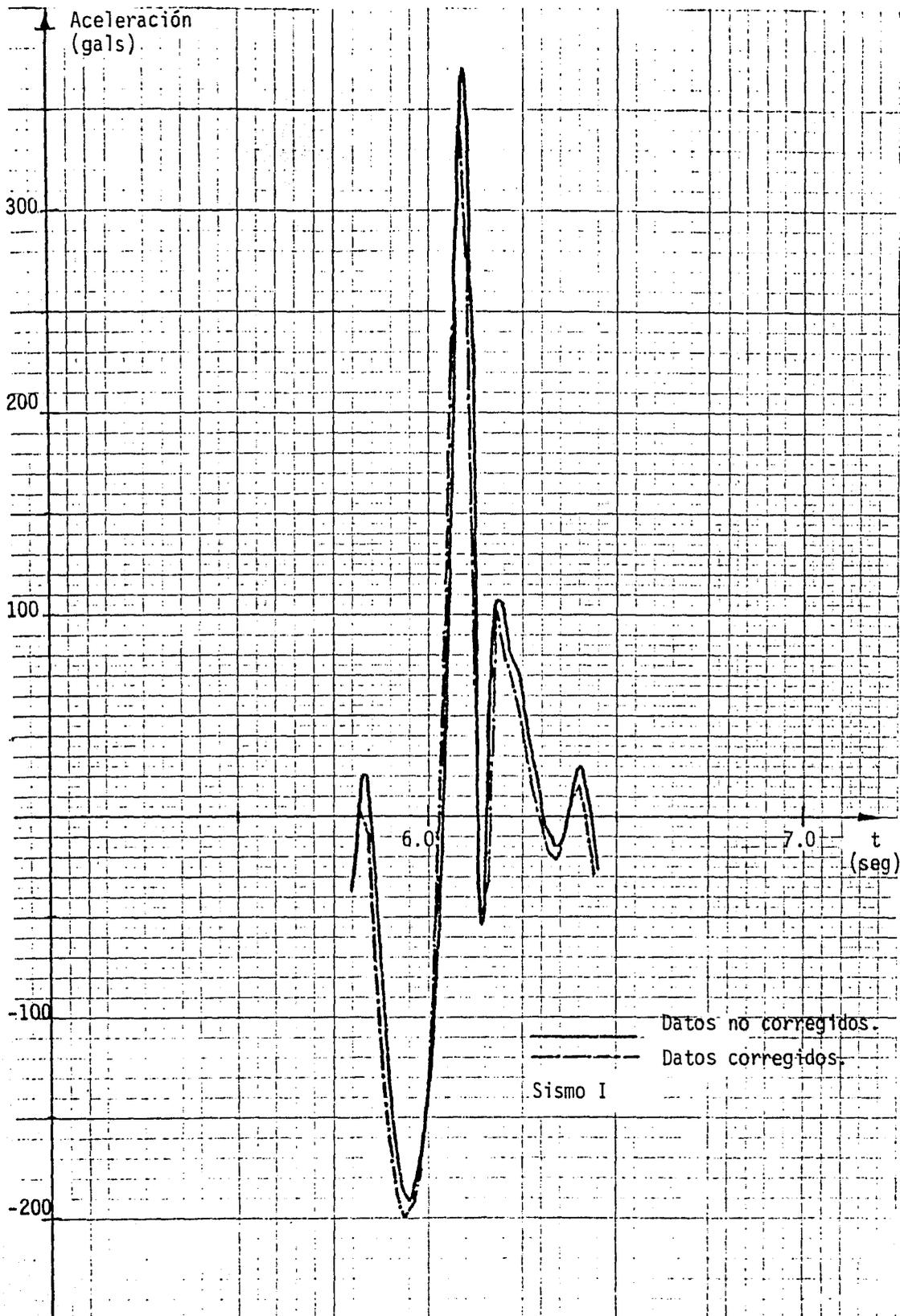


Fig III.3 Gráficas de un pico típico, versiones corregida y no corregida de los datos.

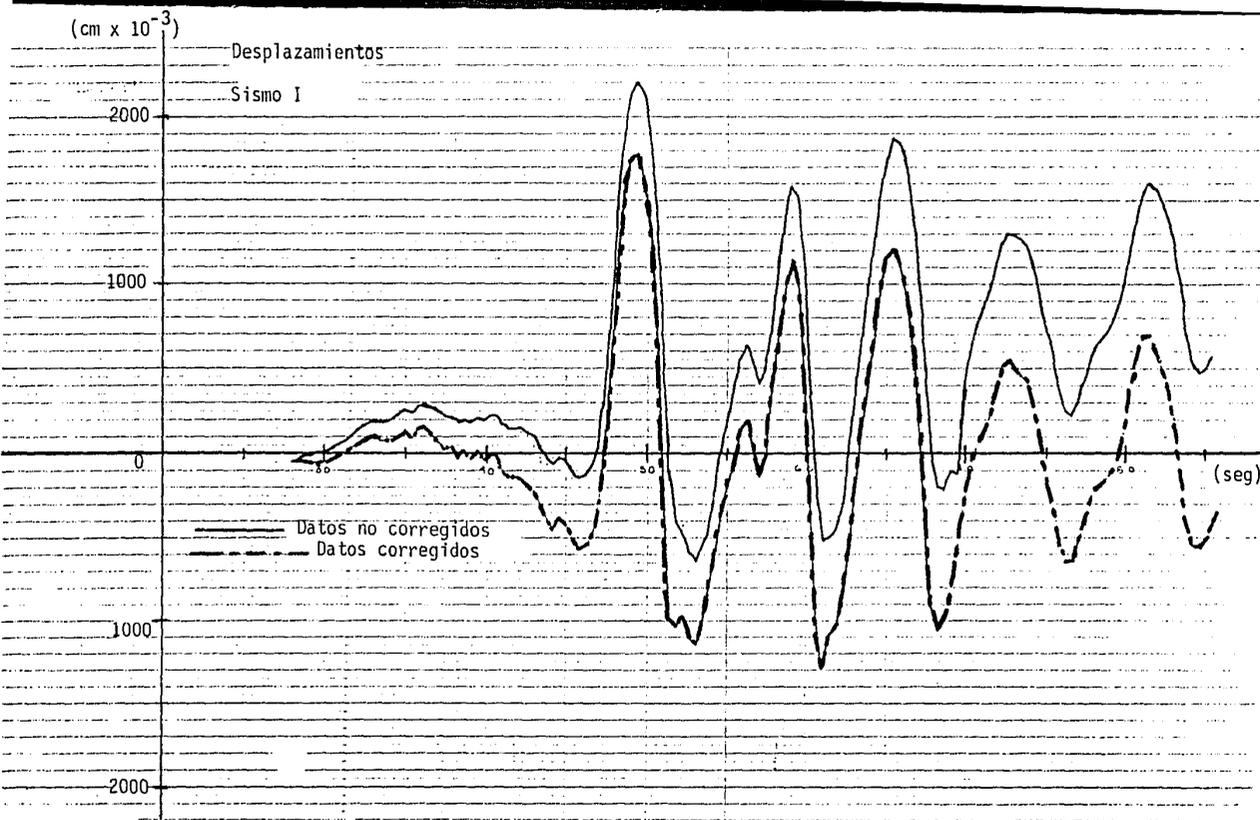
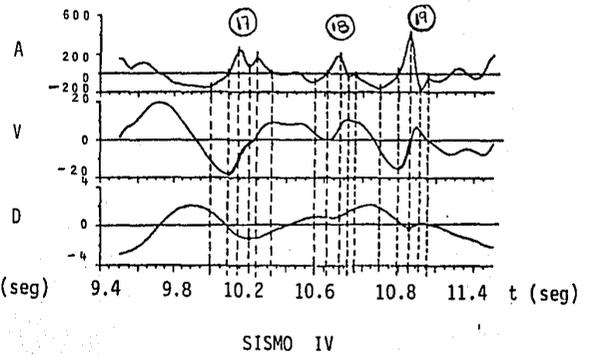
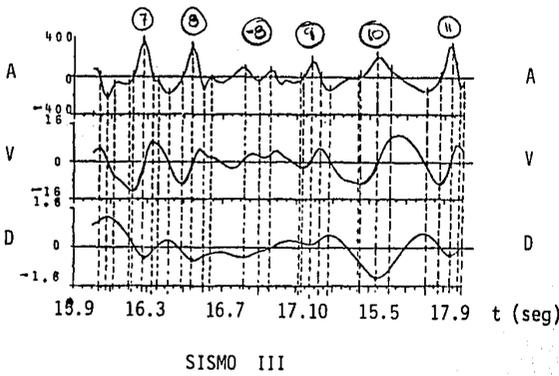
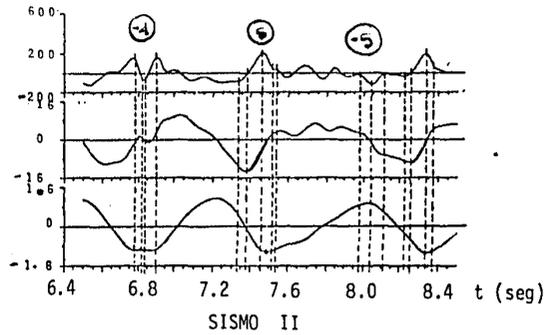
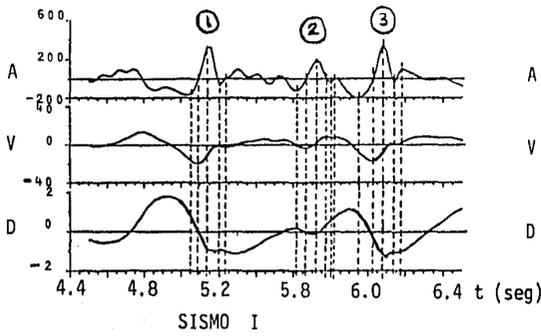


