

77
2 Ejes



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

REDES ACELEROGRAFICAS EN LOS PUERTOS
INDUSTRIALES DE LAZARO CARDENAS, MICH.
Y COATZACOALCOS, VER.



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA :
JUAN CARLOS HERNANDEZ ARCE



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.

CONTENIDO

1.	Antecedentes	1
2.	Proyecto de instrumentación sísmica	3
3.	Características de los aparatos utilizados	6
3.1	Descripción de los acelerógrafos	6
3.2	Tipos de acelerógrafos	8
3.2.1	Acelerógrafos analógicos	8
3.2.1	Acelerógrafos digitales	9
3.3	Acelerógrafo utilizado	9
4.	Criterios de localización de las estaciones	14
4.1	Número de estaciones	14
4.2	Area que debe cubrirse	15
4.3	Localización y descripción de las estaciones	16
4.3.1	Lázaro Cárdenas, Mich.	16
4.3.2	Laguna del Ostión, Ver.	23
4.4	Localización geográfica	25
5.	Diseño y construcción de estaciones e <u>instala</u> <u>ción</u> de instrumentos	27
5.1	Descripción de la estación tipo	27
5.1.1	Base de concreto	28
5.1.2	Caja de acero	29
5.1.3	Columna de concreto	31
5.1.4	Torre y contravientos	32
5.1.5	Marco y celdas solares	32
5.2	Construcción de la estación tipo	35
5.2.1	Base de concreto y caja de acero	35
5.2.2	Columna de concreto y anclas	36
5.2.3	Colocación de las torres y marco para celdas solares	36
5.3	Instalación de instrumentos	37
5.3.1	Instalación del aparato	37
5.3.2	Sistema eléctrico de corrientes alterna y directa	38
5.3.3	Puesta en operación del acelerógrafo	39

6	Procedimientos de operación	40
6.1	Mantenimiento del equipo	40
6.2	Aprovechamiento de resultados	42
6.2.1	Espectros de respuesta	45
7.	Conclusiones	48
8.	Referencias	50

1. ANTECEDENTES

Al estar situado dentro del Cinturón Circumpacífico donde se originan la mayor parte de los sismos en el mundo, corresponde a México una alta sismicidad, superada solamente por la de Japón; debido a esto, grandes extensiones del país son sacudidas por temblores bastante fuertes que pueden afectar las obras importantes de infraestructura. Tal situación ha llevado a que se ponga especial atención en estudiar dichos fenómenos naturales, ya que de ello depende que las estructuras se diseñen ante acciones sísmicas, evitando así pérdidas materiales y de vidas humanas.

Debido a que todos los temblores son distintos, la única manera de estudiarlos es registrando muchos de ellos, mediante aparatos especiales (sismógrafos y acelerógrafos), que graban el evento al estar éste ocurriendo, para posteriormente someterlo a estudio. Como no se puede determinar la manera en que se va a mover el terreno al temblar la siguiente vez, en general, se analizan los sismos de mayor magnitud que se han presentado en el área y se elaboran espectros de diseño que, además de abarcar todos ellos extrapolan en cierta medida para los futuros, con el fin de obtener parámetros que permitan un diseño confiable de las estructuras, que deben soportar las sollicitaciones que pudieran presentarse al ocurrir un movimiento sísmico.

Es importante señalar que si una zona de alta sismicidad está destinada a la construcción de instalaciones importantes, como son industrias, presas, puertos marítimos, asentamientos humanos, etc., y no cuenta con un reglamento de diseño sísmico, es conveniente colocar en toda su extensión una red de aparatos que registren temblores para reunir los datos con que puedan elaborarse estudios de sismicidad y riesgo sísmico del lugar. Con tal punto de partida y una vez que se han captado algunos sismos, pueden dictarse normas que permiten reducir la incertidumbre al diseñar estructuras. En esta forma se evita tener que usar reglamentos de otras zonas, en donde no necesariamente se tienen iguales propiedades del subsuelo o distancias a las fuentes sísmicas. Esto significa que la información sobre sismos que se obtiene en un sitio de interés, sólo será útil para ella, pudiendo aplicarse en otras zonas solo de una manera aproximada y conservadora.

En México se están desarrollando cuatro puertos industriales: Lázaro Cárdenas, Mich., Laguna del Ostión, Ver., Salina Cruz, Oax. y Altamira, Tamps. Este último puerto está ubicado en una zona denominada asísmica, es decir, en un lugar donde se considera que no hay temblores; los otros tres se localizan en zonas de alta sismicidad. Por tal razón, y en vista de su importancia, han sido objeto de un proyecto de instrumentación sísmica que incluye específicamente a dos de ellos: Lázaro Cárdenas, Mich. en el océano Pacífico y el de Laguna del Ostión, Ver. en el Golfo de México. (Refs 1,2,3).

Se consideraron sólo dos puertos porque los aparatos de Laguna del Ostión, beneficiarán también en cierta medida a la zona del puerto de Salina Cruz, Oax. por su relativa cercanía.

2. PROYECTO DE INSTRUMENTACION SISMICA

En los últimos años se ha despertado en todo el mundo un gran interés por el estudio de los temblores, ya que han sido bastantes los sismos que han cobrado muchas vidas y causado severos daños en estructuras, a pesar de todas las medidas que se han tomado al respecto. La principal causa de algunos de los grandes desastres sísmicos ha sido la escasa calidad de las construcciones, las cuales en muchos países son hechas con materiales de muy baja resistencia y con una capacidad prácticamente nula ante cargas horizontales. Otro factor que influye es la construcción artesanal que en la mayoría de las veces es hecha por personas que desconocen como añadirle a su construcción seguridad ante temblores. Una última causa que podríamos mencionar, es la falta de normas locales de diseño sísmico, las cuales muchas veces son suplidas por normas de otros sitios.

Para diseñar sin riesgo estructuras económicas y funcionales en regiones sísmicamente activas, es necesario entender la naturaleza del movimiento; para ello se han fabricado aparatos que se encargan de registrar temblores con el fin de conocer su origen, magnitud e intensidad. Tales aparatos se colocan a lo largo de la zona de interés, en un número adecuado para que se pueda contar con varios registros de un mismo evento.

Es evidente que para tener conocimiento de la naturaleza de los sismos en una región, es necesario tener registros de varios temblores fuertes, es decir, un historial de eventos de considerable magnitud. Sin embargo resulta impráctico esperar datos de un evento en particular para poder estudiarlos, debido a tiempos de recurrencia muy largos, así en vez de esperar se extrapolan de datos que han sido obtenidos de otros eventos; la extrapolación se lleva a cabo tomando en cuenta la diferencia de la naturaleza que hay entre los diversos sitios, en cuanto a subsuelo, topografía del terreno, etc. y tomando en cuenta estas limitaciones, se logran diseñar estructuras con buen margen de seguridad. Este no es el procedimiento más apropiado, pero con mucha frecuencia es el único posible.

De lo anterior se desprende lo importante que es conocer los efectos locales de un temblor, que permiten elaborar normas de diseño apegadas a la forma del movimiento del terreno en ese lugar. Así mismo es importante determinar las características comunes que existen entre los diferentes movimientos que se presentan (ya que cada temblor es distinto a los demás en un mismo sitio), y poder así establecer parámetros confiables para diseño de estructuras.

En una reunión internacional relacionada con la instalación de aparatos para registro de temblores, que tuvo lugar en 1978 (ref 4), se identificaron 28 sitios en todo el mundo donde más se presentan sismos de magnitud considerable (Mg-6.5), es decir, son los sitios en donde se originan la mayoría de los temblores importantes. De estos 28 lugares, hay 6 que se consideraron de alta prioridad y dentro de los cuales México está en segundo lugar, después de un sitio en la India. De aquí se desprende la importancia que tiene colocar aparatos que registren movimientos telúricos en México, principalmente en la costa del Pacífico, desde Nayarit hasta Chiapas (además de la zona del valle de Mexicali). En esta parte del país se originan la mayoría de los temblores, teniendo una alta concentración entre los estados de Colima y Oaxaca, siendo este último el que figura a nivel mundial por su alta sismicidad.

La instrumentación de los puertos industriales consiste en la colocación de una serie de acelerógrafos distribuidos adecuadamente para poder captar el comportamiento de varios puntos en una misma región, y así obtener las diferencias principales en las características del movimiento. En lugares como California (EU), se busca colocar acelerógrafos de un lado y otro de la falla, por ejemplo, la de San Andrés, pero en nuestra costa occidental el mecanismo generador de sismos es esencialmente diferente ya que se originan debido a la subducción de la placa oceánica bajo la continental.

Es importante que todo diseño de redes acelerográficas sea adecuado, seleccionando el número mínimo de aparatos que puedan cubrir toda el área de interés, ya que son costosos. Por otro lado es de importancia tratar de que no queden vacíos de información en algunos puntos de la zona, con lo cual el estudio sería incompleto.

Por último señalaré que este proyecto permitirá tener un conocimiento particular de los temblores de la región, con lo cual se podrán tener los elementos necesarios para evitar colapsos en las obras que se lleven a cabo y se reducirá el riesgo a que fallen.

3. CARACTERISTICAS DE LOS APARATOS UTILIZADOS

Para el estudio de fenómenos sísmicos, ha sido necesario construir aparatos que registren los movimientos del terreno con una precisión que permita obtener información cuantitativa sobre los diversos aspectos del temblor. Para este fin, actualmente se cuenta con instrumentos que pueden clasificarse en dos grupos: sismógrafos y acelerógrafos.

Los primeros son de gran sensibilidad, se emplean principalmente en estaciones sismológicas para estudiar, entre otras cosas, la propagación de las ondas sísmicas en el interior y en las capas superficiales de la tierra; para determinar la dirección, distancia y profundidad a la que se ha originado el movimiento, para el estudio de temblores lejanos, etc.

La alta sensibilidad de los sismógrafos impide obtener registros completos de temblores intensos, ya que no es posible registrar el movimiento a lo largo de toda su duración por salirse éste del medio de registro. En tal virtud, se ha desarrollado un aparato capaz de hacerlo, el cual recibe el nombre de acelerógrafo.

3.1 Descripción de los acelerógrafos

Un acelerógrafo es un instrumento de baja sensibilidad, diseñado especialmente para registrar aceleraciones del terreno o estructura, en tres direcciones ortogonales, usualmente dos horizontales y una vertical. El registro se efectúa automáticamente al presentarse un sismo de mediana o alta intensidad, y se inicia cuando la amplitud de la aceleración alcanza el nivel prefijado en el sensor de disparo, deteniéndose un poco después de que la aceleración alcanza por último dicho nivel. (ref 5).

Los primeros sismógrafos de tipo moderno, comenzaron a usarse a partir de la última década del siglo pasado. En cambio, el primer registro hecho por un acelerógrafo se obtuvo durante el temblor de Long Beach, California, E.E.U.U., en 1933.

Las principales diferencias entre ambos tipos de aparato se derivan, principalmente, de que los acelerógrafos tienen un intervalo más amplio de sensibilidad, que se extiende hasta frecuencias relativamente altas (de 0 a 25 Hz* o más), con lo que se pretende cubrir las frecuencias que pudieran presentarse durante temblores en terrenos de muy diferente solidez. Los sismógrafos tienen, en general frecuencias naturales menores que 5 Hz.

El registro de un acelerógrafo no es continuo, como ocurre con el sismógrafo que funciona las 24 hrs del día; el acelerógrafo puede ser colocado en cualquier tipo de terreno y un sismógrafo usualmente no; estos se establecen en terreno muy firme, preferentemente en roca, para que reciban apropiadamente las vibraciones de pequeñísima amplitud que son filtradas por materiales más suaves.

Existen varios tipos de acelerógrafo en el mercado, pero todos constan de las mismas partes básicas siguientes: un sistema inercial compuesto de una masa, un elemento elástico lineal, un medio para amortiguar el movimiento de la masa y una forma de convertir el movimiento detectado en una señal eléctrica (a todo lo anterior en conjunto, se le denomina sensor); un sistema acondicionador de señal, que toma la proveniente del sensor, la filtra, amplifica y la adapta a las necesidades de la siguiente parte: el registrador propiamente dicho. En este se recibe la señal eléctrica producida por el acondicionador y se transforma en el movimiento que se registra en película o papel mediante un galvanómetro, o bien, contiene un conversor análogo digital que muestrea la señal analógica a intervalos predeterminados y transforma cada valor obtenido en una cifra digital, que se graba en una cinta magnética, y que puede ser aceptada por una computadora.

Cabe mencionar que los acelerógrafos de modelo más reciente, como los colocados en los puertos industriales en cuestión, tienen un generador interno de tiempo, que marca la fecha y hora (del meridiano de Greenwich). El tiempo se sincroniza con las señales de tiempo absoluto proporciona-

* 1 Hertz = 1 ciclo/seg

das por la estación WWV de Fort Collins, Colorado (EEUU). Debido a que el aparato experimenta una variación de tiempo de 2×10^{-7} seg cada segundo (0.017 seg por día), con respecto del absoluto, se hace necesario corregir el tiempo en las visitas de mantenimiento, que se llevan a cabo aproximadamente cada tres meses.

Los acelerógrafos funcionan con corriente directa, por lo que se hace necesario colocar un convertidor, cuando se le proporciona corriente alterna. Es frecuente alimentarlos por medio de celdas solares y baterías de tipo automotriz. Toda corriente llega a las baterías de los aparatos, que la suministran para el funcionamiento del acelerógrafo.

3.2 Tipos de acelerógrafos

Actualmente existen en el mercado dos tipos de acelerógrafos: analógicos y digitales. (ref 6). La diferencia principal entre ambos consiste en la forma en que registran el movimiento del terreno: mientras que uno lo hace en forma analógica, sobre película fotográfica, el otro lo hace en forma digital. (En lo demás conservan mucha similitud).

3.2.1 Acelerógrafos analógicos

Estos aparatos fueron los primeros en salir al mercado y por algún tiempo fueron los únicos disponibles. Se componen de un solo módulo, en donde están la parte sensible al movimiento y el sistema de registro (ref 6). La primera está formada por tres acelerómetros, de los cuales dos están colocados para registrar el movimiento horizontal en direcciones perpendiculares y el tercero registra el movimiento en dirección vertical. El registro de las tres componentes de aceleración junto con las señales de tiempo interno (un pulso cada medio segundo) y del generador local de tiempo, absoluto si existe, se efectúa sobre papel o película fotográfica que avanza durante la grabación con una velocidad generalmente de 10 mm/seg describiendo la traza del temblor. Posteriormente se tiene que digitalizar dicha traza, para pasar los datos a la computadora. Cabe señalar que es en estas actividades donde se consume la mayor parte del

tiempo de procesamiento de los registros.

3.2.2 Acelerógrafos digitales

Estos aparatos son de aparición mas reciente que los anteriores y tienen como característica principal que registran en forma digital. Se componen de dos módulos: los sensores y el sistema de registro. (ref 6).

Los sensores están formados por tres servoacelerómetros colocados en un arreglo triaxial, con objeto de captar la aceleración en tres direcciones perpendiculares entre sí. El sistema de registro graba en forma digital en un cassette las tres componentes del movimiento del terreno, convirtiendo las señales analógicas en digitales, mediante un conversor apropiado. Así se anticipa el proceso de digitización que se hace con los registros de acelerógrafos analógicos, con el consecuente ahorro de tiempo; además, el cassette directamente proporciona los datos a la computadora.

