

5319

**DESCARTE**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**CIMENTACION ASISMICA PARA EL D. F.**

**T E S I S**

**Que Para Obtener el Titulo de :**

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A:**

**HECTOR ANGEL SEPULVEDA CARMONA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

LA GOTA HORADA LA PIEDRA, NO POR SU FUERZA, SI  
NO CAYENDO CON FRECUENCIA

" GUTTA CAVAT LAPIDEM, NON VI SED SAEPE CADENDO "

— La gota horada la piedra, no por su fuerza, si  
no cayendo con frecuencia —

A mis queridos padres:  
SR. ANGEL SEPULVEDA SEPULVEDA Y  
SRA. MARIA CARMONA DE SEPULVEDA  
como un tributo a sus desvelos  
y sacrificios que tuvieron con-  
migo, así como la confianza que  
depositaron en mí para poder lo-  
grar lo más anhelado.

Con el respeto y cariño -  
que les profeso a mis hermanas:  
Ma. Margerita, Ma. Sofia, Ma. -  
Cecilia y Ma. Guadalupe; a mi -  
cuñado Alfredo y a mis sobrinos  
Elenita y Angelito.

A mis tíos y primos.

A la Srita. Leonor Llach y  
al Sr. José Alfaro C., por la a  
yuda que me brindaron en el de-  
curso de la carrera.

A todos los profesores que  
año con año me legaron sus cong  
cimientos desinteresadamente.

A todos mis compañeros y  
amigos de generación.

A la U. N. A. M. y de mane  
ra muy especial a la FACULTAD  
DE INGENIERIA.

Al C. Ing. Carlos M. Chávarri  
Maldonado, por sus consejos y acer-  
tada dirección en este Tema de Te-  
sis.

Al C. Ing. Manuel González -  
Flores, por los valiosos consejos -  
proporcionados para la realización  
del presente trabajo.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
Exámenes Profesionales  
Núm. 40-771  
Exp. Núm. 40/214.2/

Al Pasante señor Héctor A. SEPULVEDA CARRERA,  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección proveyó el Profesor Ing. Carlos H. Chávarri Maldonado, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"CIMENTACIÓN ASÍSMICA PARA EL D.F.".

- I. Introducción.
- II. Generalidades
- III. Sismicidad en la Cuenca del Valle de México.
- IV. El subsuelo de la Ciudad de México
- V. Cimentación asísmica en el Distrito Federal.
- VI. Bibliografía.

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de 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 Dirección General de Servicios Escolares, 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 ESPERANZO"  
México, D. F. 19 de Enero de 1973.

EL DIRECTOR

*Juan Casillas G. de L.*

Dr. Juan Casillas G. de L.

*EW*  
JOSÉ RAMÍREZ

## I N D I C E .

0.-	INTRODUCCION.	1
1.-	GENERALIDADES.	3
	1.1 Sismología.	3
	1.2 Terremoto o Sismo.	3
	1.3 Clasificación de los Sismos.	4
	1.4 Datos complementarios sobre Sismos.	5
	1.5 Escalas Sísmicas.	9
	1.6 Conclusiones.	13
2.-	SISMICIDAD EN LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO.	15
	2.1 Carta Sísmica.	15
	2.2 Frecuencia.	16
	2.3 Profundidad.	16
	2.4 Intensidad.	19
	2.5 Magnitud.	19
	2.6 Cuenca del Valle de México.	19
	2.7 Lugares que cuentan con instrumentación sísmica en el Distrito Federal.	22
	2.8 Conclusiones.	29
3.-	EL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO.	30
	3.1 El Valle de México.	30
	3.2 Estratigrafía del Subsuelo.	32
	3.3 Zonificación de la Ciudad de México.	33
	3.4 Características del Subsuelo de la Cd. de Mex.	35
	3.5 Conclusiones.	43
4.-	CIMENTACION ASISMICA EN EL DISTRITO FEDERAL.	44
	4.1 Fuerza sísmica en edificios.	45
	4.2 Sistema de sustentación asísmica aplicado en el D. F.	50
	4.3 Descripción de la cimentación asísmica.	54
	4.4 Pruebas efectuadas para este sistema.	59
	4.5 Datos complementarios sobre el problema descrito.	66
	4.6 Otro sistema tendiente a solucionar el Problema Sísmico.	68
	4.7 Conclusiones.	75
5.-	BIBLIOGRAFIA.	77

## O.-) INTRODUCCION.

El estudio que se hace en el presente trabajo tiene la finalidad de describir un método que sea aplicable a las estructuras para que brinden seguridad a las personas ante la presencia de fenómenos naturales como son los sismos.

La probabilidad juega un papel muy importante, ya que no se sabe con certeza cuando, donde y con que intensidad se presentará un movimiento telúrico. Razón por la cual, nosotros en el ejercicio de nuestra vida profesional debemos tratar de construir estructuras de utilidad a nuestros congéneres, y que reúnan condiciones de seguridad y que su costo sea razonable.

Los sismos desde la antigüedad han preocupado a la humanidad por las destrucciones que causan, no solo materiales, sino humanas; es por eso que en el presente trabajo trato de encontrar un sistema que absorba los movimientos sísmicos, por ahora aplicable en el Distrito Federal, pero posteriormente a cualquier lugar que sufra estos fenómenos.

En el cap. 1 hago un breve estudio sobre el origen de los sismos, así como sus principales características y como el hombre en su afán de saber más sobre ellos los ha clasificado de acuerdo a su poder destructor.

En el cap. 2, de una forma general en que se encuentra la

República Mexicana, particularizo sobre las características sísmicas que imperan en la Cd. de México, así como los lugares que cuentan con información para ampliar este estudio.

En el cap. 3 menciono en forma sencilla las características del Subsuelo de la Ciudad y su manera de comportarse ante determinados factores, tales como cargas admisibles, sismos, -- etc., así como las zonas en que se subdivide de acuerdo a los materiales encontrados en sondeos y otro tipo de estudios.

Por último, en el cap. 4 describo el sistema que puede ser la solución a los problemas originados por los sismos; doy a conocer los antecedentes al método, los factores que actúan sobre las estructuras y las pruebas que se hicieron para conocer su efectividad.

Como en la actualidad el C. Ing. Manuel González Flores, - tiene construido un edificio aplicando dicho método, el tiempo se encargará de probar que este sistema es el indicado para - evitar demasiados daños tanto materiales como humanos.

## 1.-) GENERALIDADES.

En la elaboración del presente trabajo menciono ciertos - conceptos, de los cuales creo conveniente hacer una breve descripción.

1.1) SISMOLOGIA.- Es la ciencia que estudia los terremotos o sismos, su repartición geográfica, frecuencia y condiciones - en que se producen, fenómenos que siempre han preocupado al hombre tanto por lo impresionante de sus manifestaciones, como por los daños que originan.

1.2) TERREMOTO O SIEMO.- Es una serie de factores tales como sacudimientos bruscos de la corteza terrestre de corta duración y de gran intensidad muchas veces, provocados por choques, golpes o movimiento de las capas profundas, que se propagan por el interior de la tierra y en el exterior, como ondas elásticas llegando así al lugar de observación.

Es conveniente concebir en términos energéticos un sismo, para pensar en los efectos que puede causar. Al producirse un movimiento se genera una gran cantidad de energía que tiene que ser absorbida y disipada por todos los elementos que encuentre a su paso. Al pasar desde la profundidad de foco por las diferentes capas geológicas, la onda sísmica se va amortiguando hag

ta entregar a la superficie una energía diferente a la original.

1.3) CLASIFICACION.- El hombre ante este tipo de fenómenos ha podido clasificarlos de acuerdo a su Magnitud en:

a) Naturales, cuando son derivados de procesos similares, tales como tormentas, vientos, heladas, oleajes, cascadas, vibraciones volcánicas, etc.

b) Artificiales, los que se producen por alguna acción del hombre, principalmente el uso de explosivos en pro o contra de la humanidad.

De acuerdo a la Posición de la fuente que los genera con respecto al observador, en:

a) Poco profundos.

b) Profundos.

Por la Distancia que se registra al punto de observación:

a) Locales.

b) Cercanos.

c) Distantes.

Debido a la Causa que los produce en:

a) Tectónicos, son los que resultan de la deformación de la corteza terrestre por fallas o plegamientos a causa de esfuerzos que modifican su estructura, esfuerzos que se producen por acomodo de las diversas capas o como resultado del enfriamiento del Globo terráqueo; por lo general su área de influencia es muy amplia y los periodos de oscilación son prolongados.

b) Volcánicos, son causados por la acción volcánica. Por lo general anteceden a la iniciación de esta actividad, aunque no es extraño que coincidan o sucedan al fenómeno. Son rápidos

y su área de acción es reducida; se pueden mencionar dentro de este tipo los observados en la Cuenca de México.

c) Plutónicos, son motivados por esfuerzos que se desarrollan a grandes profundidades de la corteza terrestre. De estos en la actualidad hay muchas ideas, pero no se ha llegado a conclusiones que permitan opinar con precisión.

De las anteriores, la más acertada en la primera, o sea, - la de origen tectónico que se refiere a fallas u otros procesos estructurales de la tierra.

Por la Sensibilidad del hombre para percibir las vibraciones en:

a) Perceptibles, los captados por los sentidos.

b) Imperceptibles o instrumentales, los que son conocidos por las indicaciones de los aparatos dedicados a su observación.

Con respecto a su Intensidad se les nombra:

a) Ligero.

b) Fuerte.

c) Violento o catastrófico.

#### 1.4) DATOS COMPLEMENTARIOS SOBRE SISMOS.

a) Foco o hipocentro, en términos de sismología, es un punto donde se localiza el golpe que origina el terremoto en el interior de la tierra; puede ser detectado únicamente con instrumentos.

b) Epifoco o epicentro, corresponde al punto teórico localizado sobre la corteza terrestre en una recta vertical que pasa por el foco o hipocentro.

c) Ondas elásticas, son las que genera la energía liberada

por un terremoto; pueden ser de tres tipos:

- Primarias, son las que se propagan a mayor velocidad por la tierra, se conocen como longitudinales o de compresión (P).

- Secundarias, su velocidad de propagación, se puede decir es de transición entre las primarias y las superficiales; son conocidas también como transversales o de cortante. Además, son las que mayores daños causan en las estructuras al transmitir mayor energía ya que propagan vibraciones normales a la dirección de su línea de acción (S).

- Superficiales, su velocidad de propagación es muy pequeña, por lo general son de periodo largo (L).

d) Magnitud, mide la energía desencadenada por un movimiento telúrico, no depende de las coordenadas del observador, o sea, es una cantidad única. Representa cierta cantidad de energía potencial liberada en el foco, la cual se registra con determinada intensidad a diferentes distancias. Se mide por la amplitud de las ondas registradas en sismómetros convencionales para este trabajo.

La Magnitud Base queda definida por una onda de una micra de amplitud a una distancia de 100 km. del epicentro y medida en un sismómetro con las siguientes características:

Periodo amortiguado	0.8 seg.
Magnificación estática	2800
Amortiguamiento	0.8

Richter la define como:

$$M_R = \log_{10} A - \log_{10} A_0$$

donde: A - amplitud del sismo a una misma distancia de  $A_0$ .

$A_0$  - amplitud base.  $M_R$  - Magnitud de Richter.

En la fig. 1.1 se ve que las curvas a, b y c son casi paralelas e indican la variación de las amplitudes para diferentes sismos con la distancia. Richter concluye que la magnitud es independiente de la distancia. La magnitud cero corresponde a la curva base.

e) Intensidad, es la medida de la fuerza que la energía liberada en el foco produce a cierta distancia de éste y disminuye con la distancia del epicentro. Se mide en forma apreciativa por la respuesta o resultados finales de los daños ocasionados por el sismo.

La introducción de escalas sísmicas hasta con seis definiciones fue efectuada a principios del siglo pasado por Brooks y Egen. Posteriormente se fueron proponiendo otras mejorando las anteriores, en 1883 los profesores De Rossi y Forel formaron la escala que lleva su nombre y que en la actualidad es útil para estudiar los sismos de esa época.

En 1902 Mercalli adoptó la escala de Rossi-Forel para estudiar los sismos italianos. Esta escala ha venido sufriendo modificaciones y adiciones hasta llegar a obtener la llamada escala de Mercalli Modificada.

Entre otras esta la de Cancani-Sieberg, la cual consiste principalmente en relacionar las escalas de intensidad con las aceleraciones probables máximas ocasionadas por un sismo. Cancani (1904) y Sieberg (1912) trataron de correlacionar la escala sísmica de Mercalli con la aceleración máxima probable del suelo.

Richter en los últimos años de acuerdo a datos proporcionados por instrumentos instalados en California por el U. S. Coast

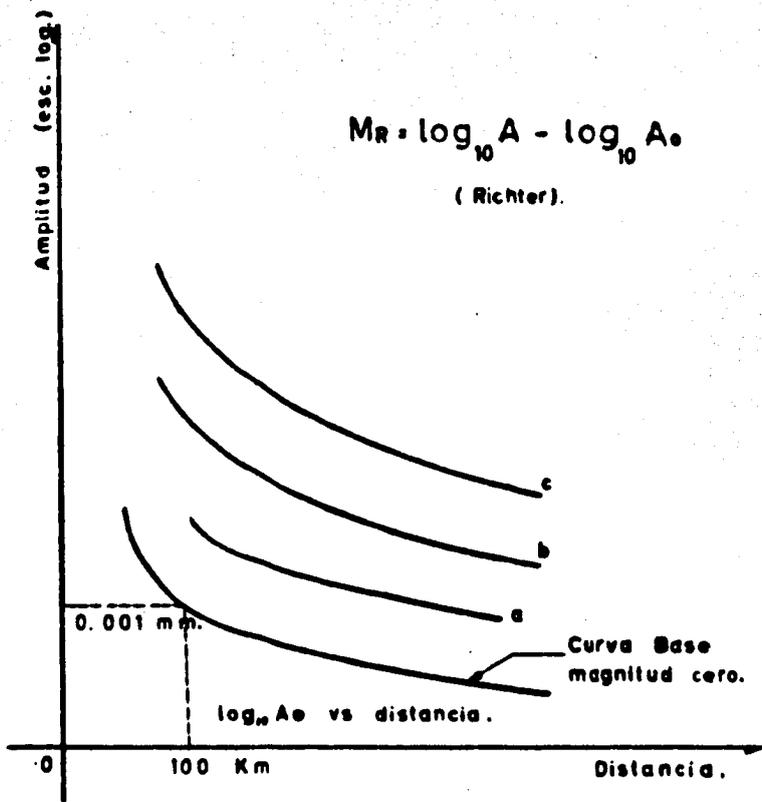


fig. 1.1

Ref. 10

and Geodetic Survey, proporciona una expresión empírica para valorizar la aceleración de acuerdo con la intensidad de Mercalli, la cual es:

$$\log_{10} a = \frac{I_m}{3} - \frac{1}{2}$$

Donde:

a - aceleración en cm/seg<sup>2</sup>.

I<sub>m</sub> - intensidad estimada según Mercalli.

1.5) ESCALAS SÍSMICAS.- Han sido siempre de gran interés - para medir la intensidad con que llegan a la superficie las ondas sísmicas. Existen muchas en función de las observaciones - que se hacen en relación con los efectos que producen los sísmos en las construcciones, pero son sólo apreciaciones subjetivas.

Entre las principales están las siguientes:

a) Escala de Intensidad Sísmica de ROSSI-FOREL, (1883).

Grado

Especificación.

- I      Microsismo.- registrado por uno o varios sismógrafos -- del mismo tipo, pero no diferentes. Sentido por un observador experimentado.
- II     Extremadamente débil.- registrado por sismógrafos de diferentes tipos. Sentido por un grupo pequeño de personas en reposo.
- III    Muy débil.- sentido por muchas personas en reposo. Suficientemente fuerte para apreciar dirección y duración.
- IV    Débil.- sentido por varias personas en movimiento. Perturbación de objetos movibles tales como puertas, ventanas; grietas en plafones; ruidos en pisos, muros y losas.

- V Intensidad moderada.- sentido generalmente por todos. - Perturbaciones en muebles, camas; sonar de campanas y objetos sueltos.
- VI Medio Fuerte.- despertar general de los que duermen. Sonar de campanas de iglesias. Oscilación de candelabros; - se paran los relojes de péndulo. Perturbación visible de árboles y arbustos. Abandono de hogares.
- VII Fuerte.- desplazamiento de objetos móviles, caída de recubrimientos. Sonar de las campanas de iglesias. Pánico general sin daños serios a edificios.
- VIII Muy fuerte.- caída de chimeneas, grietas en los muros - de los edificios.
- IX Extremadamente fuerte.- destrucción parcial o total de algunos edificios.
- X Intensidad extrema.- gran desastre, ruinas, perturbación de los estratos del subsuelo. Grietas en la corteza terrestre; deslizamiento de rocas en las montañas;

b) Escala de Mercalli o de Intensidades Sísmicas, modificada en 1931 por Harry O. Wood y Frank Newmann (M.M.).

Grado

Especificación.

- I Instrumental.- registrado únicamente en sismógrafos.
- II Muy Ligero.- sentido dentro de habitaciones, por pocos, especialmente en los pisos altos.
- III Ligero.- sentido dentro de las habitaciones por varios, se puede apreciar dirección y duración. Vibraciones como las ocasionadas por el paso de un camión pesado.
- IV Medio Fuerte.- sentido dentro de las habitaciones por -

muchos, fuera por pocos. Estremecimiento de objetos móviles como vidrieras y puertas. Sensación de un choque entre un camión pesado y un edificio.

- V Fuerte.- sacudida sentida por todo el mundo, muchos despiertan. Estremecimiento de objetos más pesados. Perturbaciones en árboles, arbustos y postes. Detención de relojes de péndulo. Determinación de la dirección principal del movimiento sísmico.
- VI Muy Fuerte.- sacudida sentida por todo el mundo, muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio. Pocos ejemplos de caídas de aplanados o daños a chimeneas.
- VII Muy Violento.- daño insignificante en edificios bien construidos; ligero a moderado en edificios ordinarios bien diseñados; considerable en los pobremente construidos o mal diseñados.
- VIII Ruinoso.- daño ligero en estructuras construidas especialmente para soportar sismos; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras debidamente construidas. Los muros salen de sus armaduras, pérdida del control de las personas que guían carros.
- IX Desastroso.- considerable daño en estructuras especialmente construidas para resistir temblores. El terreno se agrieta, los edificios salen de sus cimientos.
- X Catastrófico.- destrucción de muchas estructuras especialmente diseñadas. Agrietamiento considerable del terreno. Se tuercen rieles de FFCC. Deslizamientos de tierras en las márgenes de los ríos y en las fuertes pendientes;

eyecciones de lodo y arena.

- XI Catastrófico.- pocas estructuras quedan de pie.
- XII Gran Catástrofe.- destrucción completa; ondas visibles sobre el terreno. Objetos lanzados hacia arriba; se modifican el curso de las aguas y el terreno.

c) Escala de Sieberg (1912).