Fig III.3a Gráficas de un tramo de la historia de desplazamientos del sismo I en versiones corregida y no corregida.



A Aceleración (gals)  
 V Velocidad (cm/seg)  
 D Desplazamiento (cm)

Fig III.4 Fracciones de acelerograma de los cuatro diferentes temblores importantes registrados en La Villita.

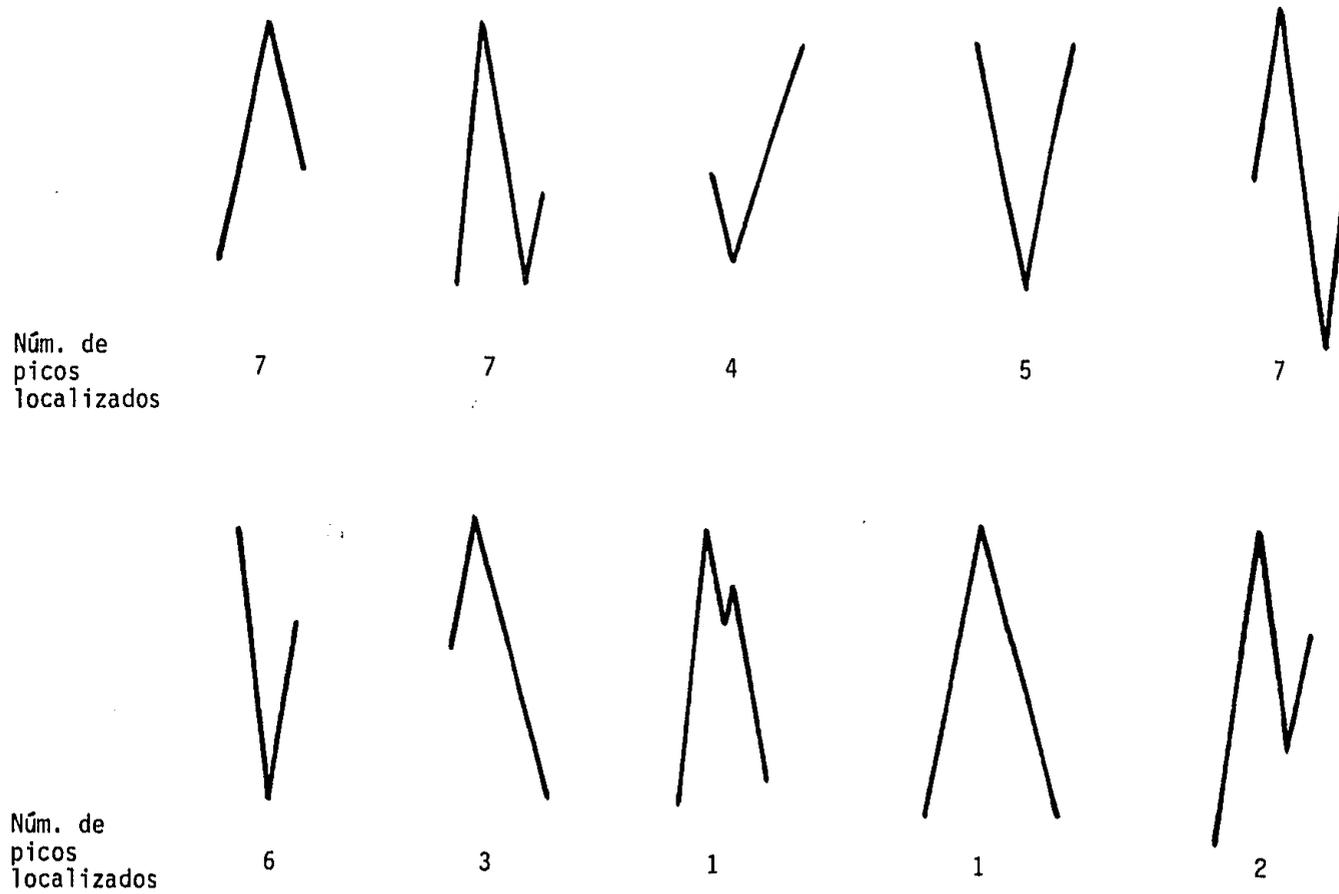


Fig III.5 Formas geométricas generales de los picos que aparecen en los registros de sismos en la caseta de la corona de La Villita.

