

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
SECCION DE ESTRUCTURAS

TESIS QUE PRESENTA

MARIO A. BUFALIZA

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERIA - (ESTRUCTURAS)

JURADO:

DR. LUIS ESTEVA MARABOTO *Estevalle*

M. EN C. ENRIQUE DEL VALLE *Del Valle*

M. EN I. RAMON CERVANTES BELTRAN *Cervantes*

DR. GONZALO ALDUNCIN GONZALEZ *Alduncin*

M. EN C. NEPTALI RODRIGUEZ CUEVAS *Rodriguez*

COORDINADOR DE LA SECCION

Rodriguez
M. EN C. NEPTALI RODRIGUEZ CUEVAS

SECRETARIO ACADEMICO

Moeller
M. EN I. GABRIELA MOELLER DE
JALIFE

C. U., México, D.F., marzo de 1984



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

RESUMEN

1.	INTRODUCCION	1
2.	ESTUDIO DE LA ATENUACION DE LA ACELERACION Y VELOCIDAD HORIZONTALES MAXIMAS CON LA DISTANCIA A PARTIR DE REGISTROS DE MOVIMIENTOS FUERTES DE SISMOS MEXICANOS	8
2.1	Breve resumen de trabajos previos	8
2.2	Método empleado para este estudio	11
2.3	Características de los datos	14
2.4	Estudio de la atenuación de la aceleración máxima con la distancia	18
2.5	Comparación con estudios previos	24
2.6	Estudio de la atenuación de la velocidad máxima con la distancia	25
3.	ATENUACION DE LA RAIZ CUADRATICA MEDIA DE LA ACELERACION (a_{rms})	30
3.1	Modelo	30
3.2	Comparación del modelo con los cálculos del registro de a_{rms} para temblores de California	34
3.3	Comparación del modelo con los cálculos del registro de a_{rms} para cinco sismos mexicanos	35
4.	DETERMINACION DE LA MAGNITUD LOCAL, M_L , A PARTIR DE ACCELEROGRAMAS	40
4.1	Determinación de M_L a partir de acelerogramas	40
4.2	Determinación de M_L a partir de acelerogramas de cuatro sismos mexicanos	41
4.3	Correlación entre la velocidad máxima y la respuesta Wood-Anderson	43
5.	CONCLUSIONES	46
6.	REFERENCIAS	53
	RECONOCIMIENTOS	58
	TABLAS Y FIGURAS	59
	APENDICE A. TABLAS PARA SISMOS DE BAJA CALIFORNIA	92

RESUMEN

En la primera parte de este trabajo se estudia la dependencia de la aceleración y velocidad horizontales máximas del suelo con la magnitud, distancia hipocentral y geología del sitio de registro empleando los datos de movimientos fuertes de eventos ocurridos en México.

Para la aceleración máxima se presentan dos ecuaciones de predicción. La primera ecuación se obtiene con base en los datos de 26 temblores registrados en México, sin que resulte un buen ajuste. La segunda ecuación se obtiene después de eliminar 12 eventos registrados; en su mayor parte obtenidos en una sola estación, que presentaban dudas respecto a la localización de sus epicentros. Las mejoras alcanzadas en el ajuste de los datos fueron notables. Las diferencias en los valores de aceleración máxima obtenidos de esta ecuación res

pecto a los que se obtiene, para una misma distancia, empleando las ecuaciones de estimación obtenidas por Joyner y Boore (ref 21) para California son grandes.

En el estudio de la atenuación de la velocidad máxima con la distancia, se presentan resultados de cuatro análisis de regresión realizados con este conjunto de datos, pero ninguna de las ecuaciones de predicción obtenidas se propone como definitiva hasta que se cuente con un mayor número de datos y clasificaciones del subsuelo más detalladas.

Más adelante en este estudio, se analiza la aplicabilidad del modelo propuesto por Hanks (ref 19) y McGuire y Hanks (ref 24), que relaciona la raíz cuadrática media de la aceleración (a_{rms}) con parámetros de la fuente del temblor y la trayectoria de propagación fuente-estación, con los datos de cinco temblores ocurridos en México. Las diferencias entre los resultados que aquí se obtienen respecto a aquellos obtenidos por Hanks y McGuire (ref 20) para California son considerables; aún no se cuenta en México con un número suficiente de datos, especialmente a distancias cercanas, para llegar a una conclusión definitiva. Se grafican los valores de aceleración máxima, $a_{máx}$, con los valores de a_{rms} obtenidos ambos del mismo acelerograma y se observa que entre estos dos valores existe una fuerte correlación.

Por último, se calculan los valores de magnitud local, M_L , basada en la definición de Richter (ref 29), a partir de acelerogramas correspondientes a cuatro sismos mexicanos, de acuerdo con el procedimiento cuya validez fue probada por Kanamori y Jennings (ref 22). Para un mismo temblor, las diferencias entre los valores de M_L resultan en algunos casos de casi un grado de magnitud. Se analizan estas diferencias. Se relacionan los valores de velocidad máxima con los valores de respuesta máxima del sismógrafo Wood-Anderson ideal, empleada para el cálculo de M_L , y se observa que ambos valores presentan una alta correlación.

1. INTRODUCCION

La necesidad de disponer de expresiones de atenuación orientadas a la estimación de intensidades* sísmicas, a partir de la magnitud del temblor y distancia del sitio a la fuente sísmica, es evidente, dada la importancia que ha tenido y sigue teniendo la predicción de los parámetros máximos del suelo esperados en el sitio, ante un sismo hipotético de magnitud prescrita ocurrido a una distancia también prescrita.

Aunque estos valores máximos (ya sean la aceleración, velocidad o desplazamiento), por sí solos no pueden describir un temblor, ellos resultan muy útiles en el escalamiento de espectros de respuesta, correspondientes a distintos grados

* En lo que sigue se entiende por intensidad de un temblor a cualquier parámetro del movimiento del terreno relacionado con la respuesta de una estructura a dicho temblor.

de amortiguamiento, y como indicadores de la intensidad relativa del movimiento. De estos parámetros, la aceleración máxima ha sido el índice más comúnmente usado de movimientos fuertes, como una medida del movimiento en las altas frecuencias. También los valores máximos de velocidad, junto con los de ordenadas espectrales, han resultado factores preponderantes para determinar el daño potencial del movimiento.

Si bien las expresiones de atenuación cobran gran importancia al permitir estimar los valores máximos del movimiento del suelo en un sitio dado, su utilidad se hace más evidente al efectuar estudios de riesgo sísmico (o de regionalización sísmica), orientados a satisfacer las necesidades del ingeniero que deba proporcionar coeficientes o espectros para el diseño sísmico, en función de la importancia y del tipo de cada estructura, así como del lugar donde se proyecte construir (refs. 13 y 14).

Existen hoy un gran número de expresiones para la atenuación de los parámetros máximos con la distancia, pero se debe tener presente que la aplicabilidad de sus resulta-dos está prácticamente restringida a las zonas donde se obtuvieron los datos. Si se tienen en cuenta las razones expuestas anteriormente, la necesidad de contar con expresiones de atenuación propias de esta región es evidente.

Es por ello que, uno de los propósitos de este trabajo es mejorar esfuerzos anteriores analizando los datos con que se cuenta de eventos ocurridos exclusivamente en México; se estudia, en el Capítulo 2, la dependencia de la aceleración horizontal máxima y velocidad horizontal máxima con la magnitud, distancia hipocentral y el tipo de suelo del sitio de registro.

Ya se dijo anteriormente que la aceleración máxima, ha sido el índice más comúnmente usado por los ingenieros como medida del movimiento en las altas frecuencias para el diseño sísmo-resistente de estructuras. Sin embargo, son muchos los autores que han establecido que la aceleración máxima, no necesariamente es una medida uniformemente válida de movimientos fuertes en toda la banda de frecuencias e intervalo de amplitudes de interés para la ingeniería, y han cuestionado la validez de este valor como medida del daño real o potencial.

La característica real del dato de aceleración máxima como una medida de la amplitud de periodo corto en el dominio del tiempo, es la razón principal que limita su valor como medida de movimientos fuertes. Es decir, si se consideran temblores con $M \geq 5$ especialmente a distancias cercanas, como un ejemplo de movimientos potencialmente destructivos,

el periodo de esta fase es mucho menor que la duraci3n de ruptura. De este modo, la aceleraci3n m1xima simplemente no puede medir las propiedades principales de la fuente de temblores potencialmente da1inos y destructivos.

Por esta raz3n, cualquier definici3n de aceleraci3n m1xima efectiva, 1til para los ingenieros, deber1 incluir los efectos de duraci3n; ya que la duraci3n del movimiento de altas frecuencias contribuye de manera muy importante para producir da1o estructural (refs. 19 y 24).

Una medida que nos acerca m1s al concepto de aceleraci3n m1xima efectiva es la raiz cuadr1tica media de la aceleraci3n, a_{rms} . Ya que la integral de tiempo del cuadrado de la aceleraci3n del suelo es proporcional al trabajo por unidad de masa realizado sobre un conjunto de osciladores lineales de un solo grado de libertad, con amortiguamiento viscoso, con frecuencias naturales entre 0 e ∞ (ref 3), entonces a_{rms} es de importancia considerable para la ingenier1a (en la medida que las estructuras reales se puedan reemplazar por esos osciladores), con respecto a las capacidades de dise1o para la disipaci3n de esa energ1a.

Dada la importancia de a_{rms} , Hanks (ref 19), y McGuire y Hanks (ref 24) examinaron el modelo de la fuente de Brune

(refs 7 y 8) para estimar las características de las ondas de corte en campo lejano, y propusieron un modelo que relaciona a_{rms} con parámetros de la fuente del temblor y la trayectoria de propagación fuente-estación, los cuales pueden ser especificados a priori, permitiendo la estimación de a_{rms} en la ausencia de observaciones de movimientos fuertes.

Hanks y McGuire (ref 20) evaluaron este modelo en función de los valores de a_{rms} obtenidos de registro de sismos de California y sus comparaciones mostraron que, medidos por su excitación en las altas frecuencias, estos temblores parecían tener caídas de esfuerzos muy cercanas a los 100 bares (variaciones de un factor de 2), a pesar de las variaciones en sus caídas de esfuerzo determinadas para algunos de estos temblores por medios convencionales. De manera que a partir de estos estudios, se propuso fijar un valor de $\Delta\sigma = 100$ bares en el modelo propuesto; así la estimación de a_{rms} resultó muy próxima a aquella obtenida a partir del registro.

En el Capítulo 3 de este trabajo, se sigue un procedimiento similar al propuesto por estos autores, pero en este caso para cinco temblores ocurridos en México, con el propósito de analizar la aplicabilidad del modelo a los datos que se

tienen para esta región. Al final del capítulo se relacionan a_{rms} y $a_{máx}$, presentando ambos valores alta correlación.

En los modelos que se proponen en el Capítulo 2 de este trabajo, el movimiento fuerte del suelo se caracteriza por un conjunto de parámetros sismológicos relativamente simples, tales como la magnitud del temblor y la distancia del sitio a la fuente. Si bien el movimiento fuerte del suelo, que resulta de un temblor importante es el resultado de un proceso complejo, que depende de la geometría de la falla, dimensiones de la falla del mecanismo de ruptura; el uso de modelos sencillos, los cuales usan la magnitud como simple descripción de la fuente, se debe a que, en muchos eventos se cuenta con este parámetro más rápidamente que con otros que caracterizan la liberación de energía, conduciendo a análisis estadísticos directos. En estos análisis, entonces, es necesario contar con un valor homogéneo de magnitud que caracteriza el movimiento del suelo.

Entre las diferentes escalas de magnitud en uso corriente, a la magnitud local, M_L , introducida por Richter en 1935 (ref 29), se le ha reconocido en diversos estudios su relevancia más directa en ingeniería, debido al intervalo de periodo donde se determina su valor. Kanamori y Jennings (ref 22) presentaron una técnica para el cálculo de M_L a

partir de acelerogramas, mostrando la validez de este procedimiento para el temblor de San Fernando.

Ante la necesidad de contar con un valor de magnitud y dada la importancia que tiene la magnitud local, se pensó determinar el valor de M_L mediante la técnica propuesta por estos autores, a partir de los acelerogramas obtenidos de cuatro sismos ocurridos en México y analizar los resultados. Esto se presenta en el Capítulo 4 de este trabajo. En la última parte de este capítulo se incluye también una correlación entre los valores de velocidad máxima del suelo y las amplitudes medidas por un sismógrafo Wood-Anderson ideal para la determinación de M_L ; se comparan los resultados obtenidos, con la relación que propuso Boore (ref 5) para ambos valores.

2. ESTUDIO DE LA ATENUACION DE LA ACELERACION Y VELOCIDAD HORIZONTALES MAXIMAS CON LA DISTANCIA A PARTIR DE REGISTROS DE MOVIMIENTOS FUERTES DE SISMOS MEXICANOS

2.1 Breve resumen de trabajos previos

Las primeras correlaciones de aceleraciones máximas con la magnitud del temblor y la distancia fueron reportadas por Gutenberg y Richter en 1942, 1956 y por Neumann en 1954 (ref 37).

A partir de entonces se han desarrollado expresiones para la atenuación de diferentes intensidades sísmicas obteniéndose poca correlación entre ellas; esto se debía, en parte, a la falta de suficientes datos, a las discrepancias en la definición de algunos parámetros en el intervalo de valores analizados, en las propiedades reales de propagación de onda de las formaciones geológicas entre el sitio y la fuente y en la

forma de las expresiones analíticas adoptadas a priori (ref 14).

Muchos han sido los investigadores que resumieron estas relaciones, entre ellos Ambraseys (ref 2), quien presentó las principales ecuaciones aparecidas hasta 1970, las cuales relacionan la máxima aceleración, velocidad o desplazamiento en roca, magnitud del temblor y distancia del sitio rocoso a la zona de liberación de energía. Sin embargo, en la mayoría de los casos, estas relaciones se basaron en un número muy limitado de datos, principalmente de registros de eventos ocurridos en Estados Unidos.

En ese país, antes del terremoto de San Fernando de 1971, sólo se habían registrado 3 o 4 movimientos que excedían los 0.1 g y solamente un número similar dentro de los 40 km de la región epicentral o falla.

La situación mejoró considerablemente con los registros obtenidos de ese evento en 1971 y además con la aparición de nuevas herramientas analíticas. En el terremoto de San Fernando se obtuvieron aproximadamente 15 registros a partir de instrumentos sobre roca, dentro de los 65 km de la falla (ref 32).