- | Grado | Especificación.   |
|-------|---|
| I     | Imperceptible.- apreciable solo con instrumentos.   |
| II    | Muy Ligero.- apreciable sólo por personas muy nerviosas en reposo, principalmente en los pisos altos.   |
| III   | Ligero.- notado por muy pocas personas aún en comarcas de gran densidad de población.   |
| IV    | Moderado.- se nota principalmente en el interior de las casas, no todos se dan cuenta. Sensación de que un carro pasa por un adoquinamiento desigual.                             |
| V     | Algo Fuerte.- es notorio en el exterior aún en medio del tráfico. Sensación de que cae un objeto pesado.  |
| VI    | Fuerte.- todo el mundo nota con pavor el sismo y tratan de salir al aire libre. Aparecen grietas en los edificios; las campanas de las iglesias suenan.                           |
| VII   | Muy Fuerte.- Se ocasionan perjuicios de importancia por la caída y rotura de diversos objetos muy pesados del menaje de las casas. Caída de ornamentos; cambio del nivel de agua. |
| VIII  | Ruinoso.- los troncos de los árboles oscilan y llegan a romperse. Los edificios sísmicos experimentan daños.  |
| IX    | Destructor.- muchas casas de buena construcción quedan  |

inservibles, las viejas se derrumban.

- X Muy Destructor.- la mayor parte de las casas de piedra y madera son destruidas desde sus cimientos; los muros de ladrillo se agrietan. En el suelo sin cohesión se abren grandes grietas.
- XI Catástrofe.- ninguna de las construcciones de mampostería queda en pie. Los conductos subterráneos quedan totalmente destruidos. Los desperfectos en las vías de comunicación dependen de la calidad del subsuelo.
- XII Gran Catástrofe.- no queda en pie ninguna de las obras efectuadas por el hombre; los efectos y trastornos del suelo llegan al grado máximo en intensidad y variación. - Aparecen cataratas; hay traslación de los lagos y desviación de los ríos.

Como nos damos cuenta, todas están muy relacionadas y además están sujetas a crítica, ya que califican un terremoto en relación a los daños que causan a las estructuras, tal como lo mencioné en un principio.

1.6) CONCLUSIONES.- Existen en la actualidad muchas teorías sobre el origen de los sismos, algunas acertadas y otras un poco idealizadas, pero en realidad no se sabe mucho sobre ellos. Son fenómenos que se presentan indistintamente y no se sabe que desperfectos causarían porque las estructuras no se comportan de la misma manera.

Mediante la observación de sismos anteriores se les ha podido clasificar de acuerdo a los daños que causan en las obras

materiales, pero en sí, éstas también son muy complejas e influyen en los resultados obtenidos durante un sismo de intensidad regular.

En la actualidad se hacen investigaciones más amplias encaminadas a absorber los efectos sísmicos en las estructuras porque es imposible evitarlos.

## 2.-) SISMICIDAD EN LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO.

Las principales características de la sismicidad en la Cuenca del Valle de México, que se consideran como consecuencia de las desfavorables propiedades del terreno, particularmente en las zonas bajas y de transición, son las siguientes:

- a) Agitación microsísmica muy amplia.
- b) Temblores locales frecuentes.
- c) Relaciones de daños inesperados como efecto de macrosismos mexicanos distantes.

Estan basadas en la manera en que se formó el subsuelo de la capital de la República.

2.1) CARTA SISMICA.- De acuerdo a un análisis que se hizo con los aparatos que sirven para detectar sismos —Sismógrafos—, se pudieron localizar zonas en las cuales los movimientos telúricos son más constantes y otras en las cuales son casi nulos.

De acuerdo a los epicentros localizados, en el año de 1926 se zonificó a la República Mexicana en:

- a) Sísmica.- Como su nombre lo indica, los sismos son muy frecuentes, un 90 % de la actividad sísmica del país se origina en esta región, abarca los estados desde Jalisco hasta Chiapas, el Estado de México, Morelos, Tlaxcala, Puebla, el sur de Veracruz, una pequeña parte de Baja California junto a la frontera

con E. U. y la mayor parte del Distrito Federal.

b) **Penesísmica.**- Aquí los sismos son poco frecuentes, además se origina el 10% de la actividad sísmica nacional. Abarca una faja angosta de los estados de Sonora, Durango, Zacatecas, Guanajuato, Hidalgo y Veracruz, así como los estados de Sinaloa, Nayarit y Tabasco.

c) **Asísmica.**- Los sismos son raros o desconocidos, abarca los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Querétaro, Campeche, Yucatán y los Territorios de Quintana Roo y Baja California, además una parte de los estados de Sonora, Guanajuato, Hidalgo y Veracruz.

Lo anterior se aprecia mejor en la fig. 2.1

2.2) **FRECUENCIA.**- Según estadísticas, la zona más afectada es la comprendida entre los paralelos 15 y 16 y los meridianos 97, 98 y 99 que abarca parte de los estados de Guerrero, Oaxaca y las porciones respectivas del Océano Pacífico.

En la fig. 2.2 se muestra una gráfica que computa los movimientos originados en las zonas activas del país, de 1909 a 1959. Se omiten los de la cuenca del Valle de México que daré por separado.

2.3) **PROFUNDIDAD.**- Una de las características de los sismos mexicanos, es revelada por los niveles de profundidad en que estos se originan. La actividad incluye fenómenos superficiales como los de la Ciudad de México y profundos que exceden los 200 km. como los de Chiapas.

La distribución general de profundidades es la siguiente:

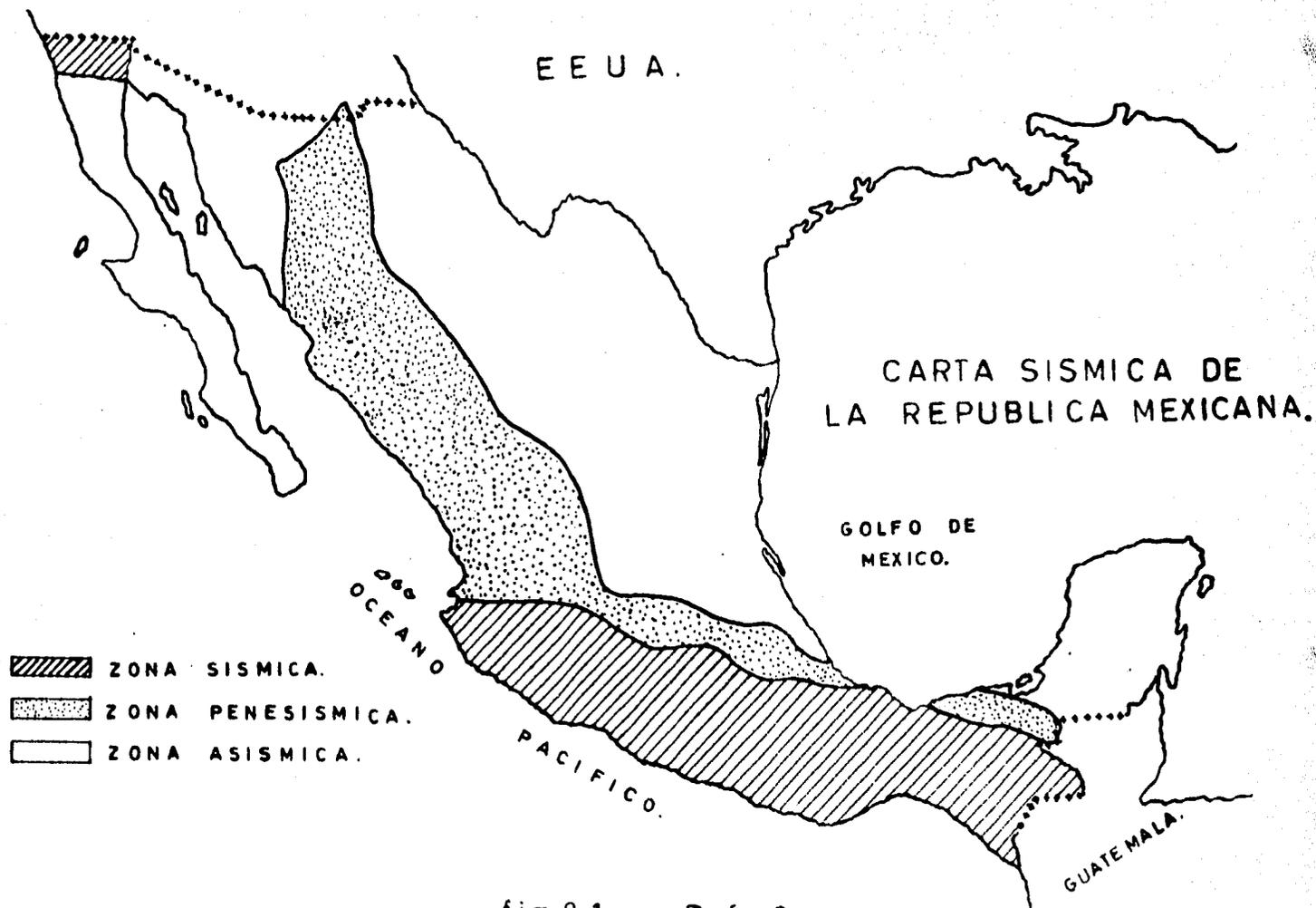


fig. 2.1 Ref. 3

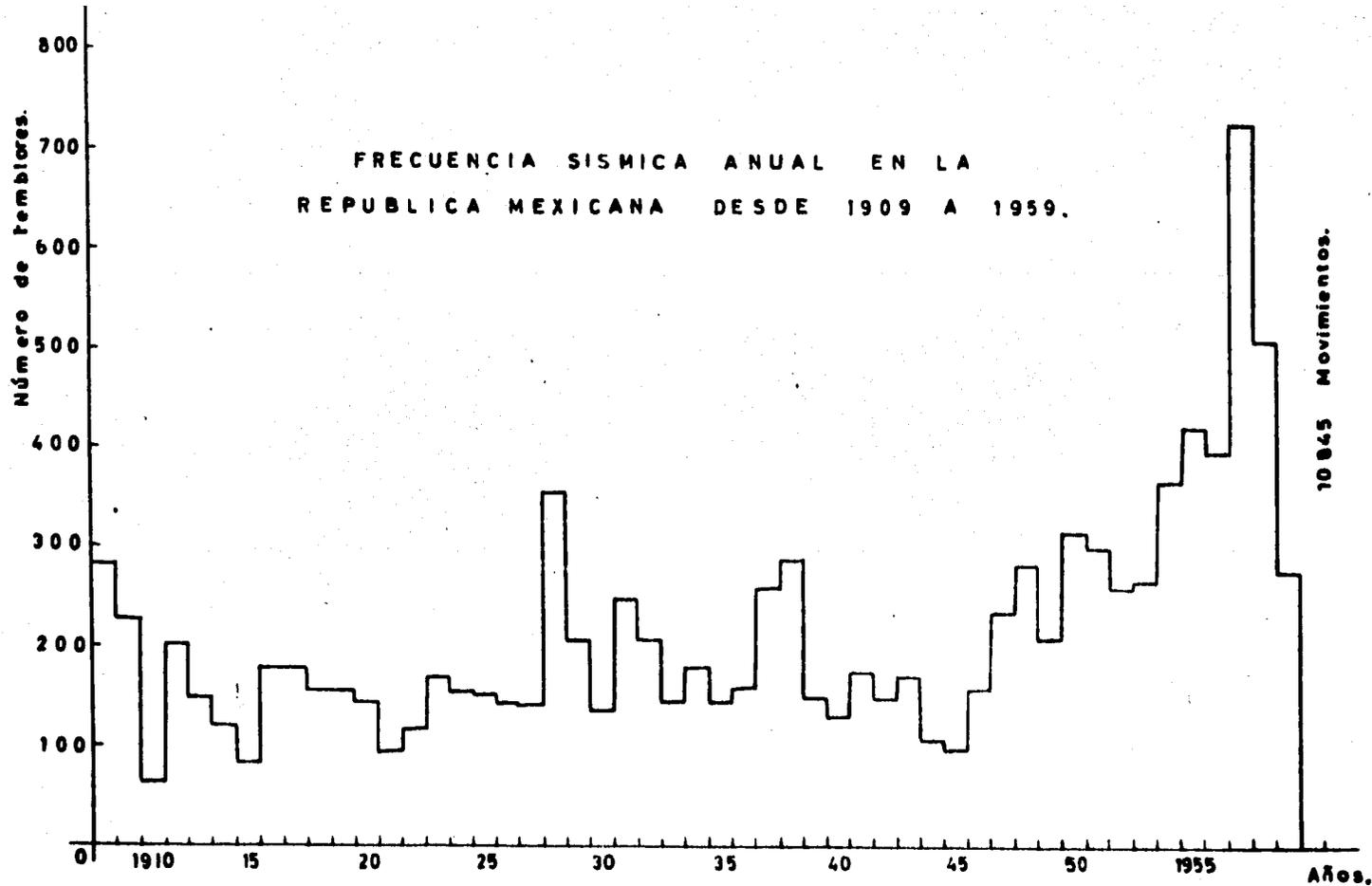


fig. 2.2 Ref. 3

- < 10 Km. D. F., algunas regiones del estado de México, de Tlaxcala, Puebla, Hidalgo y Jalisco.
- > 10 < 50 km. Región fronteriza entre Baja California y E. U., - Golfo de California, Costas del Pacífico, frente a las costas de Veracruz y regiones colindantes al Eje Volcánico.
- > 50 < 100 km. Abajo del paralelo 20, a todo lo largo del centro del país hasta el Istmo de Tehuantepec frente a las costas de Chiapas.
- > 100 < 300 km. En el estado de Chiapas.

2.4) INTENSIDAD.- En concordancia con la elevada frecuencia y la gran extensión de las zonas activas del país, la intensidad de los movimientos ha sido en ocasiones elevada.

Los grados de intensidad asignados a los movimientos en el Territorio Nacional, se basan en la escala de Mercalli Modificada, y se trazan con esto mapas de isosistas (curvas que unen puntos de igual intensidad), con los que se va obteniendo una información complementaria respecto a condiciones geológicas de regiones afectadas.

2.5) MAGNITUD.- Se ha determinado de acuerdo a la escala de Richter cuando la claridad de los registros lo permite y la importancia de los fenómenos lo amerita.

2.6) CUENCA DEL VALLE DE MEXICO.- Hay que hacer resaltar la importancia de los sismos en el Valle de México, ya que están ligados a fenómenos locales que afectan mucho a la Capital

de la República.

En la fig. 2.3 se muestran los epicentros localizados con datos obtenidos en Tacubaya, de los cuales hay que hacer dos advertencias:

1) Se obtuvieron con los registros de los sismos más claros que determinan el origen de las perturbaciones, pero en realidad, la frecuencia sísmica es tan elevada en la Cuenca, que muchos otros epicentros aunque dudosos podrían quedar diseminados en esta área.

2) La localización de este tipo de movimientos con los registros obtenidos en una sola estación, son inciertos, pero su distribución ha confirmado las zonas en que los efectos se han manifestado en forma notable.

En general, este tipo de fenómenos locales se caracterizan por un periodo corto, que raramente excede de 0.5 seg., registrados en sismógrafos cuyo periodo propio y amplificación quedan dentro de los indicados para el Wiechert de 17 toneladas, instalado en Tacubaya.

La duración de las inscripciones raramente es superior a 5 seg.. El radio de perceptibilidad alcanza lugares alejados del lugar de origen, donde, aún siendo fuertes los sismos, son también de corta duración, casi instantáneos, causando muchas veces alarma a las personas, animales domésticos y ocasionalmente daños materiales.

En los últimos años la frecuencia sísmica se ha hecho mayor, para conocerla en una forma más exacta se han computado los sismogramas registrados en la estación de Tacubaya desde 1909 hasta 1968, obteniéndose un total de 21,705 movimientos

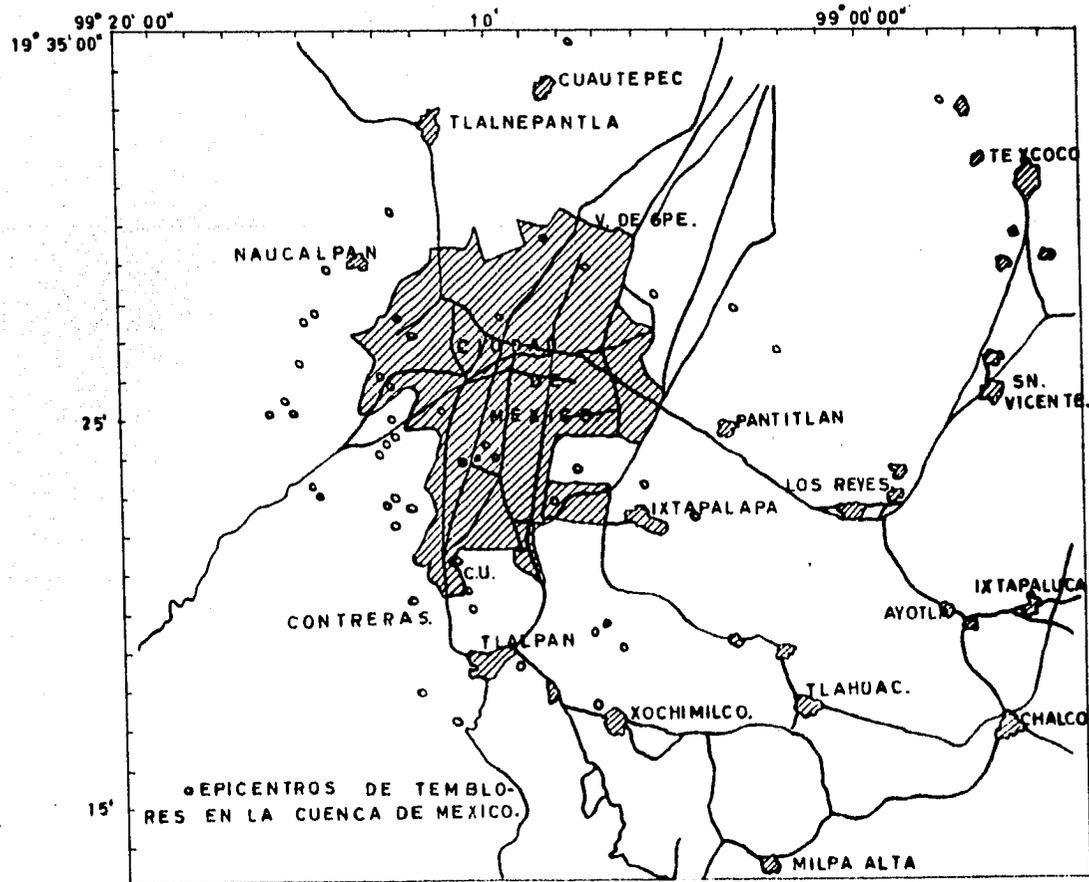


fig. 2.3

Ref. 4

y a la vez la gráfica de la fig. 2.4

Hay que considerar también los macrosismos que se han sentido en la Ciudad de México, originados muchas veces a distancias epicentrales mayores de 300 km., y que han revelado sus efectos en forma notable causando destrucción considerable sobre todo en las partes edificadas de la ciudad sobre terrenos blandos o de poca constitución geológica y elevado porcentaje de humedad.