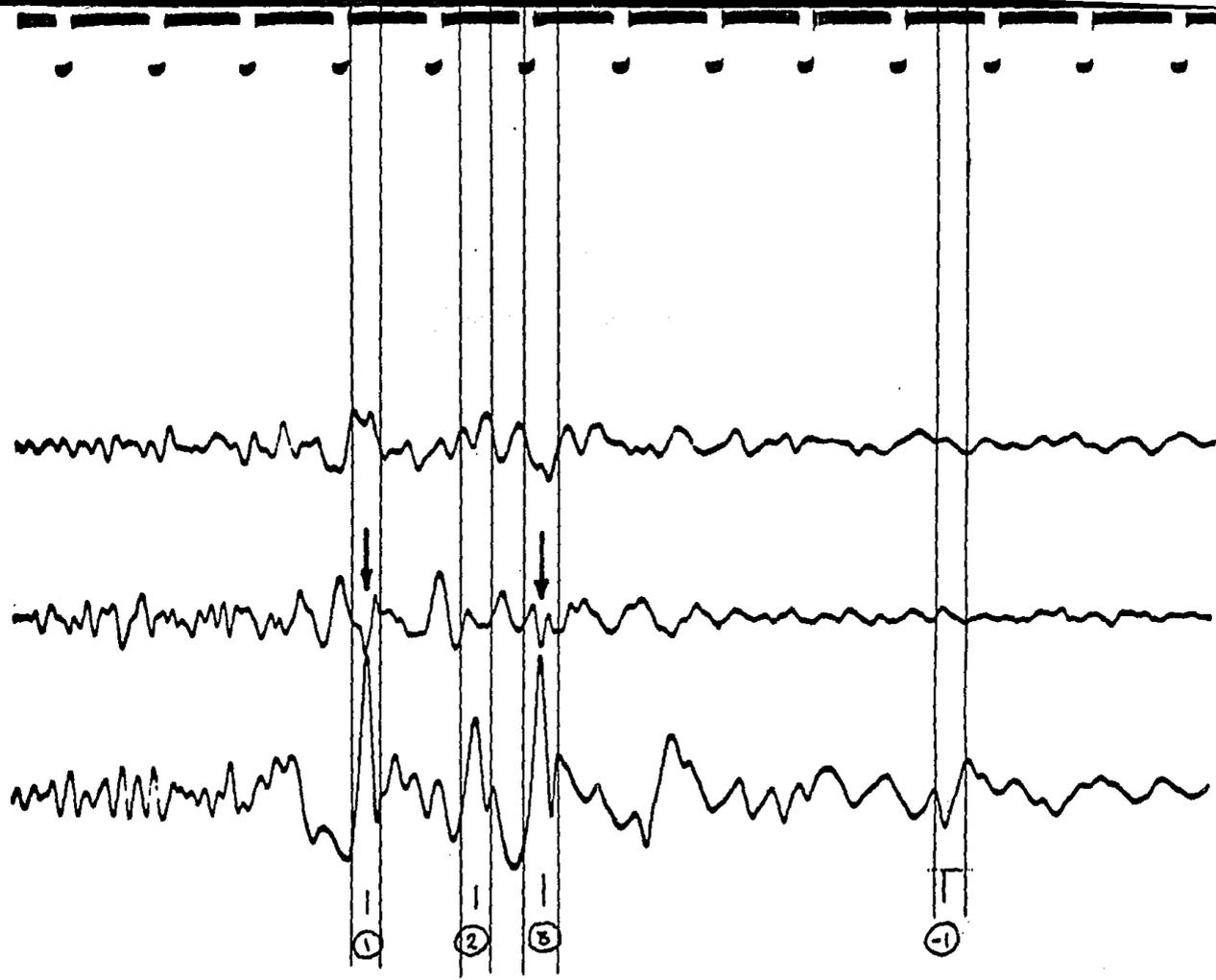


Fig III.6 Acelerograma del sismo I registrado en la caseta de la corona de la presa.  
Parte del registro.

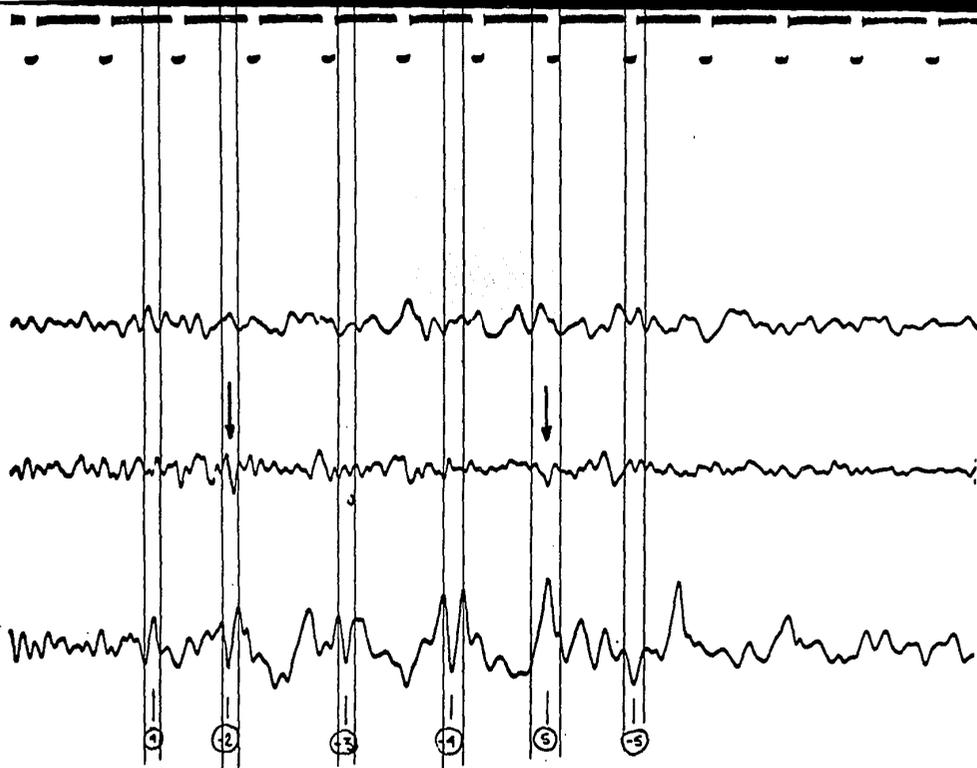


Fig III.7 Acelerograma del sismo II registrado en la caseta de la corona de la presa.  
Parte del registro.

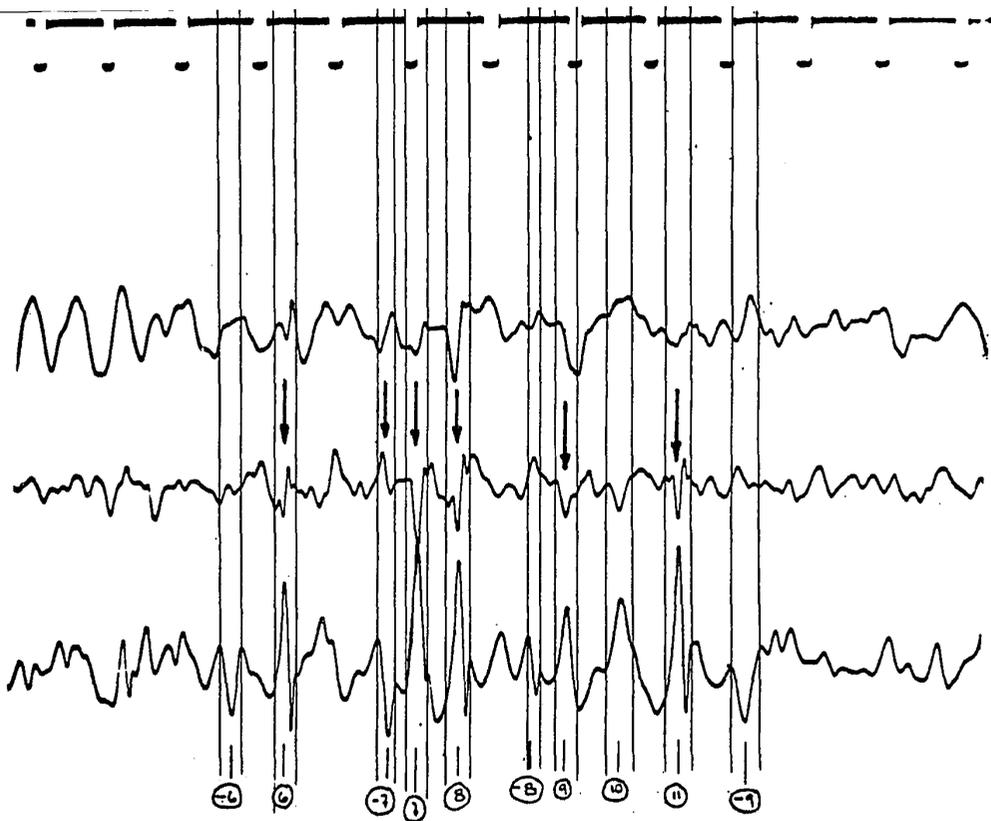


Fig III.8 Acelerograma del sismo III registrado en la caseta de la corona de la presa.  
Parte del registro.