Los acelerógrafos que tiene a su cargo el Instituto de Ingeniería son:

-Analógicos

UED MODELO AR-240	23
TELEDYNE MODELO RFT-250	2
KINEMATRICS MODELO SMA-1	70

-Digitales

TERRA TECHNOLOGY DCA-310	17
TERRA TECHNOLOGY DCA-333	20

3.3 ACELERÓGRAFO UTILIZADO

En este proyecto se utilizaron acelerógrafos del tipo digital, marca Terra Technology, modelo DCA-310, fabricados en Estados Unidos, (ref 3). Tienen una frecuencia natural entre 100 y 130 Hz y amortiguamiento electromagnético entre 0.6 y 0.7 del crítico. Así, su constante de transducción es fija entre 0 y aproximadamente 30 Hz, que es el intervalo de interés de las frecuencias que se presentan en el movimiento del terreno al

ocurrir sismos intensos. Las señales analógicas proporcionadas por los captadores son acondicionadas por medio de amplificadores y filtros electrónicos. Ya acondicionadas, estas señales se muestrean a razón de 100 muestras por segundo por canal.

Esta digitización se realiza ininterrumpidamente con el fin de que el microprocesador (que gobierna todas las acciones del aparato) determine continuamente si ha temblado o no. Es decir, las señales digitizadas se introducen a una memoria de preevento, en la cual se almacena en serie la información de 5.1 seg aproximadamente. Si no se presenta un temblor que rebase la amplitud de las señales previamente fijada, la información almacenada se elimina. Cuando se llega a presentar un evento que logre rebasar la energía de disparo del aparato, el microprocesador pone en movimiento a la grabadora de cassette, en donde se consignan los datos anteriores a la decisión de que ha empezado el sismo. Así, se obtiene toda la historia del sismo desde su inicio. Diez seg despues de que se excedió por última vez la energía de disparo, la grabadora se detiene automáticamente, quedando lista para operar al presentarse el siguiente sismo. La duración del cassette, en donde usualmente se registran temblores sucesivos, es aproximadamente de 15 min.

Además de las aceleraciones del terreno en las tres direcciones, el aparato registra en un cuarto canal marcas de tiempo cada segundo, dadas por un reloj interno, marcas de tiempo externas, la fecha y el número de identificación del aparato mismo.

Toda la información anterior se recupera al reproducir el cassette; como ya está en forma digital, mediante programas adecuados puede transmitirse directamente a la computadora para su procesamiento posterior.

En la tabla 1, se presenta un resumen de las especificaciones del acelerógrafo digital DCA-310.

TABLA 1, ESPECIFICACIONES DEL ACELEROGRAFO DIGITAL MARCA TERRA TECHNOLOGY
MODELO DCA-310

SEÑAL DE

ENTRADA: Hasta ± 5 VCD escala completa, de virtualmente cualquier sensor

CANALES DE

ENTRADA: 3 (Tres)

RESOLUCION

DIGITAL: 1 parte en 4096 (12 BIT por palabra)

RANGO

DINAMICO: 72 dB

RUIDO:

Menor de la mitad del mínimo BIT significativo, referido a la entrada

FORMATO DE

REGISTRO: Flujo de datos resincronizados con cada muestra, hora y número de evento continuamente multiplexados con los datos

TIPO DE

MUESTRA: 100 Muestras/seg/canal

DENSIDAD

DE BIT: 1,200 bits/pulg

VELOCIDAD

DE LA CINTA: 4 pulg/seg

CAPACIDAD DE
REGISTRO: 14 min usando cassette CDS-3000 en muestras estandar

DISPOSITIVO
DE DISPARO: Umbral filtrado de energfa; ajustable 0.5% 100% de la
escala completa, basado en la entrada promedio de to-
dos los canales

MEMORIA DE
PREEVENTO: 2.56 Seg

DISPOSITIVO
DE RETARDO: 15 seg

RELOJ: Tipo digital

TIEMPO EN
LA PANTALLA: Dfas, horas, minutos, seg

PANTALLA
AUXILIAR: Contador de eventos, identificación estación digitos
programables por el usuario

CONSUMO DE
ENERGIA: 20 ma operación normal, 125 ma grabando evento

PODER DE ENER
GIA ABSORBIDA: ± 12 VCD (nominal), suplida externamente, con opción a
una batería de 4.5 Amp-h

DIMENSIONES: 36 x 20 x 25 cm

PESO: 5.4 kg sin baterías

OPERACION

AMBIENTAL: Temperatura -30-65 °C humedad relativa 0-100% no condensada (usando cassette CDS-3000)

ACCESORIOS: Batería interna recargable, 4.5 amp-h cargador de batería BC-10; receptor WWV o WWVB, montado en la tapa; provee el tiempo sincronizado con un pulso ajustado a la hora internacional, con una aproximación de 5 mseg.

4. CRITERIOS DE LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES

4.1 Número de estaciones

Apoyándose en el criterio general de que a mayor sismicidad debería corresponder un número mayor de aparatos, se proyectó un grupo de estaciones para cada uno de los puertos en cuestión, tomando en cuenta su frecuencia sísmica y el número total de aparatos disponibles. Es conocido que en Lázaro Cárdenas Mich., existe mayor riesgo sísmico que en la Laguna del Ostión, Ver., y los sismos fuertes pueden ser más violentos. Como solo se contaba inicialmente con nueve aparatos, se decidió colocar ocho en Lázaro Cárdenas y uno en Laguna del Ostión. Posteriormente se instalarán más, principalmente algunos adicionales en el segundo sitio, cuando se amplíen las redes en ambos puertos.

Además del mayor riesgo sísmico que hay en Lázaro Cárdenas, otro aspecto que se tomó en cuenta fue el mayor avance de las obras en ese lugar, lo que permitió establecer más sitios que ofrecerían seguridad para las estaciones, ya que las obras estaban bien definidas y se podía escoger lugares para colocar aparatos, sin riesgo de que se tuvieran que cambiar intempestivamente a otra parte. Por su parte, en la Laguna del Ostión, en donde las obras apenas se inician, los proyectos no están bien definidos, y no se podía establecer sitios permanentes para varios acelerógrafos.

4.2 Area que debe cubrirse

Al elaborar la red acelerográfica para cada uno de los puertos, se procuró que los aparatos quedaran distribuidos lo más uniformemente posible en el área de interés, tomando en cuenta el número de aparatos disponibles, la facilidad de acceso a los sitios, la disponibilidad de energía eléctrica, la seguridad de las estaciones ante el vandalismo y ante los más comunes fenómenos naturales a que se verán sujetos, etc.

Los sitios elegidos cubren la zona ocupada por las instalaciones portuarias e industriales en ambos puertos, quedando además de Lázaro Cárdenas, Mich., una porción urbana dentro de ella, en donde se colocó un acelerógrafo.

En la fig 1 se muestra la localización de los acelerógrafos instalados en la zona de Lázaro Cárdenas, Mich.; se aprecia que la distribución es aproximadamente uniforme, colocando uno por lo menos en cada lugar de interés, con objeto de tener así información mas confiable sobre la sismicidad local.

En la fig 2 se muestra la localización de las estaciones en la Laguna del Ostión, Ver, en donde sólo un aparato ha sido instalado, quedando a futuro la colocación de los demás.

4.3 Localización y descripción de las estaciones

Para hacer la elección de los sitios, se procuró que los aparatos queden en lugares públicos, tales como escuelas, hospitales, industrias, palacios municipales, iglesias, etc. con objeto de que queden bien protegidos.

A continuación se comenta la localización definitiva de las estaciones en los puertos industriales. Los sitios se eligieron porque cumplían con los requisitos mencionados en los incisos anteriores, y en ellos se facilitó la construcción de las estaciones. Estas fueron adaptadas según se creyó conveniente para cada lugar, basándose en el grado de seguridad que ofrecían y quitando alguno de los componentes de la estación prototipo, que se muestra en la fig 3. Estas particularidades se describen en los siguientes párrafos para cada estación.

4.3.1 Lázaro Cárdenas, Mich.

En este puerto se construyeron 3 estaciones, todas con aparato instalado y listo para operar en cuanto se presente un sismo de magnitud considerable. (ref. 3).

Estación Marina

Fue construida en la parte posterior de la casa propiedad de la Secretaría de Marina, que ocupa el comandante de la zona portuaria de Lázaro Cárdenas, Mich. Este sitio está ubicado a un lado de las oficinas de la Subsecretaría de Puertos y Marina Mercante de la S.C.T., cerca de la puerta

No 1 de SICARTSA y junto a la báscula del puerto. Esta estación es la única que quedó dentro de la zona urbana de Lázaro Cárdenas y se eligió ese lugar por la seguridad que ofrece, ya que la casa está vigilada por personal de la Marina y el acceso a ella está totalmente restringido para personas ajenas a las instalaciones.

La estación fue construida, tal y como se describe en el capítulo 5 sólo que en lugar de tener dos tramos de torre triangular, tiene uno y sin forro de lámina, ver fig. 4 (es la única diferencia respecto al original). Cuenta con suministro de corriente alterna comercial y directa de celdas solares. Los instrumentos reciben energía eléctrica, de un acumulador tipo automotriz, que a su vez es cargado de la línea comercial; para cuando falle esta, se ha añadido un par de celdas solares que también cargan el acumulador. La excavación para la base se llevó hasta 1.20 m de profundidad, encontrándose un suelo bastante blando, compuesto de limo arenoso en estado suelto (fue necesario compactar el fondo, no así las paredes, que no sufrieron derrumbes). La base de concreto sobresale del terreno 18 cm aproximadamente.

Estación Zacatula

Construida en el patio de la primaria "Cuauhtémoc", que se localiza en la población llamada Zacatula, en el Edo. de Guerrero. Esta población se ubica en la margen izquierda del brazo izquierdo del río Balsas, aproximadamente a 18 km de Lázaro Cárdenas, contados a partir de la presidencia municipal y siguiendo por la carretera N 200 que va a Zihuatanejo, Gro. Esta localidad es muy pequeña y el lugar que ofrecía más garantías era la

primaria, por lo que se decidió instalar ahí el aparato. El lugar está cercado y rodeado de habitantes.

La estación fue construída tal y como se señala en el capítulo 5, es decir, cuenta con columna de concreto y dos tramos de torre triangular ver fig. 5; funciona con corriente alterna y directa. La excavación se llevó a 0.85 m de profundidad, encontrándose material muy fino, fuertemente compactado por desecación, con boleos intermedios de tamaño regular; las paredes se sostenan verticales por sí solas; el material resultó muy estable. La base sobresale aproximadamente 20 cm del terreno.

Estación La Palma

Fue construída en una huerta de palmas (propiedad del Sr. Felipe Benítez), aproximadamente 100 m atrás de la casa-habitación. Este lugar se localiza al norte de la Isla de la Palma, cerca de la orilla del río Balsas. Dentro del área seleccionada este sitio fue elegido por la presencia de personas que habitan cerca y con su presencia aportan una cierta vigilancia.

La estación fue construída tal y como lo muestra el proyecto original (cap 5). Se le agregó una cerca hecha de madera con alambre galvanizado, para proteger a los contravientos de la torre del contacto del ganado que existe por ahí. Solo cuenta con la energía que le suministra las celdas solares, ya que no hay corriente comercial. Tiene columna de concreto y dos tramos de torre triangular; la base de concreto sobresale 20 cm aproximadamente del terreno. La excavación se llevó a 1.10 m de profundidad, encontrándose limos arenosos, de compacidad muy baja, con un poco de vegetación

en la superficie; se compactó el fondo de la excavación y no se presentaron derrumbes en las paredes. La estación se encuentra rodeada de palmas, siendo la única que quedó en esta isla. Ver fig. 6.

ESTACION PMT

Fue construida en lo que será jardín, en la empresa denominada Productora Mexicana de Tubería, la cual estaba en construcción en agosto de 1982. Esta industria se localiza en la isla del Cayacal, que se encuentra al este de Cd. Lázaro Cárdenas. PMT está a un lado del boulevard industrial, desde el cual se puede observar la estación acelerográfica que es la única que se instaló en dicha isla. Se eligió este lugar por su localización, tipo de suelo y por la seguridad que ofrece, para cuando se concluya la obra.

La estación fue construida tal y como se describe en el cap 5, con columna de concreto y dos tramos de torre triangular. Solo cuenta con celdas solares por ahora; sin embargo, se dejó preparación para conectar a la línea comercial de CA en cuanto la industria comience a operar. La excavación se llevó hasta 1.20 m de profundidad, encontrándose relleno de grava y arena en estado suelto, con las paredes inestables, derrumbándose un poco; se procuró no cargar la orilla de la excavación durante el colado de los muros de concreto, para evitar derrumbes más serios. Sólo se compactó el fondo; se puso un cerco a la estación porque hay paso de vehículos a pocos metros, ver fig. 3.

ESTACION EL NARANJITO

Fue construida en la parte posterior de la Escuela Primaria "Justo Sierra", en la población El Naranjito, Gro. Esta localidad rural se encuentra en la margen izquierda del brazo izquierdo del río Balsas y al borde de la carretera N.200, que va a Zihuatanejo, aproximadamente a 22 km de Lázaro Cárdenas (contados a partir de la presidencia municipal). Este lugar se eligió porque es el único edificio público que existe ahí y porque brinda seguridad, ya que la escuela está bardada en todo su perímetro, con lo cual se restringe el acceso a ella. Sólo en época de vacaciones la vigilancia es casi nula; sin embargo, alrededor hay habitantes cuya presencia constituye una cierta protección.

La estación se construyó tal y como se muestra en la fig 7, tiene columna de concreto y dos tramos de torre triangular. Cuenta con celdas solares y corriente comercial. La excavación se llevó a 1.10 m de profundidad, encontrándose un suelo arenoso muy blando, con vegetación en la superficie. Fue necesario compactar el fondo, sosteniéndose las paredes en posición vertical, sufriendo ligeros derrumbes; la base de concreto sobresale 20 cm del terreno aproximadamente.

ESTACION FERTIMEX

Fue construida en los jardines de la empresa Fertilizantes Mexicanos, S.A (FERTIMEX), que se ubica en la Isla de Enmedio. La estación se localiza a un lado de las oficinas de la residencia de obra y del estacionamiento. A alguna distancia se encuentran los tanques de almacenamiento y un silo

de 40 m de altura aproximadamente; en este mismo jardín hay otras dos torres ligeras asociadas a las oficinas.

Este lugar se seleccionó porque ofrece seguridad y porque era la única industria ya en operación en esta isla en 1982.

La estación no tiene columna de concreto, sólo dos tramos de torre metálica triangular, ver fig. 8 por lo demás, es como la estación tipo. Cuenta con celdas solares y corriente comercial. La excavación se llevó a 1.20 m de profundidad, encontrándose material de relleno bastante suelto, consistente en arena con bolsas intermedias de turba. No se hizo tratamiento alguno en las paredes, que sufrieron de desbordamiento. Se compactó el fondo de la excavación; la base sobresale 20 cm del terreno.

ESTACION GUACAMAYAS

Fue construida en el estacionamiento del Campamento del Distrito de Riego "José Ma. Morelos" (N. 098) de la SARH, que se ubica en la población de Guacamayas, Mich., en el km 8 de la carretera No 200 (desde la presidencia municipal de Cd. Lázaro Cárdenas). La estación se encuentra a un lado del puesto meteorológico del campamento, sobre una pequeña elevación donde también están ubicadas las oficinas del jefe del Distrito y el estacionamiento. El sitio fue elegido porque brinda seguridad al estar junto a la estación meteorológica y en lugar visible, lo cual le proporciona protección.

La estación cuenta con columna de concreto y dos tramos de torre triangu-

lar, siendo tal y como se describe en el cap 5 ver fig 9. Sólo cuenta con corriente comercial, no tiene celdas solares; la excavación se llevó a 0.80 m de profundidad encontrándose material de grano fino, de una consistencia muy dura por desecación, con algunos boleos intermedios de tamaño regular. No fue necesario dar algún tipo de tratamiento a las paredes y al fondo, por la gran estabilidad del material excavado; la base sobresale 25 cm del terreno aproximadamente.