De acuerdo a las intensidades asignadas a la Cuenca del Valle de México, es importante hacer notar lo siguiente:

a) Los daños mayores corresponden a zonas de transición.

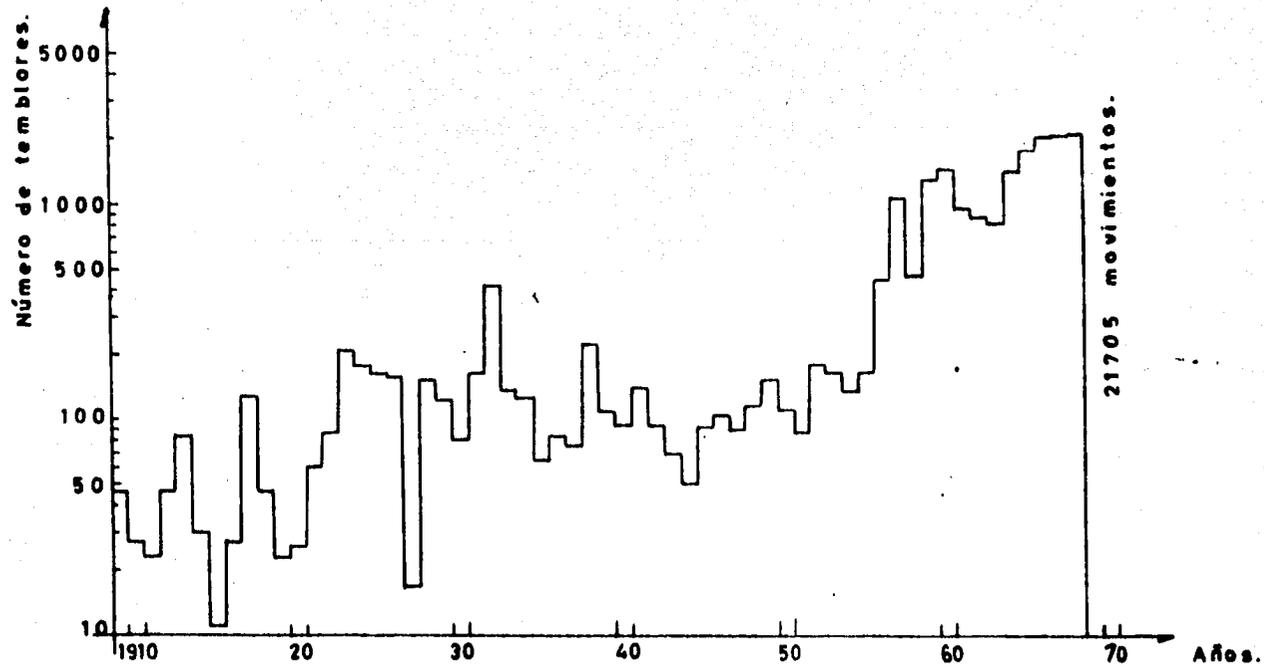
b) Las intensidades son más altas en estas zonas cuando las ondas S o L, medidas en el sismograma del Wiechert, tienen un periodo de un segundo o más. Cuando tal periodo disminuye, aunque la distancia epicentral sea menos larga, la intensidad se reduce.

c) No es extraño que sean más ampliamente sentidos en zonas altas los macrosismos originados fuera de la cuenca cuyas ondas S (transversales) tengan periodos abajo de un segundo.

En las tablas 2.1 y 2.2 muestro una relación de los macrosismos originados en la Cuenca del Valle de México y en otras zonas de la República.

## 2.7) LUGARES QUE CUENTAN CON INSTRUMENTACION SISMICA EN EL DISTRITO FEDERAL.-

a) Instalaciones particulares.- las mejores son las que se encuentran en el edificio de la Torre Latinoamericana, constan de un acelerógrafo en el sótano, deformómetros en la planta ba-



FRECUENCIA SISMICA ANUAL EN LA CUENCA  
DEL VALLE DE MEXICO DESDE 1909 A 1968.

fig. 2.4 Ref. 4

Grado, según la escala de Mercalli modificada, 1931									
Fecha	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Observaciones	
	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	
1460							1		
1462							1		
1469							1		
1474							1		
1475							1		
1480							1		
1489							1		
1495							1		
1496							1		
1507							1		
1512							1		
1513							1		
1537							1		
1538							1		
1539							1		
1542 03 17							1		
1611 02 11							1		
1611 06 10							1		
1611 08 25							1		Considerado como uno de los más fuertes en América
1619 02 13							1		
1655 11 25				1					
1663 02 05				1					17 repeticiones en cinco días
1665 12 30					1				
1667 07 30					1				
1668 02 11						1			Larga duración
1669 07 23						1			Violento
1678 05 01						1			
1681 03 19						1			
1681 06 23							3		
1682 03 19							1		Destructor en Oaxaca y daños en México, D. F.
1682 05 17					1				
1685 09 14					1				
1685 09 15					1				
1692 06 08						1			
1695 08 24							1		Fuerte en Puebla y Tlaxcala
1695 08 25					1				
1696 08 23						1			
1697 02 25							1		Destructor en Acapulco
1697 02 25							1		Repetición
1698 09 03						1			
1701 12 21					1				Daños en Oaxaca
1703 11 24						1			3 muertos en el D. F.
1711 08 16							1		En Colima y Guadalajara, 6 muertos. Destructor en Puebla, sentido en Oaxaca y Veracruz
1721 11 26				1					
1727 03 10					1				
1731 11 07					1				
1731 11 15					1				Un muerto
1735 03						1			Muy fuerte en Tlalpapalua
1735 05 04					1				
1735 05 30						1			Un muerto y varios heridos en México, D.F. al caer una casa vieja
1735 05 31	1								
1739 06 25				1					
1739 26 26					1				Fuerte en Colima y Guadalupe
1740 08 25					1				Destructor en Oaxaca
1748 03 23					1				
1749					1				Destructor en Jalisco y Colima
1750					1				Destructor en Jalisco y Colima
1753 06 29					1				Destructor y tsunami en Acapulco, derrumbes en Mochitlán
1753 06 30				1					
1753 07 01					1				
1753 07 21					1				
1753 07 21	1								
1754 03 29					1				Tsunami en Acapulco
1754 03 29					1				11 muertos
1754 08 30					1				
1754 09 01					1				Daños y tsunami en Acapulco
1754 09 01					3				
1771 03 10						1			Muy fuerte en Guadalajara y Colima. Sentido en Michoacán y Guerrero
1776 04 21						3			Fuertes en Guerrero, Michoacán y Oaxaca, 8 repeticiones
1778 04 26									

Grado, según la escala de Mercalli modificada, 1931									
Fecha	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Observaciones	
	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	
1784 03 28							1		Tsunami en Acapulco
1784 03 28							1		Subió el mar 12 pies
1787 03 28							1		Tsunami en Acapulco. Muchos muertos y heridos
1789 07 06							1		Fuerte en Colima
1795 05 23							1		Destructor en Oaxaca
1800 03 08							1		Grietas y daños en cañerías y arquerías en Chapultepec
1801 10 05								1	Derrumbes en los cerros en Oaxaca, murieron 7 personas; heridos, 80, brotaron manantiales
1806 03 25								1	Dos mil muertos, numerosos heridos en Zapotlán el Grande; daños en Guadalajara; abarcó gran extensión de México
1815 05 03							1		
1818 05 31								1	Daños en Zapotlán el Grande, Guadalajara, Colima, gran extensión
1820 05 04								1	Daños en un acueducto y edificios en México, D.F.; destructor y tsunami en Acapulco, derrumbes en Mochitlán
1833 12 04								1	Muchas repeticiones
1837 11 22								1	Daños en arquerías y edificios en el D. F.
1845 03 03								1	
1845 03 09								1	Grandes daños en Xochimilco y Tlalpan
1845 04 07								1	Destructor en Petatlán, Gro. y en el D. F., especialmente en Tlalpan, gran destrucción en Xochimilco
1847 06 19								1	
1848 05 31								1	Daños en Guadalajara
1852 12 04								1	
1854 05 05								1	
1855 02 01								1	
1857 08 19								1	
1858 06 19								1	Destructor en Páezano, Zamora, Morelia, Texaco, daños y grietas en el terreno, y aumento de agua en pozos en la ciudad de México
1864 10 03								1	Puebla, Acapulco, Tehuacán, Santa Ana y Oaxaca dañados 20 muertos
1866 01 02								1	Daños en Tehuacan y Orizaba
1868 05 22								1	
1868 08 12								1	Tsunami en Acapulco
1870 05 11								3	Daños considerables en poblaciones de Oaxaca, incluyendo Pochutla y Puerto Ángel 27 personas muertas
1870 05 27								1	
1872 03 27								1	Destructor en Oaxaca. En esta fecha hizo erupción el volcán de Colima
1873 01 03								1	
1874 03 16								1	
1874 11 19								1	
1875 03 09								1	
1879 01 28								1	
1882 02 07								1	
1882 07 19								1	Destructor en varias poblaciones de los estados de Puebla, Oaxaca y ciudad de México. En total, 7 muertos y 10 heridos
1887 05 29								1	
1897 06 24								1	
1899 11 02								1	
1899 08 04								1	
1897 06 05								1	
1899 01 24								1	

Fecha	Grado, según la escala de Mercalli modificada (1963)									Observaciones
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX			
	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	
1900 01 19			1							Destructor en Colima. Bruto en manantales en Tabasco. Explosivos en Guadalupe.
1902 01 16			1							Doq muertos, 2 heridos en Guerrero.
1902 04 18				1						
1902 09 23		1								Destructor en el estado de Chiapas.
1904 01 09			1							
1905 05 09		1								
1907 04 14				1						Destructor en San Marcos Ayula. Daños en el D. F., 28 muertos y 120 heridos.
1908 03 26				1						Destructor en Guerrero.
1909 05 05			1							
1909 07 30						1				Daños en el D. F., Acapulco y otras poblaciones de Guerrero fueron afectadas.
1909 07 31					1					Daños en Guerrero.
1909 09 05				1						Daños en Ayula, Gro.
1909 09 23		1								
1909 10 31			1							Daños en Tecpan, Gro.
1910 05 12		1								
1910 05 31				1						Daños en Ayutla y San Marcos.
1911 02 03				1						Daños en Petatlán, Gro.
1911 03 08		1								
1911 06 07						1				Destructor en Cd. Guzmán, Jalisco. Daños considerables en México, D. F., donde se flexionaron vías férreas. 91 muertos, 301 heridos en total en las zonas afectadas.
1911 08 27		1								Daños en Oaxaca.
1911 12 16				1						Daños en Acapulco.
1912 01 31		1								
1912 02 03	3									Como explosiones.
1912 05 08		1								Daños en Guadalupe.
1912 11 19				1						Destructor en Acambay, Taximadeje, Mex. Falla de Acambay.
1913 06 14	1									
1913 10 27	1									
1914 03 08	1									
1914 03 24	1									
1914 08 08	1									
1918 06 28	1									
1919 04 17	1									
1919 04 18	1									
1920 01 03			1							Destructor Pathnalá y Chilchota, Pue. Cosatlán, Ver. Falla de Oxochuacan.
1920 04 19				1						Fuerte en Puebla y Veracruz.
1921 02 04		1								
1921 02 04	1									Muy rápido.
1921 11 01				1						
1922 09 19			1							
1922 12 01			1							
1922 12 03	1									
1923 02 07	1									
1923 02 08	1									
1924 04 21	1									
1925 02 01	1									
1925 07 07	1									
1925 08 08		1								
1925 11 16					1					Muy fuerte en las costas del Pacífico.
1925 12 27	1									
1927 01 18	1									
1927 04 27	1									
1927 05 09	1									Destructor en Chiapas.
1928 01 01	1									
1928 01 06	1									
1928 01 25	1									
1928 02 09					1					Daños en Puebla y Morelos.
1928 03 11					1					Destructor en Oaxaca.
1928 04 13	1									
1928 04 16				1						Daños en Cuicatlan y Tomelín.
1928 06 17		1			1					Destructor en Oaxaca.
1928 08 04				1						Destructor en Oaxaca.
1928 08 04	14		2							
1929 08 04	4									
1930 08 04	5									
1931 01 14					1					Destructor en Oaxaca.
1931 01 14	4	1								

Fecha	Grado, según la escala de Mercalli modificada (1963)									Observaciones
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX			
	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	
1932 01 14			1							
1932 06 03				1						
1932 06 18										
1932 06 22						1				El tsunami provocado por este temblor invadió a Cuyutlán.
1932 06 25					1					
1932 07 12		1								
1932 07 25				1						
1932 11 12	2	28	6	4						Inconstante enjambre local con distancias hasta de 15 km se sintieron en México, D. F. de mayo a noviembre, con mayor frecuencia en junio de 1932.
1933		3			1					
1933	12	1			1					
1934 01 28					1					Fuerte en Zitácuaro, Morelos y Tlaxcala.
1934 05 02		1								Fuerte en Acapulco.
1934 06 30		1								Fuerte en San Marcos.
1934 07 16				1						Fuerte en Oaxaca, Puebla y Veracruz.
1934 12 24		1								
1935 02 20		1								
1935 06 29		1								Fuerte en Colima, Guadalajara y Morelia.
1935 09 11		1								
1935 09 24		1								
1935 12 14		1								Muy fuerte en Chiapas. Daños en Tuxtla Gutiérrez.
1936 08 03		1								Sentido fuerte en Zongolica.
1936 08 04		1								
1936 09 02		1								
1936 12 29		1								Sentidown Villa Obregón.
1937 01 02		1								Fuerte en Manzanillo e Ixtián.
1937		6	3	2						
1937		7	7							Sentidos en Tacubaya.
1937 07 26					1					Destructor en Esperanza, Puebla y Veracruz.
1937 12 23					1					Destructor en Ometepe.
1937 12 25					1					Destructor en Ometepe.
1938 01 02						1				Destructor en Ometepe.
1938 06 28		1								Daños en Teloloapan.
1938		14	2							
1938		52	2							Sentidos en Villa Obregón, Tlalpan, Coyoacán y Xochimilco.
1939		8								
1940		6								
1940		8	1							
1941		12								
1941 04 15					1					Destructor en Colima y Coahuila. Fuerte en Michoacán y Jalisco.
1941		3								
1942		13								
1942 11 11				1						Intensidad VIII en Juchitán.
1942 11 24				1						Intensidad VIII en Cacahuatpec y Ometepe.
1942		15								
1943		4								
1943 02 20				1						Nacimiento del volcán Parícutín.
1943				2						
1943 02 27						1				Destructor en Guerrero. Daños en el D. F.
1943		5	4							

Fecha	Grado, según la escala de Mercalli modificada, 1931										Observaciones				
	III		IV		V		VI		VII			VIII		IX	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		A	B	A	B
1943 05 11								1							
1944 01 10								1							Daños en Tepic y Atzac.
1944		6													
1944		4													
1945		7													
1945		1	1												
1946		14		1											
1946		6	3		1										
1947		14		3											
1947		4		1											El del grado IV en Col. Mercedes Gomez, D. F.
1948			7		3										
1948 12 03								1							Destructor en Islas Marias Daños en Mexico, D. F.
1948		9		4											
1949			12		2										
1949		8													
1949 11 20					1										
1949 12 21					1										
1950			11												
1950 03 10							1								
1950 10 24					1										
1950 12 14							1								
1950		31													Sentidos en Mixcoac y Tacubaya
1950 07 26							1								
1950 12 23							1								
1951		3		4											Sentido en Tacubaya Algunos daños materiales en Ixtapalapa
1951 06 18					1										
1951 08 13					1										
1952			4		2										
1952 04 28							1								
1952 06 29							2								
1952		14													
1952 08 11					1										
1952 12 04							1								
								2							Explosiones seguidas en el mismo arsenal. Pérdidas materiales importantes en el arsenal, menores en las inmediaciones
1953		5		4											
1954		8		3											
1954 02 19					1										
1954 05 13					1										
1955			8												Fuertes en Uruapan Fuerte en San Carlos Yautepac
1956			2												
1956 01 08					5										
1956 02 02							1								
1956															Daños materiales y varios heridos en Acapulco
1956 02 04							1								
															Col. Hipódromo, San Miguel Chapultepec y Observatorio
1956 06 06							1								
1956 07 21					9										
															Repetición del anterior Localizados y sentidos muy fuertes en falla próxima a que en México, D. F.
1956 10 24							1								
1956 04 11							1								
1957		19		7		8									Lomas de Chapultepec Destructor Islas de Tabasco
1957 07 28								1							Destructor en Coahuila. Con algunos daños en el D. F. Heridos y heridos principal mente en San María.
1957			2												
1958			11		6										

Fecha	Grado, según la escala de Mercalli modificada, 1931										Observaciones				
	III		IV		V		VI		VII			VIII		IX	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		A	B	A	B
1958 03 03								1							Daños en varios edificios en solo una manzana en las calles de San Antonio, Av. Avila Camacho, Carolina y Rodin. Sentido en Tacubaya, Col. del Valle, Mixcoac y San Pedro de los Pinos
1958 11 10								2							Col. San Miguel Chapultepec, Ciudad Universitaria, Col. del Valle, Juárez y Sta. María
1958 11 18								2							
1959								2							
1959 01 28								1							Col. del Valle
1959 05 24															Destructor en el estado de Oaxaca Fuerte en el centro y sureste de México Daños y gran alarma en Santa Cruz Ayotlaxco
1959 08 12															Destructor en Jáltipan, Coahuila y otras poblaciones de Veracruz. 20 muertos y muchos heridos
1959 08 26								1							
1959								4							En Santa Cruz Ayotlaxco
1959		31													Sentidos en Mixcoac, San Pedro de los Pinos y Chapultepec
1959		178													Sentidos en Paseo de las Palmas, Sierra Mojada y Av. del Castillo, D. F. Epicentro 18° 25' 31" N, 99° 12' 58" W
1960								1		1					
1960 01 04										1					Daños en la casa No. 365 de calle de Alpes, Lomas de Chapultepec
1960 01 06										1					Casas cuarteadas en Contadero y Cuajimalpa
1960 06 27														3	Contadero, Cuajimalpa, Sta. Fe, alarma
1960 07 13										1					Fuerte, región Istmo de Tehuantepec
1960 10 23										1					
1960 11 28										1					
1960								20							Sentidos en Mixcoac
1961 01 15								1							Región del bajo Rio Balsas Repetición del anterior
1961 03 25										1		1			Se inició fuerte actividad sísmica en Acapulco, D. F.
1961 09 24										1					Chilpancingo
1961 12 02										1					
1961 12 10														1	Algunos daños y alarma en la Col. Marte, D. F.
1961		80		4		2									Los movimientos registrados instrumentalmente fueron numerosos y, como los aquí consignados, causaron alarma y daños
1962 05 11														1	Destructor en Acapulco y daños en el D. F.
1962 05 19														1	Igual que el anterior
1962 11 17										1					Sentidos en las partes bajas de la ciudad de México
1962 11 30														1	Fuerte en Guerrero
1962								1							
1962								4		2					En Ixtapalapa
1964 06 14										1					Daños ligeros en Ixtapalapa
1964 06 15										1					Daños ligeros en Ixtapalapa
1964 07 06														1	Destructor en Coyula y Ciudad Altamirano. Daños en el D. F.
1964 08 27										1					Sentido en el centro de la ciudad de México, D. F.
1964															
1965 03 01														1	En San Ángel y Ciudad Universitaria