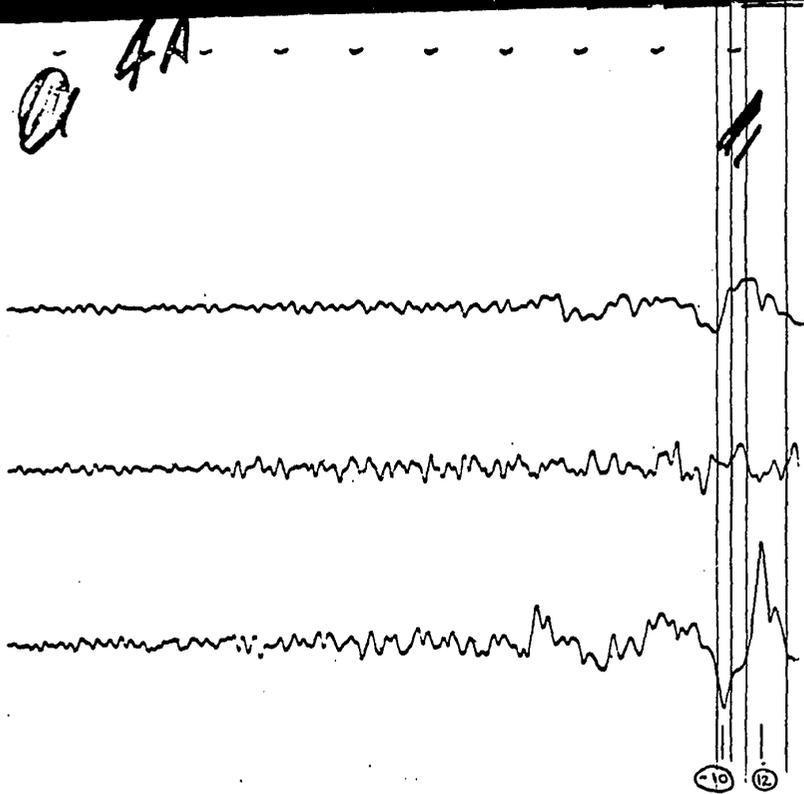


Fig III.9a Acelerograma del sismo IV registrado en la caseta de la corona de la presa.  
Primera parte del registro.

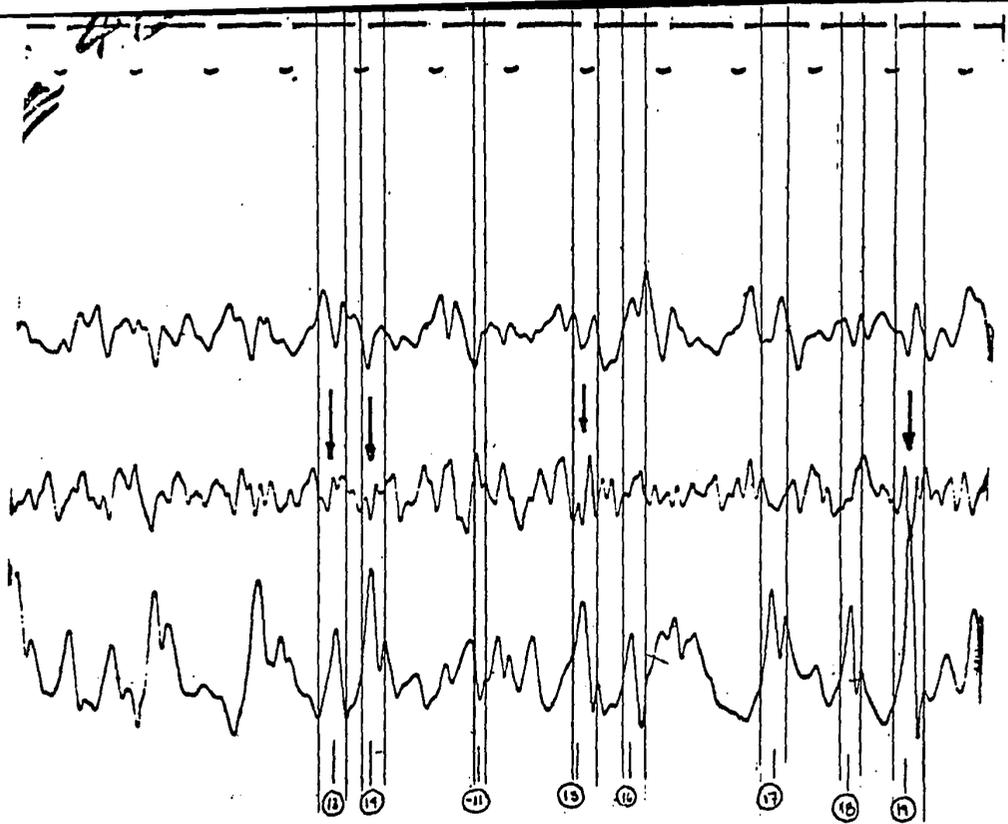


Fig III.9b Acelerograma del sismo IV registrado en la caseta de la corona de la presa.  
Segunda parte del registro.

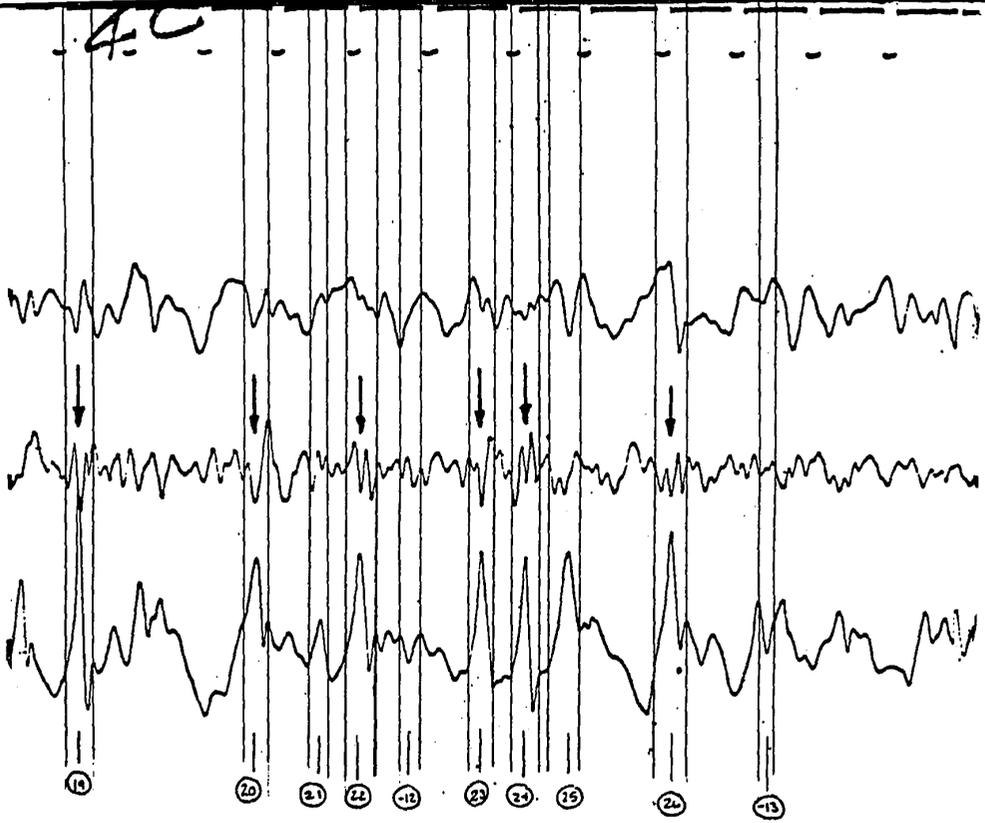


Fig III.9c Acelerograma del sismo IV registrado en la caseta de la corona de la presa.  
Tercera parte del registro.