Desde entonces, se han presentado otras correlaciones de in

tensidades máximas con la magnitud del temblor y distancia; por ejemplo, Davenport (ref 12), Schnabel y Seed (ref 32), Esteva y Villaverde (ref 15), donde se incluyen algunos datos de temblores mexicanos, Trifunac y Brady (ref 37), McGuire (ref 23), Joyner y Boore (ref 21), Campbell (ref 10), Bolt (ref 4), Donovan (ref 13), y otros.

Se podría decir, que a pesar de las diferentes suposiciones y consideraciones respecto a la distancia y los conjuntos de datos presentados en estos trabajos, existe entre varios de ellos, una concordancia aceptable para distancias mayores a los 20 km y en un intervalo de magnitudes moderadas, que es donde se cuenta con el mayor número de datos. En cambio, las diferencias son importantes cuando se extrapolan los resultados a distancias más próximas a la fuente, y más aún, cuando la extrapolación se hace para magnitudes grandes. Si bien los datos obtenidos a distancias cercanas a la fuente han aumentado en los últimos diez años, específicamente para la parte oeste de Estados Unidos, un análisis de los resultados obtenidos para esa región lleva a concluir que todavía hoy, el número de registros de grandes magnitudes a distancias próximas a la fuente es escasa, como para llegar a una conclusión definitiva la cual permita determinar la forma de la ecuación en ese intervalo y la influencia de M y R en el error de la ecuación.

Para México el aumento de los datos de movimientos fuertes ha sido reciente, si bien no se cuenta con un número suficiente de ellos a distancias cercanas, el número de datos a distancias mayores a los 100 km justifica el intento de obtener relaciones de atenuación para la aceleración y velocidad horizontales máximas, al menos para ese intervalo de distancias.

2.2 Método empleado para este estudio

Los datos de movimientos fuertes se ajustaron por regresión lineal múltiple con la ecuación

$$\log y = \sum_{i=1}^N a_i E_i - b \log R + c R + d S \quad (2.1)$$

donde

$E_i = 1$ para el temblor i

$= 0$ en otro caso

$S = 1$ para suelo blando

$= 0$ para suelo firme

y es aceleración horizontal máxima o bien velocidad horizontal máxima, N es el número de temblores en la muestra de datos y R es distancia hipocentral. Las constantes a_i , b , c y d se determinan a partir de una primera regresión lineal.

Una vez conocidos los valores de a_i , estos se utilizan en una segunda regresión, se obtiene así, un polinomio de primer o segundo grado que representa la dependencia de a_i con la magnitud

$$a_i = \alpha + \beta M + \gamma M^2 \quad (2.2)$$

El uso de variables ficticias, tales como E_i y S para dividir el conjunto de datos en clases, es una técnica que ha sido usada anteriormente, ya sea para clasificar los datos de grandes movimientos de acuerdo con las condiciones locales, usando la variable S (refs 27 y 23), o bien para desacoplar la determinación de la dependencia con la magnitud de la determinación de la dependencia con la distancia, usando la variable E_i (ref 21).

Este desacoplamiento evita que los errores que se cometen al medir la magnitud, afecten a los coeficientes de distancia obtenidos de la regresión. Además, cada temblor tiene el mismo peso para determinar la dependencia con la magnitud y lo tiene cada registro, para determinar la dependencia con la distancia.

La forma del modelo usado en la regresión equivale a

$$y = \frac{k}{R^\lambda} e^{-\delta R}$$

similar al propuesto por Joyner y Boore (ref 21), donde K es una función de M , λ y δ son constantes. Esto corresponde a una fuente puntual de dispersión con una atenuación inelástica Q , constante. En realidad, si se tiene en cuenta la dependencia de Q con la frecuencia esta hipótesis sería aplicable a una componente armónica del movimiento del suelo, no a aceleración o velocidad máximas. Sin embargo, dado que los coeficientes se determinan empíricamente, se considera que su aplicación a los parámetros máximos sería una buena aproximación.

Respecto a la hipótesis de considerar una fuente puntual de dispersión, sería adecuada, dado que la mayoría de los datos empleados en este estudio corresponden a distancias lejanas de la fuente.

Para estimar σ_y , que es el error estándar en la estimación del log y por los procedimientos que aquí se describen, se usa la ecuación

$$\sigma_y = (\sigma_s^2 + \sigma_a^2)^{1/2}$$

donde σ_s es la desviación estándar de los residuos de la regresión descrita por la ec (2.1) y σ_a es la desviación estándar de los residuos de la regresión descrita por la ec (2.2).

2.3 Características de los datos

El conjunto de datos para aceleración máxima se obtuvo de 79 registros de 26 eventos; para velocidad se seleccionaron 65 registros correspondientes a esos mismos eventos. Los registros se obtuvieron de los acelerógrafos que el Instituto de Ingeniería de la UNAM mantiene en las estaciones cuya ubicación se indica en la Fig. 2.1; sus coordenadas y las características del lugar se especifican en la Tabla I.

Los parámetros focales de los 26 eventos con que se trabajó en este capítulo, así como las referencias utilizadas para asignar tales parámetros, figuran en la Tabla II. En ella se incluyen también aquellos sismos de $h \geq 65$ km, considerados profundos. Si bien, los datos de estos temblores no se tuvieron en cuenta en los análisis de regresión por las diferencias que podrían existir respecto a los otros datos, la decisión de incluirlos en las tablas, se debe a que algunos de ellos se utilizan posteriormente en otros análisis de este trabajo y además con el propósito de contar con una información más completa de sismos ocurridos en México.

Los datos de movimientos fuertes para los sismos en estudio aparecen en la Tabla III. En esta tabla, figuran los valores máximos para las componentes de aceleración y velocidad de cada registro.

Para los eventos 1 a 9 y 12 a 16 (Tabla II), anteriores a 1968 (inclusive), los datos de movimientos fuertes se obtuvieron a partir de la publicación de Rascón y coautores (ref 28), excepto los eventos 10 y 11; estos datos fueron suministrados por la Coordinación de Sismología e Instrumentación Sísmica del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Para los sismos posteriores a 1968 la fuente de datos incluye a Faccioli (ref 16), informes del Instituto de Ingeniería (refs 25 a 27) e información personal suministrada por la Coordinación.

Para la regresión se utilizó el máximo valor entre los dos componentes horizontales.

En cuanto a la elección de la magnitud que representaría cada evento, se decidió que fuese la magnitud M_s la que caracterizara a aquellos sismos de $M_s \geq 6.0$, ya que, se contaba con ese valor para todos los sismos mayores o iguales o ese límite y para evitar posibles efectos de saturación que se podrían presentar para otros tipos de magnitudes. Para los sismos con magnitud $M \leq 6.0$ se eligió el mayor valor entre m_b y M_s , en aquellos casos en que se contaba con ambos valores, o bien m_b , cuando éste era el único valor reportado; a excepción del evento 1, donde la magnitud $M = 5.0$ corresponde a lo reportado por Figueroa (ref 17). Para los

temblores con profundidad $h \geq 65$ km la magnitud reportada es M_B , m_b y M_S , o bien sólo m_b . Si bien estos temblores no se consideraron en los análisis de regresión, en dos de ellos (28 agosto, 1973 y 24 octubre, 1980), se pudo determinar el "momento de magnitud", M_W , a partir del momento sísmico calculado (refs 33 y 18), a fin de comparar los datos de movimientos fuertes de estos dos eventos, con los resultados de este estudio; la comparación será válida dado que $M_W \approx M_S$ para temblores de la costa usados en la regresión (ref 34; Singh, comunicación personal).

Según las condiciones locales, a las estaciones se les asignó una de las dos categorías de "firme" o "blando" de acuerdo con la información obtenida por la Coordinación de Sismología e Instrumentación Sísmica, al instalar los acelerógrafos. La clasificación de cada estación aparece en la Tabla III.

Dada la incertidumbre y ambigüedad que se presenta en la clasificación geológica de un lugar de registro, no se tomarán conclusiones que surjan de la clasificación de una sola estación, solamente se considera la tendencia que marca cada conjunto de datos.

Es bien sabida la influencia de la topografía en el movimiento

sísmico (ref 31); pero debido a la falta de datos que contemplen este efecto, no se considera en la generación de estas leyes. Teniendo esto en cuenta y con el propósito de no incluir datos que desvirtúen la muestra, no se considera ron aquellos registros sobre presas de enrocamiento; tampo co sobre pisos altos de edificios. Sin embargo, sí se con sideraron los datos obtenidos a partir de estaciones ubica- das en sótanos de edificios altos, a las cuales se las cia sificó según las características del lugar de emplazamiento de la estructura, ignorando, por lo tanto, la posible in- fluencia de ésta en el movimiento de la base. En realidad, no existen hoy suficientes datos en México que permitan me jorar esa suposición.

Dadas las diferencias de atenuación con la distancia obser- vadas entre una provincia geológica y otra, se excluyeron aquellos datos de eventos ocurridos en la región de Baja Ca- lifornia, cuyas características tectónicas resultan diferen- tes de los de otras regiones del país. Sin embargo, a los fines de contar con una información más completa, se inclu- yen en el Apéndice A. En la Tabla I.a se resumen las carac terísticas de las estaciones de registro con acelerógrafo en esa región, localizados en la Fig 2.1; en la Tabla II.a aparecen los parámetros focales de los temblores registra- dos en esa zona y la Tabla III.a muestra los datos de movi

mientos fuertes. Algunos de estos datos ya han sido incluidos en otros estudios de atenuación (ref 21).

La fuente de datos para la Tabla III.a incluye a Brune y co autores (ref 9) e información personal suministrada por la Coordinación de Sismología e Instrumentación Sísmica del Instituto de Ingeniería.

2.4 Estudio de la atenuación de la aceleración máxima con la distancia

Se hizo un análisis de regresión con los 79 datos de aceleraciones máximas, cuya distribución en magnitud y distancia se muestra en la Fig. 2.2, correspondientes a 26 eventos.

Los valores de a_1 resultantes usando la ec (2.1) se grafican en función de M en la Fig. 2.3. Analizando esta gráfica, se ve que algunos puntos no muestran ningún tipo de dependencia con la magnitud. Un estudio más detallado de estos puntos determinó que la mayoría de ellos correspondían a eventos para los cuales se tenían dudas respecto a la localización de sus epicentros y en la mayoría de los casos habían sido registrados en estaciones cuya distancia entre el sitio y la fuente resultaba comprendido entre los 40 y 80 km. Por el contrario, si se apreció linealidad, respecto a la magnitud,

en aquellos valores de a_i que correspondían a sismos grandes y recientes, registrados en varias estaciones; en ellos, estudios más detallados han conducido a determinaciones más exactas de sus coordenadas epicentrales (ref 35). En sismos con una localización dudosa de sus epicentros, registrados en estaciones situadas a distancias focales mayores a los 100 km, también se apreció linealidad en los valores de a_i .

La localización incierta de esos eventos puede ser una causa muy importante de la dispersión observada. Sin embargo, muchos de los temblores cuyos valores de a_i presentan irregularidades de distribución respecto a M fueran temblores registrados en una sola estación y en la mayoría de los casos esa estación era Acapulco.

Al analizar el conjunto de datos, en algunos eventos, los valores máximos de aceleración registrados en Acapulco resultaron mayores que los registrados en otras estaciones a distancias similares; los valores de a_i correspondientes a esos sismos eran muy altos respecto a los otros puntos. Ante este análisis, si bien existen dudas en las localizaciones de estos eventos, es muy probable que los movimientos para temblores de $4.4 < M < 6.4$ en Acapulco sean muy altos debido a las características de la fuente y/o debido a una mínima atenuación entre la fuente y la estación. Es

por ello, que antes de excluir esos sismos dudosos y realizar un nuevo análisis de regresión, se decidió hacer un ajuste por mínimos cuadrados según la ec (2.2) para todos los valores de a_i y determinar su dependencia con M. Si bien el ajuste no sería bueno, en la ecuación de predicción resultante aparecería el efecto de la fuente en el valor del término constante α , de la ec (2.2), que resultaría mayor que el obtenido después de eliminar esos eventos. La línea recta en la Fig 2.3 es el resultado del ajuste de los datos. De las pruebas de hipótesis realizadas, se determinó que el coeficiente del término cuadrático se podía omitir con un nivel de significancia descriptivo del 40 por ciento.

De los resultados del análisis al usar las ecs (2.1) y (2.2) se obtuvo la siguiente ecuación de predicción, para la aceleración horizontal máxima

$$\log a = 2.169 + 0.111 M - 0.389 \log R - 0.00244 R + 0.252 S \quad (2.3)$$

Resultó importante observar que el término de suelo es estadísticamente significativo, con un nivel de significancia descriptivo menor que 0.1 por ciento, en contraste con los resultados que otros autores habían obtenido para California en la predicción de la aceleración máxima (ref 6).

Los residuos de los datos respecto a la ec (2.3) se grafican

en función de la distancia en la Fig 2.4; no se observa ninguna tendencia marcada en los puntos. El error estándar σ_y en la estimación del log a , resultó igual a 0.42, el cual se determina del valor 0.19 para σ_B , que es la desviación estándar de los residuos de la regresión descrita por la ec (2.1) y del valor 0.38 para σ_a , que es la desviación estándar de los residuos de la regresión descrita por la ec (2.2).

Para obtener una estimación más precisa de los parámetros de la ecuación de predicción, en el intervalo de distancia en el cual se cuenta con el mayor número de datos, se eliminaron aquellos temblores para los que existían dudas respecto a sus localizaciones y los cuales habían sido registrados a distancias menores a los 100 km; se realizó un nuevo análisis de regresión con 65 valores de aceleración máxima correspondientes a 14 eventos. Los datos suprimidos correspondientes a los eventos 1, 6, 8, 13, 14, 17, 19, 20, 22, 24, 26 y 32 (Tabla II) se representan con un símbolo diferente en la Fig 2.2, donde aparece su distribución en magnitud y distancia.

Los valores de a_1 obtenidos de la ec (2.1) se grafican en función de M en la Fig 2.5. Nuevamente resultó que el término cuadrático de la ec (2.2) podía omitirse con un nivel de significancia descriptivo del 35 por ciento.

Al combinar los resultados de los análisis usando las ecs (2.1) y (2.2) se obtuvo la siguiente ecuación de predicción, para la aceleración horizontal máxima

$$\log a = 0.349 + 0.307 M - 0.211 \log R - 0.00276 R + 0.297 S \quad (2.4)$$

Al igual que para el análisis de regresión anterior, el término de suelo resultó estadísticamente significativo con un nivel de significancia descriptivo menor del 0.1 por ciento.

En la Fig 2.6 se grafican los residuos de los datos respecto a la ec (2.4) sin observarse ninguna tendencia en los puntos. El error estándar σ_y resultó igual a 0.27 al considerar que $\sigma_s = 0.19$ y $\sigma_a = 0.20$. Una comparación de estos valores, con aquellos mencionados previamente para la primera regresión, hace notoria la mejora alcanzada en el ajuste de los datos con el modelo.