Grado, según la escala de Mercalli modificada, 1931								Observaciones
Fecha	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
	A B A R	A B A R	A B A R	A B A R	A B A R	A B A R	A B A R	
1965 08 23					3			Destructor en Oaxaca y daños en el D. F.
1965	16							En varios lugares del D. F.
1965		2						
1965			5					Uno fuerte en Acapulco
1965				2				Fuertes en Acapulco
1965	1	2	1					Sentidos en Eschegaray, D. F.
1966	6	4						
1966	1							Lomas de Chapultepec
	1		1					Col. Irapuato
	2							Ciudad Universitaria
			1					Mexuar
1967		6	2	1				El de grado V en el D. F. Fuerte en Guerrero
	2							En San Ángel
	2							En Ciudad Universitaria
1967	30							Col. Las Águilas
1967		1						Chapultepec Hípólito
1967		1						Ciudad Universitaria
1967		9						Col. Las Águilas
1967			5					Col. Las Águilas
1967			1					Tacubaya, D. F.
1968		5						
1968 02 02				1				Destructor en Guerrero
1968 07 02				1				Fuerte en Acapulco y Chilpancingo. Daños en Cuajimalpa
1968 08 02				1				Destructor en Pinotepa Nacional, Oaxaca y D. F.
1968	3							
1968	2							Tacubaya, D. F.
	2							Ciudad Universitaria
	3							Huipulco
	1							Lomas
		1						Sra. María Riera
		1						Irapuato
1969 07 03								
1969 07 10								
1969	2							
1970	1							
		5						
1971	1							

Tabla 2.2 Ref. 4  
Macrosismos cuyas isosistas muestran los grados de intensidad correspondiente a la Cuenca del Valle de México

Fecha	Magnitud según la escala Richter		Distancia, en km Epicentro Tacubaya	Grado según la escala de Mercalli modificada, 1931
	año	mes		
1845	04	07	7	IX
1858	06	19	7	VIII
1864	10	03	7	VII
1870	05	11	7	VII
1882	07	19	7.5	VIII
1897	06	05	7	VII
1902	01	16	7	VI
1902	09	23	7.8	V
1908	03	26	7.5	IV
1909	07	30	7.7	VI
1909	07	31	7	VII
1909	09	05	6.6	VI
1909	10	31	7	V
1910	05	31	6.5	V
1911	02	03	7.25	V
1911	06	07	8	V
1911	08	27	6.7	VIII
1911	12	16	7	IV
1912	11	19	7.8	V
1920	01	03	7.8	V
1928	02	09	7.7	IV
1928	03	21	7.5	VI
1928	04	16	7.7	VI
1928	06	17	7.5	V
1928	08	04	7.4	VI
1941	04	15	7	V
1956	11	09	6.3	VII
1957	07	28	7.5	IV
1959	05	24	6.8	VII
1959	08	26	6.5	VI
1962	05	11	6.7	IV
1962	05	19	6.5	VII
1962	11	30	6.5	VI
1964	07	06	6.5	IV
1965	08	23	7	VII
1965	12	09	6.8	VI
1968	08	02	6.5	V
				VI

ja y en los pisos 25 y 39; además un sismógrafo mecánico de dos componentes horizontales y baja amplificación en el piso 4º.

b) Instalaciones Universitarias.- principalmente son los institutos de Ingeniería y Geofísica de la UNAM.

Geofísica cuenta con la estación de Tacubaya, que desde 1910 opera con sismógrafos de registro mecánico e inscripción en papel ahumado. En la actualidad cuenta con tres aparatos de componentes horizontales y un sismógrafo vertical Wiechert de 17,000 kg. de masa, periodo de 1.5 seg., amplificación máxima 2,000 veces e instalado en terreno firme. Este es el que mayor información aporta sobre la Ciudad de México.

Ingeniería además de tener aparatos, es el encargado de analizar las gráficas, procesar y publicar los datos.

Originalmente se instalaron acelerógrafos en la Alameda Central y campos de la Ciudad Universitaria. En la actualidad opera con ocho acelerógrafos y tres sismoscopios, instalados en diferentes suelos del D. F., que son:

En la Unidad Nonoalco Tlaltelolco en los edificios Manuel González y Atizapán se encuentran dos acelerógrafos, uno en el sótano y otro en el exterior (en cada uno).

La Alberca Olímpica cuenta con un acelerógrafo y un sismoscopio. En el Palacio de los Deportes también existen un sismoscopio y un acelerógrafo. Dentro de la Ciudad Universitaria en el laboratorio de instrumentación existen dos acelerógrafos y un sismoscopio.

A continuación, en forma sencilla describo dichos aparatos.

Sismógrafo.- Es un instrumento que proporciona un registro continuo del desplazamiento del lugar donde está instalado, su

funcionamiento se basa en la tendencia que tiene un péndulo a permanecer fijo, debido a la inercia de su masa, cuando es excitada su base. El registro que se obtiene se llama sismograma.

**Acelerógrafos.-** Es un instrumento que sirve para registrar las aceleraciones que sufre el terreno bajo un sismo o movimiento brusco. Se basa en un sistema de un grado de libertad fijo al terreno, con una constante de rigidez  $k$  y una de amortiguamiento  $c$ . El registro obtenido se le llama acelerograma.

**Sismoscopios.-** Son instrumentos que sirven para indicar que ha habido un terremoto y además, suministrar datos sobre la hora, intensidad y dirección del mismo.

2.8) **CONCLUSIONES.-** Los datos obtenidos hasta la fecha resultan insuficientes para un adecuado estudio sísmico de la Cuenca del Valle de México, donde, la geología regional y el incesante desarrollo de la población, propician no solo la constante movilidad del suelo y la generación de sismos locales, sino grandes daños en las construcciones, ya que en la mayoría de los casos no se acatan las disposiciones de los reglamentos respectivos al diseñar cualquier estructura.

### 3.-) EL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO.

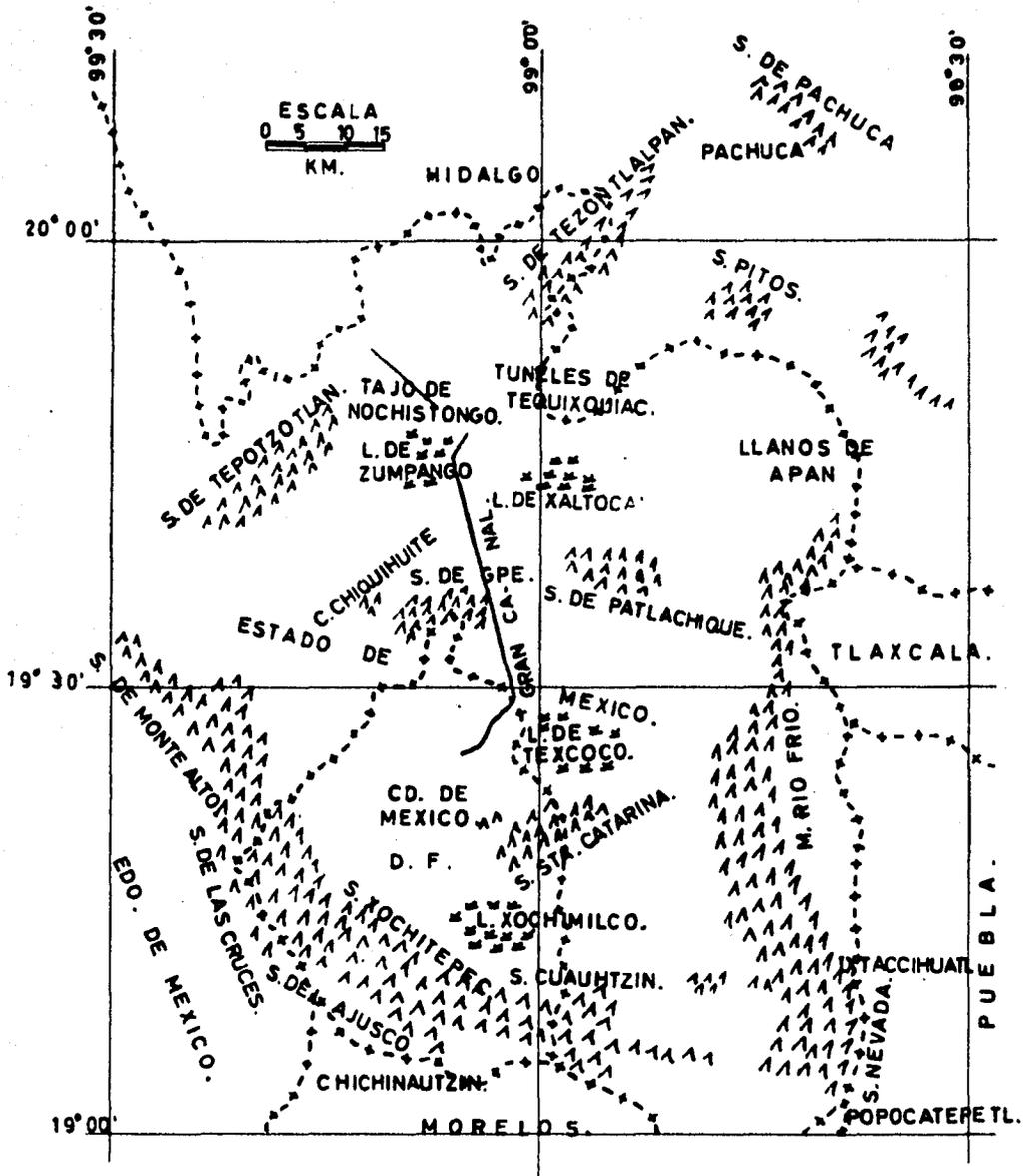
El llamado Valle de México, en cuyo extremo suroeste se encuentra enclavada la Ciudad de México, es una cuenca cerrada por cadenas montañosas: al Norte, las de Tezontlalpan y Pachuca; al Este, las Sierras Nevada, de Rio Frio y de Calpulalpan; al Sur la Sierra de Chichinautzin; al Suroeste la de las Cruces; al Oeste la Sierra de Monte Alto y al Noroeste la de Tepozotlán.

En la actualidad tiene cauces artificiales de salida de las aguas superficiales, que son el Tajo de Nochistongo, los Túneles de Tequisquiac y el Emisor profundo que esta en construcción. Ver fig. 3.1

3.1) EL VALLE DE MEXICO.- Sus dimensiones son aproximadamente 135 km. de longitud por 86 km. de anchura, se formó en lo que otros tiempos fuera un lago, o mejor dicho, una cuenca, ya que tenía salida de sus aguas.

Aquí se fueron depositando paulativamente tierra, producto de la erosión de las regiones andesíticas, cenizas de las erupciones volcánicas y el fino polvo de las tolvaneras.

El resultado de todo esto es un terreno arcilloso, compacto, pero de muy poca resistencia, de naturaleza cavernosa y de una estructura celular. Todo esto, saturado de agua freática, que en algunos casos, se encuentra a profundidades no mayores -



LOCALIZACION GEOGRAFICA  
DEL V. DE MEXICO.

de 1.20 m de la superficie del terreno.

En muchas partes, la resistencia del terreno a soportar - una carga es de 2 a 3 ton/m<sup>2</sup>, aumentando a 5 ó 6 ton/m<sup>2</sup> en lugares donde el terreno ha sido preconsolidado por construcciones antiguas. En los lomeríos es mucho mayor ya que existen brechas pomosas de arcillas ferruginosas, llamadas vulgarmente "tepeta-te" de gran resistencia.

Por la pérdida de agua debida principalmente a la explotación de pozos artesianos, la Ciudad viene sufriendo un hundimiento paulatino pero constante. Por esta razón sobresalen edificios cimentados sobre pilotes que descansan en capas semirresistentes, aunque en algunas ocasiones el mismo terreno los empuja hacia arriba por ser elástico.

Para los sismos, el Reglamento de las Construcciones del D. F., divide el terreno en zonas de alta y baja compresibilidad. Los efectos del temblor son mayores en la zona de alta compresibilidad, ya que las ondas sísmicas en las de baja compresibilidad se propagan más difícilmente ya que se amortiguan más con las masas de suelo firme.

3.2) ESTRATIGRAFIA DEL SUBSUELO.- Los estudios que se han elaborado son muy limitados, existe en la actualidad una carta preliminar, pero tiene muchas lagunas.

De acuerdo a una exploración gravimétrica, se concluye que la roca basal presenta un relieve muy irregular, ya que en algunos puntos de acuerdo a los sondeos, se encuentran a más de mil metros de profundidad y en otros sobre la superficie. Generalmente sobre la roca basal existen depósitos aluviales de dife-

rente origen, integrados principalmente por gravas, arenas y estratos limosos compactados. En la parte menos elevada del Valle, donde los mantos referidos estan cubiertos por formaciones arcillosas, la consistencia del suelo varía de blanda a media, o sea, muy compresibles.

De acuerdo a estudios realizados en relación con el Subsuelo del Valle de México, los investigadores Marzal y Mazari, han zonificado la Ciudad de México en tres amplios grupos.

3.3) ZONIFICACION DE LA CIUDAD DE MEXICO.- De acuerdo a las propiedades de los materiales encontrados en diferentes puntos de la ciudad por medio de sondeos, se ha clasificado el Subsuelo de la Ciudad de México en:

a) Zona de LOMAS.- Se localiza en las faldas de las serranías y lomeríos del Oeste y Suroeste de la Cuenca, además una pequeña zona en el Norte de la Sierra de Guadalupe.

Se caracteriza porque esta formada por terrenos compactos, arenolimosos con alto contenido de grava en algunos casos, y otros por tobas puníferas bien cementadas; en el Sur hay un gran derrame basáltico de El Pedregal.

Aquí se presentan condiciones favorables para cimentar estructuras ya que no existen mantos de arcillas compresibles y por tanto la capacidad de carga es elevada, sin embargo, el hombre ha explotado muchas minas de arena y grava formando con esto cavernas que hacen peligroso el terreno, ya que puede haber asentamientos diferenciales considerables que afecten a las estructuras.

En las laderas de la Sierra de Guadalupe existen depósitos

óolicos de arena fina y uniforme que pueden originar también asentamientos del terreno.

Por tratarse de formaciones heterogéneas y erráticas, es necesario explorar el subsuelo para determinar en forma sencilla y económica las variaciones de compacidad relativa.

b) Zona de TRANSICION.- Se localiza entre las serranías del Poniente y el fondo del Lago de Texcoco, donde las condiciones estratigráficas varían mucho de un punto a otro del área urbanizada. Esta constituida por estratos de suelos arcillosos volcánicos muy compresibles de espesores variables y sin orden estratigráfico bien definido, intercalados con depósitos casi siempre lenticulares de suelos aluviales. Aquí las propiedades mecánicas presentan variaciones importantes tanto en dirección horizontal como en profundidad, por lo que los problemas de capacidad y asentamientos diferenciales pueden ser críticos, sobre todo en construcciones pesadas y extensas.

c) Zona del LAGO.- Se localiza en la parte Central y Oriente de la ciudad, o sea, ocupa la parte del ex-lago de Texcoco. Se caracteriza por tener un subsuelo con grandes espesores de arcillas lacustres de origen volcánico, muy compresibles, de baja resistencia al corte y de contenidos de agua altos. Un corte estratigráfico en esta zona exhibe los siguientes estratos:

- Depósitos areno-arcillosos o limosos, con abundancia de restos arqueológicos o rellenos artificiales hasta de 10 metros de espesor.

- Arcillas volcánicas extraordinariamente compresibles, de varios colores y consistencias que están comprendidas entre blanda y media, intercalados con pequeños mantos o lentes de a-

rena con un espesor de 15 a 32 metros.

- La primera capa dura de aproximadamente 3 m de espesor - se encuentra a una profundidad de 33 m; está constituida por materiales arcillo-arenosos o limo-arcillosos muy compactos.

- Arcillas volcánicas de características semejantes a las de la formación superior, aunque más comprimidas y resistentes. Su espesor varía entre 4 y 14 m.

- Depósitos de arena con grava, separados por estratos de limo o arcilla arenosa.

En algunos lugares se ha encontrado un tercer manto arcilloso compresible a partir de los 65 m.

Lo anterior se puede apreciar en la fig. 3.2, como mencioné anteriormente, las propiedades estratigráficas varían considerablemente en terrenos "vírgenes" y preconsolidados, por este motivo, la zona del Lago se ha dividido en dos sectores, uno - donde estaba construida la Ciudad Azteca, sometido a cargas muy fuertes por la presencia de las pirámides y templos antiguos, y otro, donde está la zona urbana, la cual casi no ha estado sometida a cargas exageradas.

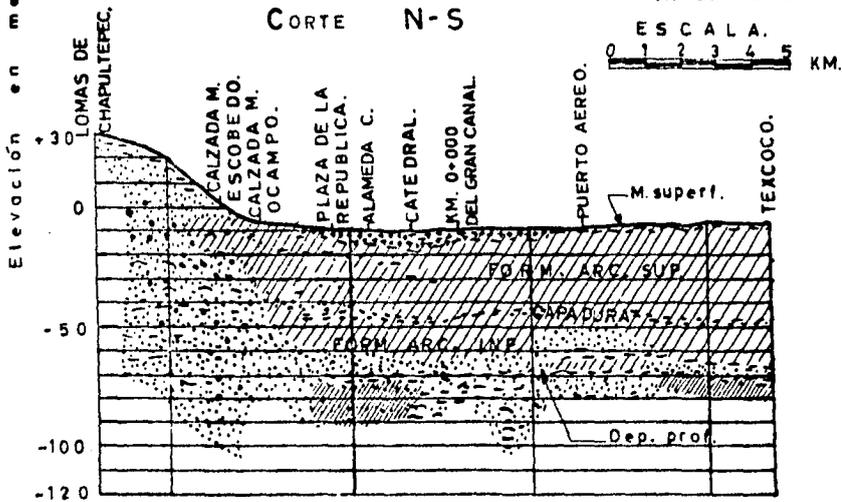
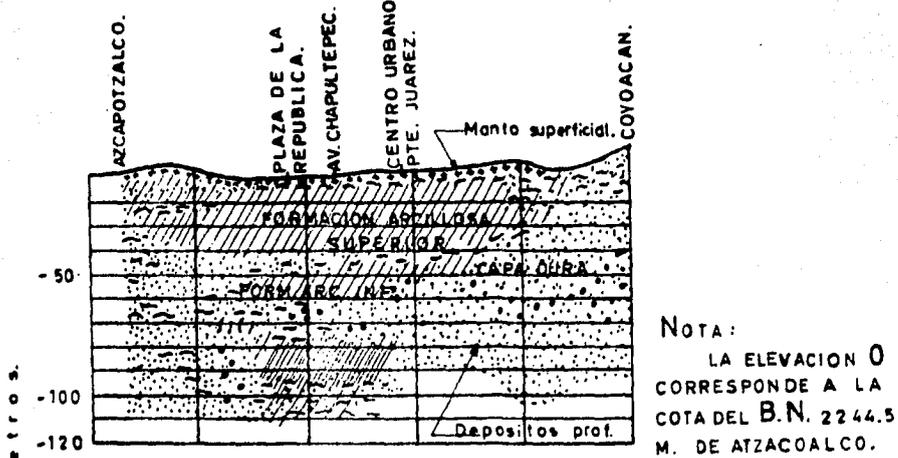
Complementando lo dicho anteriormente muestro los esquemas de las figs. 3.3 y 3.4 .