ESTACION LA ORILLA

Construida en el patio del campamento de SAHOP, que se encuentra en la población de la Orilla, Mich., aproximadamente a 1 km de la desviación que va a Playa Azul, Mich., en dirección a esta última, casi frente a la desviación que va a la puerta No 2 de SICARTSA. La estación está entre dos edificios. El sitio se encuentra a 60 m de la carretera y se eligió porque tiene vigilancia.

La estación no cuenta con columna de concreto, solo dos tramos de torre metálica triangular, uno forrado y el otro no; es tal y como se describe en el cap 5 ver fig. 10. Sólo cuenta con corriente comercial y más adelante se le instalarán celdas solares. La excavación se llevó a 1.15 m de profundidad, encontrando material granular en los primeros 15 cm y material fino fuertemente compactado en el resto de la excavación. No hubo derrumbe alguno en las paredes por lo estable del material. La base sobresale 20 cm del terreno.

4.3.2 Laguna del Ostión, Ver.

ESTACION CANTICAS-OSTION

Construida en uno de los jardines laterales del edificio terminal del aeropuerto de Cánticas, inaugurado en julio de 1982 y que sustituye al antiguo aeropuerto de Minatitlán; en dicho jardín existen varias antenas de otras clases. El aeropuerto se localiza en el km 15 del antiguo camino de Coatzacoalcos a Minatitlán; aproximadamente a 7 km (en línea recta), del puerto industrial de la Laguna del Ostión. El lugar fue elegido por la seguridad que ofrece, ya que no hay acceso a personas ajenas al aeropuerto; por otra parte, es un lugar que asegura permanencia a la estación.

Esta estación no tiene columna de concreto, solo dos tramos de torre triangular (ninguno está forrado), ver fig. 11 cuenta con corriente comercial y celdas solares. Es la única en que se colocará un acelerógrafo en la primera etapa de instrumentación sísmica de los Puertos Industriales, la excavación se llevó a 1 m de profundidad, encontrándose material fino, utilizado como relleno, fuertemente compactado por desecación. No hubo derrumbes en las paredes ni se tuvo que compactar el fondo, ya que el material era muy estable la base aproximadamente sobresale 20 cm del terreno.

ESTACION MARINOS

Construida junto a un puesto de vigilancia de infantes de la Marina, sobre dunas de arena localizadas a unos 12 km al poniente de Coatzacoalcos. El campamento se encuentra a 50 ó 100m de la orilla del mar, a unos 75 m de las

oficinas de campo de la residencia de construcción de PEMEX y a 2 km aproximadamente al oriente del canal de acceso al Puerto Industrial. Este lugar se eligió porque el suelo de ahí es representativo de toda la zona, ya que a lo largo de ella es más o menos uniforme, consistiendo en dunas de arena; por otro lado el sitio es adecuado dentro de la distribución de aparatos en el área y porque junto a la estación, existe un campamento de infantes de la marina, los cuales la vigilan noche y día.

La estación no tiene columna de concreto, solo dos tramos de torre metálica triangular, no tiene aparato instalado pero ya se dejó listo todo para llegar a colocarlo. fig. 12. No tiene canastilla para celdas solares y sólo podrá contar con suministro de corriente directa hasta que haya alimentación de AC cerca. La excavación se llevó a 1.10 m de profundidad porque las paredes amenazaban con derrumbarse de continuarla, ya que el suelo se compone de arena muy fina en estado completamente suelto, por lo cual fue necesario colocar ademe en uno de los lados, que se derrumbó un poco. Al concreto se le agregó cantidad de agua suficiente para compensar la que la arena absorbía por su alta permeabilidad. El fondo se compactó y se tuvo que colocar tablas alrededor de la excavación con el fin de evitar más derrumbes en las paredes al efectuar el colado del cajón. La base sobresale 20 cm del terreno aproximadamente.

ESTACION METEOROLOGICA

Construida junto a la estación meteorológica que en ese lugar operaba la compañía "Proyectos Marinos". La estación se ubica dentro de los terrenos que PEMEX ocupará en corto plazo. La estación se encuentra sobre pequeñas

elevaciones de material arenoso, aproximadamente a 500 m de la playa y a 1 km al este de Barrillas, población pequeña de pescadores que se ubica a orillas de la laguna del Ostión. Este sitio se eligió porque es representativo del lugar y porque es uno de los menores que hay en la zona dado que cuenta con vigilancia continua, por la frecuencia con que se toman lectura de los instrumentos ahí colocados.

La estación no tiene columna de concreto, solo tiene 2 tramos de torre metálica triangular sin forrar; ver fig 13, por ahora no tiene acelerógrafo instalado pero todo está listo para colocarlo; tampoco tiene aún canastilla para las celdas solares que serán la única fuente de energía hasta que haya corriente alterna; la excavación se llevó hasta 1.20 m de profundidad, encontrándose arena de consistencia media, no teniendo problemas de derrumbes en las paredes; no se dió compactación al fondo. La base sobresale del terreno 20 cm aproximadamente.

4.4 LOCALIZACION GEOGRAFICA

A continuación se da una lista de las estaciones construidas en ambos puertos, y en forma aproximada su localización geográfica, quedando desde luego sujetas a cambiar en cuanto se obtenga las coordenadas correctas.

Cd. Lázaro Cárdenas, Mich.

ESTACION	CORDENADAS GEOGRAFICAS	
MARINA	17.951°N,	102.189°W
ZACATULA	18.009°N,	102.178°W
LA PALMA	18.020°N,	102.187°W
PMT	17.951°N,	102.176°W
EL NARANJITO	17.986°N,	102.156°W
FERTIMEX	17.924°N,	102.179°W
GUACAMAYAS	18.025°N,	102.204°W
LA ORILLA	17.999°N,	102.224°W

Laguna del Ostión, Ver.

ESTACION	COORDENADAS GEOGRAFICAS	
CANTICAS-OSTION	18.105°N,	94.579°W
MARINOS	18.160°N,	94.540°W
METEOROLOGICA	18.180°N,	94.589°W

5. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTACIONES E INSTALACIONES DE INSTRUMENTOS

5.1 Descripción de la estación tipo.

Al diseñarse las estaciones, se procuró que ocuparan el mínimo espacio posible, que albergaran perfectamente los aparatos y que se facilitara su instalación y mantenimiento (ref. 3).

Las estaciones típicas que se construyeron en Cd. Lázaro Cárdenas, Mich. y Laguna del Ostión, Ver., constan de una base de concreto en la que va empotrada una caja de acero que aloja el aparato; una columna de sección triangular de concreto reforzado de 3 m de alto, sobre la cual van montados dos tramos de torre triangular, sujetos por contravientos de cable de acero amarrados a las anclas previamente coladas en el suelo, Ver Figs 3 y 5. En la punta de la torre, va un marco que aloja dos celdas solares (ref. 3), a continuación se describen cada una de estas partes.

5.1.1 Base de concreto. Consta de una caja hueca de concreto armado de 1.45 x 0.80 m en planta, con una altura variable de 1.10 a 1.40 m, con una profundidad que va de 0.80 m, si el terreno es duro, a 1.20 m si es suave. La base sobresale de 20 a 25 cm aproximadamente del nivel del terreno (ver fig 12) con el objeto de que el agua no penetre en la caja (ref 3.)

Para que los datos que aporten los acelerógrafos sean un reflejo fiel del movimiento del terreno al presentarse un sismo, se buscó la forma de que la cimentación quedara íntimamente ligada al suelo que la rodea, para que la base siga los movimientos que el terreno le transmita. Para lograr esto, se diseñó una cimentación a base de cajón, buscando compensar el peso del terreno excavado, con el peso de la misma. Con esto se busca evitar la generación de fuerzas de inercia relativas entre la base de concreto y el material que la rodea. El cajón tiene paredes de 10 cm de espesor, excepto una que es mas gruesa (38.5cm aproximadamente), debido a que ahí se ancla la columna triangular (ver fig 14) . Como fondo lleva una losa también de 10 cm de Peralte. La cimentación va lo suficientemente empotrada en el suelo, como para tener un buen contacto suelo-base; Para asegurar esto, al concreto se le agrego un aditivo expansor en proporción de 2 kg por cada 50 kg de cemento. El cajón lleva una losa superior de 40 cm de espesor, en la cual va parcialmente ahogada una caja de acero (ver fig 15); el refuerzo consiste de varilla de 6.4 mm, que se usa tanto en paredes como en losas. ver fig 16. En la pared mas gruesa, como anclaje de la columna, se dejan ahogadas seis varillas de 12.7 mm. (2 en cada vértice) que llevan estribos triangulares separados a cada 20 cm. Finalmente en la losa superior se dejan ahogados los poliductos de 25 mm (1") de diámetro.

5.1.2 Caja de acero. Dado que todas las estaciones están a la intemperie, hubo necesidad de proteger los instrumentos contra el clima y contra robo o vandalismo, por lo que se decidió utilizar una caja de acero galvanizado con paredes y techo de 9.5 mm de espesor, con el fin de que soporten hasta disparos de armas de fuego; este espesor fue el óptimo desde el punto de vista económico y para que el peso de la caja no resultara excesivo y se dificultara su traslado (ref 3). La caja se construyó en dos partes; una inferior de 20 cm de altura, que queda parcialmente ahogada en el concreto, teniendo en el fondo anclas de varillas corrugadas de 12.7 mm, soldadas a las paredes por dentro y sobresaliendo por abajo, que quedan ahogadas en el concreto. La parte superior de la caja, que es la tapa, es de 25 cm de altura y va unida a la parte de abajo por medio de dos bisagras robustas. La cerradura de la caja, consiste de soleras aseguradas con candado, que van protegidas con una caja de lámina galvanizada de 1/4" de espesor, sujeta a la parte inferior mediante dos tornillos de diseño tal, que solo podrán aflojarse con una herramienta especial, con lo que se evita que rompan el candado y puedan robar los aparatos.

Con el fin de que la caja no resultara de dimensiones exageradas, se acomodaron los instrumentos de tal manera que ocuparan el menor espacio posible; un espacio para baterías y otro para registrador y sensor. Este último va en un vano por abajo del registrador. Las varillas de anclaje de la parte inferior de la caja, llevan soldado un bastidor formado con ángulos, en el que se instala y sujeta el registrador. El sensor se sujeta con una solera y unos tornillos, garantizando su contacto con el concreto. La caja tiene las siguientes dimensiones: en planta 0.85 x 0.50 m y 0.45 m de altura, teniendo en el interior dos compartimientos, uno de 0.30 x 0.50 m

en donde se alojan las baterías y el otro de 0.50 x 0.55, en donde se instalan el registrador y el sensor. Se separaron de esta manera para evitar que el hidrógeno proveniente de las baterías dañe al sensor o al registrador. Se colocó una lámina delgada, de 1.89 mm de espesor como separadora con un orificio por donde pasan los cables de alimentación de las baterías al registrador y luego se calafatearon los huecos. Para desalojar el hidrógeno, se hicieron tres pequeñas perforaciones en la tapa, dispuestas de tal manera que no entre el agua de lluvia. La base de la caja lleva soldadas unas argollas a las que se amarran las baterías para evitar que se golpeen durante un sismo.

A la caja se le añadió una cubierta contra el sol de lámina galvanizada de 3.2 mm (1/8" de espesor), la cual va atornillada a la tapa fig. 12. Sobresale 15 cm al frente y a los lados, y se dejó al ras en la parte posterior. Un corte y un dobléz en la cubierta, del lado donde va la columna, permite levantar la tapa sin problemas. Todas las estaciones están orientadas de tal manera que la lámina que sobresale tenga el frente hacia al sur, para que le proporcione sombra durante el día; se dejó sobresaliendo a los lados para cubrir de los rayos solares en la mañana y en la tarde. En la parte posterior que ve hacia el norte no se dejó que la lámina sobresaliera, porque el sol muy pocos días del año está solo ligeramente al norte del paralelo del lugar, en las latitudes en que se encuentran las estaciones.

Para evitar infiltraciones de agua que pudieran dañar los aparatos, se sellaron las aristas y se soldó una ceja perimetral interior en la parte inferior de la caja. Además, el concreto exterior de la base lleva un de-

clive de por lo menos 2% hacia afuera. El interior de la caja se forró con poliestireno de 5 cm de espesor, como aislante térmico.

Una cadena que conecta las dos partes de la caja, tanto inferior como superior, permite abrirla un ángulo mayor de 90° de tal manera que se sostenga abierta cuando soplen vientos fuertes.

5.1.3 Columna de concreto. Con el objeto de proteger las celdas solares contra robo o vandalismo, se diseñó una columna de concreto para que sobre ella se monten las torres metálicas que sostienen dichas celdas; (ref. 3) con esto se encuentran a mayor altura y es más difícil subir a ellas. ver fig 4.

La columna de concreto se hizo de sección triangular de 40 cm por lado, sólo algo mayor de la sección de las torres prefabricadas; tiene una altura de 3.00 m y va empotrada a la base de concreto anteriormente descrita. Como armado longitudinal 6 varillas de 12.7 mm (2 en cada vértice). Los estribos son de alambroón de 6.2 mm de diámetro (1/4") separados 20 cm. La columna lleva a través de ella un ducto de 2.5 cm (1") de diámetro para llevar los cables de alimentación de energía eléctrica (corriente directa que generan las celdas solares) al interior de la caja. En la parte superior de la columna, se dejó ahogada un ancla de acero de 9.5 mm (3/8") de diámetro en cada vertice, con gancho en un extremo y rosca en el otro; es este último el que sobresale del concreto y donde se atornillan las torres metálicas. Las anclas se fijan con ayuda de una placa triangular con vertice achatado, de 6.4 mm (1/4") de espesor, con un agujero en el centro, por el que pasa el polioducto; esta placa tiene como fin dejar cada ancla equidistante una de otra, para que los tornillos coincidan con los agujeros

que tiene la placa de base de la torre. Las aristas de la columna de concreto están achaflanadas.

5.1.4 Torre y contravientos. Para lograr que las celdas solares quedaran a 9 m de altura, sobre la columna de concreto, se montaron dos tramos de torre metálica triangular prefabricada, de 3 m de longitud cada uno. Se buscó que estas fueran las más ligeras posibles y que tuvieran resistencia suficiente para permitir el ascenso de personas. (ref 3)

Las torres triangulares son de acero galvanizado, de 30 cm por lado; en cada arista llevan un tubo, y en cada lado lleva zetas de barra lisa de 6 mm que unen firmemente las aristas, para que en conjunto formen la torre (fig 11). Para ensamblar la torre con la columna de concreto, se utilizó una placa de base, que tiene 3 vástagos, a los cuales se atornilló el tramo inferior de torre. Los dos tramos de torre se unen mediante tornillos, y el tramo que queda en la parte superior, tiene una preparación para que se atornille ahí el marco de las celdas solares.

Para evitar que el viento afecte a la torre, se sujeta al terreno con tres contravientos de cable de acero de 3.18 mm los cuales van amarrados a unas anclas y previamente coladas. En la parte superior de la torre llevan una templador para proporcionar tensión al cable.