En la Fig 2.7 se grafican las ecs (2.3) y (2.4) para $M_s = 7.0$ y para los dos tipos de suelo. Al analizar ambas curvas, la diferencia en los valores de predicción es aproximadamente de un 50 por ciento para distancias menores a los 100 km, disminuyendo a medida que aumenta la distancia; se nota menor la diferencia en suelo blando. Esto se atribuye al mayor valor del término constante α en la primera regresión.

En el intervalo de distancia comprendido entre los 100 y 500 km, la mejor estimación la proporciona la ec (2.4). Respecto a la ec (2.3), es mejor para aquellas distancias menores a los 100 km, especialmente para la zona de la costa, si tenemos en cuenta las anomalías de las aceleraciones en esa zona.

En la Fig 2.8 se grafica la ec (2.4) para $M_g = 7.0$ y se compara la atenuación con la distancia respecto a la que presentan los datos de los sismos ocurridos el 28 de agosto, 1973 y el 24 Octubre, 1980, caracterizados por su valor $M_w = 7.0$, considerados profundos, cuyas distribuciones en magnitud y distancia se muestran en la Fig 2.2 para $m_b = 6.8$, y $m_b = 6.4$, respectivamente.

Al analizar, en la Fig 2.8, el ajuste de los datos con las curvas, a excepción de Oaxaca, donde el valor de aceleración máxima resulta muy alto, los demás puntos muestran un ajuste aceptable, especialmente con la curva para suelo firme; no se notan diferencias entre ellos respecto al tipo de suelo. La razón de esto puede deberse a que la mayoría de los datos se corresponden con distancias no muy alejadas de la fuente; a esas distancias, el contenido de altas frecuencias de los registros es alto y por lo tanto, menos sensibles a las condiciones geológicas del lugar.

2.5 Comparación con estudios previos

En las Figs 2.9 y 2.10 se grafica la ec (2.4) para ambos tipos de suelo y para magnitudes $M_s = 7.3$ y $M_s = 7.6$, respectivamente. En la Fig 2.9 se representan además los datos correspondientes al sismo del 25 Oct., 1981 de magnitud $M_s = 7.3$ y en la Fig 2.10 los correspondientes al sismo del 14 Mar., 1979 de magnitud $M_s = 7.6$. Se puede observar que el ajuste de los datos con las curvas es satisfactorio.

En ambas figuras se grafican también las ecuaciones de atenuación propuestas por Esteva y Villaverde (ref 15) y Joyner y Boore (ref 21) para su comparación con las obtenidos en este estudio. Se ve que las diferencias entre la curva obtenida en este trabajo para suelo firme y la obtenida por Esteva y Villaverde (ref 15) son muy pequeñas, en el intervalo de distancia donde se cuenta con la mayor cantidad de datos. Por el contrario, las diferencias respecto a la curva propuesta por Joyner y Boore (ref 21) son muy grandes. En las ecuaciones propuestas por estos últimos, M representa el "momento de magnitud"; la similitud de ambos valores para sismos grandes hace posible la comparación (ref 34; Singh, comunicación personal).

Aunque los datos de aceleración máxima usados en este estu

dio son pocos, especialmente a distancias menores a los 100 km, las diferencias entre los resultados que aquí se obtienen y aquellos obtenidos para la parte oeste de Estados Unidos en el intervalo de distancia donde se cuenta con el mayor número de datos, afirman la necesidad de contar con ecuaciones de predicción propias de cada región.

2.6 Estudio de la atenuación de la velocidad máxima con la distancia

En las regresiones para los valores máximos de velocidad se empleó el mismo criterio usado para la aceleración máxima. Se obtuvieron los parámetros de las ecuaciones de atenuación al combinar los resultados obtenidos de las ecs (2.1) y (2.2).

El primer análisis se hizo con 65 datos de velocidad máxima correspondientes a los 26 eventos utilizados para aceleración. La diferencia en el número de datos estriba en que para el sismo del 25 Oct., 1981 no se cuenta con el valor de velocidad para 14 estaciones respecto a las 20 donde se dan los valores de aceleración (Tabla III).

Los coeficientes estimados para este primer análisis, que resultan de combinar las ecs (2.1) y (2.2) se dan en la

Tabla IV. Luego, se suprimieron los sismos cuyas localizaciones no eran confiables (los mismos eventos enumerados anteriormente) y se realizó un nuevo análisis de regresión, esta vez, con los valores máximos de velocidad de 51 registros correspondientes a los 14 eventos. Los parámetros que resultaron para la ecuación de predicción se presentan en la Tabla IV.

En los dos análisis de regresión resultó que el término cuadrático de la ec (2.2) se podía omitir. Respecto al término de suelo, en ambas ecuaciones este resultaba estadísticamente más significativo, con un valor mayor que el obtenido para las ecuaciones de aceleración.

Existe una diferencia notable respecto a los resultados para aceleración y los de velocidad: el coeficiente de R resulta positivo para la velocidad. Si bien, de los análisis exploratorios se determinó, a partir de las pruebas de hipótesis, que este término podía eliminarse, se decidió graficar la curva correspondiente a la ecuación completa obtenido con los datos de los 14 eventos. En la Fig 2.11 se grafica esta ecuación para un sismo de magnitud $M_s = 7.6$, para los dos tipos de suelo y se comprueba el ajuste de las curvas con los datos del sismo del 14 Mar., 1979 que tiene un valor de magnitud reportado $M_s = 7.6$. Como puede verse, a distancias

grandes, el coeficiente positivo de R comienza a ser significativo y no se observa atenuación de la velocidad con la distancia. Es evidente que los datos en ese mismo intervalo de distancias tampoco la presentan.

Al analizar el conjunto de datos para velocidad máxima, se observó que un porcentaje importante de ellos, a distancias lejanas, corresponden a la Ciudad de México o a zonas muy próximas a ésta, como es el caso específico de los datos del sismo presentado en la Fig. 2.11. Al considerar los periodos mayores que son dominantes en los registros de velocidad y más aún a distancias alejadas de la fuente, se observa un marcado fenómeno de amplificación local en estos periodos, para aquellos datos obtenidos de estaciones situadas en zonas de la Ciudad de México o próximas a ella donde el suelo es muy blando. Por esta razón, este fenómeno podía ser determinante en la forma de la curva. No se presenta evidencia de él en el caso de aceleración, debido a que además de contar con un número mayor de datos a diferentes distancias, los periodos dominantes son más bajos (frecuencias más altas), por lo que las predicciones de aceleración no son tan sensibles al tipo de suelo, como así lo demuestra el término de suelo de las ecs (2.3) y (2.4) que es menor que el obtenido para la velocidad; se hace más notorio aún con los resultados obtenidos para California, donde el

coeficiente de suelo no resultó estadísticamente significativo (refs 37 y 6).

Ante la influencia en la forma de las curvas de este fenómeno de amplificación, en suelos tan blandos como los de la Ciudad de México, se decidió realizar un nuevo análisis de regresión pero, esta vez, sólo con aquellos valores de velocidad máxima clasificados dentro de la categoría de "firme", correspondientes a 39 registros de 22 eventos; se incluyeron aquellos sismos cuyas localizaciones no eran confiables. Los coeficientes estimados de las ecs (2.1) y (2.2) se presentan en la Tabla IV. Se excluyeron luego, los eventos dudosos, y del nuevo análisis con 26 datos de 10 temblores se obtuvieron los parámetros que también se muestran en la Tabla IV. El término de R para esta última regresión, así como para la anterior, resulta positivo, y los valores estimados de velocidad máxima por estas dos ecuaciones no presentaron ninguna atenuación, a distancias lejanas.

Esto destacó la necesidad de una clasificación más estricta del tipo de suelo, ya que la mayoría de los datos a distancias lejanas, clasificados como "firme" y determinantes de la forma de la curva a esas distancias, se obtuvieron a partir de registros de estaciones tales como Ciudad Universitaria, Puebla u Hospital ABC. Se debería ser más preciso en

sus clasificaciones del tipo de suelo, puesto que fueron clasificadas como "firme", sin presentar características tan definidas como Acapulco Pel. o Infiernillo, situadas directamente sobre roca, también encuadradas dentro de la misma categoría.

Si bien en todos los análisis exploratorios realizados en cada regresión de velocidad máxima el término de R podía eliminarse, lo cual conduce a ecuaciones donde las formas de las curvas de atenuación son similares a las obtenidas para la aceleración, ya que la atenuación con la distancia estaría dada por el coeficiente de log R, que sí resulta negativo como se ha probado, no se propone ninguna de las ecuaciones de predicción obtenidas como definitiva, hasta tanto no se cuente con un mayor número de datos y clasificaciones del subsuelo más detalladas.

3. ATENUACION DE LA RAIZ CUADRATICA MEDIA DE LA ACELERACION (a_{rms})

3.1 Modelo

Hanks (ref 19) y McGuire y Hanks (ref 24) han demostrado que al aplicar el Teorema de Parseval sobre el modelo de la fuente de Brune (refs 7 y 8), este se puede usar para estimar a_{rms} para ondas de cortante en campo lejano con la presencia de atenuación inelástica.

Brune (ref 7) propuso un modelo sencillo de la fuente de un temblor, que relaciona el espectro del desplazamiento debido a ondas de cortante, $\bar{u}(f)$, con el momento sísmico M_0 y la frecuencia de esquina f_0 (Fig 3.1a)

$$\bar{u}(f) = \Omega_0 \frac{1}{(1 + f^2/f_0^2)} \quad (3.1)$$

donde

$$\bar{\Omega}_0 = \frac{R_{\theta\phi} M_0}{4 \pi \rho R \beta^3} \quad (3.2)$$

$R_{\theta\phi}$ es el patrón de radiación de la excitación de corte, ρ es la densidad, β es la velocidad de la onda de cortante y R distancia hipocentral.

Las características más sobresalientes del espectro $\bar{u}(f)$, se muestran en la Fig. 3.1(a). En esta figura, la frecuencia de esquina es inversamente proporcional al radio r de la fuente y se puede estimar según la relación (ref 7)

$$f_0 = \frac{2.34 \beta}{2 \pi r} \quad (3.3)$$

Las amplitudes espectrales para altas frecuencias ($f > f_0$) decaen según $f^{-\gamma}$, $\gamma = 2$; esta es una característica importante del modelo.

El espectro de amplitudes de Fourier para la aceleración $\bar{a}(f)$ se puede obtener a partir de $\bar{u}(f)$ al multiplicar la ec (3.1) por $(2 \pi f)^2$, lo que conduce al espectro mostrado en la Fig 3.1(b).

Las amplitudes para todas las frecuencias se disminuyen por un factor de atenuación inelástica de la forma $e^{-\frac{\pi f R}{BQ}}$, donde Q es la atenuación específica. Por lo tanto,

$$\bar{a}(f) = (2\pi)^2 \Omega_0 \frac{f_0^2}{(1 + f_0^2/f^2)} e^{-\frac{\pi f R}{Q\beta}} \quad (3.4)$$

La atenuación inelástica, para temblores grandes, para valores típicos de Q y β y para distancias de interés, es importante sólo para frecuencias $\gg f_0$.

Seguendo a Hanks (ref 19) y McGuire y Hanks (ref 24), se estima a_{rms} , mediante el Teorema de Parseval

$$\int_{-\infty}^{\infty} |a(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |\bar{a}(f)|^2 df \quad (3.5)$$

y según

$$a_{\text{rms}} = \left[\frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} |a(t)|^2 dt \right]^{1/2} \quad (3.6)$$

Según la Fig 3.1(b), se ve que la contribución a la parte derecha de la ec (3.5) para $f \leq f_0$ es pequeña. Se supone que la atenuación inelástica corta las amplitudes espectrales abruptamente en $f \sim f_{\text{máx}}$, y la estimación es válida para una ventana de tiempo igual a la duración de ruptura T_d , comenzando con el arribo directo de la onda de cortante, donde se supone que está confinado el movimiento significativo, y T_d es igual a f_0^{-1} . En función de los parámetros espectrales Ω_0 y f_0 , el resultado es

$$a_{\text{rms}} = (2\pi)^2 \Omega_0 f_0^3 \left(\frac{QB}{f_0 \pi R} \right)^{1/2} \quad (3.7)$$

la caída de esfuerzos, $\Delta\sigma$, está relacionada a M_0 y r en el modelo de Brune (refs 7 y 8) por

$$\Delta\sigma = \frac{7}{16} \frac{M_0}{r^3} \quad (3.8)$$

la ec (3.7) se puede expresar en función de los parámetros de la fuente teniendo en cuenta las ecs (3.2), (3.3) y (3.8), usando para el modelo de Brune (refs 7 y 8)

$$\Delta\sigma = \frac{1}{R_{\theta\phi}} 106 \rho R \Omega_0 f_0^3 \quad (3.9)$$

Por lo tanto,

$$a_{\text{rms}} = R_{\theta\phi} \frac{(2\pi)^2}{106} \frac{\Delta\sigma}{\rho} \frac{1}{R^{1/2}} \left(\frac{QB}{f_0 \pi} \right)^{1/2} \quad (3.10)$$

Para comparar las estimaciones del modelo con las observaciones, se debe considerar el efecto en la superficie libre (un factor de 2), la partición vectorial de la energía en dos componentes horizontales de igual amplitud ($\frac{1}{\sqrt{2}}$) y el valor RMS del patrón de radiación (0.6) o un factor de corrección combinado de 0.85. Así, la estimación de a_{rms} de una componente horizontal de aceleración es

$$a_{rms} = (0.85) \frac{(2\pi)^2}{106} \frac{\Delta\sigma}{\rho} \frac{1}{R^{3/2}} \left(\frac{QB}{f_0 \pi} \right)^{1/2} \quad (3.11)$$

3.2 Comparación del modelo con los cálculos del registro de a_{rms} para temblores de California

Hanks y McGuire (ref 20), para comparar las estimaciones del modelo de a_{rms} (ec 3.11) con aquellos obtenidos de acelerogramas (ec 3.6), analizaron dos conjuntos de datos. El primer conjunto fueron 8 temblores de California o los que correspondían 25 acelerogramas de movimientos fuertes (50 componentes horizontales). El segundo conjunto de datos fueron siete réplicas de Oroville, lo que resultaba en unos 10 acelerogramas.