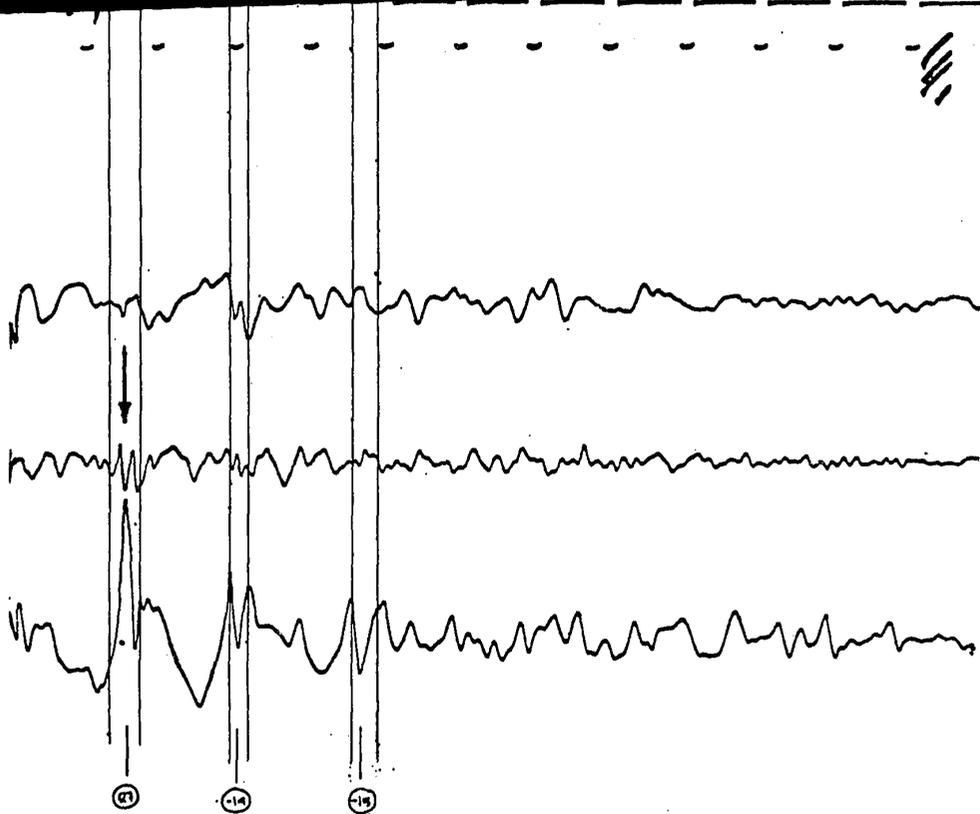


Fig III.9d Acelerograma del sismo IV registrado en la caseta de la corona de la presa.  
Cuarta parte del registro.

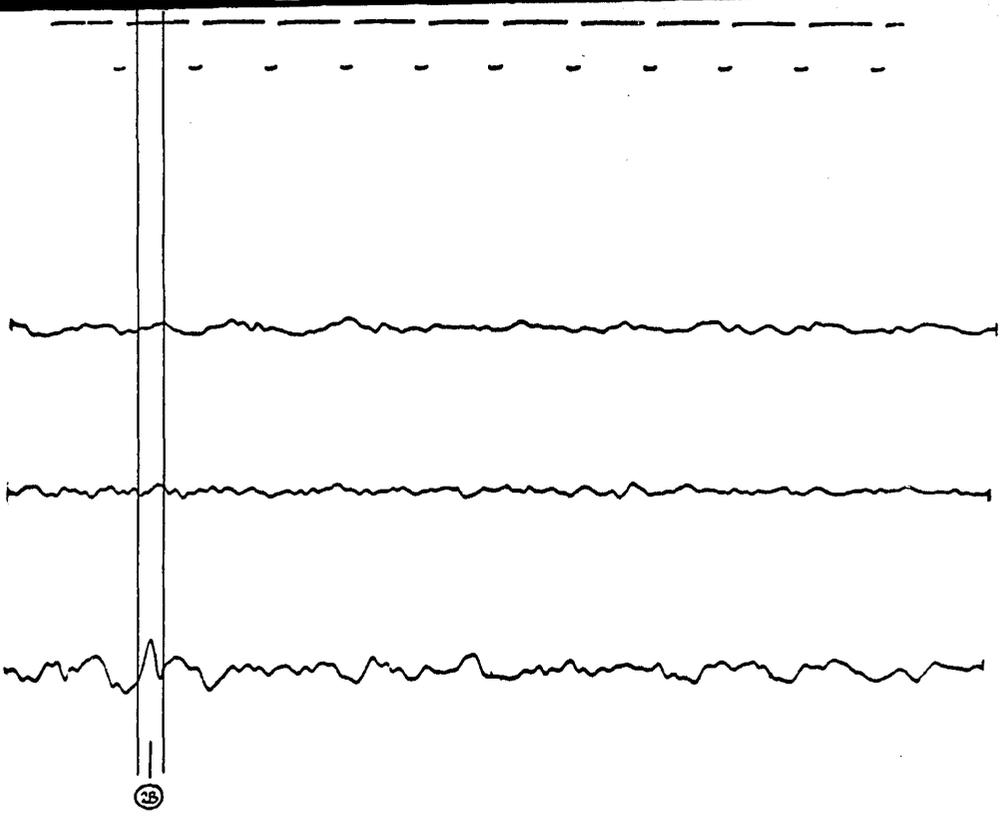
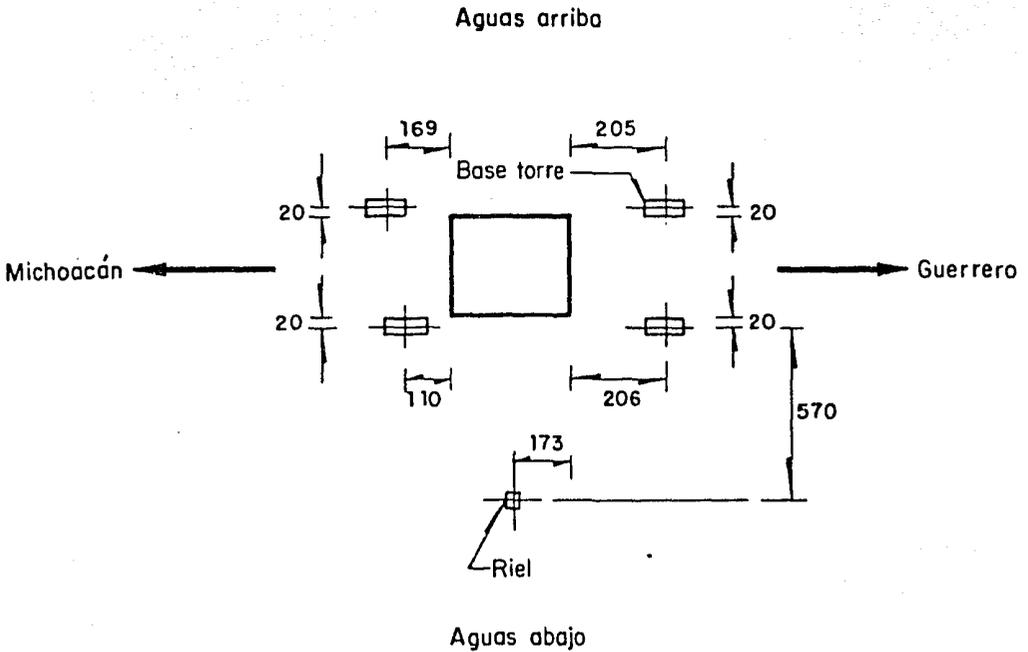


Fig III.9e Acelerograma del sismo IV registrado en la caseta de la corona de la presa.  
Quinta y última parte del registro.