5.1.5 Marco y celdas solares

Tomando en cuenta que no en todos los sitios en donde se iba a colocar un acelerógrafo se podría contar con suministro de corriente alterna y, consi

derando también, que al ocurrir un sismo por lo general se suspende dicho servicio, hubo necesidad de evitar que durante el temblor el aparato no funcionara por falta de corriente. Por ello se proyectó colocar en la parte superior de la torre un par de celdas solares, que se encargaran de proporcionar corriente directa a la batería que alimenta el acelerógrafo, cuando no sea posible obtener corriente comercial o cuando se le suspenda el suministro de ella por cualquier motivo. (ref 3)

Para instalar las celdas, se diseñó un marco de aluminio de 49 x 75 cm en planta y de 5 cm de altura; con estas dimensiones, se logra dar alojamiento a las dos celdas y tener un mínimo de peso. Ver fig 17. Como fondo lleva dos láminas delgadas, remachadas al marco, con dos agujeros pequeños que permiten la salida de los cables de las celdas. Como tapa tiene una malla de alambre delgado, que va remachada a un marco de 2 cm de espesor, formando una canastilla invertida, que protege a las celdas de objetos lanzados contra ellas y de aves que llegaran a posarse pero permitiendo el paso de los rayos solares.

La canastilla se atornilla a las torres mediante 3 vástagos en su parte inferior atornillados a un puente remachado al marco. Los vástagos sobresalen del fondo de la canastilla con una desviación de 22° respecto a la vertical, para que las celdas queden inclinadas los mismos grados respecto a la horizontal.

Con el fin de que capte la mayor intensidad de rayos solares a lo largo del día, se les da una inclinación aproximadamente igual a la latitud del sitio. para que los rayos den lo mas perpendicular posible a las celdas, apun

tando la canastilla hacia el sur.

Para elegir el tipo de celda solar que se necesitaba, se tomó en cuenta el consumo del aparato. La potencia que consume el acelerógrafo es 4 watts; sin embargo, la celda solar más pequeña que existe en el mercado, entrega 11 watts, y esta se usó. Se instaló una celda fotovoltaica tipo BP x 47A, para la conversión directa de energía solar a energía eléctrica (corriente directa) marca Philips, cuyas características son: alta resistencia a la intemperie, soportando vientos con una velocidad máxima de 80 Km/hr y cambios bruscos en la temperatura, teniendo una carga óptima de 9.7W con una insolación de 1 KW/m^2 (El promedio de insolación anual en México es de 1.5 KW/m^2), con una eficiencia del 12%.

Sus dimensiones son 468x365x15 mm y pesa 2.4 kg, los datos técnicos son:

Potencia máxima a 15.5 V	11 watts
Voltaje óptimo	15.5 Volts
Corriente óptima	700 MA
Polaridad:	
Cable rojo, Positivo	
Cable negro, Negativo	

Para obtener el tiempo que duraría trabajando el acelerógrafo, si solo dependiera de las baterías automotrices, se procede de la siguiente manera: el aparato consume .035 Amp. en forma continua y 0.165 Amp. cuando está registrado un temblor; estos consumos son con la pantalla apagada. Las baterías son de 60 Amp-h cada una, por lo que, si tuvieramos algunos días nublados

dos y no cargaran corriente, alimentarían al aparato durante: $60 \text{ amp-hr.} \times 0.35 \text{ amp} = 1714.3 \text{ hs.}$, lo cual da 71.42 días. Esto en forma ideal, ya que la batería quedaría en 0 volts. Sin embargo la batería tiene pérdidas propias, que aproximadamente reducen en un 35% el tiempo que tarda en descargarse completamente, con lo cual esos 71 días se reducen a un total de 46 días; por otra parte, el acelerógrafo tiene un rango de operación, que va de 14 a 11.9 volts, fuera del cual ya no funciona por falta de voltaje, nos interesa saber cuantos días (de los 46), conserva la batería su voltaje arriba de los 11.9 volts; de datos experimentales, se ha obtenido que un 20% del tiempo que se tarda en descargarse, es el que conserva el voltaje de hasta 11.9 v., después del cual, ya se sale del rango de operación del aparato. Aplicando este porcentaje a los 46 días, se obtuvo experimentalmente que la batería alimenta durante 9 días al acelerógrafo, en condiciones normales, es decir, si no se presenta un sismo; si llegara a ocurrir alguno, este tiempo se reduciría. Desde luego para hacer el cálculo anterior, se despreció la carga que transmite a la batería las celdas solares aún en días nublados.

5.2 Construcción de la estación tipo. A Continuación se describe el proceso constructivo de las estaciones acelerográficas, separado cada una de sus partes, aunque se trata de una estación completa, no se incluye algo de lo que ya se ha descrito en el subcapítulo anterior.

5.2.1 Base de concreto y caja de acero. Para llevar a cabo la construcción de la base, se orientó la excavación con su eje mayor paralelo a la dirección E-W, y la mas corta a la N-S; ver fig 18 (Norte astronómico). El norte magnético, que es el que se obtiene de un brújula común y corriente, se corri

ge por declinación magnética. De cartas topográficas que edita DETENAL, se obtuvo cuantos grados varía el norte astronómico del magnético: 9° en Lázaro Cárdenas, Mich. y de 7° en Laguna del Ostión, Ver., ambos medidos hacia la izquierda del norte magnético.

El armado de la base, ya descrito anteriormente (inciso 5.1.1), se calzó al colar la losa de fondo de 10 cm aproximadamente fig. 19 .

Después de que el concreto endurecía un poco se colocaba la cimbra para el colado de los muros (ver fig. 20). El muro del lado poniente se hizo de 38.5 cm de grueso, para colocar las anclas de la columna, descritas en el inciso 5.1.1. Al colar los muros de la base, se llegó casi al nivel del terreno ver fig 14 para dejar que fraguara el concreto un mínimo de 24 hs. antes de continuar. El armado de la losa, se amarró a las varillas de las paredes del cajón y a la parte inferior de la caja de acero ver fig 21. El colado del concreto se realizaba una vez colocados los ductos para cables eléctricos y nivelada la caja. El resultado se muestra en la fig. 12.

5.2.2 Columna de concreto y anclas. Después de descimbrar la losa superior de la base y el hueco del sensor, se efectuó el colado de la columna, dejando un ducto central para el cable que baja de las celdas solares la columna (el armado se cita en el inciso anterior). En la parte superior de la columna de concreto se dejaron las anclas para las torres triangulares.

5.2.3 Colocación de las torres y marco para celdas solares

Para finalizar la construcción de la estación, se realiza el montaje de la

torre triangular y marco para celdas solares y la sujeción de aquella mediante templadores y contravientos a los muertos de anclaje colados previamente.

Una vez que se unían los dos tramos de 3 m la torre metálica se montaba sobre la columna de concreto mediante una pluma de tubo de 5 cm de diámetro y 6 m de largo que con unas poleas y lazos hacían relativamente sencilla la maniobra, ver fig. 22. Por último se colocaba la canastilla que alojaba las celdas solares y los cables de uso rudo de tres conductores (calibre 16) que se encargan de llevar la corriente generada por las celdas al interior de la caja. Como preparativo adicional se dejó un cable coaxial que en lo futuro servirá para conectar la antena a un receptor de radio que reciba la hora directamente de la WWV, con objeto de contar en todas las estaciones con esta información.

Para dejar lista la alimentación de C. A., en los lugares donde si existía, se abría una zanja hasta el sitio adecuado de 15 cm de profundidad; en ella se alojaba el poliducto con cable o cable de uso rudo sin poliducto.

5.3 Instalación de Instrumentos

A continuación se describe la instalación del acelerógrafo en una estación típica. El aparato queda listo para funcionar cuando ocurra un sismo que rebase la energía de disparo ajustada previamente.

5.3.1 Instalación del Aparato. Una vez que llega el suministro de C.A., se mide el voltaje existente en la fuente de alimentación y se observa qué

tan variable es; esto es importante para evitar que el cargador de baterías se dañe, al recibir descargas elevadas.

El sensor tridireccional de aceleración debe quedar idealmente sobre una superficie horizontal. Esto se comprueba en la pantalla del registrador en donde marca el voltaje de salida del sensor, que debe ser teóricamente cero. De las tres componentes una queda vertical y las horizontales en direcciones N-S y E-W. Cuando se logra tener la salida mínima de los sensores horizontales, se fija con un travesaño metálico, que lo aprisiona contra el fondo. El registrador se coloca arriba del sensor, apoyado en un marco y sujeto con anclas y mariposas.

5.3.2 Sistema eléctrico de corrientes alterna y directa

A la estación se le puede suministrar corriente alterna o directa; a ello se adapta mediante dos circuitos distintos, encargados de la alimentación de energía al aparato, que se componen de lo siguiente:

Cuando se conecta el aparato a la fuente de alimentación que existe en el lugar, se introduce un cargador para cambiar la corriente que recibe (C.A) a C.D. ya que el aparato lo requiere. En la caja se conecta en paralelo con dicho cargador dos baterías automotrices que se recargan continuamente, para que abastescan sin interrupción al acelerógrafo, aún cuando el suministro de energía se suspenda. Finalmente, el acelerógrafo se conecta a una de las baterías, fig 23

La instalación de corriente directa consta de celdas solares y reguladores (que se encargan de mantener a 12 volts la diferencia de potencial entre la batería y tierra), que a su vez se conectan a las baterías automotrices. Finalmente se conecta al aparato (fig 24).

5.3.3 Puesta en operación del acelerógrafo. Para dejar el aparato listo para funcionar al presentarse un temblor se sincroniza a la hora correcta (TMG), con el día del año (del 1 al 365), la hora, el minuto y el segundo (de este reloj proviene la información de tiempo que se registra al ocurrir un sismo y activarse el aparato); una vez que se ajusta la energía de disparo, de acuerdo a la sensibilidad que se quiere tener en el acelerógrafo, se coloca el cassette de cinta donde se graba el movimiento y el aparato queda listo para funcionar. fig. 25.

6. PROCEDIMIENTOS DE OPERACION

6.1 Mantenimiento del equipo

Una vez que las estaciones se encuentran operando, se realizan visitas de mantenimiento aproximadamente cada 3 meses, con el fin de revisar que el aparato esté funcionando correctamente: en estas visitas se verifican que el suministro de energía eléctrica, tanto de la línea comercial como de las celdas solares sea el adecuado y que el voltaje de las baterías automotrices esté por arriba del mínimo aceptable. Se examinan los reguladores y el cargador, se hace una revisión general del funcionamiento del aparato y se ajusta el tiempo interno del reloj.

Independientemente de si hay sismo o no, siempre se cambia cassette y se realizan las siguientes operaciones: antes de quitar el cassette viejo se provoca un disparo en el acelerógrafo, para que quede grabado en él la fecha y la hora en que se retiró; posteriormente se borra todo lo que aparece en la pantalla, para que el número de disparos sea cero y se coloca la nueva cinta, provocando un nuevo disparo en el aparato, con lo que grabada la fecha y hora en que se colocó el cassette nuevo. Así cada cassette tiene fecha y hora de cuando se coloca y cuando se retira.

El cassette que se retira del aparato se trae al D. F. y se somete al proceso indicado en el diagrama del flujo de la fig 26. Los pasos principales de este diagrama son los siguientes: Si no hubo sismo, se lee en el reproductor de cassettes (SMR-104), para saber si el aparato está funcionando correctamente lo que es uno de los fines principales que se persiguen. Si hubo sismo, también se lee en el reproductor y se buscan los registros correspondientes. Si no los hay se estudian las causas por las que no se

registró el evento, para posteriormente hacer las composturas o cambios requeridos. Si existen registros grabados, se grafican en el mismo reproductor y se identifica la sección de la cinta en la que está registrado el evento; posteriormente los datos de este sismo se archivan en la computadora PRIME. Una vez almacenado, se determina si es válido o no el evento, es decir si se trata de un temblor o de un movimiento de otro origen. Si es válido el evento, se manda graficar en la PRIME, para posteriormente hacer una edición y selección de todos los datos útiles con el fin de tener toda la información al respecto lista para los usuarios. Al llegar a este punto se determina si hay otra componente en el cassette, si la hay se grafica en el reproductor de cassette y se siguen los mismos pasos anteriormente descritos. Por lo general son tres componentes ortogonales las que se extraen del cassette.

Cabe mencionar que si se presenta un sismo de magnitud considerable, de inmediato personal del Instituto acude al lugar a recoger los cassettes de todos los acelerógrafos y de paso se les da la misma revisión de una visita de mantenimiento normal.

6.2 Aprovechamiento de resultados

Para describir la forma en que se aprovechan en la práctica los registros (acelerogramas) obtenidos de temblores fuertes, se tomará como ejemplo la información derivada del sismo de magnitud $M_S = 7.1-7.3$, que ocurrió en la zona del puerto industrial de Lázaro Cárdenas, Mich., el 25 de octubre de 1961 a las 03h21m58s, tiempo de Greenwich 24 de octubre, 21hs 21m 58s, hora local (ref 7). El epicentro del sismo en cuestión se localizó aproximadamente 23 km al SSW de la población de Lázaro Cárdenas (a 370 km de la ciudad de México); el origen fue somero y se fijó en 20 km (ref 7).

Los efectos de este temblor fueron relativamente severos en la zona epicentral, donde se observaron diversos daños en estructuras y el colapso parcial de un hotel de tres pisos en Playa Azul, Mich, población situada a 20 km de Lázaro Cárdenas (ref 7).

La aceleración del terreno durante el sismo fue registrada por aparatos muy cercanos al epicentro, situados en la Planta Siderúrgica de SICARTSA, en los de las presas de la Villita, Infiernillo y El Caracol, Apatzingan, Acapulco, Ciudad Altamirano y en las estaciones de SISMEX en la ciudad de México. Tomaremos un acelerograma de uno de esos sitios y uno de SISMEX para mencionar las diversas etapas de que consta el procesamiento de datos de aceleración.

En las figs 27 y 28 se muestran, respectivamente, registros típicos de los obtenidos en acelerógrafos autónomos y en la red SISMEX. (Ref 7). El primero corresponde a un aparato SMA-1, analógico, de registro en película

fotográfica de 70 mm, que se localiza en la planta de SICARTSA en Lázaro Cárdenas Mich. En la fig 28 aparece la parte más importante del acelerograma (NS) de la estación Hospital ABC de SISMEX estos datos se registran continuamente en una cinta magnética analógica que después se reproduce y digitiza automáticamente para obtener datos numéricos que ya se manejan en computadora; la fig 28 muestra las coordenadas ya afectadas por las escalas necesarias para que las unidades sean cm y seg.

El procesamiento numérico a que se sujeta la información es función de la clase de aparatos en que se registra. Esto se debe a que los aparatos automáticos se activan por sí solos al detectar el temblor y, como tardan una fracción de segundo en ponerse en marcha, no pueden registrar el movimiento desde su principio por lo que en los acelerogramas no aparece completo el impulso que los hizo iniciar el registro. De este hecho y de los errores que se comenten al digitizar una curva pequeña en una película fotográfica se deriva una primera etapa del procesamiento, que tiene por fin corregir las aceleraciones de tal manera que al integrarlas una vez la velocidad final resultante del terreno sea mínima (es nula una vez que cesa el movimiento) y para que la segunda integral no adquiera valores excesivos o deje de tener el carácter oscilatorio que evidentemente tiene el movimiento.

Debido al registro ininterrumpido de la aceleración del terreno en las estaciones de SISMEX, el temblor se registra completo y el proceso de corrección se simplifica. Consiste esencialmente en eliminar la desviación constante del cero y definir adecuadamente el fin del sismo, para evitar que los errores numéricos se acumulen exageradamente.

En la fig 29 se presenta el resultado de la integración de una de las componentes (EW) de aceleración de la fig 28 .

6.2.1 Espectros de respuesta

El espectro de respuesta de un acelerograma es una gráfica en que aparecen como ordenadas las respuestas máximas de diversas estructuras, todas ellas sometidas a la acción del movimiento del terreno que representa el acelerograma. Las estructuras están representadas por su periodo (abscisas del diagrama). Usualmente se abarcan diferentes amortiguamientos, trazando una curva para cada uno. Así, las ordenadas del espectro de respuesta son función del periodo (T) y de la fracción del amortiguamiento crítico de la estructura (β) y desde luego del sismo que actúa sobre ella.