Para el primer conjunto de datos se conocían los parámetros $\Delta\sigma$ y f_0 y las distancias hipocentrales. Se supusieron valores convencionales de ρ , β y Q de 2.7 gm/cm³, 3.2 km/seg y 300 respectivamente y se determinó la ventana de tiempo para la estimación del registro ($0 \leq t - \frac{R}{\beta} \leq T_d$). Los eventos abarcaban un intervalo amplio en magnitud, momento sísmico, distancia hipocentral y caídas de esfuerzos. Se compararon las relaciones registro/modelo de a_{rms} con las caídas de esfuerzos de cada temblor y no existió correlación entre modelo y registro; pero, se observó que el error era función de $(\Delta\sigma)^{-1}$ y para una relación registro/modelo de a_{rms} igual a 1,

el valor de $\Delta\sigma$ correspondiente era de 100 bares. Se recalcularon los valores del modelo fijando $\Delta\sigma = 100$ bares y se logra correlacionar el modelo y el registro.

En el análisis del segundo conjunto de datos se tomó una aproximación inversa a la descrita anteriormente; para cada componente del movimiento de cada réplica se estimó el valor de $\Delta\sigma$, invirtiendo la ec (3.11). Los resultados fueron similares a los obtenidos en el análisis anterior; con el propósito de igualar a_{rms} del registro con el modelo era necesaria una caída de esfuerzos cercana a los 100 bares.

3.3 Comparación del modelo con los cálculos del registro de a_{rms} para cinco sismos mexicanos

Para este conjunto de datos se realizó un procedimiento similar al realizado por Hanks y McGuire (ref 20) para las siete réplicas de Oroville.

Se investigaron 83 componentes horizontales de acelerogramas de movimientos fuertes correspondientes a cinco sismos ocurridos en México, los cuales figuran en la Tabla V y cuyas características aparecen en la Tabla II.

Se fijaron los valores de ρ , β y Q , en 2.7 gm/cm^3 , 3.2 km/seg y 300, respectivamente, y se estimó el valor de caída de esfuer

zo $\Delta\sigma$ invirtiendo la ec (3.11), según la forma abreviada

$$\Delta\sigma = 0.049 a_{\text{rms}} R^{3/2} \sqrt{f_0} \quad (3.12)$$

donde R es la distancia hipocentral en km, f_0 es la frecuencia de esquina en Hz y a_{rms} es el valor determinado en cm/seg^2 según la ec (3.6), el cual aparece en la Tabla V para cada componente, para una duración de aceleración igual al tiempo de ruptura T_d para cada sismo (Tabla V). La duración T_d para cada sismo se estimó a partir de la parte intena del movimiento, observada en la estación más cercana a la fuente; esta duración, es muy próxima a la obtenida a partir de análisis de sismogramas a distancias telesísmicas (refs 11, 33, 18 y 36). f_0 se encontró a partir de:

$$T_d = (f_0)^{-1}$$

Los valores obtenidos de $\Delta\sigma$ figuran en la última columna de la tabla. Según puede verse, estos valores resultan muy diferentes a aquellos obtenidos por Hanks y McGuire (ref 20) para California. En todos los casos la caída de esfuerzo resultaba mayor que 200 bares, excepto para las cuatro componentes analizadas del sismo del 25 Oct 1981, según se ve en la Fig 3.2, donde se representaron los valores de caída de esfuerzo, en función de la distancia hipocentral.

Aunque los valores de caída de esfuerzos presentaban una gran dispersión, se estimó un valor promedio de $\Delta\sigma$ el cual resultó muy próximo a los 900 bares.

Al analizar las distancias hipocentrales que figuran en la Tabla V, correspondientes a cada estación de registro de acelerogramas, para casi todos los datos, éstas resultan mayores a los 100 km; a distancias lejanas la contribución de ondas de superficie no se puede suprimir. Para esos casos la duración del intervalo de movimientos fuertes era mayor. Sin embargo, las estimaciones de a_{rms} se hicieron para una ventana de tiempo igual a la duración de ruptura correspondiente; dada las características del movimiento, se probó que las estimaciones de a_{rms} no eran sensibles a la duración, ni donde se eligiera la ventana en el intervalo observado. En muy pocos casos, generalmente sólo a distancias próximas a los 100 km, se observaba claramente el arribo de la radiación como ondas de cortante, para las cuales se ajustó el modelo, no percibiendo ningún tipo de contribución de ondas de superficie.

Podría argumentarse, entonces, que para aquellos registros a distancias lejanas donde era evidente la contribución de ondas de superficie, el modelo no era aplicable y por eso quizá la razón de valores tan altos de caída de esfuerzo.

Sin embargo, para algunos registros a distancias menores, donde sí es aplicable el modelo, los valores obtenidos para $\Delta\sigma$ también fueron altos e inclusive mayores a los obtenidos a distancias más grandes para el mismo temblor. Por otra parte, para las cuatro componentes analizadas del sismo del 25 Oct, 1981, los valores de $\Delta\sigma$ resultaron próximos o menores que 150 bares.

Es obvio que al no contar con un mayor número de datos a distancias menores a los 100 km no se pueden presentar conclusiones definitivas. No se puede saber si los otros valores de caídas de esfuerzo, para los cuatro primeros eventos de la Tabla V, obtenidos de haber contado con registros a distancias más cercanas a la fuente, seguirían siendo altos; o sí, por otra parte, para el sismo del 25 Oct., 1981, los valores de $\Delta\sigma$ que se obtendrían a distancias mayores seguirían siendo bajos.

Por ahora no se puede determinar la aplicabilidad del modelo para un valor fijo de $\Delta\sigma$. Si bien, los valores obtenidos, en la mayoría de los eventos resultan muy diferentes al valor obtenido para California, son necesarios mayores datos de eventos futuros en un mayor intervalo de distancia para mejorar los resultados de este estudio.

En la Fig 3.3, se grafican los valores de aceleración máxi-

ma, $a_{\text{máx}}$, en función de a_{rms} para todas las componentes reportadas en la Tabla V. Según puede observarse, ambos valores se encuentran fuertemente correlacionados según la ecuación

$$a_{\text{máx}} = 3.33 \cdot a_{\text{rms}}$$

para $a_{\text{máx}}$ y a_{rms} en cm/seg^2 , determinada a partir del ajuste por mínimos cuadrados con un valor de desviación estándar $\sigma = 10.4$ para la estimación de $a_{\text{máx}}$.

Evidentemente, esto indica que a_{rms} no es una medida más estable de movimientos fuertes que la aceleración máxima y explica por qué la aceleración máxima ha sido una medida adecuada para especificar la severidad de los movimientos sísmicos, al menos para un intervalo limitado de magnitudes y frecuencias.

4. DETERMINACION DE LA MAGNITUD LOCAL, M_L , A PARTIR DE ACELEROGRAMAS

4.1 Determinación de M_L a partir de acelerogramas

La magnitud local, definida por Richter en 1935 (ref 29) es:

$$M_L = \log A_{WA} - \log A_0 \quad (4.1)$$

Esta definición se basa en la amplitud máxima A_{WA} registrada por un sismógrafo de torsión Wood-Anderson con un periodo natural de 0.8 seg, una constante de amortiguamiento $\beta = 0.8$ y una magnificación estática $V = 2800$, siendo $-\log A_0$ la función de atenuación obtenida de tablas (ref 29).

Kanomori y Jennings (ref 22) probaron la validez de sintetizar un registro Wood-Anderson a partir de un acelerograma, usando el registro de movimiento como la aceleración de entrada a un oscilador con las características de un instrumento

Wood-Anderson y calcularon M_L a partir de los registros del temblor de San Fernando.

Estos autores observaron además, que el registro Wood-Anderson sintetizado se asociaba más con la velocidad del suelo que con la aceleración o desplazamiento, y que la máxima respuesta del registro sintetizado ocurría aproximadamente al mismo tiempo que la máxima velocidad, el 70 por ciento de las veces. Esto se complementa con los resultados obtenidos por Boore (ref 5), quien probó que los valores de velocidad máxima del suelo y de respuesta máxima de un registro sintetizado están fuertemente correlacionados, al igual que sucede en México, según se demuestra más adelante de este trabajo.

4.1 Determinación de M_L a partir de acelerogramas de cuatro sismos mexicanos

En este estudio se siguió el mismo procedimiento visto anteriormente, calculando los valores de magnitud local a partir de 79 acelerogramas correspondientes a las componentes horizontales de los sismos del 28 Ago., 1973; 29 Nov., 1978; 14 Mar., 1979 y 24 Oct., 1980, ocurridos en México. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla V. Se obtuvieron los valores promedio de M_L para cada estación y se graficaron para cada sismo en función de la distancia, en las Figs 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4, respectivamente.

Al analizar estas figuras, especialmente las Figs 4.2, 4.3 y 4.4 donde se tienen más datos, se ve que para las estaciones más cercanas, los valores promedio de M_L del sismo del 29 Nov., 1978 de $M_S = 7.8$, del sismo del 14 Mar., 1979 de $M_S = 7.6$ y del sismo del 24 Oct., 1980, de $M_W = 7.0$ resultan iguales a 7.22, 7.27 y 7.20, respectivamente. Sin embargo, se ve que para distancias lejanas, los valores promedio de M_L resultan casi un grado mayor a estos mencionados. En todos los casos las estaciones más alejadas correspondían a la Ciudad de México o cercanas a ésta, o bien a Minatitlán y Pajaritos.

En el Capítulo 2, en el estudio de la atenuación de la velocidad con la distancia, se vio que a distancias grandes los valores máximos de velocidad correspondientes a estaciones ubicadas sobre terrenos muy blandos de algunas zonas de la Ciudad de México, mostraban una marcada amplificación debido a los periodos mayores dominantes en los registros de velocidad y más aún a distancias alejadas de la fuente, como lo confirman los periodos en la Tabla V, correspondientes a los valores máximos de velocidad de cada registro; también aquellos datos obtenidos de estaciones como Ciudad Universitaria, Puebla u Hospital ABC, clasificadas como "firme", presentaron anomalías las cuales pusieron en evidencia la necesidad de clasificaciones del tipo de suelo más detalladas.

Si se tiene presente la fuerte correlación entre velocidad máxima y la respuesta máxima de un sismógrafo Wood-Anderson ideal, empleada para el cálculo de M_L , los valores de M_L más altos a distancias lejanas se deberían a este fenómeno de amplificación en las velocidades.

Existe la posibilidad de que los valores de la función de atenuación $-\log A_0$ para el caso de México, podrían resultar diferentes a los reportados por Richter (ref 29) para California que fueron los que se emplearon, según la ec (4.1), en este trabajo. Aún así, se piensa que las diferencias entre los valores de magnitud local no resultarían tan diferentes, para un mismo temblor, entre un intervalo de distancia y otro; el fenómeno de amplificación debe ser el factor determinante en los resultados obtenidos, al considerar la forma en que se relacionan y se explican estas diferencias con los problemas que se presentaron en el estudio de la atenuación de la velocidad con la distancia.

4.3 *Correlación entre velocidad máxima y la respuesta Wood-Anderson*

En la Fig 4.5 se grafican los 79 valores de amplitud máxima Wood-Anderson, utilizados para el cálculo de M_L , obtenidos de los acelerogramas, en función de la velocidad máxima del

suelo (Tabla III). Según se ve en esta figura, la correlación entre ambos valores es aceptable. Un ajuste razonable a todo el conjunto de datos conduce a:

$$\log A_{WA} = 0.201 + 0.97 \log v \quad (4.2)$$

con un valor de desviación estándar en la estimación del $\log A_{WA}$ $\sigma = 0.09$. En esta ecuación v es la velocidad máxima del suelo en cm/seg y A_{WA} es la amplitud en metros de un sismógrafo Wood-Anderson ideal. La ec (4.2) es válida para temblores grandes como los que aquí se analizan, ya que para temblores más pequeños los factores de correlación entre ambos valores resultan diferentes (Singh, comunicación personal).

En la Fig 4.5 se compara la ec (4.2) la cual puede expresarse como

$$A_{WA} = 1.59 v^{0.97} \quad (4.3)$$

con aquella obtenida por Boore (ref 5)

$$A_{WA} = 1.30 v$$

Según se ve, las diferencias entre ambas ecuaciones no son grandes; esta última proporciona valores menores que los da

tos. En la figura, las diferencias de la ec (4.2) al considerar los ajustes por el tipo de suelo son muy pequeñas, especialmente donde se cuenta con la mayor cantidad de datos.

La alta correlación entre la velocidad máxima y la máxima amplitud registrada por un sismógrafo Wood-Anderson ideal si hubiese estado sometido a una aceleración del suelo que conduce a la velocidad máxima, permite calcular A_{WA} y M_L , especialmente para sismos recientes, donde se cuenta con un número considerable de valores de velocidad máxima y no se tiene una medida estándar de M_L .

5. CONCLUSIONES

De los análisis de regresión lineal siguiendo una técnica que separa la determinación de la dependencia de los datos con la distancia, de la dependencia con la magnitud, se obtuvo que la atenuación de la aceleración máxima con la distancia se puede representar por dos ecuaciones de predicción. En la determinación de la primera de ellas,

$$\log a = 2.169 + 0.111M - 0.389 \log R - 0.00244R + 0.252S \quad (5.1)$$

algunos valores de a_1 no mostraron ninguna relación con la magnitud. Un estudio más detallado determinó que la mayoría de ellos correspondían a eventos para los cuales se tenían dudas respecto a la localización de sus epicentros. Se consideró que la dispersión de estos valores de a_1 respecto a M se podía deber a un efecto de la fuente en zonas de la costa próximas a Acapulco. Se presenta esta ecuación para

tener en cuenta este fenómeno, para esas zonas a distancias cercanas, aunque el ajuste de los datos con el modelo no es bueno. El error estándar en la estimación del $\log a$ fue $\sigma_y = 0.42$.

La segunda expresión

$$\log a = 0.349 + 0.307 M - 0.211 \log R - 0.00276 R + 0.297 S \quad (5.2)$$

se obtuvo después de eliminar aquellos eventos que presentaban dudas en sus localizaciones. Esta ecuación conduce a un valor del error estándar en la estimación del $\log a$, $\sigma_y = 0.27$; es estrictamente válida para un intervalo de distancias comprendido entre 100 y 500 km, donde se tiene el mayor número de datos.

En los análisis de regresión realizados para la determinación de las dos ecuaciones presentadas, el término de suelo resultó estadísticamente significativo a diferencia de los que otros autores obtuvieron para la parte oeste de Estados Unidos.

La comparación de las curvas obtenidas de esta última ecuación con aquellas propuestas por Esteva y Villaverde (ref 15) y por Joyner y Boore (ref 21), mostró diferencias pequeñas entre la curva obtenida en este estudio para suelo firme y la obtenida por Esteva y Villaverde (ref 15) para el mismo tipo.

de suelo. Por el contrario, las diferencias respecto a la única curva propuesta por Joyner y Boore (ref 21) son mucho mayores, lo cual destacó la necesidad de contar con leyes de atenuación propias de cada región.