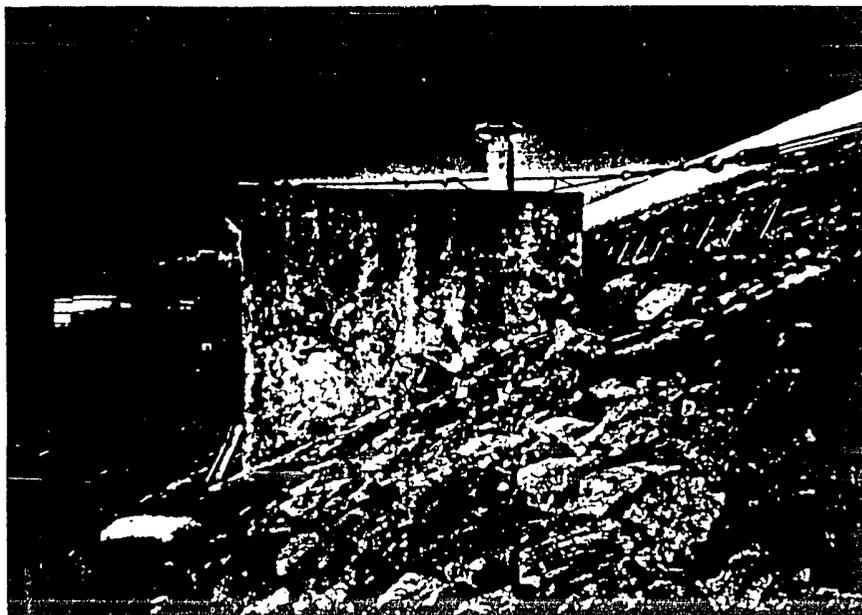
Croquis fuera de escala

Acotaciones en cm

Localización de bases de torre y riel.



Fig IV.1 Posición de las bases de torre y del riel.



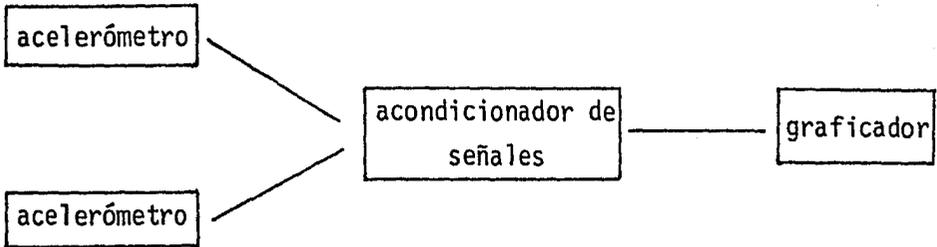
"Jalón" hacia aguas arriba de la caseta desde la losa de techo.



Instrumentación del mecanismo para aplicar la fuerza, en este caso hacia aguas abajo de la caseta desde la base de la misma.

Fig IV.2 Mecanismo para aplicar la fuerza.

MECANISMO PARA REGISTRAR EL MOVIMIENTO .



MECANISMO PARA MEDIR LA FUERZA .

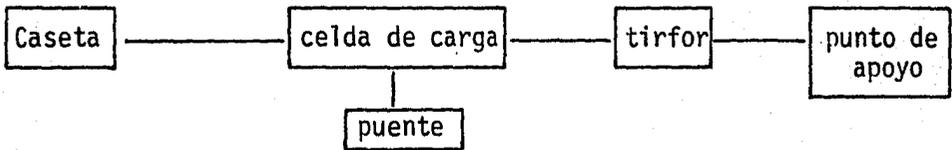


Fig IV.3 Diagrama operacional de la instrumentación empleada en las pruebas en la caseta.



Pieza grande de fierro fundido; se aprecia, además, la conexión de cables, poleas y la pieza.



Momento en el que se ha logrado toda la tensión deseada en los cables, y se rompe la pieza para liberar la fuerza acumulada.

Fig IV.4 Pieza de fierro fundido y el momento en que ésta se rompe.

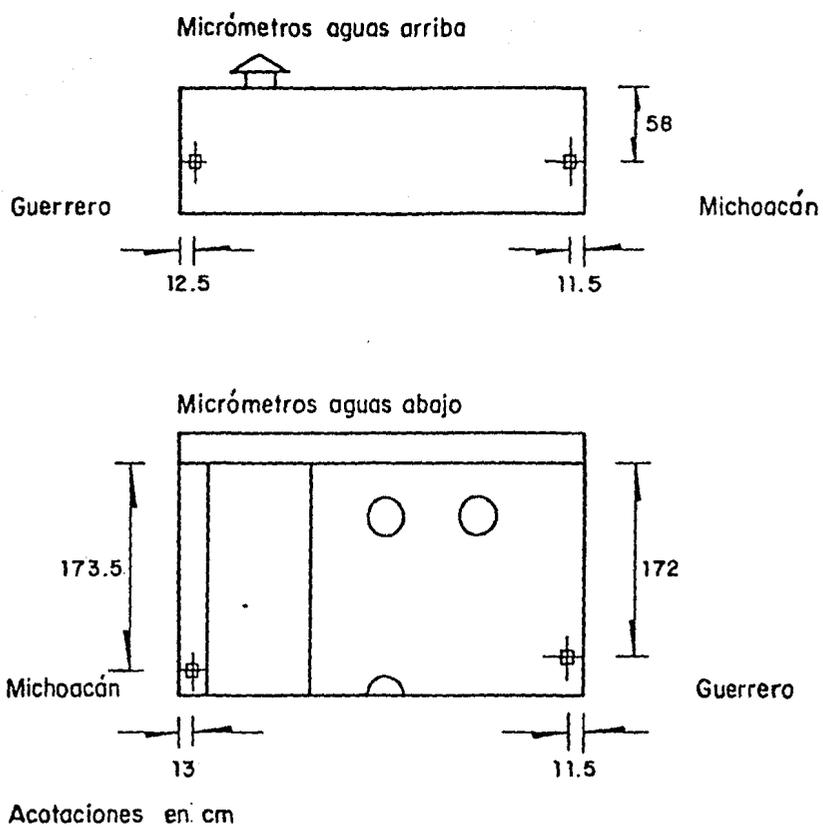


Fig IV.5 Posición de los micrómetros.

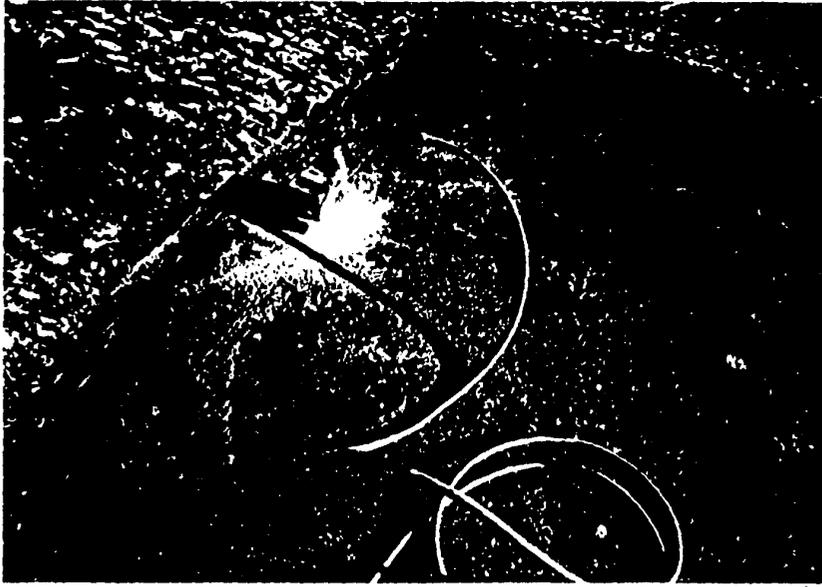
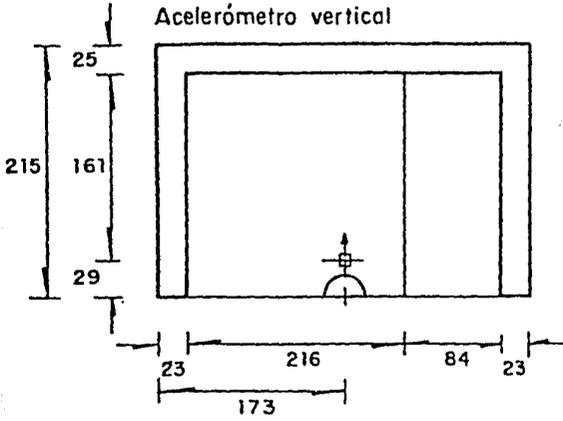


Fig IV.6 Detalle de la colocación de los acelerómetros.