En la fig 30 se muestra un sistema de un grado de libertad de masa m y rigidez total k cuya base puede desplazarse una cantidad $Z(t)$ con respecto a un marco fijo en el espacio. Si se representa con $x(t)$ el desplazamiento de la masa con respecto a la base, se tiene que:

$$x(t) = - \frac{1}{p} \int_0^t \ddot{Z}(\tau) e^{-\beta p (t-\tau)} \text{sen } p (t - \tau) d\tau \quad (6.2.1)$$

donde:

p = frecuencia circular natural (rads/seg) = $2 \pi f$

f = frecuencia en Hz

\ddot{Z} = aceleración del terreno

τ = variable de integración

t = tiempo en el que es valuado

β = fracción del amortiguamiento crítico

Tomando los valores máximos absolutos de la ecuación (6.2.1), se obtiene el espectro de respuesta de desplazamiento.

Si derivamos la ecuación (6.2.1), se obtiene la ecuación que define la respuesta de velocidad:

$$\dot{x}(t) = \int_0^t \ddot{z}(\tau) e^{-\beta p(t-\tau)} \cos p(t-\tau) d\tau + \beta \int_0^t \dot{z}(\tau) e^{-\beta p(t-\tau)} \sin p(t-\tau) d\tau \quad (6.2.2)$$

El espectro resultaría de los máximos valores absolutos de la ecuación (6.2.2). Sin embargo, hay otra manera más conveniente y común de obtener un espectro aproximado de velocidad. Se ha observado que si en lugar de utilizar la ecuación (6.2.2), usamos

$$S_v = \beta S_d \quad (6.2.3)$$

obtenemos valores de la máxima velocidad absoluta muy parecidos a los obtenidos con la ecuación (6.2.2). (Refs. 8 y 9). Estos valores nos dan una gráfica que recibe el nombre de espectro de respuesta de pseudovelocidad relativa. Con esto se sustituye el laborioso procedimiento de hacer la derivación de la ecuación (6.2.1) y la evaluación numérica de las dos integrales de la ec 6.2.2

En forma análoga puede definirse un espectro de pseudo aceleración relati
va mediante la expresión:

$$S_a = p S_v = p^2 S_d$$

y el espectro será de pseudo-aceleración absoluta, si a la aceleración rela
tiva a la base se suma la del terreno.

Como ejemplo de los resultados que se obtienen a partir de las ecuaciones anteriores, tenemos la fig 31, en donde se muestran los espectros de res-
puesta de aceleración absoluta, velocidad relativa, pseudovelocidad relati
va y tetralogarítmico, los cuales fueron generados de la componente NOOE
que registró el acelerógrafo instalado en el hospital ABC.

7. CONCLUSIONES

1. La zona aledaña al puerto industrial de Lázaro Cárdenas, Mich. es una de las mejores preparadas en todo el país (incluyendo a la fecha, la ciudad de México), para el registro de las aceleraciones que experimenta el terreno al ocurrir sismos de importancia.

2. El estudio de los acelerogramas que se obtengan producirá beneficios tanto a las instalaciones ya construidas, como a las que estén en etapas de proyecto o planeación. En el primer caso, los registros documentarán de manera fehaciente las características de la acción a que las construcciones fueron sometidas, lo que hará posible establecer claramente una relación causa-efecto. Para las obras futuras, los datos que se reúnan permitirán establecer criterios de diseño más apropiados, que ya incorporen las enseñanzas que dejen progresivamente los sismos que se presenten.

3. En la zona de Lázaro Cárdenas se instrumentaron todas las estaciones construidas, con las que se cubrieron los diversos tipos de suelo que son más frecuentes en el área: Zacatula y Guacamayas en suelo bien firme (lo

que rodea al delta); el suelo del delta en estado natural: La Palma, Marina, La Orilla y Naranjito y suelo alterado por rellenos requeridos para la construcción de ciertas instalaciones del Puerto Industrial Fertimex y PMT.

4. La labor de documentación de las características de las estaciones para registro de temblores, es de extrema importancia para la adecuada interpretación de los acelerogramas de los sismos futuros. El material que se ha incluido en este trabajo proporcionará a los que estudien dichos eventos, los datos necesarios para analizar la posible influencia de las características de la estación, y los detalles de su construcción, en las propiedades de los acelerogramas del movimiento del terreno.

8. REFERENCIAS

1. Prince, J. (editor). "Estudios sísmicos para los puertos industriales de la Laguna del Ostión, Ver. y Lázaro Cárdenas, Mich. Instrumentación sísmica (etapa I)", 1981
2. L.F. Hernández, V. Chi Wong, M. A. Oñate, J. Prince. "Estudios sísmicos para los puertos industriales de la Laguna del Ostión, Ver. y Lázaro Cárdenas, Mich. "Instrumentación sísmica (etapa II, primer informe)", 1982
3. M.,A. Oñate, J. C.Hernández, J. Prince, L. F.Hernández. "Estudios sísmicos para los puertos industriales de la Laguna del Ostión, Ver. y Lázaro Cárdenas, Mich. Instrumentación sísmica (etapa II, informe final)", 1982
4. Iwan, W. D (Ed), "Strong-Motion earthquake instrument arrays". Proc. international work shop on strong motion earthquake instrument arrays. Honolulu,Hawai, Mayo 2-5, 1978
5. I. Mora, B Frontana, J. Prince. "Mantenimiento de acelerógrafos instalados en obras de la Comisión Federal de Electricidad". 1978
6. I. Mora, H. Mijares. H. Rodríguez, J. Prince. "Instalación de acelerógrafos en la cortina y laderas de la presa de Chicoasén", 1982
7. J. Prince, E. Mena (editores) "El sismo del 25 de octubre de 1981 cerca de Lázaro Cárdenas, Mich. Ips-9, 1982
8. Wiegel J. R. (Coordinating editor)"Earthquake Engineering" Prentice-Hall, Inc., 1970
9. Hudson, D. E., "Earthquake excitation of structures", Cap. 50 de shock and vibration handbook, Mcgraw-Hill

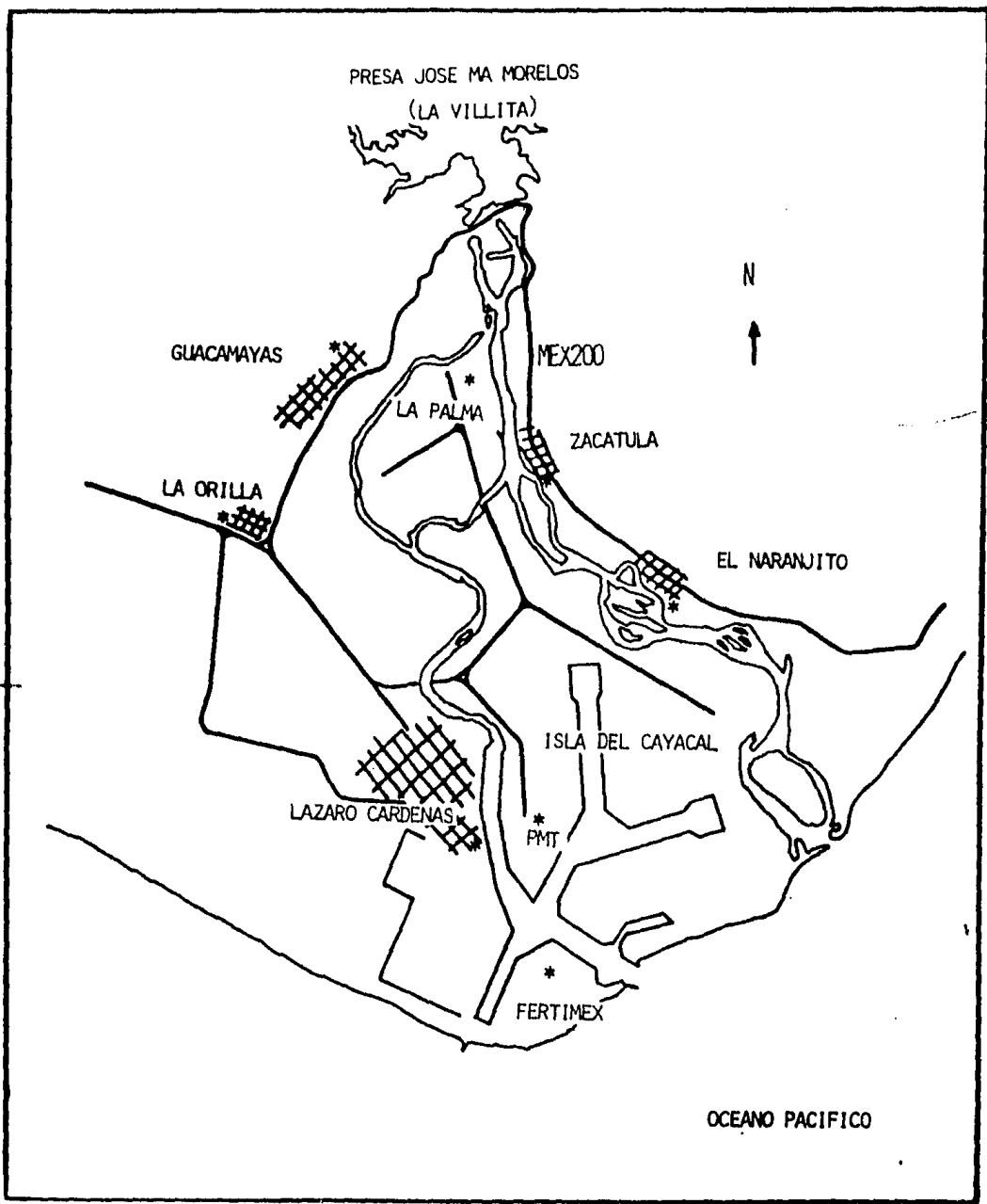


fig.1 Localización de las estaciones acelerográficas en el puerto industrial de Lázaro Cárdenas, Mich.

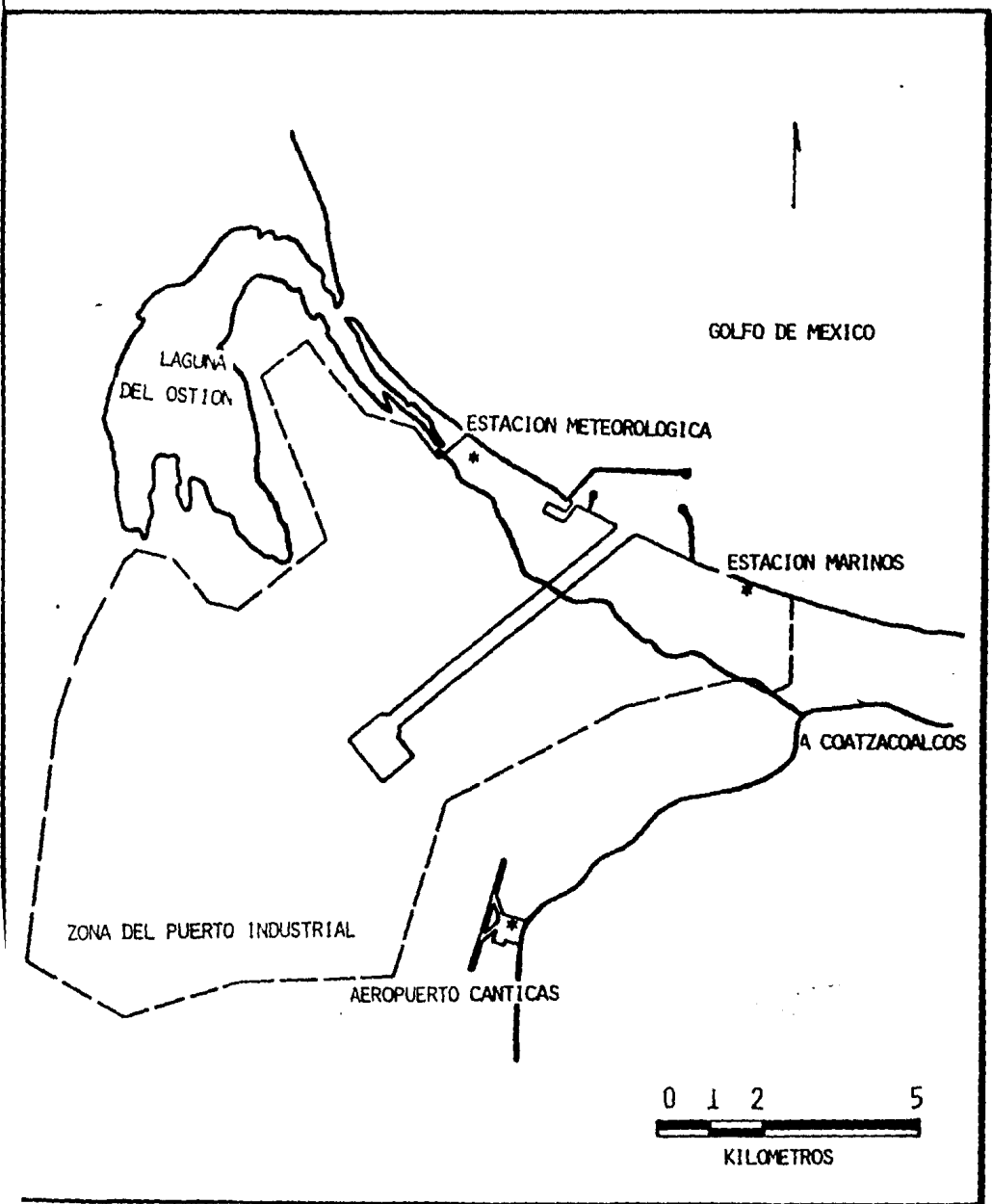


fig. 2 Localización de las estaciones acelerográficas en el puerto industrial de Coatzacoalcos, Ver. (área de la Laguna del Ostión).