Se compararon además las curvas obtenidas en este estudio con los datos de dos temblores considerados profundos. La mayoría de los datos mostraron un ajuste bastante bueno, especialmente con la curva en suelo firme; no existieron diferencias entre ellos respecto al tipo de suelo debido al contenido de altas frecuencias de los registros, por tratarse de distancias moderadas.

En el estudio de la atenuación de la velocidad máxima del suelo con la distancia, no se obtuvieron resultados tan claros como para la aceleración, donde se contaba con un mayor número de datos distribuidos en un intervalo de distancias mayores.

Se realizó un primer análisis de regresión con los 65 valores de velocidad máxima correspondientes a los 26 eventos y luego un segundo análisis eliminando aquellos temblores para los cuales se tenían dudas respecto a la localización de sus epicentros. En ambos análisis el término de suelo resultó estadísticamente significativo. Los coeficientes determina-

dos se presentaron en la Tabla IV. El cálculo de los valores de velocidad a través de estas dos ecuaciones obtenidas para diferentes distancias presentó la evidencia de que a distancias lejanas no se observaba ningún tipo de atenuación. Se piensa en la existencia de un fenómeno de amplificación local, observado en aquellos valores de velocidad, obtenidos de estaciones muy alejadas de la fuente correspondientes a la Ciudad de México, donde el suelo es muy blando. Se hicieron otros dos ajustes considerando sólo los datos clasificados en la categoría de "firme". No se propone a ninguna de las ecuaciones de predicción obtenidas como definitiva; será necesario un mayor número de datos, en un mayor intervalo de distancias y estudios más detallados del tipo de suelo.

El cálculo de la caída de esfuerzo $\Delta\sigma$, obtenido de a_{rms} mediante la formulación presentada por Hanks (ref 19) y McGuire y Hanks (ref 24), indicó un valor promedio aproximado de 900 bares, a diferencia de lo obtenido para California, donde el valor de $\Delta\sigma$ promedio resulta próximo a los 100 bares (ref 20). Esto se atribuye a que a distancias lejanas de una fuente, existe la contribución de ondas de superficie, por lo que el modelo podría no ser aplicable y por ello resultaban valores tan altos de caídas de esfuerzo. Sin embargo, a distancias moderadas próximas a los 100 km, se observaba claramente, en los registros, la radiación arribando

principalmente como ondas de cortante, para las cuales sí era aplicable el modelo, y los valores de $\Delta\sigma$ también fueron altos. Por otra parte, para las componentes analizadas del sismo del 25 Oct., 1981, los valores de $\Delta\sigma$ resultaron próximos o menores que 150 bares.

Los valores de caída de esfuerzo resultaron muy diferentes al valor promedio determinado para California, pero no se establecen conclusiones definitivas hasta contar con un mayor número de datos, especialmente a distancias más próximas.

Los valores de aceleración máxima, $a_{\text{máx}}$, de los 83 registros, se correlacionaron con los valores de a_{rms} obtenidos de ellos, y se obtuvo

$$a_{\text{máx}} = 3.33 a_{\text{rms}} \quad (5.3)$$

con un valor de desviación estándar para la estimación de $a_{\text{máx}}$, $\sigma = 10.4$.

Esta fuerte correlación entre ambos valores demostró que la aceleración máxima es una medida tan estable de movimientos fuertes como lo es a_{rms} .

El cálculo de los valores de magnitud local, M_L , a partir de

79 acelerogramas obtenidos de cuatro sismos mexicanos, de acuerdo con el procedimiento cuya validez probaron Kanamori y Jennings (ref 22), permitió conocer valores promedio de M_L para cada estación y se representaron para cada sismo, en función de la distancia. Para tres de estos eventos se calculó un valor \bar{M}_L promedio para las estaciones más alejadas de la fuente y otro valor para las estaciones ubicadas a distancias moderadas. La diferencia entre ambos valores en los tres eventos fue de aproximadamente un grado. Esta diferencia se fundamentó teniendo en cuenta la notable correlación entre los valores de velocidad máxima y las máximas respuestas de un sismógrafo Wood-Anderson ideal, empleadas para el cálculo de M_L ; considerando que los valores de amplitud máxima fueron altos para esas estaciones, y por ende los valores de M_L , porque también los valores de velocidad máximos obtenidos a partir de ellas resultaban altos debido al fenómeno de amplificación previamente mencionado. Sin embargo, no se descartó el hecho de que parte de estas diferencias podrían deberse a la función de atenuación $-\log A_0$, empleada para el cálculo de M_L , la cual fue determinada con base en registros de California.

Se realizó un ajuste por mínimos cuadrados de manera de relacionar los valores máximos de velocidad con los valores de amplitud máxima y se obtuvo

$$\log A_{WA} = 0.201 + 0.97 \log v \quad (5.4)$$

con un valor de desviación estándar en la estimación del $\log A_{WA}$, $\sigma = 0.09$, donde v es la velocidad máxima en cm/seg y A_{WA} es la amplitud en metros. La correlación entre ambos valores es alta. No se observó ninguna diferencia grande entre esta ecuación y aquellas obtenidas al considerar el tipo de suelo. Se destacó la importancia de contar con una ecuación de este tipo que permita calcular rápidamente el valor de A_{WA} y por lo tanto el de M_L , especialmente para sismos grandes donde se cuenta con un número grande de valores de velocidad máxima y no se tiene una medida estándar de M_L .

6. REFERENCIAS

1. Abe, K. (1981). Magnitude of large shallow earthquake from 1904 to 1980, *Phys.Earth.Planet.Int.* 27, 72-92.
2. Ambraseys, N.N.(1973). Dynamics and response of foundation materials in epicentral regions of strong earthquakes, *Proc. World Conf. Earthquake Eng.*, 5th., Rome I, CXXVI-CXLVIII.
3. Arias, A.(1970). A measure of earthquake intensity, in *Seismic Design for Nuclear Power Plants*, edited by R.J. Hanson, MIT Press, Cambridge, Mass.
4. Bolt, B.A. (1982). Methods of estimating attenuation and effective peak accelerations in the near field, *Proc. Third Int. Earthq. Microzonation Conference I*, Seattle, U.S.A.
5. Boore, D.M. (1980). On the attenuation of peak velocity, *Proc. of 7th. World Conf. on Earthquake Engin.*, 577-584.

6. Boore, D.M., W.B. Joyner, A.A. Oliver, III, and R.A. Page (1980). Peak acceleration; velocity and displacement from strong-motion records, *Bull. Seism. Soc. Am.* 70, 305-321.
7. Brune, J.N. (1970). Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, *J. Geophys. Res.* 75, 4997-5009.
8. Brune, J.N. (1971). Correction, *J. Geophys. Res.* 76, 5002.
9. Brune, J.N., F.L. Vernon, R.S. Simons, J. Prince and E. Mena (1982). Strong-motion data recorded in Mexico during the main shock, separate print from U.S. Geological Survey Professional Paper 1254 - The Imperial Valley, California Earthquake of October 15, 1979.
10. Campbell, K.W. (1981). Near source attenuation of peak horizontal accelerations, *Bull. Seism. Soc. Am.* 71, 2039-2070.
11. Chael, E.P. and G.S. Stewart (1982). Recent large earthquake along the Middle America Trench and their implications for the subduction process, *J. Geophys. Res.* 87, 329-338.
12. Davenport, A.G. (1972). A statistical relationship between shock amplitude, magnitude and epicentral distance and its application to seismic zoning, Univ. Western Ontario, Faculty Eng.Sci, BLWT-4-72.
13. Donovan, N.C. (1982). Strong-motion attenuation equations- A critique-, *Proc. Third Int. Earthq. Microzonation Conference I*, Seattle, U.S.A.

14. Esteva, L. (1974). "Seismicity" en Seismic Risk and engineering decisions, C. Lomnitz y E. Rosenblueth eds. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam 1976, 179-224.
15. Esteva, L and R. Villaverde (1973). Seismic Risk, design spectra and structural reliability, *Proc. World Conf. Earthq. Engin., 5th., Rome.*
16. Faccioli, E. (1977). Site-Dependent probability distribution for peak ground motion parameters in strong earthquake, *Inst.de Ingeniería, E-24, Univ.Aut. de México.*
17. Figueroa, J.A. (1970). Catálogo de sismos ocurridos en la República Mexicana, *Inst. de Ingeniería, 272, Univ. Aut. de México.*
18. González, J.R. and K.C. McNally (1983). Influence of earthquake fault mechanism, depth and distance on damage in México, *Memorias VI Congreso Nacional de Ing. Sísmica, Puebla, México*
19. Hanks, T.C. (1979a). b-values and w^{-Y} seismic source models: implications for tectonic stress variations along active crustal fault zones and the estimation of high-frequency strong ground motion, *J. Geophys. Res. 84, 2235-2242.*
20. Hanks, T.C. and R.K. McGuire (1981). The character of high-frequency strong ground motion, *Bull.Seism. Soc. Am. 71, 2011-2038.*
21. Joyner, W.B. and D.M. Boore (1981). Peak horizontal acceleration and velocity from strong motion records including records from the 1979 Imperial

Valley, California, Earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* 71, 2011-2038.

22. Kanamori, H. y P.C. Jennings (1978). Determination of local magnitude, M_L , from strong-motion accelerograms, *Bull. Seism. Soc. Am.* 68, 471-485.
23. McGuire, R.K. (1978). Seismic ground motion parameters relations, *Proc. Am. Soc. Civil Eng. Div.* 104, 481-490.
24. McGuire, R.K. y T.C. Hanks (1980). RMS accelerations and spectral amplitudes of strong-ground motion during the San Fernando, California earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* 70, 1907-1919.
25. Mena, E. y D. Muriá (1982). Catálogo de resultados del procesamiento de acelerogramas del sismo del 29 de nov. de 1978 en el estado de Oaxaca, Inst. de Ingeniería, Inf. interno 9206, Univ. Aut. de México.
26. Muriá, D., E. Mena y J. Jiménez (1982). Catálogo de resultados del procesamiento de acelerogramas del sismo del 14 de marzo de 1979, Inst de Ingeniería, Inf. interno 9209, Univ. Aut. de México.
27. Prince, J. y E. Mena (1982). El sismo del 25 de octubre de 1981 cerca de Lázaro Cárdenas, Michoacán, *Ing. Sísmica* 28, Soc. Mex. de Ing. Sísmica.
28. Rascón, O., M. Chávez, L. Alonso y V. Palencia (1977): Registro y espectro de temblores en las ciudades de México y Acapulco, 1961-1968, Inst. de Ingeniería 385, Univ. Aut. de México.
29. Richter, C.F. (1958). *Elementary Seismology*, W.H. Freeman, San Francisco, 768 pp.

30. Rothé, J.P. (1969). *The Seismicity of the Earth, 1953-1965*, UNESCO, Paris, 336 pp.
31. Ruiz, S. (1977). Influencia de las condiciones locales en las características de los sismos, *Inst. de Ingeniería* 387, Univ. Aut. de México
32. Schnabel, P.B. and B. Seed. (1973). Accelerations in rock for earthquake in Western United States, *Bull. Seism. Soc. Am.* 63, 501-516.
33. Singh, S.K. and M. Wyss (1976). Source Parameters of the Orizaba Earthquake of August 28, 1973, *Geofísica Internacional* (613), 165-184.
34. Singh, S.K. and J. Havskov (1980). On moment-magnitude scale, *Bull. Seism. Soc. Am.* 70, 379-383.
35. Singh, S.K., M. Rodríguez and J.M. Espíndola (1984), A catalog of shallow earthquakes of Mexico from 1900 to 1981, *Bull. Seism. Soc. Am.* 74, 267-279.
36. Singh, S.K., T. Domínguez, R. Castro and M. Rodríguez (1984). P wave form of large, shallow earthquakes along the Mexican subduction zone, *Bull. Seism. Soc. Am.*, submitted.
37. Trifunac, M.D. and A.G. Brady (1976). Correlations of peak accelerations, velocity and displacement with earthquake magnitude, distance and site conditions, *Earth. Engin, Struct. Dyns.* 4, 455-471.

RECONOCIMIENTOS

Quiero agradecer a Luis Esteva M. y S.K. Singh la dirección de este trabajo y el valioso aporte que dieron a mi formación profesional. A Raúl Castro E. por su apoyo y colaboración. A Norma Furlán y José Mendoza por el asesoramiento estadístico. A Enrique Mena S., Rosario Delgado D. y Juan Jiménez M., quienes me proporcionaron los datos utilizados en este trabajo. Al Instituto de Ingeniería de la UNAM por las facilidades otorgadas para la realización de este estudio. A la Univ. Nac. de San Juan-Argentina por el apoyo brindado.

Por último, quiero agradecer al Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), San Juan, Argentina y a la Organización de los Estados Americanos (OEA) que hicieron posible mi especialización en este país.

TABLA I. ESTACIONES DE REGISTRO CON ACELEROGRAFO

NOMBRE ESTACION	TIPO DE SUELO	LATITUD (N°)	LONGITUD (W°)
ACAPULCO PELLANDINI	Roca	16.840	99.910
ACAPULCO SOP	Suelo aluvial	16.850	99.894
ALAMEDA CENTRAL, D.F. (*)	Blando: zona lago	19.433	99.133
ALBERCA OLIMPICA, D.F.	Edificio P.B.	19.352	99.155
APATZINGAN	Suelo	19.083	102.350
CHILPANCINGO	Suelo	17.553	99.500
CIUDAD ALTAMIRANO	Suelo	18.358	100.658
CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F.	Roca: basalto	19.330	99.183
INFIERNILLO CASA MAQ.	Roca	18.270	101.900
INFIERNILLO POTABILIZ.	Roca	18.270	101.900
LOTERIA MAL. SOT., D.F.	Edificio sótano	19.418	99.140
MINATITLAN	Suelo aluvial	17.980	94.541
MONDALCO ATIZ. SOT., D.F.	Edificio sótano	19.450	99.144
MONDALCO HIDALGO PAT., D.F. (*)	Suelo zona blanda	19.450	99.144
MONDALCO HIDALGO SOT., D.F. (*)	Edificio sótano	19.450	99.144
MONDALCO H.GONZALEZ SOT., D.F. (*)	Edificio sótano	19.450	99.144
OAXACA FAC. MEDICINA	Suelo aluvial	17.084	96.716
PAJARITOS	Suelo aluvial	18.113	94.391
PALACIO DEPORTES, D.F.	Edificio P.B.	19.416	99.011
SAN MARCOS, GRO.	Suelo aluvial	16.803	99.395
SICARTSA ACERAC. Suelo	Estruc. metal. suelo	17.933	102.200
SICARTSA CASETA MAESTRO	Suelo	17.933	102.200
SICARTSA CASETA TESTIGO	Suelo	17.933	102.200
SISMEH CD. UNIVERSITARIA, D.F.	Roca: basalto	19.326	99.182
SISMEH HOSPITAL ADC, D.F.	Suelo	19.400	99.205
SISMEH PUEBLA, PUE.	Suelo: travertino	19.043	98.212
SISMEH SANOP, D.F.	Suelo: arcilla	19.393	99.147
SISMEH VIVEROS, D.F.	Suelo: arcilla	19.358	99.171
TEXCOCO CENTRO LAGO	Suelo: arcilla	19.480	98.991
TEXCOCO CHIMALHUACAN	Suelo	19.430	98.950
TEXCOCO SOSA	Suelo: arcilla	19.580	99.019
TEXCOCO VIVERO CONTADOR	Suelo	19.557	98.941
TUXTLA, GUTIERREZ	Suelo	16.747	93.130

(*) Retirado.