3.4) CARACTERISTICAS DEL SUBSUELO DE LA CD. DE MEXICO.- Se han hecho un gran número de sondeos en diferentes puntos de la ciudad para tener una idea aproximada de las características - del subsuelo.

En las zonas de transición y del lago se han encontrado - por medio del laboratorio cuatro tipos de suelo: materiales ar-



# CORTES ESTRATIGRAFICOS.



## CORTE W-E

SE INTERSECTAN EN EL M. A COLON.

- Relleno.
- Limo.
- Grava.
- Arcilla
- Arcilla compacta.

fig.3.3 Ref. 7

# ESTRATIGRAFIA DEL VALLE DE MEXICO.

( PERFIL E-W ).

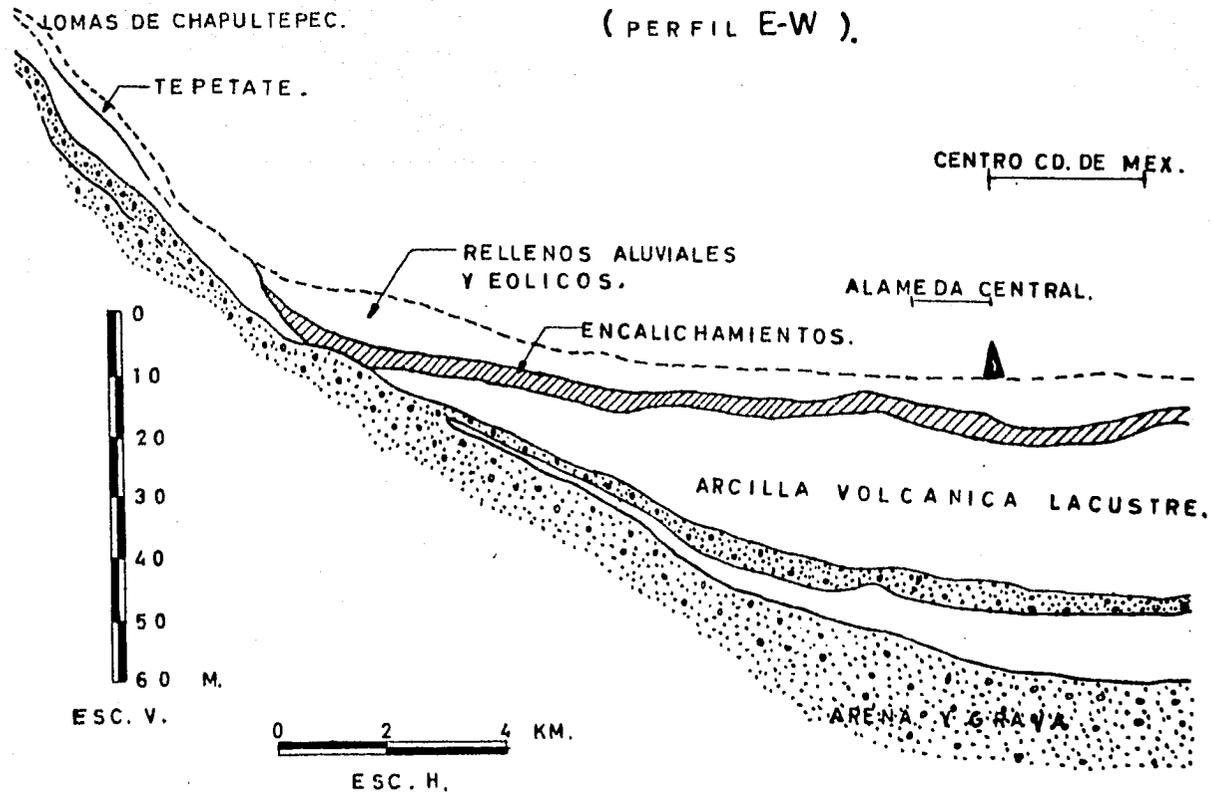


fig. 3.4 Ref. 10

cillosos, limosos, arenosos e intermedios.

Las investigaciones realizadas sobre la variación en el contenido de agua ( $w_i$ ), y los límites líquido (LL) y plástico (LP), demuestran que los materiales arcillosos son erráticos.

El comportamiento del LL es semejante al del  $w_i$ , por lo que se refiere a sus variaciones con la profundidad, erraticidad y orden de magnitud. El LP exhibe variaciones semejantes a las del LL aunque más atenuantes.

Las arcillas de la ciudad no obstante su elevado contenido de agua ( $w_i$ ), son quebradizas. De acuerdo a diferentes estudios tales como análisis térmico y espectrográfico nuclear, así como el intercambio de bases, se ha podido determinar su composición mineralógica, predomina la illita, después la montmorilonita, caolinita, deckita, haloisita y la nontronita.

La variación de la resistencia a la compresión simple ( $q_u$ ) respecto al contenido de agua ( $w_i$ ) solo esta bien definida en muestras del manto arcilloso superior. A los suelos de formación arcillosa inferior, mantos superficiales, capa dura y depósitos profundos no se les puede definir una tendencia.

De acuerdo a la clasificación de suelos mencionada anteriormente se tiene la tabla 3.1, que muestra valores medios, errores estándar y número de determinaciones correspondientes a las propiedades índices de los suelos ensayados.

Las resistencias a la compresión simple ( $q_u$ ) y sus módulos de deformación (M), en los materiales arenosos e intermedios son conservadores, ya que es importante la influencia de la presión normal en dichos valores.

En la tabla 3.2 se dan los resultados de las pruebas de -

TABLA 3.1- VALORES MEDIOS DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE DE LOS SUELOS  
CLASIFICADOS POR SU IDENTIFICACION.

Ref. 7

Propiedad	Valor medio	Error estándar	Determinaciones	Clasificación
Densidad de sólidos, $\rho_s$	2.404	$\pm 0.002$	5808	Materiales arcillosos
	2.443	$\pm 0.004$	940	Materiales limosos
	2.582	$\pm 0.004$	804	Materiales arenosos
	2.474	$\pm 0.002$	3179	Materiales intermedios
Relación de vacíos inicial, $e_i$	7.10	$\pm 0.003$	5283	Materiales arcillosos
	3.41	$\pm 0.06$	756	Materiales limosos
	1.61	$\pm 0.06$	448	Materiales arenosos
	4.56	$\pm 0.05$	2520	Materiales intermedios
Contenido de agua natural, $w_i$ , en %	289.1	$\pm 1.4$	5988	Materiales arcillosos
	131.8	$\pm 2.4$	1009	Materiales limosos
	48.4	$\pm 1.2$	1114	Materiales arenosos
	159.5	$\pm 1.9$	3634	Materiales intermedios
Límite líquido, L.L., en %	295.3	$\pm 1.6$	4544	Materiales arcillosos
	128.5	$\pm 2.5$	696	Materiales limosos
	79.7	$\pm 4.3$	191	Materiales arenosos
	166.8	$\pm 2.3$	2307	Materiales intermedios
Límite plástico, L.P., en %	86.5	$\pm 0.4$	4675	Materiales arcillosos
	59.9	$\pm 0.7$	686	Materiales limosos
	42.4	$\pm 1.1$	186	Materiales arenosos
	61.5	$\pm 0.5$	2338	Materiales intermedios
Índice de plasticidad, Ip	208.7	$\pm 1.3$	4431	Materiales arcillosos
	68.7	$\pm 2.1$	655	Materiales limosos
	40.3	$\pm 3.7$	180	Materiales arenosos
	106.2	$\pm 2.0$	2209	Materiales intermedios
Resistencia a la compresión simple, $q_u$ , en kg/cm <sup>2</sup>	0.82	$\pm 0.01$	4317	Materiales arcillosos
	1.11	$\pm 0.03$	661	Materiales limosos
	1.28	$\pm 0.07$	280	Materiales arenosos
	0.98	$\pm 0.02$	2150	Materiales intermedios
Mod. de defn. $M_v$ , en kg/cm <sup>2</sup>	35.8	$\pm 0.5$	4299	Materiales arcillosos
	52.2	$\pm 2.2$	658	Materiales limosos
	62.5	$\pm 0.5$	279	Materiales arenosos
	47.9	$\pm 1.6$	2141	Materiales intermedios

TABLA 3.2.- VALORES MEDIOS DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONSOLIDACION  
ESTANDAR CLASIFICADOS POR SU IDENTIFICACION. Ref. 7

Propiedad	Valor medio	Error estándar	Determinaciones	Clasificación
Coeficiente de compresibilidad medio en recompresión, $a_{vm}$ , en $cm^2/kg$	0.74	$\pm 0.02$	1172	Materiales arcillosos
	0.17	$\pm 0.01$	109	Materiales limosos
	0.18	$\pm 0.03$	30	Materiales arenosos
	0.50	$\pm 0.03$	413	Materiales intermedios
Coeficiente de compresibilidad en el intervalo de preconsolidación, $a_{vp}$ , en $cm^2/kg$	1.64	$\pm 0.04$	1172	Materiales arcillosos
	0.23	$\pm 0.02$	109	Materiales limosos
	0.23	$\pm 0.06$	30	Materiales arenosos
	0.96	$\pm 0.05$	413	Materiales intermedios
Coeficiente de compresibilidad máximo, $a_{vmáx}$ , en $cm^2/kg$	2.33	$\pm 0.05$	1127	Materiales arcillosos
	0.38	$\pm 0.04$	99	Materiales limosos
	0.36	$\pm 0.08$	24	Materiales arenosos
	1.33	$\pm 0.07$	400	Materiales intermedios
Índice de compresibilidad en la carga, $m_c$ , en $cm^2/kg$	0.480	$\pm 0.003$	1170	Materiales arcillosos
	0.292	$\pm 0.014$	110	Materiales limosos
	0.244	$\pm 0.020$	28	Materiales arenosos
	0.399	$\pm 0.007$	414	Materiales intermedios
Índice de compresibilidad en descarga, $m_d$ , en $cm^2/kg$	0.054	$\pm 0.001$	1164	Materiales arcillosos
	0.030	$\pm 0.001$	110	Materiales limosos
	0.020	$\pm 0.002$	29	Materiales arenosos
	0.043	$\pm 0.001$	410	Materiales intermedios
Carga de preconsolidación, $p_c$ , en $kg/cm^2$	1.44	$\pm 0.02$	1172	Materiales arcillosos
	2.36	$\pm 0.07$	109	Materiales limosos
	2.02	$\pm 0.13$	30	Materiales arenosos
	1.66	$\pm 0.04$	413	Materiales intermedios
Presión media en que $a_v$ es máximo, $p_m$ , en $kg/cm^2$	1.76	$\pm 0.03$	1129	Materiales arcillosos
	2.09	$\pm 0.14$	99	Materiales limosos
	1.54	$\pm 0.28$	24	Materiales arenosos
	1.74	$\pm 0.05$	400	Materiales intermedios
Relación de vacíos en que $a_v$ es máximo, $e_m$	5.95	$\pm 0.06$	1128	Materiales arcillosos
	3.06	$\pm 0.16$	99	Materiales limosos
	2.57	$\pm 0.33$	24	Materiales arenosos
	4.22	$\pm 0.10$	400	Materiales intermedios
Coeficiente de consolidación medio en recompresión, $c_{vm}$ , en $10^{-3} cm^2/seg$	6.64	$\pm 0.20$	1164	Materiales arcillosos
	16.33	$\pm 1.17$	103	Materiales limosos
	15.54	$\pm 2.08$	29	Materiales arenosos
	9.96	$\pm 0.52$	408	Materiales intermedios
Coeficiente de consolidación en el intervalo de preconsolidación, $c_{vp}$ , en $10^{-3} cm^2/seg$	1.50	$\pm 0.10$	1161	Materiales arcillosos
	8.91	$\pm 0.91$	105	Materiales limosos
	11.14	$\pm 1.52$	28	Materiales arenosos
	4.13	$\pm 0.40$	407	Materiales intermedios
Coeficiente de consolidación en el tramo "virgen", $c_{vv}$ , en $10^{-3} cm^2/seg$	0.45	$\pm 0.05$	1148	Materiales arcillosos
	6.68	$\pm 1.00$	105	Materiales limosos
	9.26	$\pm 1.35$	29	Materiales arenosos
	2.24	$\pm 0.23$	406	Materiales intermedios

**TABLA 3.3.- VALORES MEDIOS DE PROPIEDADES MECANICAS DE LOS SUELOS  
COMPRENDIDOS EN LAS FORMACIONES ARCILLOSAS SUPERIOR E  
INFERIOR Ref. 7**

PROPIEDAD	Formación arcillosa superior		Formación arcillosa inferior	
	Valor medio	Error estándar	Valor medio	Error estándar
Contenido de agua natural, $w_i$ , en %	281.2	$\pm 1.3$	191.6	$\pm 2.3$
Densidad de sólidos, $s_s$	2.419	$\pm 0.001$	2.409	$\pm 0.004$
Relación de vacíos inicial, $e_i$	6.90	$\pm 0.03$	4.74	$\pm 0.06$
Límite líquido, LL, en %	289.1	$\pm 1.5$	212.9	$\pm 2.3$
Límite plástico, LP, en %	85.3	$\pm 0.3$	68.8	$\pm 0.6$
Índice de plasticidad, $I_p$	203.9	$\pm 1.3$	142.9	$\pm 2.0$
Resistencia a la compresión simple, $q_u$ , en $\text{kg/cm}^2$	0.73	$\pm 0.01$	1.56	$\pm 0.03$
Módulo de deformación, $M$ , en $\text{kg/cm}^2$	30.7	$\pm 0.3$	67.7	$\pm 1.6$
Coefficiente de compresibilidad medio en recom- presión, $a_{vm}$ , en $\text{cm}^2/\text{kg}$ .	0.745	$\pm 0.019$	0.223	$\pm 0.019$
Coefficiente de compresibilidad en el intervalo de preconsolidación, $a_{vp}$ , en $\text{cm}^2/\text{kg}$	1.621	$\pm 0.035$	0.460	$\pm 0.036$
Coefficiente de compresibilidad máximo, $a_{vmáx}$ , en $\text{cm}^2/\text{kg}$	2.285	$\pm 0.047$	0.662	$\pm 0.047$
Índice de compresibilidad para la carga $m_c$ , en $\text{cm}^2/\text{kg}$	0.470	$\pm 0.003$	0.518	$\pm 0.012$
Índice de compresibilidad para la descarga $m_d$ , en $\text{cm}^2/\text{kg}$	0.053	$\pm 0.0005$	0.044	$\pm 0.0013$
Carga de preconsolidación, $p_c$ , en $\text{kg/cm}^2$	1.37	$\pm 0.02$	2.61	$\pm 0.07$
Presión en que el coeficiente de compresibili- dad es máximo, $p_m$ , en $\text{kg/cm}^2$	1.65	$\pm 0.02$	3.10	$\pm 0.11$
Relación de vacíos en que el coeficiente de compresibilidad es máximo, $e_m$	5.83	$\pm 0.06$	4.12	$\pm 0.13$
Coefficiente de consolidación medio en recom- presión, $c_{vm}$ , en $10^{-3} \text{cm}^2/\text{seg.}$	6.62	$\pm 0.19$	11.19	$\pm 0.63$
Coefficiente de consolidación en el intervalo de preconsolidación, $c_{vp}$ , en $10^{-3} \text{cm}^2/\text{seg.}$	1.61	$\pm 0.10$	3.33	$\pm 0.52$
Coefficiente de consolidación en el tramo virgen $c_{vv}$ , en $10^{-3} \text{cm}^2/\text{seg.}$	0.52	$\pm 0.05$	0.69	$\pm 0.23$

consolidación estándar que son de suma importancia para la predicción de asentamientos diferenciales.

En la tabla 3.3 aparecen los valores medios de las arcillas en las formaciones compresibles superior e inferior.

3.5) CONCLUSIONES.- Es muy importante conocer las propiedades y estratigrafía del subsuelo, no solo de la Ciudad de México, sino del lugar donde se quiera construir, ya que con esto se forma cierto criterio el ingeniero para determinar el tipo de cimentación a prueba de temblores que se necesite en las diversas obras de ingeniería.

Con un estudio previo se podrán calcular los modos de vibrar y la configuración del terreno, las amplitudes del movimiento, o sea, desplazamientos, aceleraciones y esfuerzos cortantes.

El subsuelo de la Ciudad de México es uno de los más complejos dado el origen lacustre de su formación, sin embargo en la actualidad, las cimentaciones a base de pilotes principalmente han solucionado en parte el problema.

#### 4.-) CIMENTACION ASISMICA EN EL DISTRITO FEDERAL.

Como lo mencioné en el Cap. 2, el Distrito Federal se localiza dentro de la zona sísmica, por lo que es necesario hacer estudios minuciosos en la cimentación y en la superestructura de los edificios con el fin de que se puedan absorber con facilidad los movimientos telúricos y así brindar seguridad a sus moradores.

Por medio de métodos aproximados y exactos tales como: del Portal, del Voladizo, de Bowman, del Factor, de Grinter-Tsao, de Kani, de Morris, de Maney-Goldberg, etc., se da a las estructuras cierto grado de seguridad para comportarse satisfactoriamente ante aceleraciones hasta del VIII grado de la escala de Mercalli Modificada, pero para aceleraciones más altas no se diseñan por ser antieconómico.

En mi afán de buscar soluciones a este grave problema, llegué a entrevistarme con el C. Ing. Manuel González Flores, que tiene un sistema novedoso para eliminar los efectos peligrosos que los temblores causan en las estructuras, el cual creo que es una medida eficaz y de fácil aplicación a cualquier sistema de piso, motivo por el cual me hago partícipe de dicho sistema para aplicarlo en mi caso muy particular, al Distrito Federal dadas las irregularidades que presenta su subsuelo. También hago mención de otro sistema tendiente a solucionar el mismo -

problema.

4.1) FUERZA SISMICA EN EDIFICIOS.- Hasta hace cincuenta años aproximadamente, un ingeniero japonés — Naito —, comenzó a diseñar estructuras considerando como fuerzas laterales una fracción del peso de cada elemento del edificio. Fue hasta los primeros años de la década de los treinta, cuando se reconoció el problema como de naturaleza dinámica y se establecieron sus principales variantes.