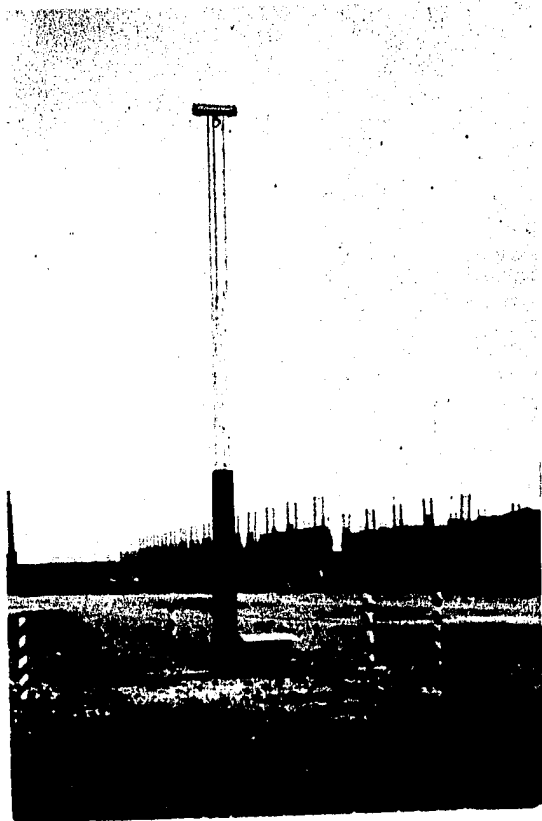


fig. 3 Estación acelerográfica tipo,
en donde se muestran todos
sus componentes (estación-PMT).