TABLA II PARAMETROS FOCALES DE LOS TEMBLORES CON REGISTROS DE ACELERACION

Evento	Fecha	Tiempo de Origen (UT)	Coordenadas epicentrales		Magnitud	Profundidad (km)
			Lat. N.	Long. W.		
1	11/12/61	4:44:47.0 (1)	19.700	(1) 99.100	M = 5.0 (1)	29.8 (1)
2	11/5/62	14:11:57.1 (2)	17.250	(2) 99.580	M _S = 7.2 (2)	40.0 (3)
3	19/5/62	14:58:12.0 (2)	17.120	(2) 99.570	M _S = 6.9 (2)	33.0 (3)
4	30/11/62	21:57:18.0 (1)	17.300	(1) 99.433	M _S = 5.0 (4)	57.0 (3)
5	6/07/64	07:22:09.9 (1)	18.033	(1) 100.767	M _B = 7.2 (5)	100.0 (6)
6	24/06/65	03:45:37.0 (1)	17.000	(3) 99.600	m _b = 4.6 (3)	51.0 (3)
7	23/03/65	19:46:02.0 (2)	16.300	(2) 95.800	M _S = 7.8 (2)	30.0 (6)
8	1/11/65	09:54:15.0 (1)	17.000	(3) 99.700	m _b = 4.4 (3)	58.0 (3)
9	9/12/65	06:07:40.6 (2)	17.300	(2) 100.000	m _b = 6.0 (2)	M _S =6.5(2)
10	11/04/66	17:17:26.0 (1)	17.983	(1) 102.750	M _S = 5.5 (4)	30.0 (9)
11	25/09/66	06:32:33.0 (1)	18.300	(3) 100.800	m _b = 5.5 (3)	M _S =5.7(4)
12	20/04/67	13:41:24.0 (1)	16.865	(3) 99.499	m _b = 4.3 (3)	76.0 (3)
13	7/06/67	07:06:21.0 (1)	17.100	(3) 99.900	m _b = 4.4 (3)	47.0 (3)
14	3/02/68	05:36:14.6 (2)	16.700	(2) 99.400	m _b = 5.7 (2)	M _S =5.9(2)
15	2/07/68	03:44:48.9 (2)	17.640	(2) 100.270	m _b = 5.9 (2)	M _S =6.7(2)
16	2/08/68	14:06:43.9 (2)	16.600	(2) 97.700	m _b = 6.3 (3)	M _S =7.4(2)
17	5/09/71	09:13:15.3 (7)	17.087	(3) 99.811	m _b = 5.2 (3)	M _S =5.0(3)
18	28/08/73	09:50:38.0 (7)	18.267	(3) 96.598	m _b = 6.8 (3)	M _B =7.3(5)
19	6/10/74	17:09:35.4 (3)	16.800	(3) 99.800	m _b = 5.0 (3)	51.0 (3)
20	17/11/74	22:57:40.7 (3)	17.000	(3) 100.100	m _b = 4.7 (3)	33.0 (3)
21	14/03/75	06:04:31.3 (3)	16.600	(3) 93.400	m _b = 5.5 (3)	155.0 (3)
22	5/11/75	17:04:21.4 (3)	16.900	(3) 92.818	m _b = 5.0 (3)	M _S =4.4(3)
23	4/12/75	14:58:20.2 (3)	16.585	(3) 99.497	m _b = 5.0 (3)	09.0 (3)
24	27/04/76	18:14:19.0 (3)	16.438	(3) 99.677	m _b = 4.9 (3)	33.0 (3)
25	7/06/76	14:26:39.1 (2)	17.400	(2) 100.640	m _b = 6.1 (3)	M _S =6.4(3)
26	19/03/78	01:39:14.0 (2)	17.030	(2) 99.740	m _b = 6.4 (3)	M _S =6.4(3)
27	29/11/78	19:52:47.3 (3)	16.000	(2) 96.690	m _b = 6.4 (3)	M _S =7.8(2)
28	29/11/78	20:04:46.6 (3)	16.160	(3) 95.746	m _b = 5.3 (3)	33.0 (3)
29	29/11/78	20:49:48.8 (3)	16.185	(3) 96.630	m _b = 5.7 (3)	22.0 (3)
30	14/03/79	11:07:11.2 (2)	17.460	(2) 101.460	m _b = 6.5 (3)	M _S =7.6(2)
31	24/10/80	14:53:35.1 (3)	18.211	(3) 98.240	m _b = 6.4 (3)	72.0 (3)
32	17/09/81	09:54:24.4 (8)	16.164	(8) 99.831	m _b = 5.4 (3)	17.0 (8)
33	25/10/81	03:22:13.0 (2)	17.750	(2) 102.250	m _b = 6.2 (3)	M _S =7.3(2)

Notas y referencias para la Tabla II

- (1) Figueroa (1970)
- (2) Singh, et al (1984)
- (3) Preliminary Determination of Epicenter-U.S. Geological Survey -
- (4) Magnitud determinada a partir de los datos de amplitud de los boletines de Uppsala. (S.K. Singh, Comunicación personal, 1983)
- (5) Abe (1981) + 0.2
- (6) Rothé (1969)
- (7) Boletín Sismológico - Publicación Trimestral - Instituto de Geofísica, Univ. Nac. Autónoma de México, (UNAM)
- (8) Datos suministrados por la Sección de Ingeniería Sísmica del Instituto de Ingeniería - UNAM
- (9) Profundidad estimada

TABLA III

Datos de movimientos fuertes

SISMO	ESTACION	COMPONENTE	$u_{m\acute{a}x}$ (gal)	$u_{m\acute{i}n}$ (gal)	$v_{m\acute{a}x}$ (cm/seg)	$v_{m\acute{i}n}$ (cm/seg)	DISTANCIA HIPOC (km)	SITIO
11/12/61	Alameda Central, D. F.	N 10°46'W	17.00	-16.60	3.30	- 3.40	44.46	blando
		N 79°14'E	20.80	-11.80	2.46	- 3.10		
		Vertical	6.00	- 8.00	1.66	- 1.72		
11/05/62	Alameda Central, D. F.	N 10°46'W	47.00	-43.00	12.60	- 9.70	249.23	blando
		N 79°14'E	41.00	-37.70	10.40	-10.80		
		Vertical	12.20	-11.20	2.85	- 2.60		
19/05/62	Alameda Central, D. F.	N 10°46'W	38.40	-33.00	-	-	262.48	blando
		N 79°14'E	29.30	-30.00	11.00	-10.30		
		Vertical	8.50	-10.00	2.20	- 2.80		
30/11/62	Alameda Central, D. F.	N 10°46'W	5.50	- 6.80	1.52	- 1.40	245.02	blando
		N 79°14'E	5.30	- 5.10	1.06	- 1.00		
		Vertical	3.60	- 3.80	1.60	- 1.40		
06/07/64	Ciudad Univer- sitaria	N-S	16.80	-20.00	3.70	- 4.90	245.03	firme
		E-W	15.00	-14.00	3.00	- 2.12		
		Vertical	12.00	-14.60	2.70	- 2.20		
Nonoalco Hidal- go. Sot., D.F.		E-W	39.70	-47.00	12.80	-14.70	255.94	blando
		Vertical	10.00	-10.40	2.90	- 3.80		
Nonoalco Atiza- pán Sot., D.F.		N-S	24.00	-23.70	8.00	- 6.80	255.94	blando
		E-W	19.30	-18.00	5.60	- 5.20		
		Vertical	15.30	-12.00	3.10	- 4.20		
Nonoalco M. Gon- zález Sót., D.F.		N-S	30.00	-26.00	7.00	- 7.80	255.94	blando
		E-W	25.00	-30.00	7.60	- 6.60		
		Vertical	10.00	-11.70	2.00	- 2.60		
Nonoalco Hidal- go Pat., D.F.		N-S	36.20	-38.00	10.20	- 9.70	255.94	blando
		E-W	42.00	-44.00	12.20	-12.40		
		Vertical	17.80	-17.00	3.20	- 4.70		
24/06/65	Acapulco Pal.	N-S	85.00	-72.70	3.30	- 3.00	63.78	firme
		E-W	96.00	-87.00	1.92	- 2.50		
		Vertical	50.00	-67.00	1.20	- 1.20		
23/08/65	Ciudad Univer- sitaria	N-S	4.10	- 2.60	1.40	- 1.50	499.00	firme
		E-W	2.60	- 2.85	0.90	- 1.37		
		Vertical	1.85	- 1.20	0.95	- 0.80		
Nonoalco Atiza- pán. Sót., D.F.		N-S	21.00	-21.00	8.50	- 6.00	504.85	blando
		E-W	9.30	- 9.00	4.80	- 3.90		
		Vertical	5.40	- 5.00	2.20	- 2.50		

TABLA III (continuación)

01/11/65	Acapulco Pel.	N-S	78.00	- 65.00	2.40	- 1.80	64.84	firme
		E-W	56.00	- 39.00	1.24	- 1.50		
		Vertical	45.40	- 34.00	1.00	- 2.75		
09/12/65	Acapulco Pel.	N-S	230.00	-230.00	12.00	-20.40	77.02	firme
		E-W	130.00	-110.00	7.40	- 4.80		
		Vertical	103.00	- 93.80	4.70	- 8.60		
	Nonoalco Atizapán, Sct. D.F.	N-S	7.00	- 5.70	2.50	- 2.50	261.78	blando
		E-W	9.50	- 6.40	3.90	- 3.80		
		Vertical	3.50	- 5.30	2.55	- 2.10		
11/04/66	Infiernillo Potab.	S68W	22.10	- 17.08	0.54	- 0.57	102.20	firme
		N22W	22.45	- 21.65	0.88	- 0.81		
		Vertical	25.40	- 14.17	0.52	- 0.73		
25/09/66	Infiernillo Potab.	S68W	10.75	- 17.11	0.48	- 0.46	143.25	firme
		N22W	25.52	- 21.95	0.94	- 0.91		
		Vertical	11.73	- 14.28	0.34	- 0.35		
20/04/67	Acapulco Pel.	N-S	31.00	- 47.50	1.20	- 1.00	88.37	firme
		E-W	35.00	- 53.00	0.80	- 1.50		
		Vertical	24.00	- 30.00	0.78	- 0.70		
07/06/67	Acapulco Pel.	N-S	64.00	- 48.00	0.90	- 1.10	55.12	firme
		E-W	48.00	- 43.00	0.80	- 0.94		
		Vertical	52.00	- 40.00	0.73	- 0.70		
03/02/68	Acapulco Pel.	N-S	17.20	- 20.00	0.50	- 0.37	58.59	firme
		E-W	31.70	- 18.00	0.53	- 0.85		
		Vertical	20.00	- 41.00	0.80	- 0.70		
02/07/68	Acapulco Pel.	N-S	80.00	- 88.00	3.6	- 5.3	105.22	firme
		E-W	54.00	- 56.00	2.8	- 2.8		
		Vertical	60.00	- 54.00	2.2	- 2.0		
	Nonoalco Atizapán Sct., D.F.	N-S	12.40	- 11.00	12.60	- 7.30	238.15	blando
		E-W	15.30	- 12.00	5.00	- 4.80		
02/08/68	Acapulco Pel.	N-S	8.20	- 8.00	0.70	- 0.90	246.76	firme
		E-W	11.70	- 7.70	0.90	- 0.78		
		Vertical	3.60	- 4.70	0.45	- 0.47		
	Ciudad Universitaria	N-S	15.00	- 7.90	3.10	- 3.50	344.83	firme
		E-W	10.00	- 11.80	3.50	- 4.20		
		Vertical	6.20	- 8.60	2.90	- 3.30		

TABLA III (continuación)

	Nonoalco Atizapán Sót., D.F.	N-S	24.00	- 25.00	8.80	- 7.00	354.66	blando
		E-W	41.00	- 38.00	12.80	-14.30		
		Vertical	10.60	- 11.10	5.50	- 4.70		
	Nonoalco Hidalgo Pat., D.F.	N-S	31.00	- 30.20	9.70	-11.00	354.66	blando
		E-W	46.00	- 44.00	14.40	-15.20		
		Vertical	10.70	- 8.00	8.80	- 5.60		
05/09/71	Acapulco SOP	N00E	166.89	-148.75	2.99	- 2.70	56.78	firme
		N90W	230.23	-221.74	4.86	- 5.06		
28/08/73	Oaxaca, Fac. de Medicina	N00E	199.40	-183.06	8.18	- 9.67	156.12	firme
		N90W	163.96	-142.96	5.98	- 7.25		
		Vertical	123.37	-103.90	3.25	- 3.22		
	Minatitlán	N00E	17.11	- 12.39	3.52	- 2.96	240.92	blando
		N90W	17.48	- 17.63	2.94	- 3.87		
		Vertical	11.25	- 10.66	2.04	- 1.81		
	Pajaritos	N00E	48.39	- 59.24	7.73	- 6.78	254.65	blando
		N90W	50.23	- 56.26	5.13	- 5.17		
		Vertical	27.02	- 18.96	1.46	- 2.59		
	Palacio de los Deportes, D.F.	N00E	17.83	- 17.16	8.74	- 9.69	302.40	blando
		N90W	15.90	- 16.94	8.47	- 8.47		
		Vertical	10.06	- 11.82	2.17	- 2.49		
06/10/74	Acapulco SOP	N00E	296.16	-242.71	7.01	- 5.49	52.41	firme
		N90W	505.38	-529.79	13.94	-13.85		
		Vertical	81.50	-	1.62	-		
17/11/74	Acapulco SOP	N-S	127.00	-	2.20	-	42.96	firme
		E-W	114.00	-	2.30	-		
14/03/75	Tuxtla Gutiérrez	N-S	84.00	-	2.50	-	158.64	firme
		E-W	82.00	-	2.60	-		
05/11/75	Tuxtla Gutiérrez	N00E	176.06	-246.93	5.25	- 1.95	39.94	firme
		N90W	172.20	-107.54	3.68	- 5.26		
04/12/75	Oaxaca, Fac. de Medicina	N00E	26.50	-	1.28	-	264.52	firme
		N90W	16.70	-	1.17	-		
		Vertical	14.70	-	0.62	-		
27/04/76	Acapulco SOP	N00E	40.70	-	0.95	-	61.75	firme
		N90W	46.50	-	0.83	-		
		Vertical	17.20	-	0.35	-		