Diversos autores sentaron sus bases en el análisis dinámico y contribuyeron al desarrollo del concepto "Espectro de respuesta", el cual es una gráfica de máximos valores de respuestas de sistemas de un grado de libertad, como funciones de sus periodos naturales.

Al observar diferentes sismogramas se ha llegado a comparar el movimiento sísmico con un movimiento armónico simple.

En un edificio, la inercia se produce cuando la tierra vibra durante el temblor de un lado a otro, moviendo la cimentación y todo lo que sobre ésta se encuentra, produciendo esfuerzos horizontales que son el resultado del peso de los mismos, y verticales, pero éstos son muy pequeños comparados con los primeros, ya que varían de  $1/10$  a  $1/4$ , por lo cual en la mayoría de las veces se desprecian.

De acuerdo a la segunda ley de Newton, la fuerza que obra sobre las estructuras es:

$$f = m a \quad \text{----- (1)}$$

donde:  $f$  = fuerza.

$m$  = masa.

$a =$  aceleración.

teniendo en cuenta que

$$m = \frac{W}{g}$$

donde:

$W =$  peso de la estructura.

$g =$  aceleración de la gravedad.

entonces

$$f = \frac{W}{g} a \quad \text{----- (2)}$$

lo que permite ver que la intensidad de la fuerza depende exclusivamente de la aceleración.

De acuerdo al movimiento armónico simple, el desplazamiento esta dado por:

$$x = A \cos \theta t \quad \text{---- (3)}$$

donde:

$x =$  desplazamiento.

$A =$  amplitud.

$\theta =$  velocidad angular.

$t =$  tiempo.

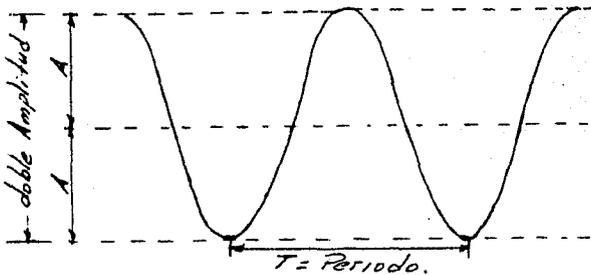


fig. 4.1

derivando la ec. (3) con respecto al tiempo obtengo la velocidad:

$$v = \frac{dx}{dt} = - A \theta \text{ sen } \theta t \quad \text{----- (4)}$$

derivando la ecuación (4) con respecto al tiempo obtengo la aceleración:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = A \theta^2 \cos \theta t \quad \text{----- (5)}$$

siendo máxima para:

$$\cos \theta t = 1$$

por lo que:

$$a = A \theta^2 \quad \text{----- (6)}$$

pero como:

$$\theta = \frac{2\pi}{T}$$

entonces la ec. (6) queda:

$$a = \frac{4\pi^2 A}{T^2} \quad T = \text{periodo.}$$

De ésta fórmula nos damos cuenta que la aceleración varía en función directa a la amplitud del temblor e inversamente al cuadrado del tiempo en segundos, o sea, el periodo de oscilación en que se verifica un circuito completo de doble amplitud.

En el cap. I mencioné que Cancani y Sieberg relacionaron las intensidades con las aceleraciones, lo cual muestro en la tabla 4.1

Para conocer la fuerza que actúa en las estructuras, considero los valores de la tabla 4.1 y los substituyo en la ec. (2):

Consideraré  $g = 10\ 000 \text{ mm/seg}^2$ , en lugar de  $g = 9\ 810 \frac{\text{mm}}{\text{seg}^2}$

$$10.) \quad f = \frac{W}{g} a$$

si  $a = 100 \text{ mm/seg}^2$  que corresponde al grado V de la escala de M. M., obtengo:

$$f = \frac{W}{10000} 100 \quad \text{o sea,} \quad f = 0.01 W$$

20.) si  $a = 1\ 000 \text{ mm/seg}^2$  que corresponde al grado VIII de la escala de M. M., obtengo:

INTENSIDAD		ACELERACION EN $\frac{mm}{seg^2}$ .	
Mercalli Mod.	Rossi-Forel.	Cancani-Sieberg.	Richter.
I	I	5	7
II	I- II	10	13
III	III	25	30
IV	IV	50	70
V	V - VI	100	150
VI	VI - VII	100 - 250	300
VII	VIII	500	700
VIII	VIII - IX	500 - 1 000	1 500
IX	IX	1 000	3 200
X	X	2 500	6 750
XI	X	5 000	15 000
XII	X	10 000	32 000

Tabla 4.1 Comparación de las escalas de Mercalli Modificada (M.M) y Rossi-Forel (R.F.), correlacionadas con la aceleración propuesta por Cancani-Sieberg y la de Richter. Ref. 10

$$f = \frac{W}{10\ 000} \ 1\ 000 \quad \text{o sea, } f = 0.1 W$$

De la primera fuerza se ve que como es muy pequeña se desprecia, o sea, los edificios no necesariamente se calculan para resistir temblores.

De la segunda, como se sabe, la mayoría de las estructuras se diseñan para soportar fuerzas de esa magnitud, o sea, hasta el VIII grado, pero para aceleraciones superiores quedan desprovistas.

Posiblemente en algunos casos el suelo de cimentación sea el que falle al ser sometido a aceleraciones muy intensas y por lo tanto aunque el edificio este muy bien diseñado, sufrirá grandes desperfectos.

De acuerdo a un análisis de sismos, se ve que la amplitud en terrenos rocosos difícilmente pasa de un centímetro aún para temblores del XII grado como los que ocurrieron en Japón en 1887 y en Charleston, E. U. en 1886. En terrenos suaves incluyendo la Ciudad de México, es mayor, más sin embargo, raramente excede de seis centímetros.

Esto quedó demostrado con un experimento que efectuó el Profesor Rogers' en la Universidad de Stanford, en 1907, el cual consistió en poner sobre una mesa vibratoria una capa de arena húmeda un 20% del peso de la misma y con un espesor de 8.7 pulg. de esta manera encontró que la vibración que experimentaba la arena, era el doble que la que ocurría en la mesa. También hace notar que el momento más destructivo de un temblor es cuando la aceleración es máxima, verificándose en los cambios de dirección y originando el chicoteo de los edificios.

#### 4.2) SISTEMA DE SUSTENTACION ASISMICA APLICADO EN EL D. F.

Como la mayoría de las estructuras están empotradas en el terreno, al llegar las ondas sísmicas tienden a quedarse en el lugar que se encuentran debido a la inercia que poseen, mientras que su cimentación trata de seguir la dirección del movimiento, originando así daños en la superestructura.

Lo ideal para evitar esto sería aislar la estructura del terreno y así no habrá elementos estructurales que transmitan los efectos sísmicos.

Como en la realidad esto no se puede lograr, describo a continuación un sistema que disminuye los esfuerzos horizontales transmitidos por el terremoto a las estructuras por medio de unidades antisísmicas. Dicho sistema se basa en el uso de balas o de rodillos, no del todo desconocidos, ya que en la actualidad se usan en los extremos de los puentes.

Como antecedente a esto cito lo publicado en un libro editado por el Sr. John R. Freeman: "...en el año de 1924 el ing. Mario Viscardini, expuso en la revista de Ingeniería de Milán, Italia, la idea de emplear rodillos en dos capas cuatrapeadas, colocándolos en las columnas extremas de la planta baja y dejando todas las columnas centrales sobre apoyos esféricos..."; en esa época la idea no fue muy completa y funcional, pero no dejó de ser interesante.

Las figs. 4.2, 4.3 y 4.4 muestran edificios cimentados normalmente, cuando actúa una fuerza de temblor "F" hacia la derecha, el edificio tiende a flexionarse hacia la izquierda y viceversa; también es de notarse que cuando la aceleración del temblor (versión Sieberg-Cancani), es igual a la aceleración de la

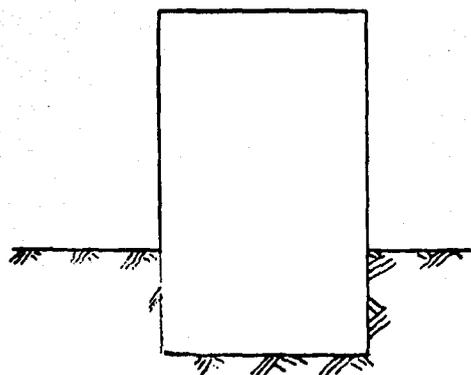


fig. 4.2

EDIFICIOS CON CIMENTACION  
ESTANDAR. Ref. 6

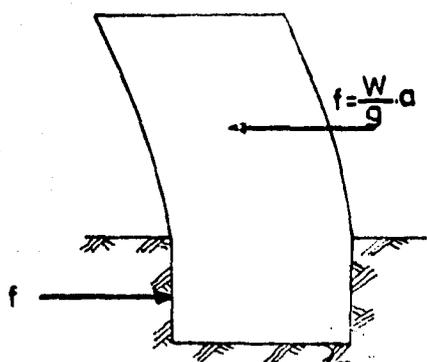


fig. 4.3

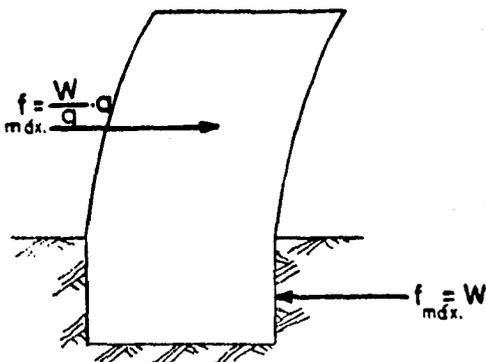


fig. 4.4

gravedad, la fuerza que actúa sobre la estructura es máxima e igual al peso de la misma.

Para separar el edificio del terreno, idealicemos que la estructura se suspende de un gran globo por medio de un cable "b" (fig. 4.5), en este caso, si llegara la fuerza del temblor no lo afectaría porque está aislado completamente.

De esta posición ideal paso a la cual el edificio se apoya en sistemas de rodillos (fig. 4.6), que sería óptimo si no hubiera fricción entre ellos ya que tampoco se movería, sin embargo, en el Instituto de Ingeniería de la UNAM se hicieron pruebas de fricción entre placas de acero y rodillos, encontrándose que varía de  $W/100$  a  $W/200$ , lo cual indica que en caso de haber temblor:

Considerando

$$f = \frac{W}{100} \quad \text{como fuerza máxima horizontal}$$

aplicada al edificio, se tendría según la fórmula (2) :

$$\frac{W}{100} = \frac{W}{g} a \quad \text{si } g = 10\,000 \text{ mm/seg}^2.$$

entonces

$$\frac{W}{100} = \frac{W}{10\,000} a$$

por lo que

$$a = 100 \text{ mm/seg}^2$$

Haciendo lo mismo para

$$f = \frac{W}{200}$$

se obtiene

$$a = 50 \text{ mm/seg}^2.$$

Concluyo que en caso de haber temblor, la fuerza aplicada al edificio sería precisamente ésta que corresponde a aceleraciones inferiores al V grado de la escala de Mercalli Modificada.

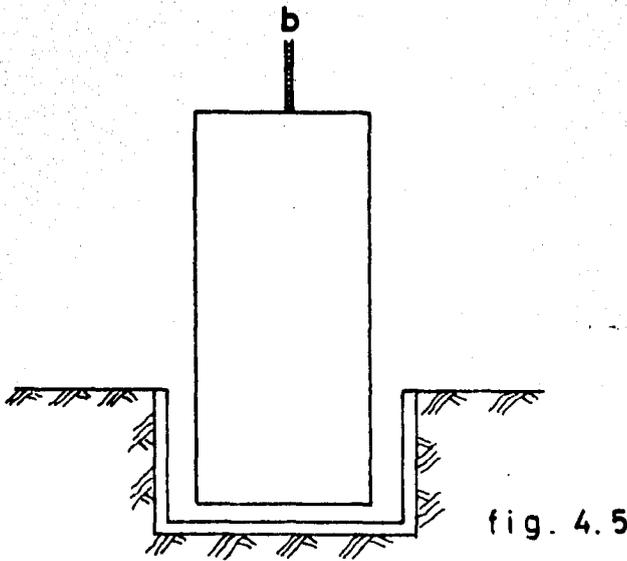


fig. 4.5

EDIFICIOS CON CIMENTACION  
ASISMICA. Ref. 6

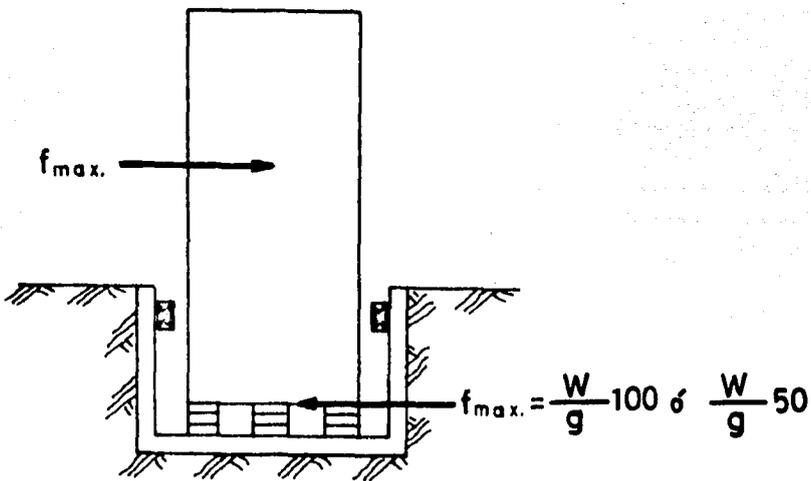


fig. 4.6

da y las estructuras no necesitan diseño especial.

De acuerdo a estos estudios se desarrolló un sistema asísmico que describo a continuación.

4.3) DESCRIPCIÓN DE LA CIMENTACIÓN ASÍSMICA.- Es un conjunto de elementos que se ligan entre sí para formar un sistema; - esta constituido principalmente de tres partes:

a) Losa de cimentación exterior con muros de retención, se asemeja a una caja de concreto abierta hacia arriba.

b) Unidades asísmicas espaciadas de uno a dos metros, conocidas también como amortiguadores de aceleración de temblores o deslizadoras, las cuales pueden ser de varios tipos: rodillos, balas, barrilitos, etc.

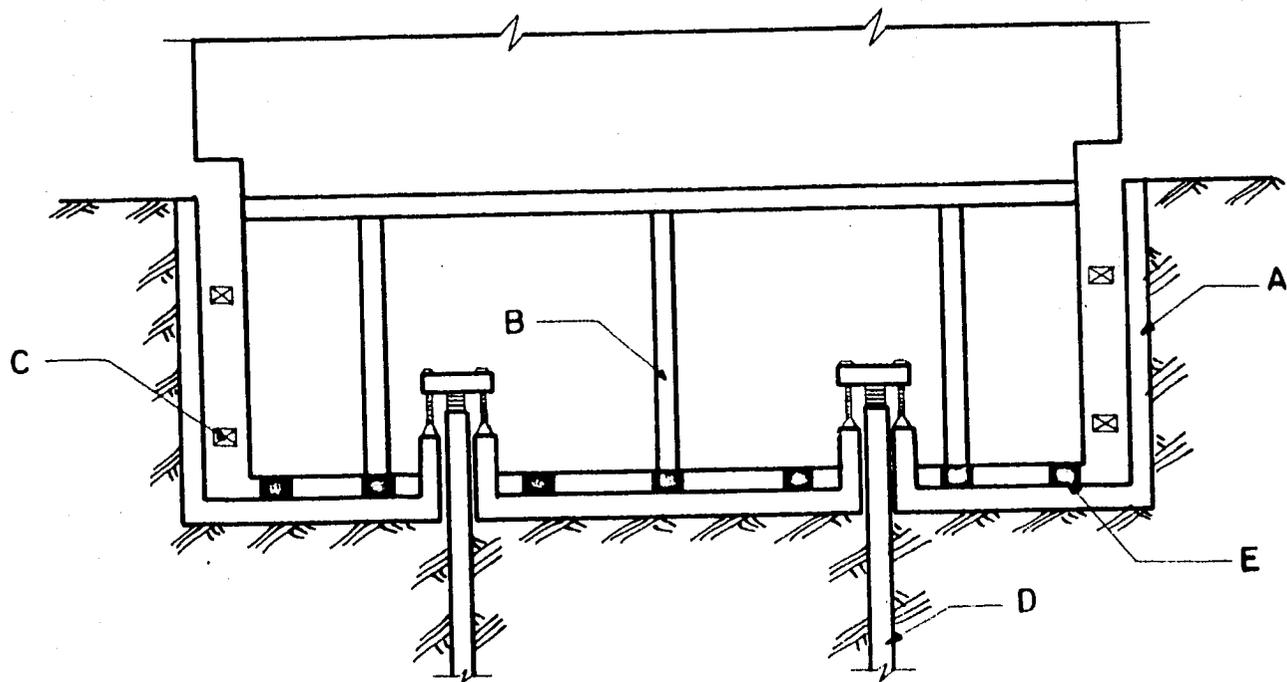
c) Por último el edificio, descansando su carga sobre traveses de cimentación que a su vez van sobre las unidades anti - sísmicas.

No obstante, puede complementarse con el uso de pilotes de control que van colocados en el edificio o en la cimentación exterior. Lo anterior se ilustra en la fig. 4.7

La característica primordial de este tipo de cimentación - es que se colocan dichas partes en el orden que las expliqué.

Uno de los tipos de amortiguadores de aceleración de temblores consiste en tres placas de acero sobrepuestas, en medio de las cuales van dos juegos de rodillos orientados a 90° uno - del otro. La placa inferior va en contacto con la losa exterior y la placa superior con la trabe de cimentación, como se muestra en la fig. 4.8 .

En una aplicación directa de este sistema se utilizaron ba



- A CIMENTACION EXTERIOR.
- B TRABES DE CIMENTACION DEL EDIFICIO.
- C AMORTIGUADORES LATERALES DEL MOVIMIENTO.
- D PILOTES DE CONTROL EN LA LOSA EXTERIOR.
- E AMORTIGUADORES DE ACELERACION DE TEMBLORES.

fig.4.7 Ref. 6

las como elementos deslizantes de la unidad antisísmica, la cual consta principalmente de tres partes: rótula inferior de apoyo, unidad sellada y rótula superior de sustentación, y éstas a su vez de:

- Muesca precolada esférica, aquí descansa la unidad y el peso tributario que le corresponde, además complementa a la rótula inferior.

- Precolado inferior de apoyo, o sea, la base sobre la que descansa la unidad sellada; tiene una concavidad que se inserta en la muesca precolada que va empotrada en la losa de cimentación para hacer el efecto de rótula.

- Charola, contiene los elementos deslizantes y es además la parte inferior de la unidad sellada. Tiene tubos alimentadores de lubricante y una ranura perimetral que complementa el sellado.