fig. 4 Estación marina



fig. 5 Estación Zacatula



fig. 6 Estación La Palma



fig. 7 Estación El Naranjito



fig. 8 Estación Fertimex

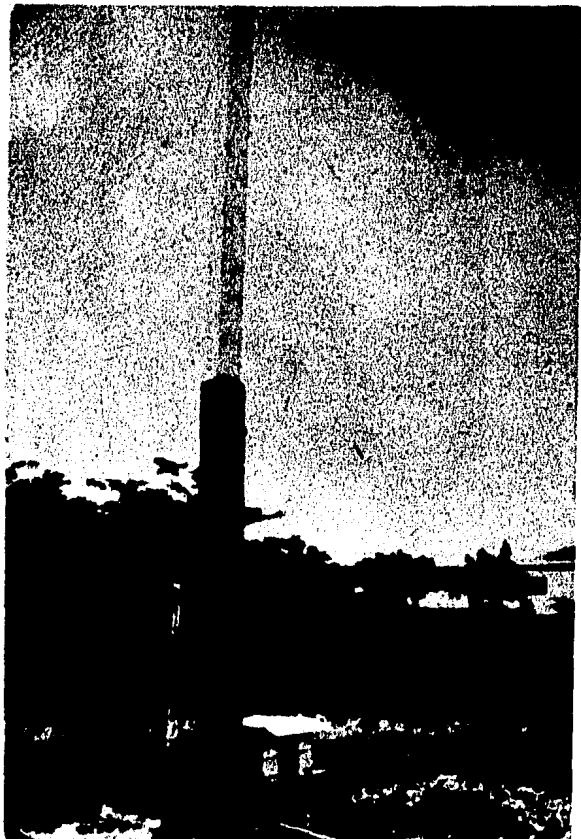


fig. 9 Estación Guacamayas



fig. 10 Estación La Orilla

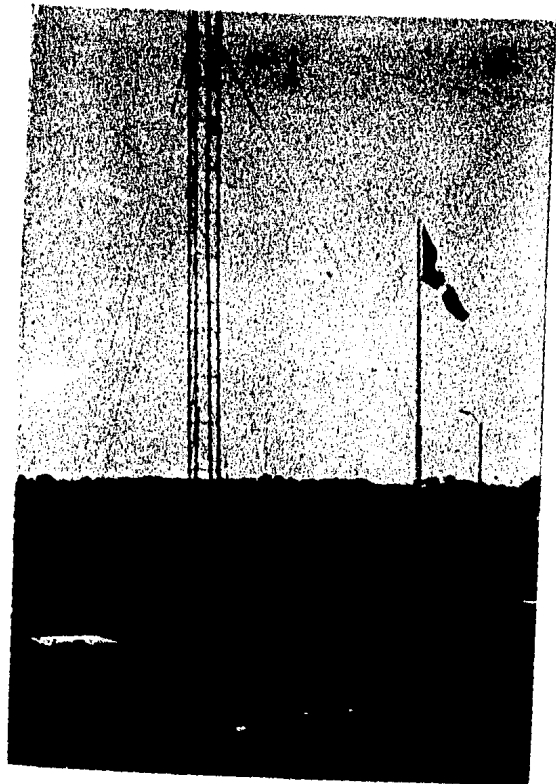


fig. 11 Estación Canticas-Ostión

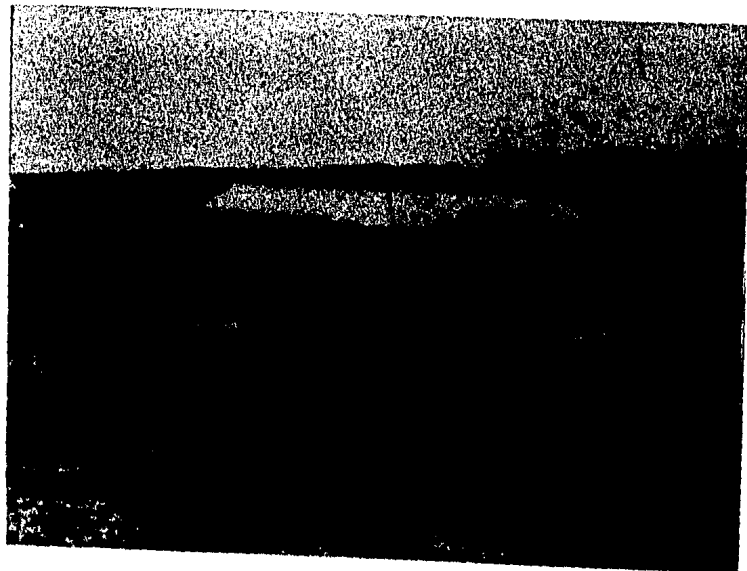


fig. 12 Estación Marinos, losa superior y caja de acero
sin torre triangular

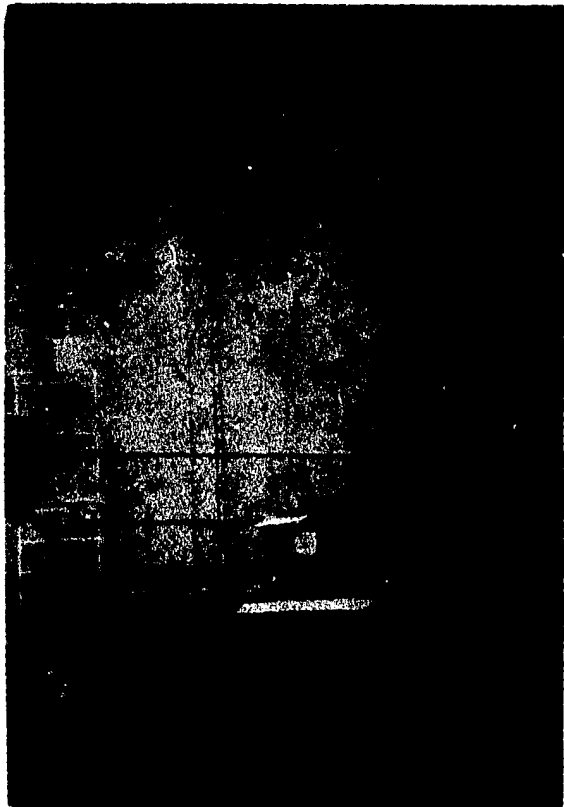


fig. 13 Estación Meteorológica

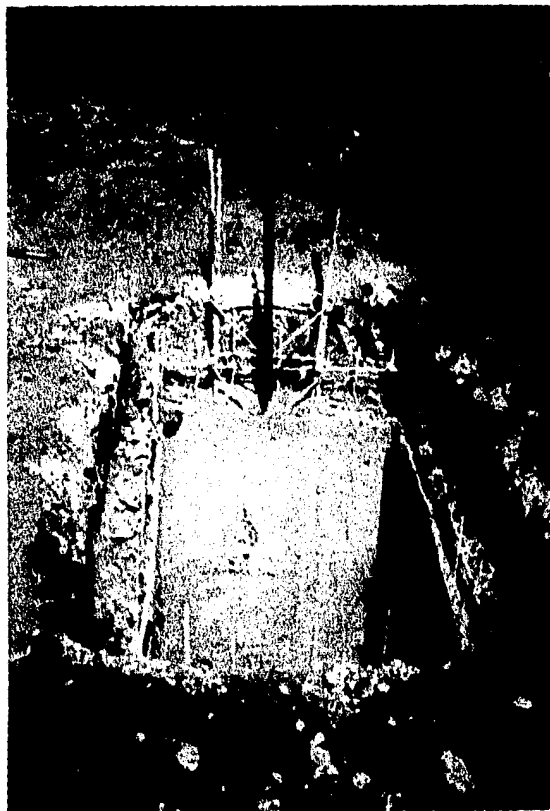


fig. 14 Cimentación de la base de concreto

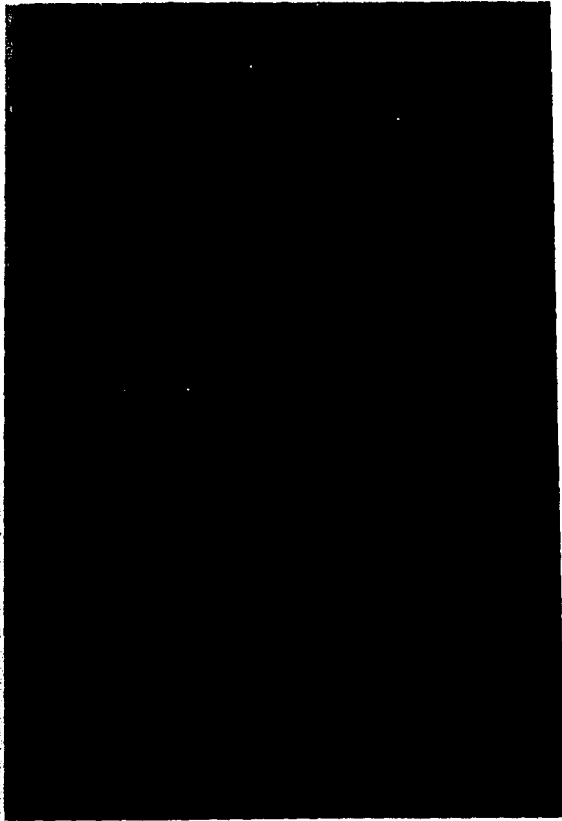


fig. 15 Caja de acero parcialmente ahogada en la losa superior del cajón

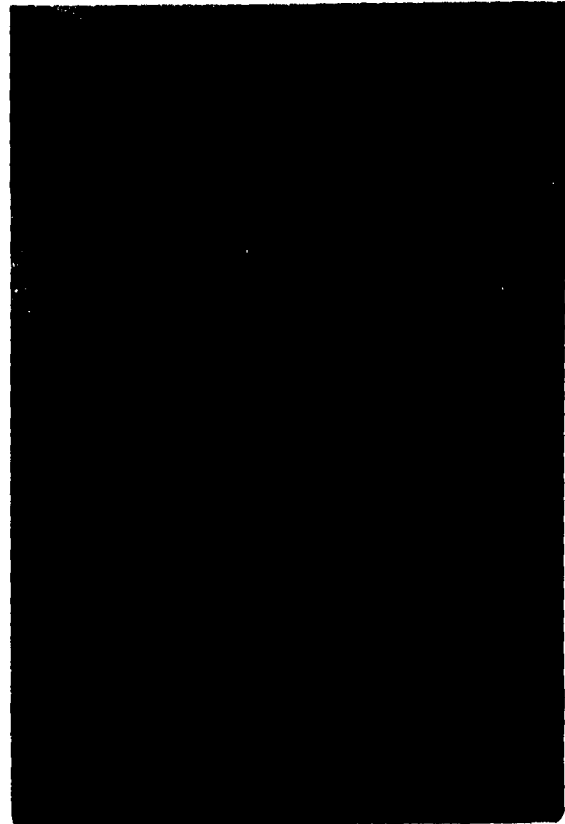


fig. 16 Aspecto del armado del cajón

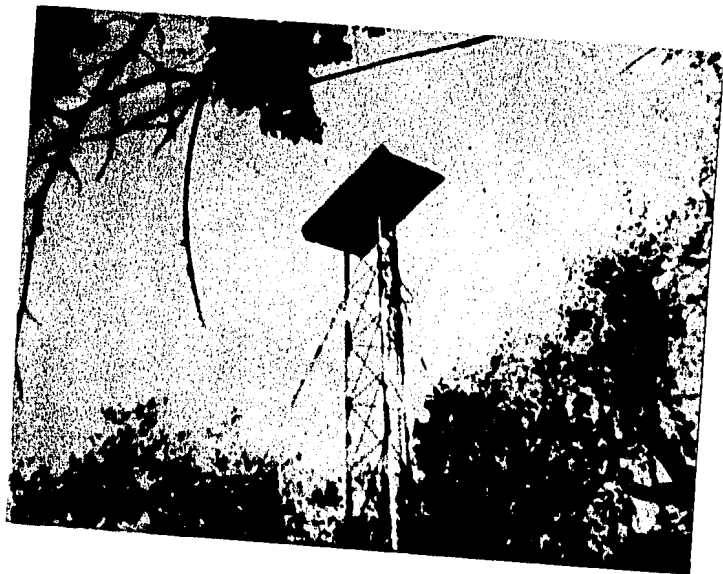


fig. 17 Canastilla que aloja las celdas solares

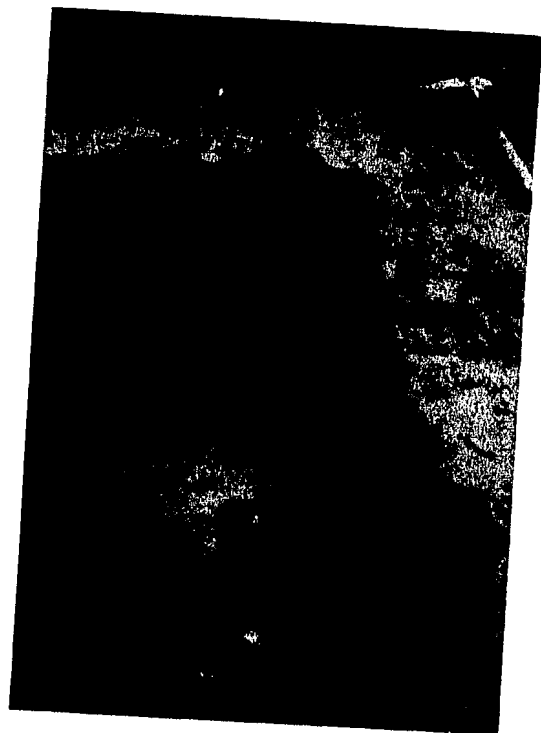


fig. 18 Excavación para alojar la cimentación
de la base de concreto



fig. 19 Losa de fondo ya colada

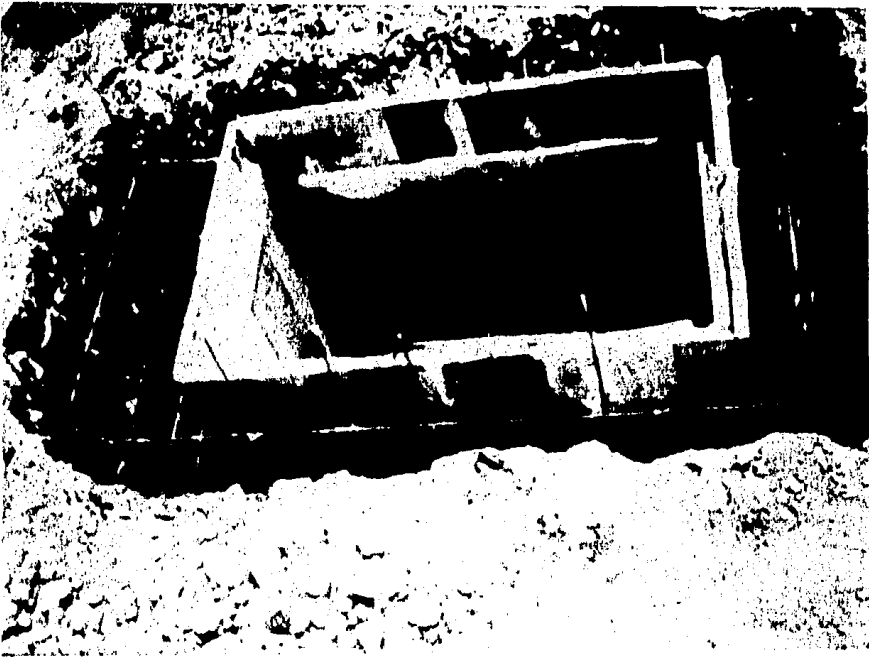


fig. 20 Cimbra para colado de muros del cajón

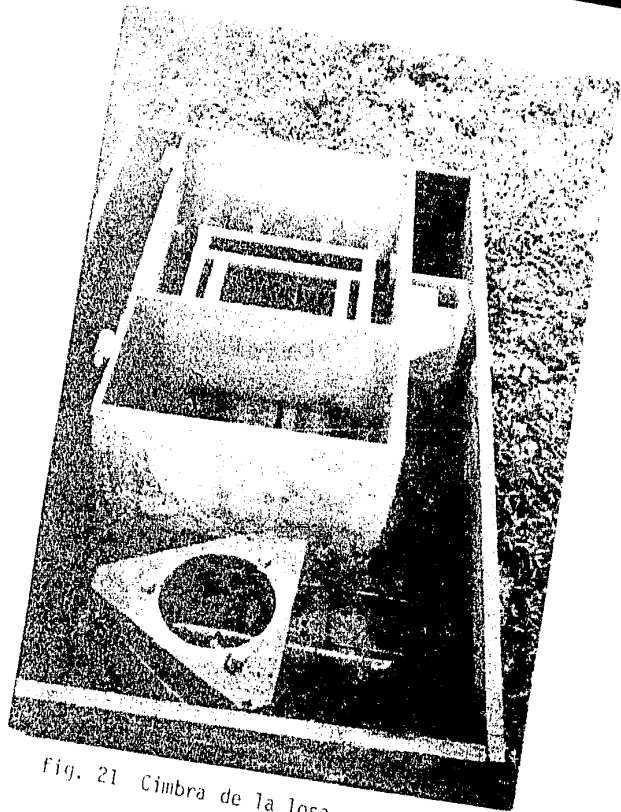


Fig. 21 Cimbra de la losa superior
y caja metálica instalada

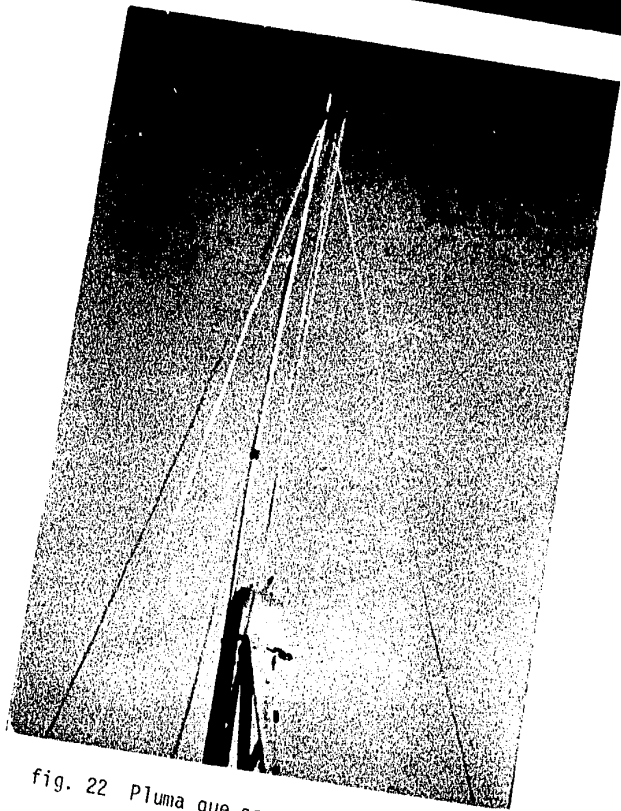
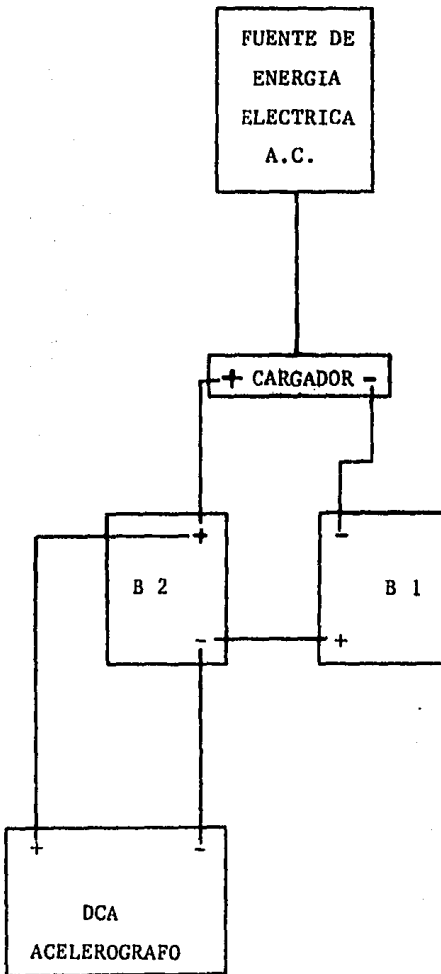


fig. 22 Pluma que se utilizó para montar
las torres triangulares

DIAGRAMA DE SUMINISTRO DE CORRIENTE ALTERNA

(CONEXION A LA FUENTE COMERCIAL)



B1 y B2, SON BATERIAS

DIAGRAMA DE SUMINISTRO DE CORRIENTE DIRECTA

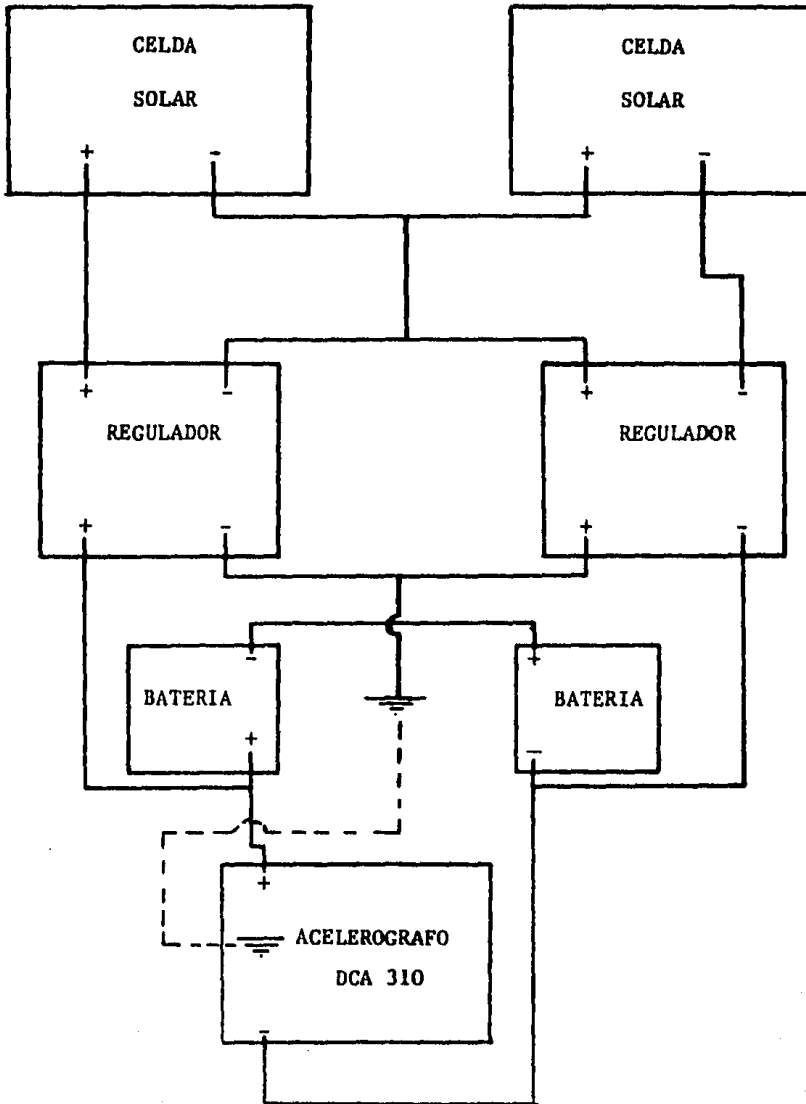


Fig 24

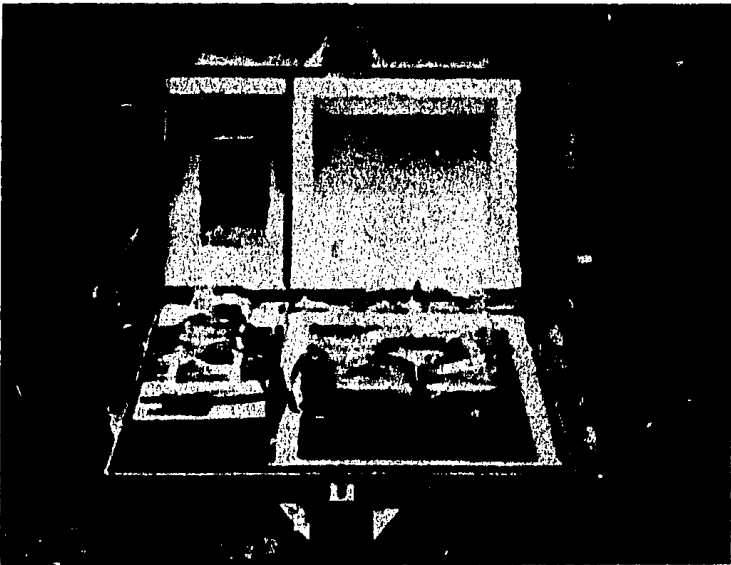
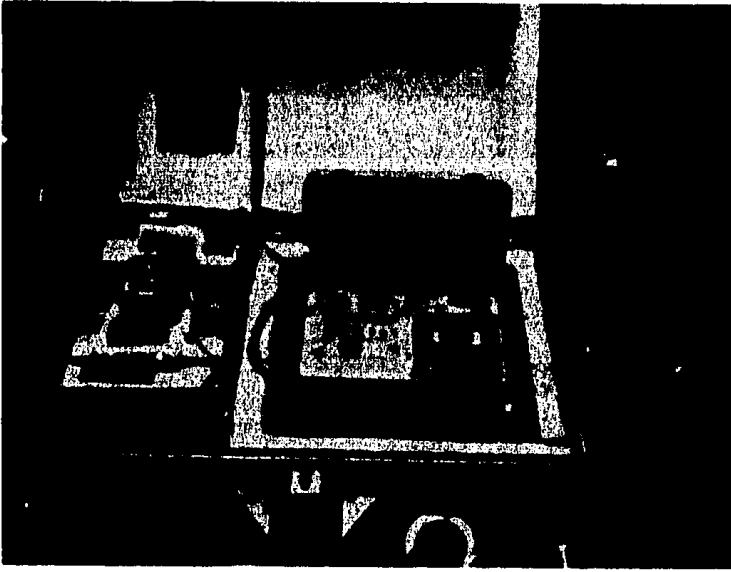


fig. 25 Acelerógrafo instalado y listo para funcionar

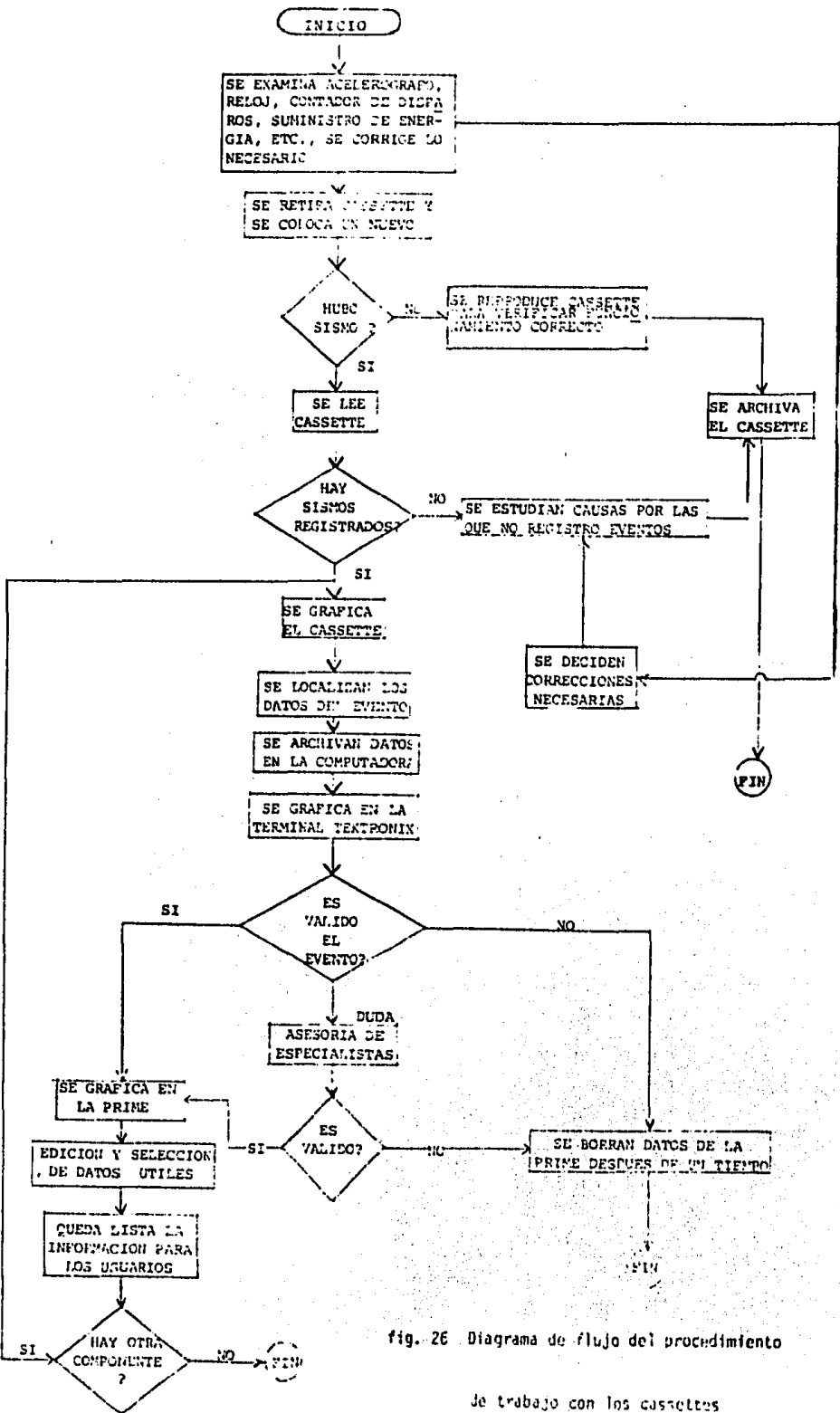


fig. 26 Diagrama de flujo del procedimiento

de trabajo con los cassettes

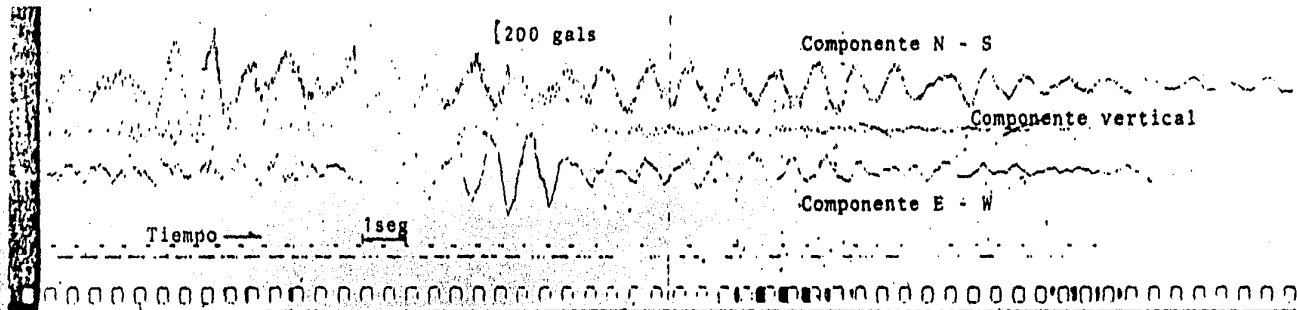


Fig 6 a. Acelerograma obtenido en la azotea de la planta de aceración de la Siderúrgica Lázaro Cárdenas Las Truchas

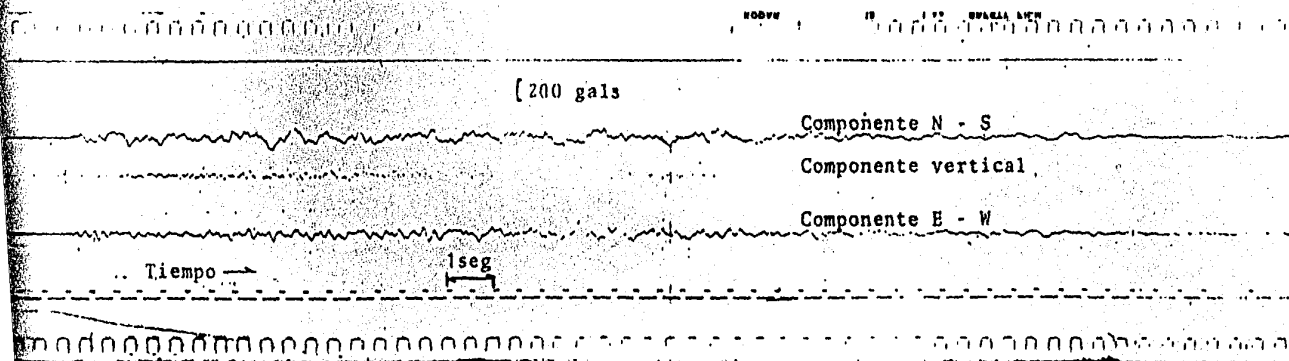


fig. 27 Registro obtenido por un acelerógrafo analógico SMA-1 localizado en SICARTSA.