TABLA III (continuación)

07/06/76	Acapulco SOP	NODE	54.80	-	1.93	-	110.75	firme
		N90W	48.80	-	1.92	-		
19/03/78	Acapulco SOP	NODE	383.16	-363.49	10.63	- 9.20	44.06	firme
		N90W	494.56	-833.98	12.01	-11.24		
29/11/78 -A-	Oaxaca, Fac. de Medicina	NODE	216.00	-180.00	7.40	- 8.90	121.49	firme
		N90W	143.00	-120.00	5.90	- 5.60		
		Vertical	81.00	- 66.00	2.90	- 3.20		
	Minatitlán	NODE	23.00	- 20.00	10.60	- 9.60	321.86	blando
		N90W	30.00	- 28.00	17.30	- 9.60		
		Vertical	12.00	- 12.00	5.10	- 4.70		
	Fajarcitos	NODE	14.00	- 16.00	7.90	- 7.40	343.82	blando
		N90W	10.00	- 12.00	5.30	- 4.20		
		Vertical	9.00	- 8.00	3.20	- 2.90		
	Puebla	NODE	13.00	- 13.00	4.50	- 3.00	375.98	firme
		N90W	20.00	- 18.00	4.00	- 5.20		
		Vertical	8.00	- 6.00	1.50	- 1.50		
	Ciudad Universi- taria	NODE	18.00	- 16.00	5.40	- 5.80	457.79	firme
		N90W	15.00	- 18.00	7.90	- 5.90		
		Vertical	4.00	- 5.00	1.40	- 1.80		
	Hospital ABC	NODE	5.00	- 4.00	1.30	- 1.20	465.88	firme
		N90W	3.00	- 3.00	1.00	- 1.00		
		Vertical	3.00	- 3.00	0.9	- 1.0		
	Noncalco Hidalgo Pat., D. F.	NODE	18.00	- 19.00	4.70	- 5.00	466.49	blando
		N90W	25.00	- 20.00	6.30	- 5.80		
29/11/78 -B-	Oaxaca, Fac. de Medicina	NODE	42.00	- 57.00	1.70	- 1.30	107.49	firme
		N90W	38.00	- 31.00	1.80	- 1.30		
		Vertical	32.00	- 23.00	0.70	- 1.20		
	Puebla	NODE	2.00	- 1.00	0.40	- 0.40	358.32	firme
		N90W	2.00	- 2.00	0.30	- 0.50		
	Ciudad Universi- taria	NODE	2.00	- 2.00	0.30	- 0.40	440.74	firme
		N90W	2.00	- 2.00	0.40	- 0.40		
		Vertical	1.00	- 1.00	0.20	- 0.20		
29/11/78 -C-	Oaxaca, Fac. de Medicina	NODE	98.00	- 85.00	3.60	- 4.30	102.29	firme
		N90W	89.00	- 75.00	3.70	- 3.00		
		Vertical	29.00	- 39.00	1.20	- 1.10		
	Puebla	NODE	4.00	- 2.0	0.60	- 0.80	360.97	firme
		N90W	4.00	- 4.0	0.70	- 0.80		
	Ciudad Universi- taria	NODE	5.00	- 5.00	0.80	- 0.90	445.64	firme
		N90W	4.00	- 4.00	0.80	- 0.80		
		Vertical	2.00	- 2.00	0.20	- 0.40		

TABLA III (continuación)

14/03/79	Sicartsa C.M.	NOOE	221.50	-255.10	18.00	-22.30	97.26	blando
		N90W	280.10	-293.40	21.40	-17.80		
		Vertical	71.90	-56.50	3.30	-3.10		
	Sicartsa A.S.	NOOE	132.30	-123.30	14.40	-11.50	97.26	blando
		N90W	140.00	-153.10	16.90	-9.80		
		Vertical	52.00	-51.80	4.30	-2.90		
	Sicartsa C.T.	NOOE	264.30	-225.10	22.90	-19.00	97.26	blando
		N90W	307.20	-289.90	18.80	-23.00		
		Vertical	58.00	-66.80	3.20	-3.80		
	Infiernillo Casa Maq.	NOOE	119.60	-112.70	8.50	-11.90	102.70	firme
		N90W	84.10	-104.80	7.30	-8.80		
		Vertical	64.40	-68.90	5.30	-4.90		
	Ciudad Altamirano	NOOE	158.00	-124.00	4.50	-5.30	133.15	firme
		N90W	120.90	-103.60	3.40	-3.20		
		Vertical	53.80	-41.30	2.60	-2.90		
	Acapulco Fel.	NOOE	27.80	-24.40	0.90	-1.10	183.31	firme
		N90W	34.30	-33.40	2.20	-1.90		
		Vertical	24.20	-22.80	1.10	-0.80		
	Acapulco Sur	NOOE	42.30	-39.00	1.40	-1.50	184.21	firme
		N90W	38.90	-41.00	1.20	-1.20		
		Vertical	15.10	-16.50	0.90	-1.20		
	Apatzingán	NOOE	50.40	-43.10	4.20	-3.70	204.55	blando
		N90W	54.90	-62.20	4.80	-5.60		
		Vertical						
	Ciudad Universitaria	NOOE	15.10	-16.60	3.60	-4.00	322.65	firme
		N90W	13.70	-11.40	2.60	-2.40		
		Vertical	7.70	-8.30	1.90	-2.30		
	Hospital ABC	NOOE	9.30	-8.40	1.80	-1.90	325.84	firme
		N90W	13.00	-10.80	2.90	-3.00		
		Vertical	7.80	-8.20	2.30	-2.40		
	Alberca Olímpica, D.F.	NOOE	30.50	-30.70	9.20	-8.90	326.54	blando
		N90W	37.00	-37.70	9.50	-7.60		
		Vertical						
	SAIDP	NOOE	30.60	-33.50	9.10	-9.80	330.14	blando
		N90W	28.10	-30.10	8.40	-6.7		
		Vertical	14.00	-14.00	2.50	-2.80		
	Lotería Nal. Sót., D.F.	NOOE	32.20	-38.60	10.60	-9.90	332.44	blando
		N90W	31.00	-32.30	9.50	-7.60		
		Vertical						
	Monzalco Atiz. Sót., D. F.	NOOE	40.70	-41.60	9.80	-14.20	334.44	blando
		N90W	30.10	-33.20	11.30	-8.50		
		Vertical	17.40	-11.40	3.00	-2.80		
	Texcoco Chimalhuacán	NOOE	31.90	-27.80	6.10	-7.40	349.12	blando
		N90W	21.90	-22.40	5.10	-4.60		
		Vertical	11.30	-12.50	2.50	-1.70		

TABLA III (continuación)

	Texcoco Centro Lago	NOOE	34.90	- 41.20	11.30	-12.90	349.22	blando
		N90W	48.20	- 47.60	14.20	-16.00		
	Texcoco Sosa	NOOE	43.20	- 54.90	11.80	-13.30	354.02	blando
		N90W	46.70	- 51.90	15.40	-12.40		
	Puebla	NOOE	13.90	- 14.80	2.40	- 4.10	394.18	firme
		N90W	12.80	- 12.80	2.90	- 3.60		
		Vertical	9.70	- 9.70	1.60	- 2.50		
24/10/80	Puebla	NOOE	69.80	- 81.55	8.68	-11.02	116.90	firme
		N90W	60.93	- 68.16	7.65	- 8.96		
	Texcoco Chimalhuacán	NOOE	30.19	- 30.87	5.03	- 4.24	171.18	blando
		N90W	26.07	- 25.09	2.50	- 3.44		
		Vertical	14.60	- 21.88	2.39	- 1.66		
	Ciudad Universitaria	NOOE	23.07	- 25.27	2.63	- 2.69	175.54	firme
		N90W	23.47	- 22.89	2.49	- 3.91		
		Vertical	10.23	- 12.45	1.13	- 1.13		
	Viveros	NOOE	32.16	- 46.62	5.02	- 3.04	177.37	blando
		N90W	41.09	- 41.87	4.48	- 5.63		
		Vertical	18.89	- 19.41	1.33	- 1.47		
	Texcoco Centro Lago	NOOE	32.46	- 30.40	7.53	- 6.52	177.55	blando
		N90W	47.19	- 36.09	11.15	- 9.81		
		Vertical	16.85	- 16.53	1.85	- 2.00		
	SABOP	NOOE	33.65	- 33.16	6.15	- 5.73	178.74	blando
		N90W	16.86	- 15.58	3.75	- 3.11		
	Lotería Nal., Sót., D.F.	NOOE	17.73	- 14.95	4.14	- 3.80	180.30	blando
		N90W	20.24	- 24.86	6.01	- 4.43		
	Texcoco Vivero Contador	N90W	16.40	- 28.78	1.38	- 1.37	182.04	blando
		Vertical	9.80	- 9.50	0.61	- 0.90		
	Hospital ABC	NOOE	18.78	-	2.13	- 1.62	182.78	firme
		N90W	16.36	-	2.18	- 1.37		
		Vertical	14.23	-	1.00	- 1.03		
	Nonoalco Atizapán Sot., D.F.	NOOE	14.57	- 15.77	3.58	- 3.44	183.24	blando
		N90W	24.33	- 33.01	5.06	- 5.75		
		Vertical	14.32	- 9.21	1.27	- 1.86		
	Texcoco Sosa	NOOE	39.84	- 26.19	9.15	- 7.66	187.75	blando
		N90W	32.60	- 42.46	7.85	- 5.69		
	Oaxaca, Fac. de Medicina	NOOE	99.55	-117.45	5.40	- 5.24	219.82	firme
		N90W	162.44	-106.02	6.11	- 6.16		
		Vertical	53.84	- 65.52	4.04	- 3.08		
	Acapulco SOP	NOOE	18.41	- 17.98	0.56	- 0.63	245.21	firme
		N90W	21.86	- 21.47	0.59	- 0.58		
		Vertical	9.32	- 7.48	0.43	- 0.38		

TABLA III (continuación)

	Minotitlán	NOOE	9.51	- 10.39	1.22	- 1.22	409.28	blando
		N90W	8.68	- 6.65	1.42	- 1.57		
		Vertical	5.09	- 4.84	0.79	- 0.81		
	Pajaritos	NOOE	23.02	- 22.51	2.32	- 2.46	424.55	blando
		N90W	17.56	- 30.87	2.49	- 1.59		
		Vertical	9.41	- 8.98	0.98	- 1.15		
17/09/81 -A-	San Marcos	NOOE	353.05	-338.17	11.22	-10.20	25.00 ⁽¹⁾	firme
		N90W	106.51	-152.20	4.34	- 4.26		
		Vertical	138.01	-129.52	3.80	- 4.96		
	Acapulco SOP	NOOE	196.34	-206.10	2.83	- 2.12	58.10 ⁽¹⁾	firme
		N90W	158.51	-150.96	3.82	- 2.22		
		Vertical	83.06	- 79.34	0.81	- 1.14		
25/10/81	Sicartsa C.H.	N-S	248.90	-211.45	15.21	-22.06	29.0	blando
		E-W	219.07	-233.34	19.98	-27.51		
		Vertical	57.96	- 62.50	5.82	- 5.41		
	Sicartsa C.T.	N-S	208.00	-	-	-	29.0	blando
		E-W	243.96	-222.46	31.90	-18.61		
		Vertical	113.00	-	-	-		
	Sicartsa A.S.	N-S	139.00	-	-	-	29.0	blando
		E-W	121.85	- 82.80	8.06	-13.40		
		Vertical	43.97	- 59.12	4.72	-13.39		
	Infiernillo Potab.	S68W	130.00	-	-	-	71.84	firme
		Vertical	84.00	-	-	-		
	Apatzingán	N-S	67.00	-	-	-	149.34	blando
		E-W	75.00	-	-	-		
		Vertical	28.00	-	-	-		
	Ciudad Altamirano	N-S	44.00	-	-	-	186.77	firme
		E-W	39.00	-	-	-		
		Vertical	20.00	-	-	-		
	Acapulco Pel.	N-S	<10	-	-	-	275.33	firme
		E-W	<10	-	-	-		
		Vertical	<10	-	-	-		
	Chilpancingo, Gro.	N35W	26.00	-	-	-	301.16	firme
		N35E	30.00	-	-	-		
		Vertical	10.00	-	-	-		
	Ciudad Universitaria	NOOE	9.40	- 11.80	1.90	- 2.50	376.13	firme
		N90W	13.40	- 8.00	2.10	- 2.00		
		Vertical	8.40	- 7.70	1.30	- 1.60		

(1) Determinadas a partir de tiempo de (S-P)

TABLA III (continuación)

Hospital ABC	NOOE	4.80	- 4.50	0.97	- 1.20	377.73	firme
	N90W	8.20	- 6.10	1.40	- 1.80		
	Vertical	6.10	- 5.90	1.40	- 1.20		
Viveros	NOOE	15.10	- 14.80	2.50	- 3.00	378.83	blando
	N90W	15.50	- 12.90	2.60	- 2.00		
	Vertical	7.90	- 6.40	1.70	- 2.10		
Medín Margen Izq.	N30W	<10	-	-	-	379.93	firme
	N60E	<10	-	-	-		
	Vertical	<10	-	-	-		
Alberca Olímpica, D.F.	N-S	26.00	-	-	-	380.03	blando
	E-W	26.00	-	-	-		
	Vertical	<10	-	-	-		
Lotería Nat., SSt. D.F.	N-S	21.00	-	-	-	384.92	blando
	E-W	17.00	-	-	-		
	Vertical	<10	-	-	-		
Neocalco Atizapán, SSt. D.F.	N-S	13.00	-	-	-	386.22	blando
	E-W	14.00	-	-	-		
	Vertical	<10	-	-	-		
Palacio Deportes, D.F.	N-S	18.00	-	-	-	397.10	blando
	E-W	22.00	-	-	-		
	Vertical	17.00	-	-	-		
Texcoco Centro Lago	N-S	16.00	-	-	-	402.30	blando
	E-W	22.00	-	-	-		
	Vertical	11.00	-	-	-		
Texcoco Chimalhuacán	N-S	16.00	-	-	-	403.59	blando
	E-W	10.00	-	-	-		
	Vertical	<10	-	-	-		
Texcoco Sona	N-S	30.00	-	-	-	404.89	blando
	E-W	28.00	-	-	-		
	Vertical	17.00	-	-	-		
Puebla	NOOE	9.90	- 7.60	2.20	- 2.00	461.43	firme
	N90W	6.60	- 5.30	1.30	- 1.40		
	Vertical	6.80	- 6.20	1.10	- 1.50		