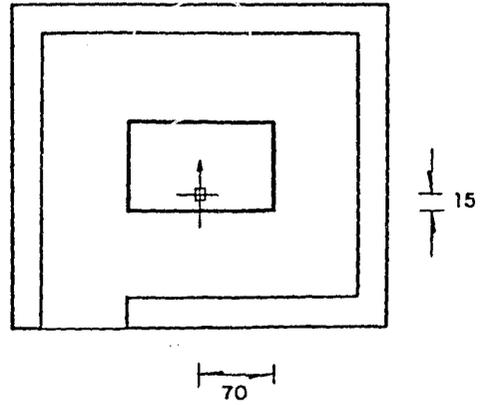
CORTE C-C

Acelerómetro vertical

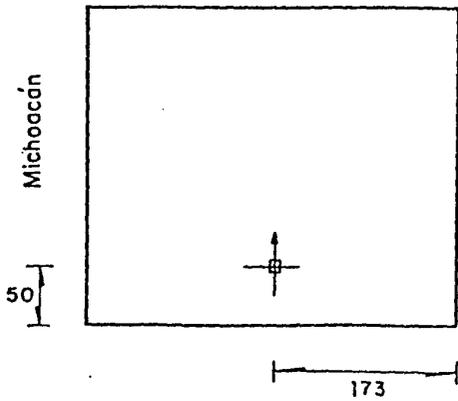


CORTE D-D

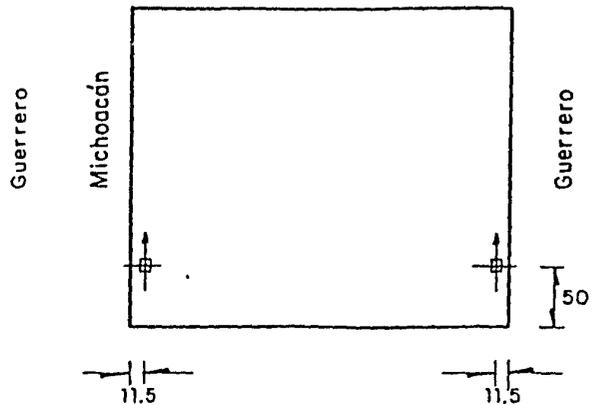
Acelerómetro en base de aparatos



Acelerómetro en techo

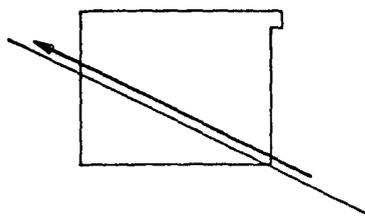


Acelerómetros en techo



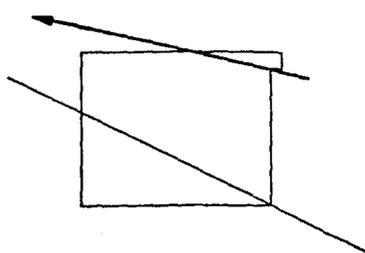
Acotaciones en cm

Fig IV.7 Posición de acelerómetros.

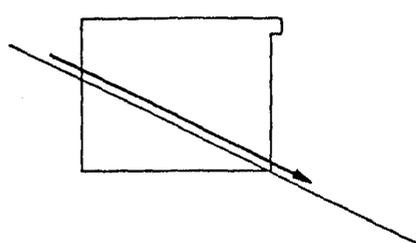


PRUEBAS ESTATICAS

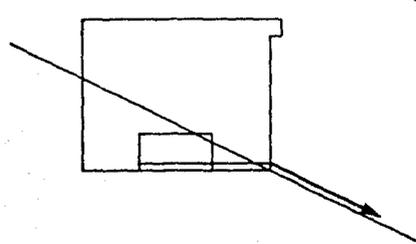
PRUEBAS DINAMICAS



PRUEBAS DINAMICAS



PRUEBAS DINAMICAS



PRUEBAS DINAMICAS

Pendiente de la presa en proyecto  
1:2.5

Fig IV.8 Dirección de aplicación de la fuerza.

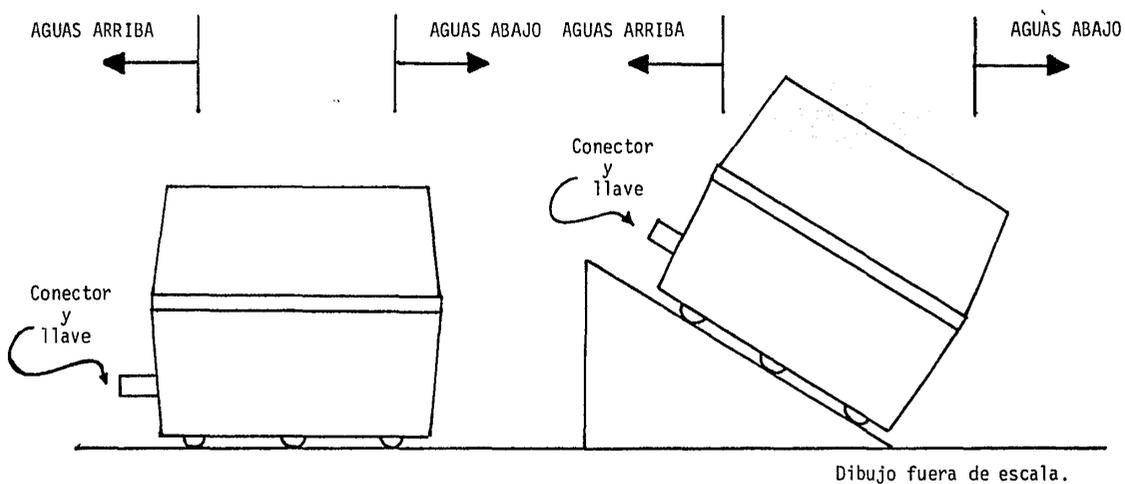
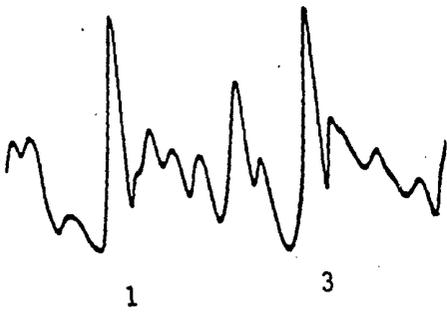
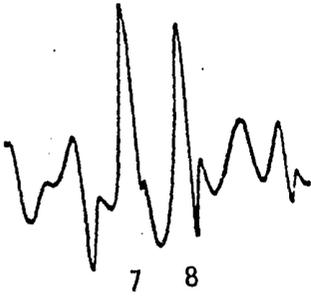
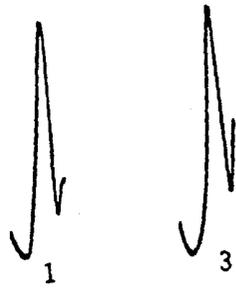


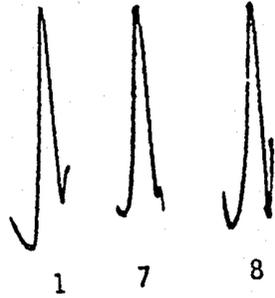
Fig IV.9 Posiciones del aparato durante la prueba "estática" al acelerógrafo SMA-1.