- Lubricante, es el que contiene la charola, su función es evitar la corrosión de los elementos deslizantes, además, debe ser muy viscoso.

- Placa circular inferior de apoyo, es la que se coloca sobre la charola para recibir los balines, su dureza debe ser del orden de los 10 000 kg/cm<sup>2</sup>.

- Balas, son las que constituyen el elemento deslizante, su número depende de la carga por soportar al igual que su diámetro.

- Aro metálico, es el que contiene a las balas evitando su disgregación, pero permite su desplazamiento libremente, su altura es mayor que el radio pero menor que el diámetro de las balas para evitar que brinquen o que roce con la placa superior.

- Placa circular superior de sustentación, es de menor diámetro que la inferior con el objeto de quedar alojada siempre - en el perímetro de balas en las que se apoya y a su vez permitir desplazamientos hasta de 10 cm. a ambos lados.

- Bloque cilíndrico de concreto, se apoya en la placa anterior, su objeto es sellar la unidad protegiéndola de agentes externos con una ranura que tiene y de la cual nace una cubierta de hule, su finalidad es básicamente transmitir la carga a las - balas.

- Cubierta de hule, complementa el sello, tiene pliegues - que permiten un muelleo para dar la movilidad deseada.

- Cilíndro de acero, es un implemento que rodea al hule - dando un sello hermético que evita la fuga del lubricante con - algún movimiento brusco.

- Celda de deformación, es un prisma de madera renovable - que va sobre el cilindro de concreto y cuya función es:

a) Amortiguar cargas y movimientos verticales.

b) Determinar la condición de carga, o sea, indicar si la unidad no trabaja por hundimiento de la cimentación, estar sobrecargada o trabajar perfectamente.

c) Remover la unidad por medio de un gato hidráulico.

- Tapa precolada de concreto, va sobre la celda de deformación y sirve de sustentación a la estructura para dar la condición de rótula requerida.

- Precolado superior de sustentación, es una placa que queda ahogada en la trabe de cimentación, contiene la muesca cóncava que complementa la condición superior de rótula.

Lo anterior se ilustra en la fig. 4.9

# UNIDAD ANTISISMICA

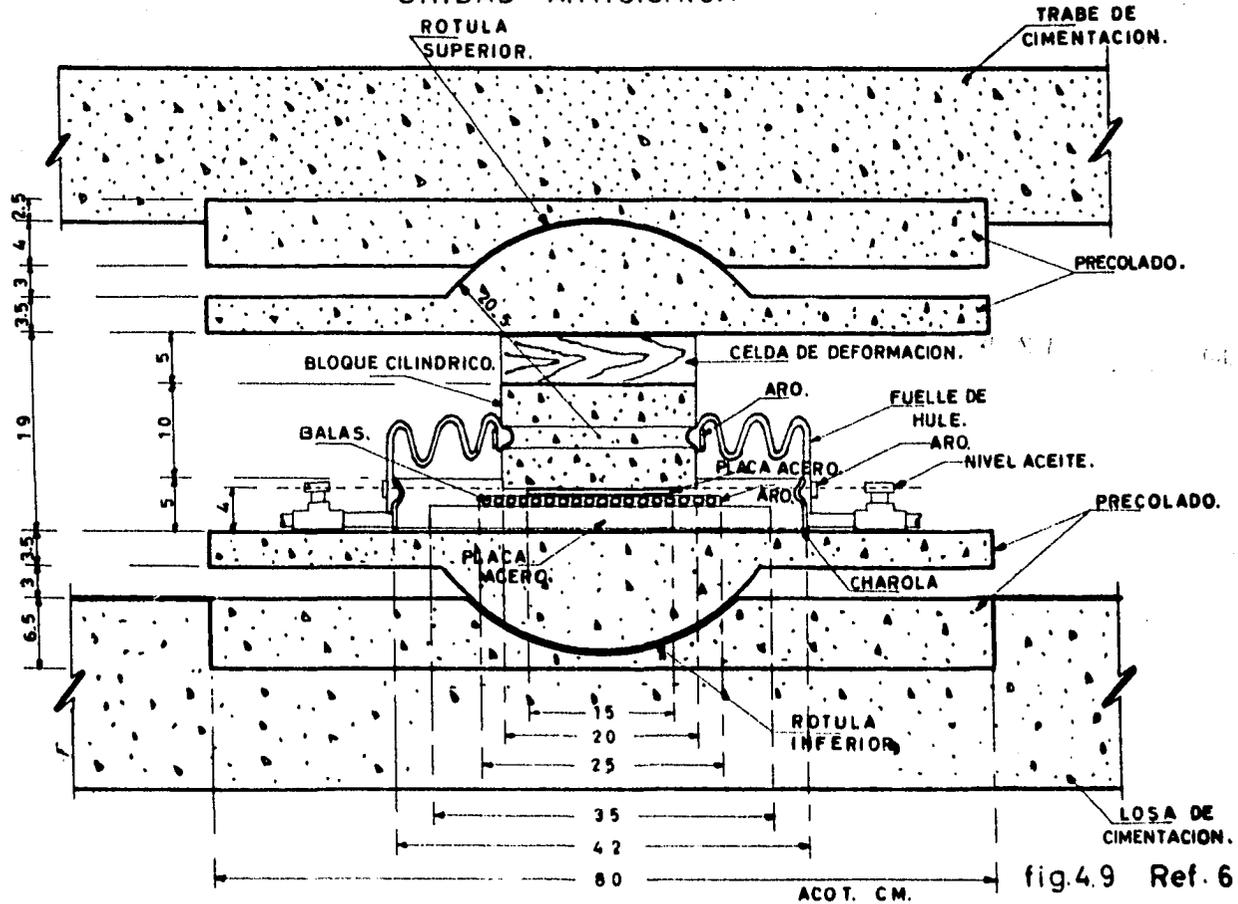


fig.4.9 Ref.6

El sistema se puede complementar con unas marcas que se dejarán entre el edificio y los muros de retención en lugares o-- puestas y a escuadra. Cuando coincidan entre sí, la estructura estará en su lugar y, cuando se desplacen se conectará un dispositivo con focos rojos que indique la anomalía y entonces por medio de gatos hidráulicos de bajo tonelaje, ya que solo tienen que vencer la fuerza de fricción que es de  $W/100$ , desplacen el edificio a su lugar de origen mecánica o automáticamente.

4.4) PRUEBAS EFECTUADAS PARA ESTE SISTEMA.- Como antecedentes se pueden mencionar las efectuadas en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, que consistieron en:

Primera prueba.- Obtención de la carga por centímetro lineal que podían soportar los rodillos comprimidos entre dos placas de acero antes de causar deformación permanente en estos elementos, con el objeto de definir posteriormente las fatigas de seguridad.

Se encontró que con acero CH 36 (Campos Hermanos), los rodillos de  $1\frac{1}{8}$ " de diámetro soportaron cargas máximas de 500 kg/cm , se ilustra en la fig. 4.10 .

Segunda prueba.- Obtención del coeficiente de fricción entre los rodillos y placas para saber el esfuerzo que transmitirá la cimentación exterior al edificio al actuar un temblor.

Se encontraron valores máximos y mínimos que resultaron dobles, ya que la placa central se deslizó entre dos capas de rodillos por lo que para conocer los valores reales se dividieron entre dos quedando:

Coef. de fricción máximo = 0.00625

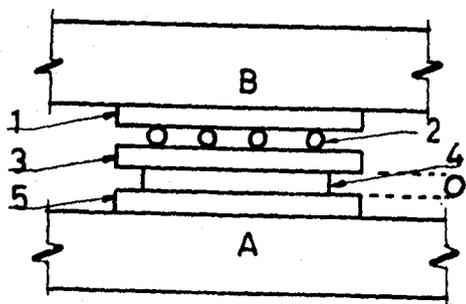
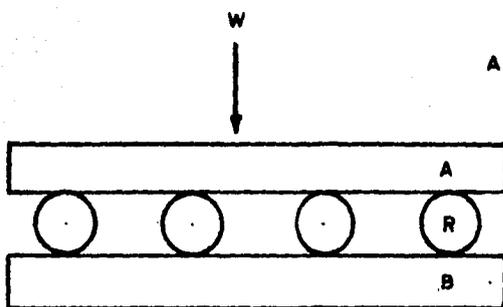


fig.4.8 Ref. 6

- A CIMENTACION EXTERIOR.
- B TRABES DEL EDIFICIO.
- 1,3,5 PLACAS DE ACERO.
- 2,4 GRUPOS DE RODILLOS.

PRIMERA PRUEBA:  
FATIGA DE TRABAJO.-



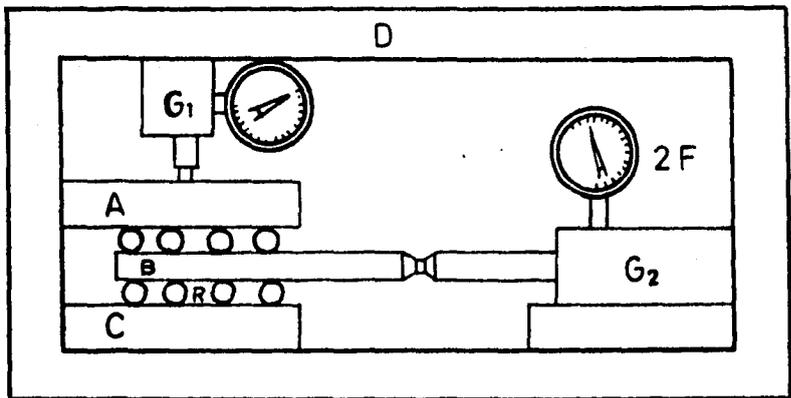
- W CARGA CRECIENTE.
- A B PLACAS DE ACERO.
- R RODILLOS.

fig. 4. 10



SEGUNDA PRUEBA:

FRICCION POR CENTIMETRO.



D MARCO PARA APLICACION DE CARGAS.

A,B,C PLACAS ENMEDIO DE LAS CUALES VAN LOS RODILLOS -R-.

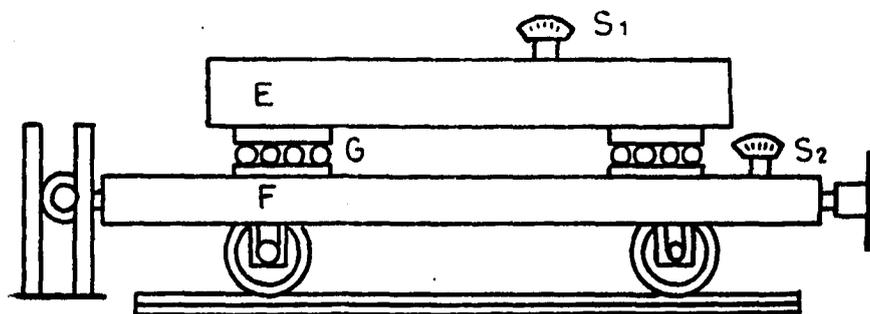
G<sub>1</sub> GATO SUPERIOR QUE APLICA UNA CARGA W VARIABLE QUE AUMENTA HASTA QUE NO CAUSE DEFORMACION EN PLACAS Y RODILLOS, LOS CUALES SON  $\perp$  AL MOVIMIENTO.

G<sub>2</sub> GATO QUE MIDE LA FUERZA HORIZONTAL 2F, NECESARIA PARA VENCER LA FRICCION DE LAS CAPAS DE RODILLOS. EN LA REALIDAD LA FUERZA SERA F.

fig. 4.11 Ref. 6

TERCERA PRUEBA:

RELACION DE ACELERACION Y  
DESPLAZAMIENTO ENTRE LA -  
MESA VIBRATORIA Y UNA CARGA  
APOYADA EN RESBALADERAS.

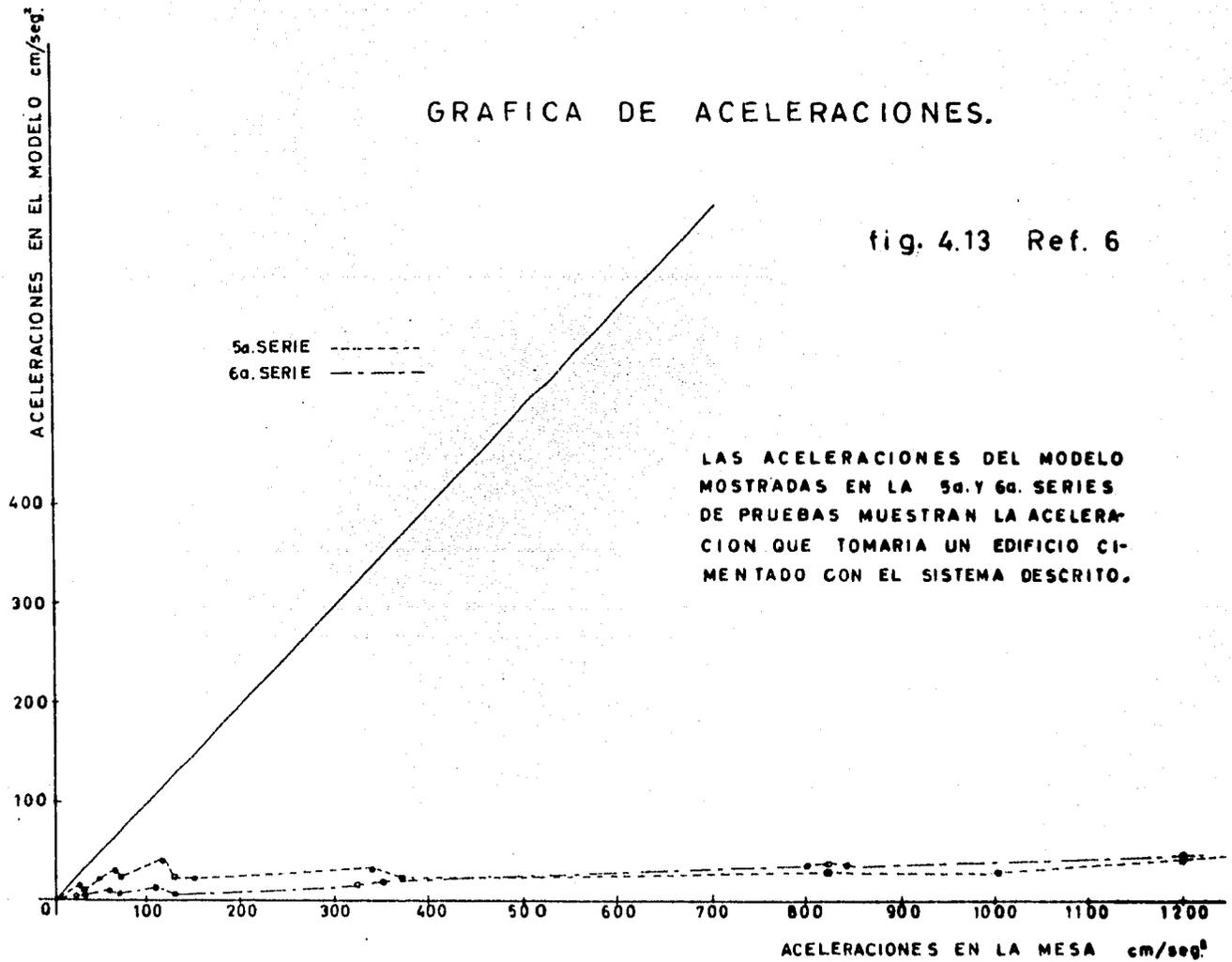


- F MESA VIBRATORIA.  
E PESO SOBRE F.  
G AMORTIGUADORES DE TEMBLORES.  
S<sub>1</sub> SISMOGRAFO SOBRE E .  
S<sub>2</sub> SISMOGRAFO SOBRE F .

fig.4.12      Ref. 6

# GRAFICA DE ACELERACIONES.

fig. 4.13 Ref. 6



Si se considera la aceleración propuesta por Richter:

$$\frac{32\,000 \text{ mm/seg}^2}{500 \text{ mm/seg}^2} = 64 \text{ veces menor que el temblor exterior.}$$

Llevando a la realidad estas ideas, se construyó un edificio en la Ciudad de México, el cual se ha comportado satisfactoriamente bajo los pequeños sismos registrados a partir de 1970, más sin embargo, se necesita un temblor de mayor magnitud para probar la valía del sistema.

Para este experimento se ocuparon esferas en lugar de rodillos como elementos deslizantes y se efectuaron los ensayos siguientes en la Dirección General de Laboratorios y Control de Calidad de la SOP.

Una prueba consistió en determinar la carga máxima que podía aplicarse a las unidades antisísmicas, se emplearon dos placas de acero pulidas hasta el 0.001 de pulg. y tratadas para tener un alto grado de dureza en sus superficies.

Se utilizaron balas de diferentes diámetros —  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{3}{8}$  y  $\frac{1}{2}$  de pulg. — y se les fue aplicando cargas horizontales y verticales. Por medio de instrumentos se determinaron las capacidades de carga y los desplazamientos que sufren, para así, poder determinar el coeficiente de fricción mediante el cociente:

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{\text{Fuerza horizontal.}}{\text{Fuerza vertical.}}$$

Aquí puedo resumir que de acuerdo al tipo de estructura, se hará un análisis para determinar el número de unidades antisísmicas que se ocuparán, así como el número y diámetro de los elementos rodantes; la dureza de las placas de acero que contendrán a las balas para evitar que éstas dejen huella y por consiguiente aumente el coeficiente de fricción.

La capacidad de carga de las esferas se determina de acuerdo a la fatiga del material con que se elabora, considerando que al actuar una carga axial sobre la bala, la hace trabajar como columna, pero sin el peligro de flambearse dada su geometría. Sin embargo, puede producirse un achatamiento en sus polos extremos y esto ocasionaría una falla en el sistema.

De acuerdo a las pruebas efectuadas se notó que las balas de menor diámetro se comportan mejor, por lo que es conveniente adoptar ésta experiencia en futuras aplicaciones.

La capacidad de carga de las esferas es indispensable en la resistencia de la unidad, ya que está en función directa con el número de elementos.

Para determinar el número de unidades bastará hacer un cociente entre el peso de la estructura y la resistencia por unidad.

En el edificio que se aplicó este método, después de efectuar dicho análisis, se concluyó que las dimensiones de dicha unidad son las indicadas en la fig. 4.9 .

4.5) DATOS COMPLEMENTARIOS SOBRE EL SISTEMA DESCRITO.- -  
Existe la posibilidad de que el edificio al terminar el temblor sea desplazado hacia una orilla y se apoye en los muros de retención, por lo cual se colocarán amortiguadores semejantes a los utilizados en los elevadores, o sea, de aceite y que ofrezcan resistencia que se incremente de acuerdo a la carga.

De esta manera nunca se tendrá un choque entre la estructura y los muros, aunque no hay que olvidar que debe existir holgura entre estas dos partes para evitar dicho fenómeno.

Las unidades antisísmicas reciben el nombre de amortiguadores de aceleración, porque frenan en forma paulatina el movimiento del edificio, ya que cuando este se mueve hacia un lado, la cimentación lo hace al lado contrario y como son dos movimientos contrarios, tienden a contrarrestarse.