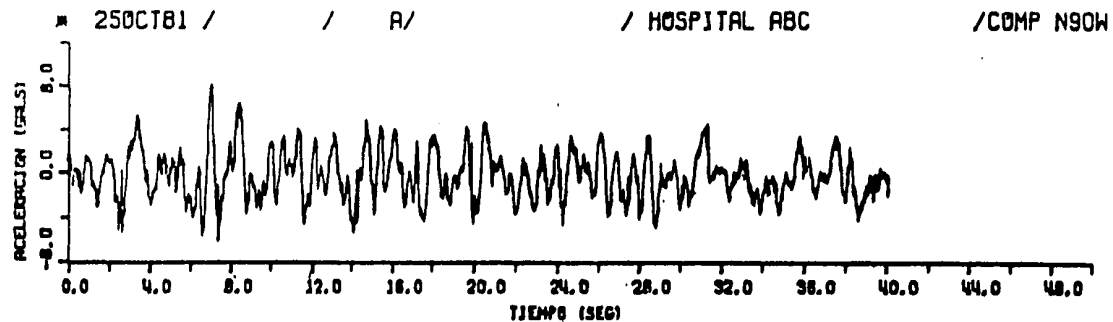
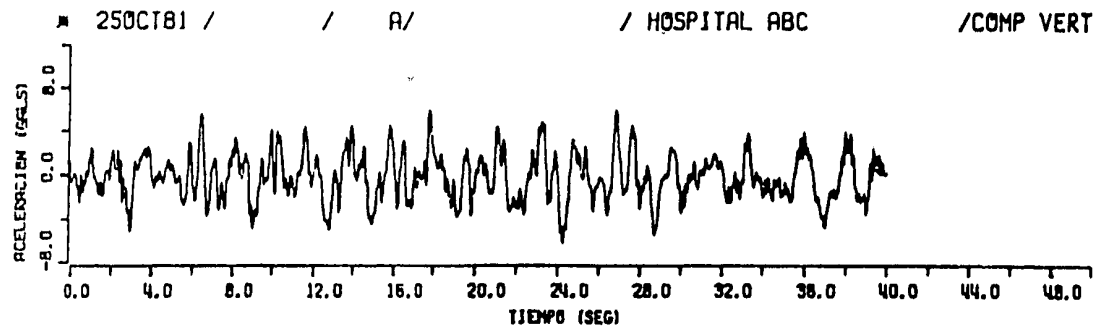
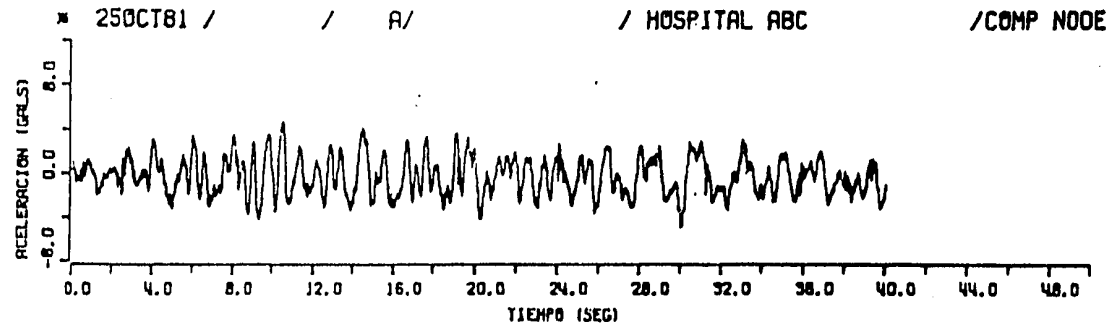


fig. 28 Acelerograma obtenido en la estación ABC de SISMEC

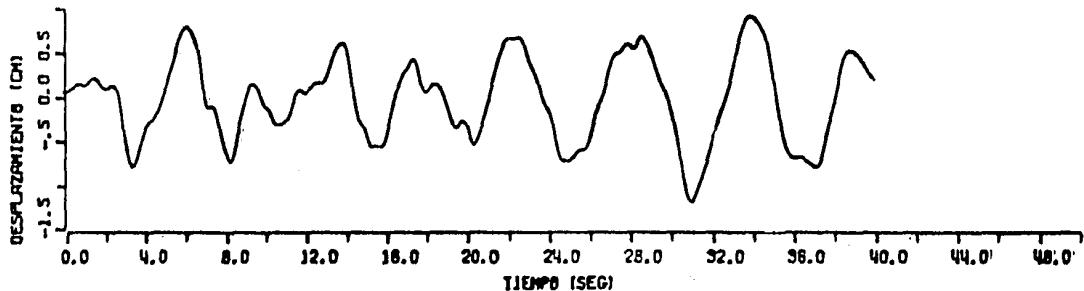
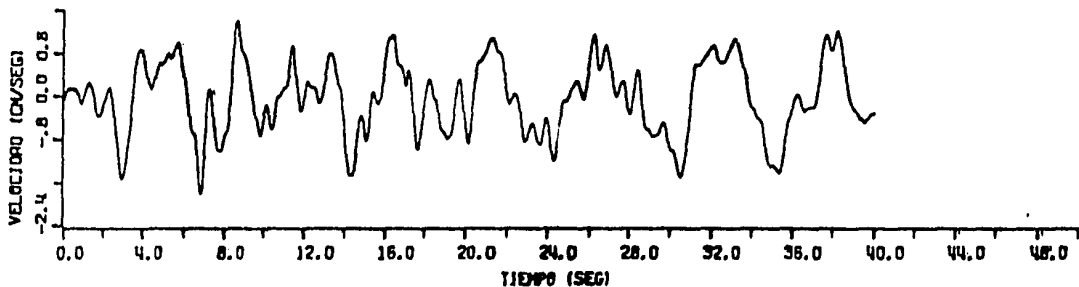
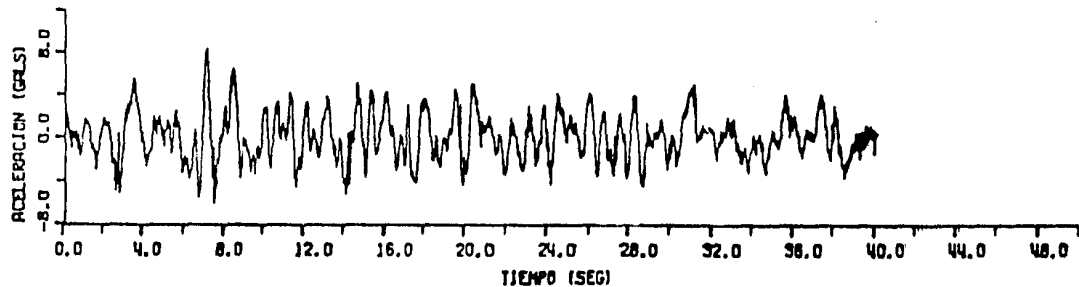


Fig 29 Aceleración, velocidad y desplazamiento, obtenidos del procesamiento de una componente del registro original

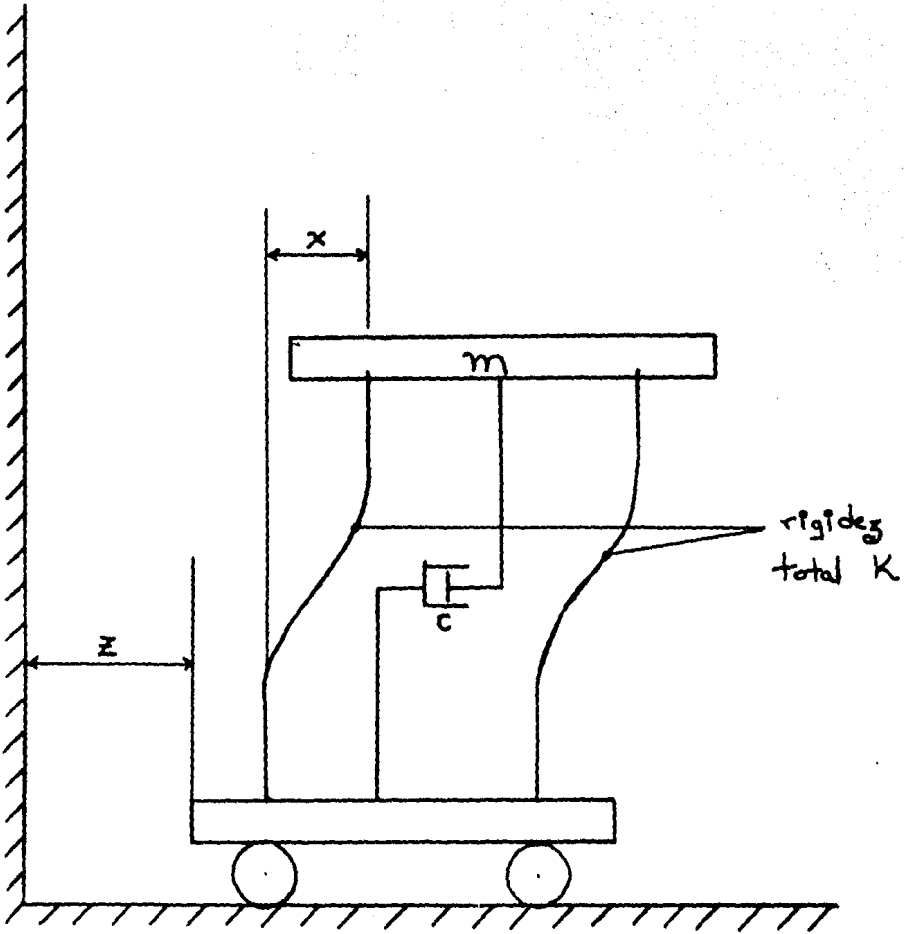


fig. 30 Sistema de un grado de libertad de masa m y rigidez k .

25OCT81 / 032158 / A/
 / HOSPITAL ABC /COMP N90W
 ESPECTRO DE RESPUESTA AMORT(Z) 0,2,5,10,20

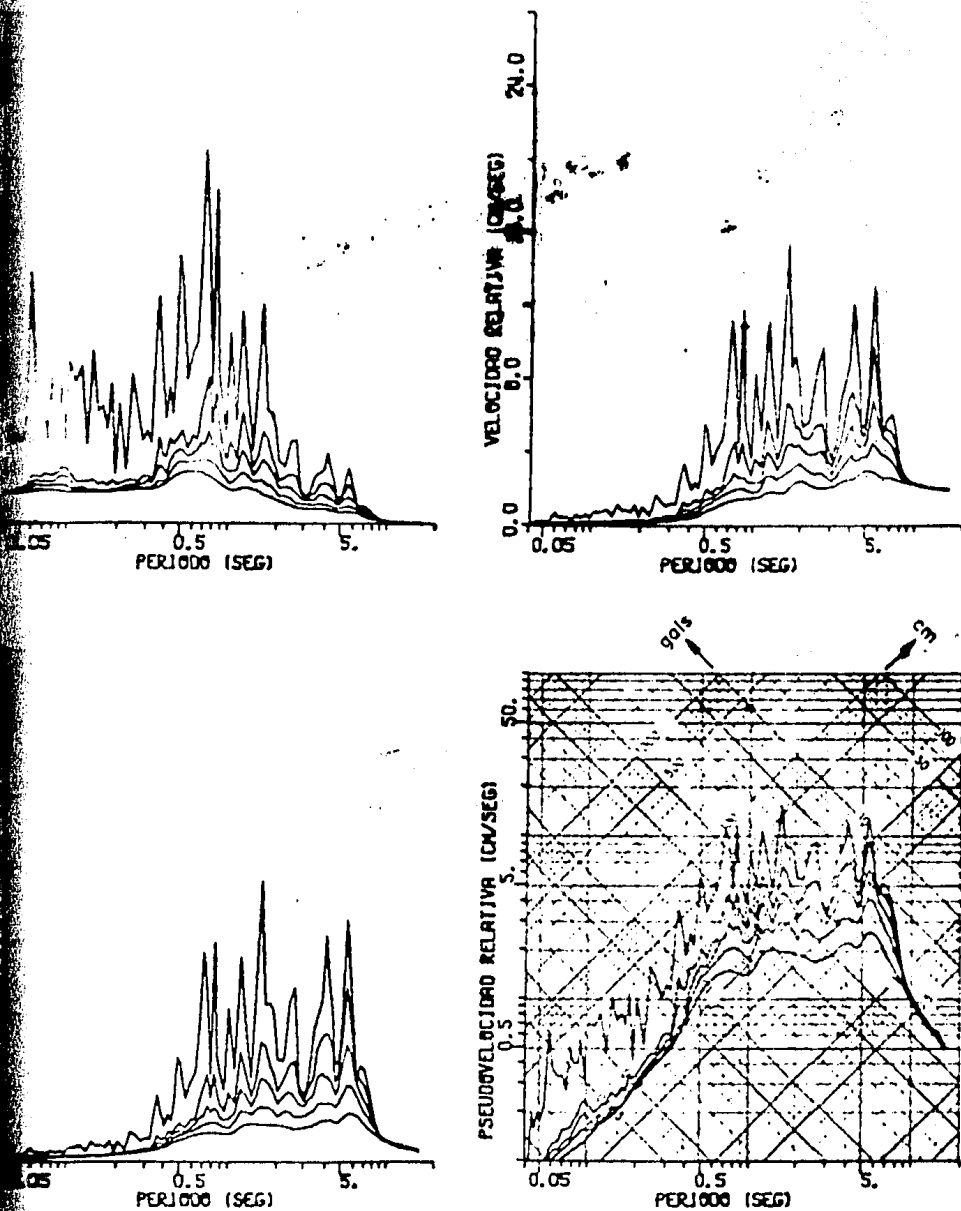


Fig. 01 Espectros de respuesta de aceleración absoluta, velocidad relativa, pseudovelicidad relativa y tetra-logarítmico.