SISMO I



SISMO III



SISMO IV

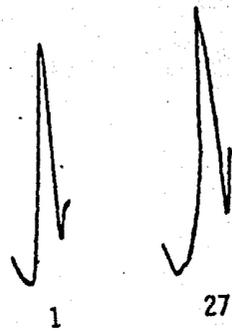
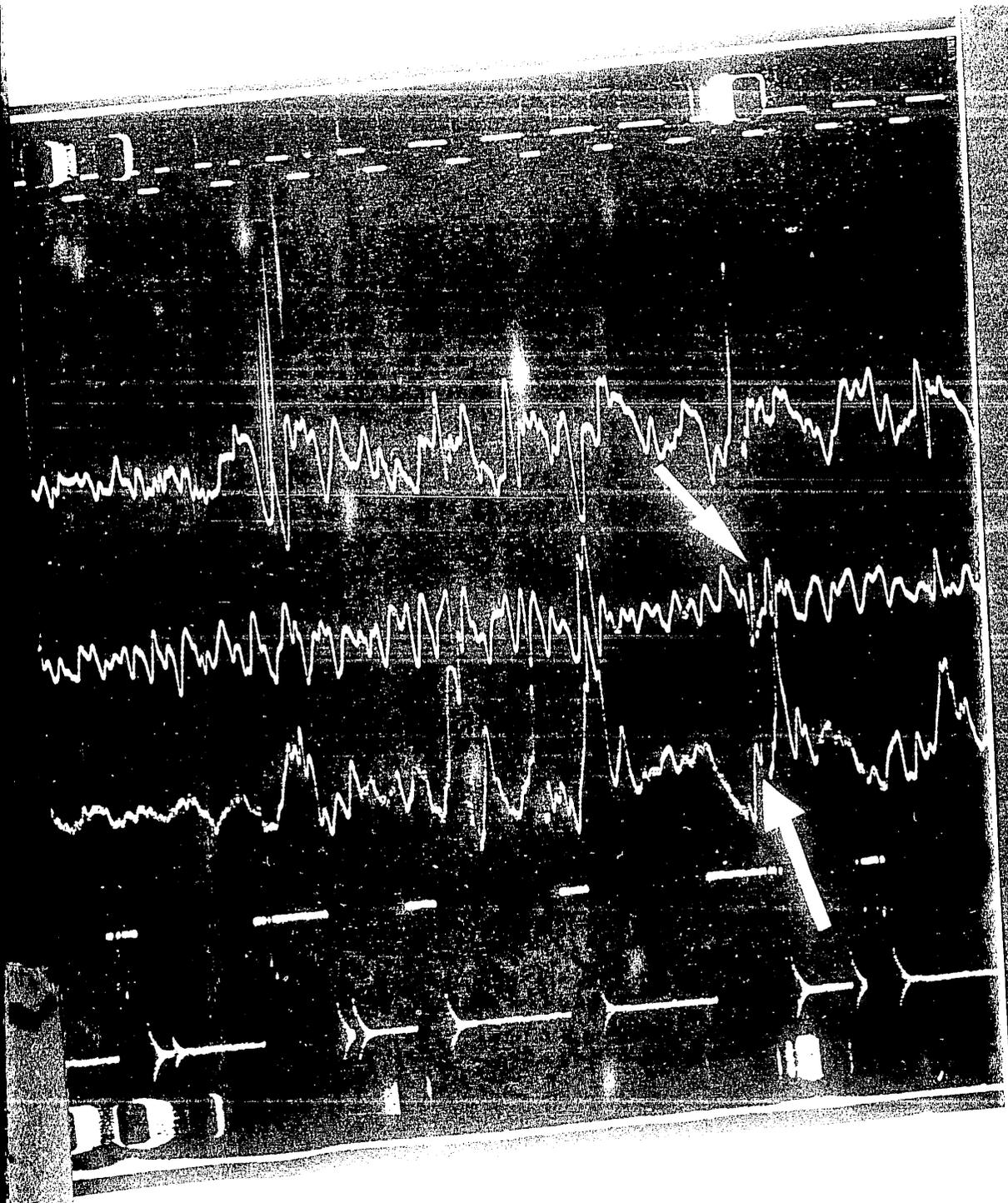


Fig V.1 Ejemplos de algunos picos semejantes dentro de los acelerogramas registrados en La Villita.



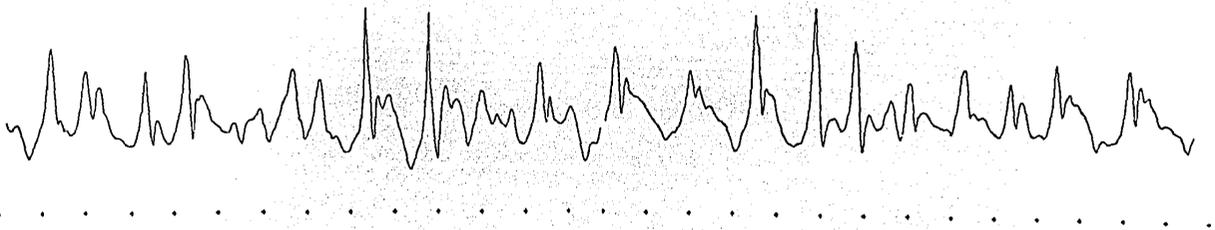


Fig V.3 Tramo del acelerograma registrado en la caseta de la corona de la presa La Villita del sismo del 19 de septiembre, 1985.

APENDICE A. PESO DE LA CASETA.

Las dimensiones de la caseta se pueden ver en la fig II.6 y su peso aproximado es de:

peso de losa:  $((2.76)(3.46)(0.25) - (0.2)^2 (\pi)/4(0.25))(2.4) = 5.71 \text{ tn}$

peso de muros laterales:

$$(2)(0.23)(2.15)(2.4)(2.76-0.23) = 6.01 \text{ tn}$$

peso de muro trasero:

$$(0.23)(3.46)(2.15)(2.4) = 4.11 \text{ tn}$$

peso de muro frontal:

$$(2.4)((2.15)(0.23)(2.62-0.46) - (2)(0.20)^2 (\pi)/4(0.23)) = 2.55 \text{ tn}$$

peso del voladizo:

$$(0.10)(3.46)(0.25)(2.4) = 0.21 \text{ tn}$$

peso de base de aparatos:

$$(0.64)(0.50)(1.4)(2.4) = 1.08 \text{ tn}$$

---

19.67 tn

peso de losa de piso:

mínimo  $(2.76)(3.46)(0.10)(2.4) = 2.29 \text{ tn}$

máximo  $(2.76)(3.46)(0.25)(2.4) = 5.73 \text{ tn}$

---

mínimo 21.96 tn

máximo 25.40 tn

El peso volumétrico usado es el del concreto reforzado de  $2.4 \text{ tn/m}^3$ .

FE DE ERRATAS.

Página	línea	donde dice:	debe decir:
17	18	" arriga. "	" arriba. "
21	1	" con "	" la caseta con "
23	18	" de una a "	" de uno a "
26	22	" sí "	" así "
28	2	" comportamiento "	" Comportamiento "
28	10	" catálogo "	" Catálogo "