Existe también la posibilidad de una sobrecarga en las columnas al sobrevenir un sismo, pero como su factor de seguridad es casi siempre superior a dos, puede absorberla fácilmente.

Los temblores trepidatorios que son los que sobrecargan a las columnas, como lo mencioné anteriormente, varían de  $1/10$  a  $\frac{1}{2}$  del temblor oscilatorio.

Si se considera  $a = 10\ 000\ \text{mm/seg}^2$ , para un trepidatorio sería  $a = 2\ 500\ \text{mm/seg}^2$ . y la sobrecarga en las columnas será

$$f = \frac{W}{10\ 000} \cdot 2\ 500$$

$$f = 0.25\ W \quad \text{que es menor al FS de}$$

diseño de las columnas.

Para que el sistema sea funcional es necesario que el edificio este en posición horizontal, se admite sin embargo una pendiente máxima de 0.01, o sea, un centímetro por cada metro.

Cuando se rebasa este límite existe el peligro de que el edificio deslice y choque con los muros de retención, por lo cual es necesario corregir esta anomalía y se aconsejan dos caminos:

a) Enderezar el edificio por medio de pilotes de control, los cuales son ampliamente conocidos.

b) Por medio de gatos hidráulicos se separa el edificio de la cimentación y se hace girar el apoyo de rodilla de la unidad

asísmica hasta ponerlo de nuevo en posición horizontal. Aquí son de gran utilidad las celdas de deformación que se mencionaron en la parte que se describe la unidad asísmica.

El apoyo de rodilla, de acuerdo al inciso 4.3, consta de dos piezas precoladas (fig 4.9), la cóncava o hembra va anclada a la cimentación y la que tiene un segmento de esfera saliendo, va libre y se apoya en la anterior, pudiendo girar cuando no obra presión sobre la misma.

Este sistema no solo es aplicable a estructuras superficiales, sino también se puede usar en recimentaciones y cualquier otro tipo de obras ingenieriles.

En la conexión de servicios municipales hay que tener cuidado, ya que se debe tomar en cuenta que va a estar aislado del terreno, por lo cual las instalaciones pasarán de un sistema rígido a otro flexible.

4.6) OTRO SISTEMA TENDIENTE A SOLUCIONAR EL PROBLEMA SISMICO.- Esta encaminado a reducir la trasmisibilidad del movimiento sísmico del suelo a la superestructura de los edificios dotándolos de periodos mayores a los que tendrían con un sistema convencional, de esta forma se reducen las fuerzas cortantes y los efectos de torsión dinámica.

Esto se logra mediante una elevada flexibilidad y su uso no es recomendable en terrenos blandos como la mayor parte del subsuelo de la Ciudad de México.

Existe el inconveniente de que al producirse grandes desplazamientos en los pisos altos se origine pánico entre los moradores y esto muchas veces ocasiona más estragos que el fenómeno

no natural y se pueden dañar también las partes ornamentales.

El sistema consiste en un conjunto de dispositivos que emplean elementos estructurales flexibles o articulados, que suspenden a las columnas o a cualquier elemento de apoyo de la superficie de la estructura unido a la cimentación (figs. 4.14 y 4.15).

Se puede diseñar en varias formas independientemente de los materiales usados. De acuerdo a la fig. 4.15, cada columna que soporta a la superestructura presenta en su extremo inferior preparaciones especiales que permiten fijar los tirantes que la suspenden del cabezal de la estructura de apoyo unida a la cimentación.

La longitud de los tirantes del sistema deberá seleccionarse de acuerdo al tipo de estructura y de los sismos esperados, tomando en cuenta que bajo cargas de viento, los desplazamientos relativos de los extremos de los cables no resulten excesivos, además, deberá dejarse juego suficiente entre la columna y el elemento de apoyo de acuerdo al valor máximo esperado.

Los tirantes se sujetan mediante elementos que pueden variar a voluntad su longitud (fig. 4.16), con lo cual pueden compensarse asentamientos diferenciales de la cimentación. Para lograr esto sin alterar el periodo del sistema, se dispone de la parte inferior de la columna, de una mordaza anular móvil que sujeta los tirantes a modo de mantener constante su longitud libre (fig. 4.17).

Por medio de amortiguadores se puede reducir el impacto y los desplazamientos relativos entre los extremos de los cables causados por los efectos dinámicos del viento y los movimientos

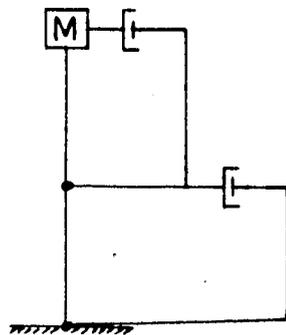
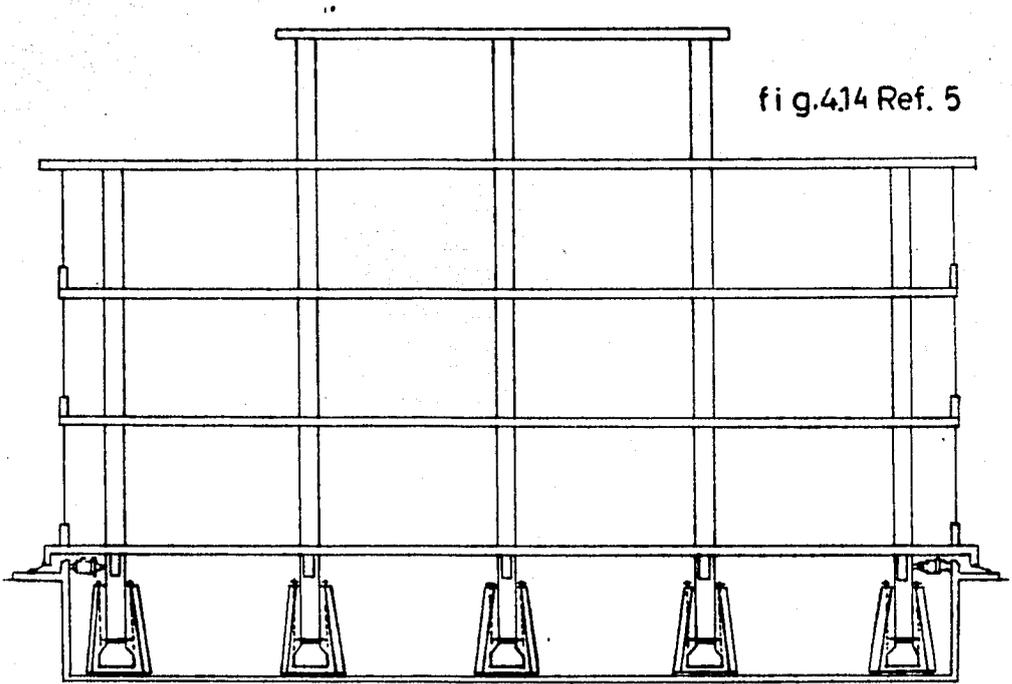


fig.4.18 Ref. 5

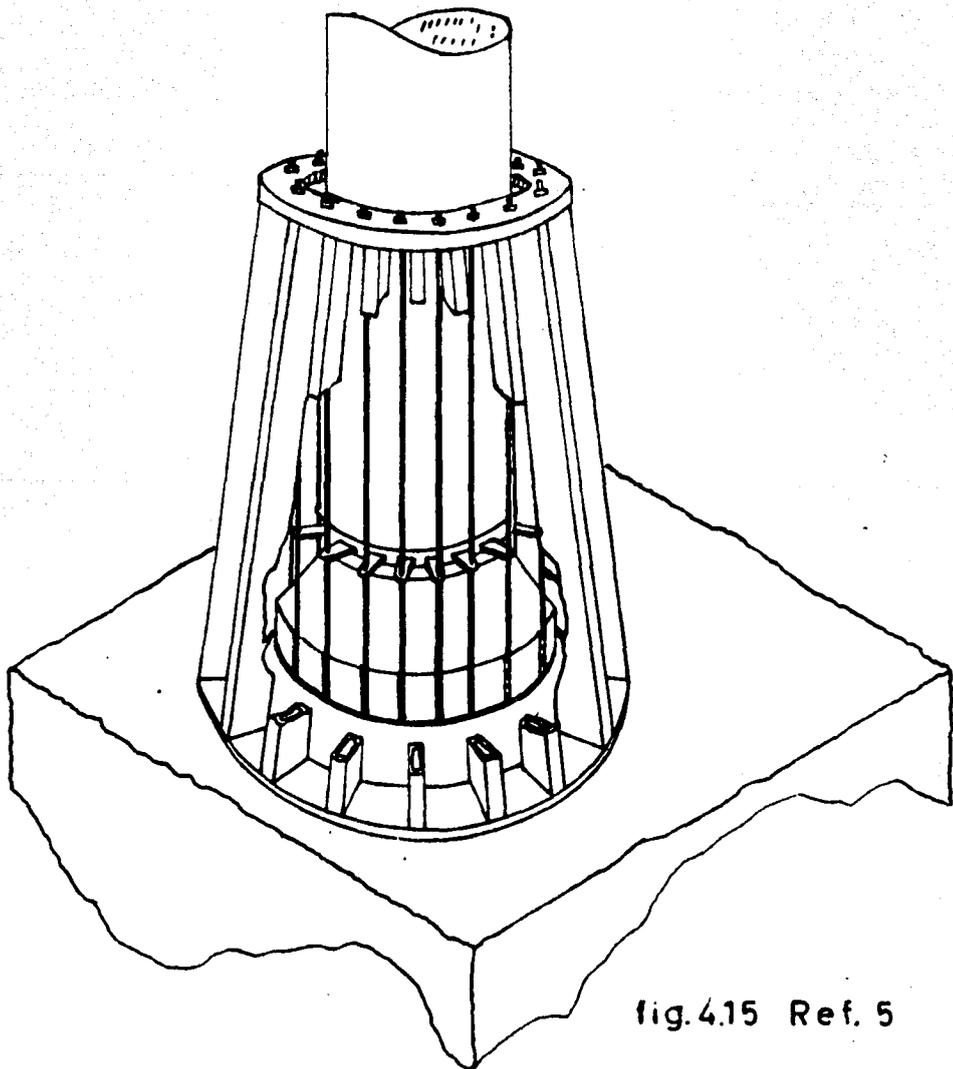


fig.4.15 Ref. 5

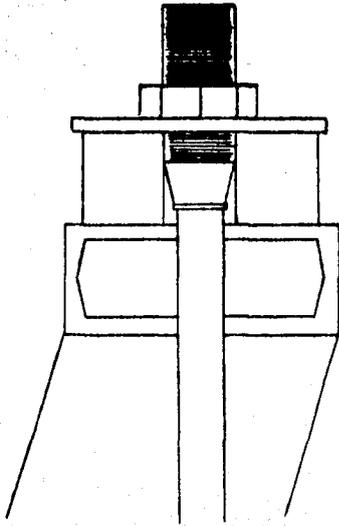


fig. 4.16 Ref. 5

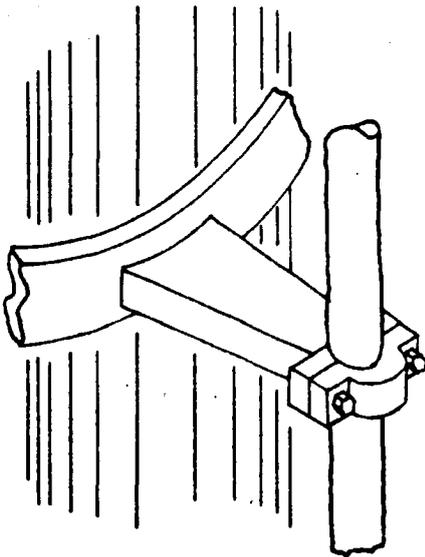


fig. 4.17

sísmicos, también se pueden evitar los momentos flexionantes en las columnas.

Idealizando según la fig. 4.18 el conjunto formado por la superestructura y los elementos del sistema, en donde  $M$  es la masa soportada por dos elementos elásticos, uno correspondiente a la superestructura y otro a los tirantes, con periodos naturales  $T_1$  y  $T_2$  respectivamente y

$$T_{12} = \sqrt{T_1^2 + T_2^2} \quad \text{para el sistema.}$$

Al aplicar este sistema a superestructuras de varios grados de libertad de periodo natural pequeño, hará que el sistema tenga también un periodo natural mucho mayor al proporcionado por métodos de sustentación tradicionales.

Por este motivo se espera que las cortantes sísmicas inducidas por el segundo modo y posteriores sean pequeñas comparadas con las del primero, por lo que su participación en el análisis modal puede despreciarse.

Los edificios altos y flexibles con periodos grandes, se deben analizar para poder encontrar el de la estructura compuesta y se debe estudiar el efecto del amortiguamiento lineal, que puede tener valores diferentes en la superestructura a los que se le proporcionen en el entrepiso donde se aplique el sistema.

Cuando se incrementa el valor del amortiguamiento, especialmente en periodos cercanos a los de resonancia, las respuestas en los espectros se reducen, y como en el entrepiso donde se ubican los dispositivos del sistema de soportes colgantes pueden desarrollarse desplazamientos relativos grandes entre elementos colocados a nivel, por lo cual es conveniente introducir un ma-

por amortiguamiento que los usados en la elaboración de los espectros.

Es conveniente elaborar espectros especiales de un modelo representado por una masa sostenida por un elemento elástico - con amortiguamiento común, utilizando las estructuras convencionales y, otro elemento elástico que corresponde a los dispositivos del sistema con amortiguamientos superiores a los ordinarios.

La torsión en un entrepiso se presenta cuando la resultante de las rigideces de sus elementos resistentes y el centro de gravedad de la masa que soportan se encuentran en ejes verticales diferentes.

En edificios convencionales la constante de resorte del entrepiso depende de las propiedades elásticas y geométricas de la estructura, de modo que generalmente aparece un momento torsionante cuando el edificio se somete a una corriente sísmica horizontal.

La constante de resorte en cada apoyo colgante depende de la carga vertical que soporta y de la longitud de los tirantes, o sea:

$$K = \frac{R_v}{l}$$

donde:  $K$  = constante de resorte de cada apoyo colgante.

$R_v$  = reacción vertical en cada apoyo.

$l$  = longitud de los tirantes.

Este sistema se puede aplicar no solo en la cimentación, sino que en cualquier entrepiso, según su autor, y aún más, en estructuras ya construídas.

Sin embargo, como lo mencioné al principio, su aplicación es solo en terrenos firmes, de sólida consistencia, pero no por

eso deja de ser interesante esta información.

4.7) CONCLUSIONES.- Teniendo presente todos los estragos - que causan los temblores tanto materiales como humanos, es conveniente buscar soluciones que minoricen los daños que ocasionan.

La función primordial del sistema a base de unidades antisísmicas que describo tiene esa finalidad, aunque esta sujeta - su aplicación como cualquier otro al factor económico.

Un edificio construido normalmente no se diseña para absorber intensidades mayores del VIII grado de la escala de M.M. - por ser antieconómico, pues bien, los daños que se originan con un temblor de intensidad superior a la anterior puede dañar seriamente los elementos estructurales y ornamentales y aún más, hacer peligrosa la existencia de dicha obra. Las reparaciones - pueden resultar muy caras o se puede perder por completo la inversión, esto sin contar los daños a personas que en muchos casos son irreparables.

Las unidades antisísmicas según estudios realizados salen a razón de \$ 80.00/ton. de carga y su número depende del peso - del edificio, generalizando, se gasta aproximadamente un 30% - más de lo que se invertiría en una cimentación ordinaria a base de pilotes, además, los servicios públicos especialmente el drenaje, debe llevar una construcción especial, aunado a esto el - costo de los amortiguadores laterales que van adosados a los muros de retención; lo que hace notar que aparentemente el sistema propuesto es más caro, pero hay que tener presente lo sig.

Los elementos estructurales pueden disminuir sus secciones

transversales ya que no estarán sometidos a los esfuerzos transmitidos por un temblor tales como tensión, corte o flexión, por que la estructura no estará empotrada en el terreno.

Los daños que sufran serán mínimos aunque el temblor sea de gran intensidad. Las personas que lo habiten tendrán la seguridad de salvar la vida y esto no se puede valorar económicamente.

Sin embargo, por ser un sistema novedoso, se tuvo que pagar el precio de toda experiencia, por lo cual el costo del edificio pionero de este método se incrementó, pero generalizando su aplicación y teniendo en cuenta este antecedente, se verá la economía que representa dicho sistema.

Una de las desventajas del sistema es que no funciona cuando está construido sobre fallas, ya que al sobrevenir un movimiento el terreno de cimentación se agrieta y queda desprovista la estructura.

Como no solo el Distrito Federal sufre movimientos telúricos de poca o gran intensidad, una de las ventajas del sistema es su fácil aplicación a cualquier región que tenga este tipo de problemas.

Por las razones expuestas, considero que por fin se tendrá una solución a uno de los problemas que más preocupan al hombre desde sus principios.

## 5.-) BIBLIOGRAFIA.

- 1.-) "Construcciones antisísmicas, criterio para su diseño y cálculo". Por el Arq. José Creixell. Ed. CECSA 1968.
- 2.-) "Asismicidad en la construcción", Ministerio de la Vivienda y urbanismo No. 21 . Por el Ing. Sergio Fernández Troncoso. Santiago de Chile, 1969.
- 3.-) "Carta sísmica de la República Mexicana" Vol. 5, Anales del Instituto de Geofísica, UNAM. Por el Ing. - Jesús Figueroa Abarca. Mex. 1959.
- 4.-) "Sismicidad en la Cuenca del Valle de México", Pub. - 289 del Instituto de Ingeniería UNAM. Por el Ing. - Jesús Figueroa Abarca. Mex. 1971.
- 5.-) "II Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica", Sociedad Mexicana de Ing. Sísmica, Universidad Veracruzana, Veracruz Ver. 1968.  
Art. "Sistema para la reducción de los efectos sísmicos en las edificaciones", por el Ing. Federico Garza Taméz.
- 6.-) "Sistema para eliminar los esfuerzos peligrosos que los temblores causan en las estructuras", Mex. 1966. Cámara Nacional de la Industria de la Construcción. Por el Ing. Manuel González Flores.
- 7.-) "El Subsuelo de la Ciudad de México", Contribución - del Instituto de Ingeniería UNAM, al Ier Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Por los Ings. Raúl J. Marzal y Marcos Mazari. 2a. Ed. Mex. 1968.
- 8.-) "V Reunión Nacional de Mecánica de Suelos" Tomo I.  
Art. "Información reciente sobre las características del subsuelo y la práctica de la Ingeniería de Cimentaciones en la Ciudad de México". Por los Ings. D. Reséndiz, G. Springall, J. M. Rodríguez y R. Esquivel. Mex. 1970.
- 9.-) "Geografía general de México" Tomo I, Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas. Mex. 1962. Por el Ing. Jorge L. Tamayo.
- 10.-) "Diseño sísmico de estructuras" Tomo I, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. Mex. 1964.  
Art. "Características de los Temblores" Por el Dr. Leonardo Zeevaert.