TABLA IV

RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE REGRESION PARA LOS DATOS DE VELOCIDAD HORIZONTAL MAXIMA

Conjunto de datos	α	β	b	c	d
26 eventos (suelo firme+blando)	1.365	0.267	-1.371	0.00163	0.464
14 eventos (suelo firme+blando)	0.357	0.329	-1.086	0.00110	0.516
22 eventos (suelo firme)	2.515	0.314	-2.150	0.00265	---
10 eventos (suelo firme)	5.558	0.310	-3.784	0.00565	---

TABLA V. VALORES DE M_L DETERMINADOS A PARTIR DE SISMOGRAMAS SINTETIZADOS Y ESTIMACIONES DE $\delta\sigma$ A PARTIR DE a_{rms}

SISMO	ESTACION	COMPONENTE	DIST. HIPOC. R (km)	DIST. EPIC. A (km)	M_L	T_a (seg)	T_v (seg)	T_d (seg)	NIVEL ESPEC. (cm/seg)	$f_{m\acute{a}x}$ (Hz)	a_{rms} (cm/seg ²)	$\delta\sigma$ (bares)
28/08/73	Oaxaca, Fac. de Medicina	NOOE	156.12	131.60	7.39	--	--	7 seg	50.00	8.00	67.50	2426.63
		N90W			7.25	--	--	*	40.00	7.50	59.00	2121.05
	Minatitlán	NOOE	240.92	225.80	7.34	--	--	*	4.00	3.80	4.90	337.69
N90W				7.42	--	--	*	8.00	3.70	7.30	503.09	
	Pejaritos	NOOE	254.65	240.40	7.93	--	--	*	20.00	4.00	20.40	1527.77
		N90W			7.67	--	--	*	18.00	4.30	18.95	1419.18
29/11/78	Oaxaca, Fac. de Medicina	NOOE	121.49	120.00	7.19	0.20	0.30	10	40.00	5.90	60.20	1243.03
		N90W			7.06	0.20	0.40	*	22.00	8.00	39.44	814.28
	Minatitlán	NOOE	321.86	321.30	8.13	2.20	3.40	*	10.00	0.75	9.46	842.27
		N90W			8.27	2.80	3.20	*	28.00	0.52	12.40	1104.03
	Pejaritos	NOOE	343.02	343.30	8.06	2.00	3.60	*	18.00	0.65	8.27	812.95
		N90W			7.94	2.20	3.00	*	7.00	1.00	5.28	519.03
Puebla	H-S	375.98	375.50	8.08	1.20	2.40	*	4.00	4.00	6.02	677.05	
	E-W			8.23	1.40	1.80	*	4.00	6.00	7.83	880.18	
	Ciudad Univer- sitaria	E-W	457.79	457.40	8.55	1.80	3.20	*	12.00	1.00	6.80	1027.00
	Nonoalco Atiz. Sót., D.F.	NOOE	466.49	466.10	8.64	1.60	2.00	*	8.00	1.60	8.90	1380.48
		N90W			8.54	1.40	2.00	*	10.00	1.40	8.28	1286.34
14/03/79	Sicartsa C.M.	N90W	97.26	96.10	7.63	0.36	0.54	*	100.00	4.00	81.50	1205.43
		NOOE	97.26	96.10	7.63	0.40	0.56	*	100.00	3.70	76.70	1134.38
	Sicartsa A.S.	N90W			7.64	0.40	0.54	*	102.00	4.20	83.46	1234.36
		Sicartsa A.S.	N90W	97.26	96.10	7.47	0.44	0.64	*	60.00	3.70	40.63
	Infiernillo Casa Maq.	NOOE	102.70	101.60	7.45	0.54	0.70	*	58.00	2.00	32.21	516.84
		N90W			7.32	0.80	1.00	*	30.00	3.00	27.58	442.57
	Ciudad Altam- irano	NOOE	133.15	132.30	7.12	0.20	0.40	*	35.00	7.00	43.80	1037.64
		N90W			6.87	0.20	0.40	*	38.00	8.00	37.65	891.40
	Acapulco Pel.	NOOE	183.31	182.70	6.67	0.16	0.34	*	5.00	10.15	7.20	275.53
N90W				6.95	0.10	0.60	*	8.00	13.00	10.75	411.38	

TABLA V. (Continuación)

Acapulco SOP	NOOE	184.21	183.60	6.75	0.20	0.24	10	7.00	7.80	11.56	445.64
	N90W			6.69	0.16	0.20	"	9.30	9.00	13.26	511.18
Apatzingán	NOOE	204.55	204.00	7.46	0.24	0.80	"	20.00	9.00	15.07	679.65
	N90W			7.57	0.30	1.00	"	30.00	9.00	17.94	809.25
Ciudad Universitaria	N-S	322.65	322.30	7.92	1.00	1.80	"	4.90	3.10	6.00	536.18
	E-W			7.74	0.80	2.00	"	6.80	1.90	5.30	473.62
Hospital ABC	N-S	325.84	325.50	7.65	1.00	1.40	"	4.60	1.80	3.47	314.70
	E-W			7.74	1.00	2.00	"	5.20	2.30	4.60	417.18
Alberca Olímpica, D.F.	NOOE	326.54	326.20	8.23	1.40	2.60	"	37.00	0.80	14.66	1333.83
	N90W			8.32	1.20	1.60	"	32.00	0.80	15.27	1389.33
SAHOP	N-S	330.14	329.80	8.24	1.60	1.80	"	24.00	1.20	11.83	1094.19
	E-W			8.22	1.60	2.00	"	10.00	1.60	9.42	1077.54
Lotería Nac., Sót., D.F.	NOOE	332.44	332.10	8.36	1.60	2.00	"	37.00	0.60	14.58	1362.66
	N90W			8.32	1.90	2.00	"	27.00	0.52	14.12	1319.67
Honoalco Atiz. Sót., D.F.	NOOE	334.44	334.10	8.45	1.60	1.80	"	37.00	0.97	21.34	2009.66
	N90W			8.33	2.00	2.40	"	23.00	1.50	15.00	1414.59
Texcoco Chínalhuacán	NOOE	349.12	348.80	8.26	1.40	2.00	"	18.00	0.97	11.79	1185.87
	N90W			8.15	0.80	1.60	"	18.00	1.50	9.52	957.55
Texcoco Centro Lago	NOOE	349.22	348.90	8.45	1.60	2.60	"	22.00	1.30	15.43	1553.16
	N90W			8.53	1.60	2.00	"	37.00	1.00	19.88	2000.14
Texcoco Sosa	NOOE	354.02	353.70	8.64	1.60	1.80	"	40.00	1.00	23.57	2420.82
	N90W			8.62	1.40	2.00	"	40.00	0.67	24.62	2529.17
Puebla	N-S	394.18	393.90	8.21	1.20	1.60	"	8.00	2.00	6.41	773.50
	E-W			8.13	1.20	2.00	"	6.50	2.00	6.60	795.82
4/10/80 Puebla	NOOE	116.90	92.10	7.24	0.40	1.20	6.50	10.00	9.00	25.00	604.32
	N90W			7.11	0.60	1.40	"	12.00	9.00	20.80	502.79
Texcoco Chínalhuacán	NOOE	171.18	155.30	7.29	0.80	1.40	"	20.00	2.20	14.06	602.24
	N90W			7.06	0.60	1.20	"	10.00	2.70	9.88	423.19

TABLA V. (Continuación)

Ciudad Universitaria	NOOE	175.54	160.10	7.14	0.40	0.80	6.50	8.00	4.20	8.42	374.52
	H90W			7.09	0.20	1.00	"	7.00	6.00	8.41	374.08
Viveros	NOOE	177.37	162.10	7.28	0.40	0.80	"	10.00	3.00	13.58	613.51
	H90W			7.42	0.40	1.00	"	10.00	3.00	13.45	607.64
Texcoco Centro Lago	NOOE	177.55	162.30	7.42	1.20	2.00	"	18.00	1.00	12.90	583.68
	H90W			7.61	1.20	1.60	"	27.00	1.30	17.00	769.19
SAHOP	NOOE	178.74	163.60	7.42	0.60	1.60	"	20.00	3.00	14.10	644.40
	H90W			7.03	0.40	1.60	"	10.00	3.20	6.74	300.03
Lotería Nac. Sót., D.F.	NOOE	180.30	165.30	7.18	1.40	1.40	"	15.00	1.50	6.60	305.59
	H90W			7.28	0.80	2.00	"	17.00	2.70	9.50	439.07
Texcoco Contador	H90W	182.04	167.20	6.82	0.40	0.70	"	6.70	5.10	7.15	335.86
Hospital AUC	H90W	182.78	166.00	6.86	0.40	1.00	"	4.00	3.70	5.40	255.21
Moncalco Atiz. Sót., D.F.	NOOE	183.24	168.50	7.02	0.70	1.20	"	9.00	1.80	5.80	275.14
	H90W			7.38	1.00	1.40	"	19.00	1.40	11.60	550.29
Texcoco Sosa	NOOE	187.75	173.40	7.55	1.60	1.80	"	17.00	2.70	12.20	600.25
	H90W			7.56	1.20	1.60	"	18.00	2.70	11.84	582.54
Oaxaca, Fac. de Medicina	NOOE	219.82	207.70	7.52	0.20	0.60	"	25.00	6.00	35.00	2181.59
	H90W			7.58	0.20	0.40	"	30.00	4.00	40.06	2496.98
Acapulco SOP	NOOE	245.21	234.40	6.66	0.10	--	"	3.00	15.00	6.73	494.23
	H90W			6.72	--	--	"	3.00	13.00	7.01	514.79
Hinatitlán	NOOE	409.28	402.90	7.93	0.80	1.40	"	5.00	1.70	4.20	665.10
	H90W			7.06	0.60	1.20	"	2.70	2.70	2.74	433.90
Pajaritos	NOOE	424.55	418.40	8.21	0.80	1.00	"	7.00	5.00	8.20	1371.86
	H90W			8.11	0.80	1.60	"	5.50	5.00	7.30	1221.29
25/10/81. Sicartsa C.M.	NOOE	29.00	21.00	6.30	--	--	15	82.00	4.00	71.33	140.00
	H90W			6.45	--	--	"	90.00	3.50	78.40	154.14
Sicartsa C.T.	H90W	29.00	21.00	6.10	--	--	"	42.00	4.00	28.09	55.23
Sicartsa A.S.	H90W	29.00	21.00	6.70	--	--	"	18.00	1.90	83.00	164.70

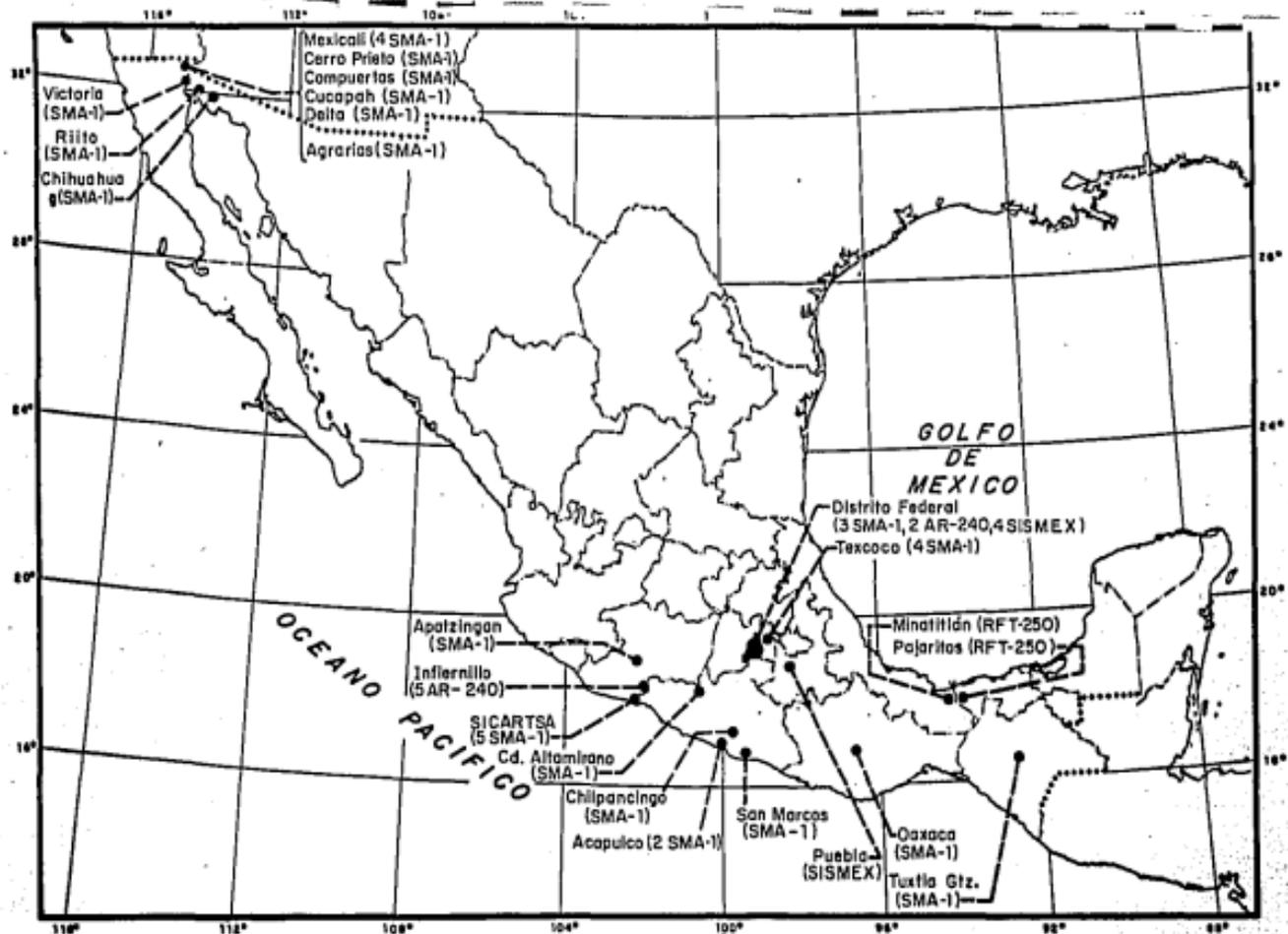


Fig. 2.1. Localización de acelerógrafos a cargo del Instituto de Ingeniería, UNAH

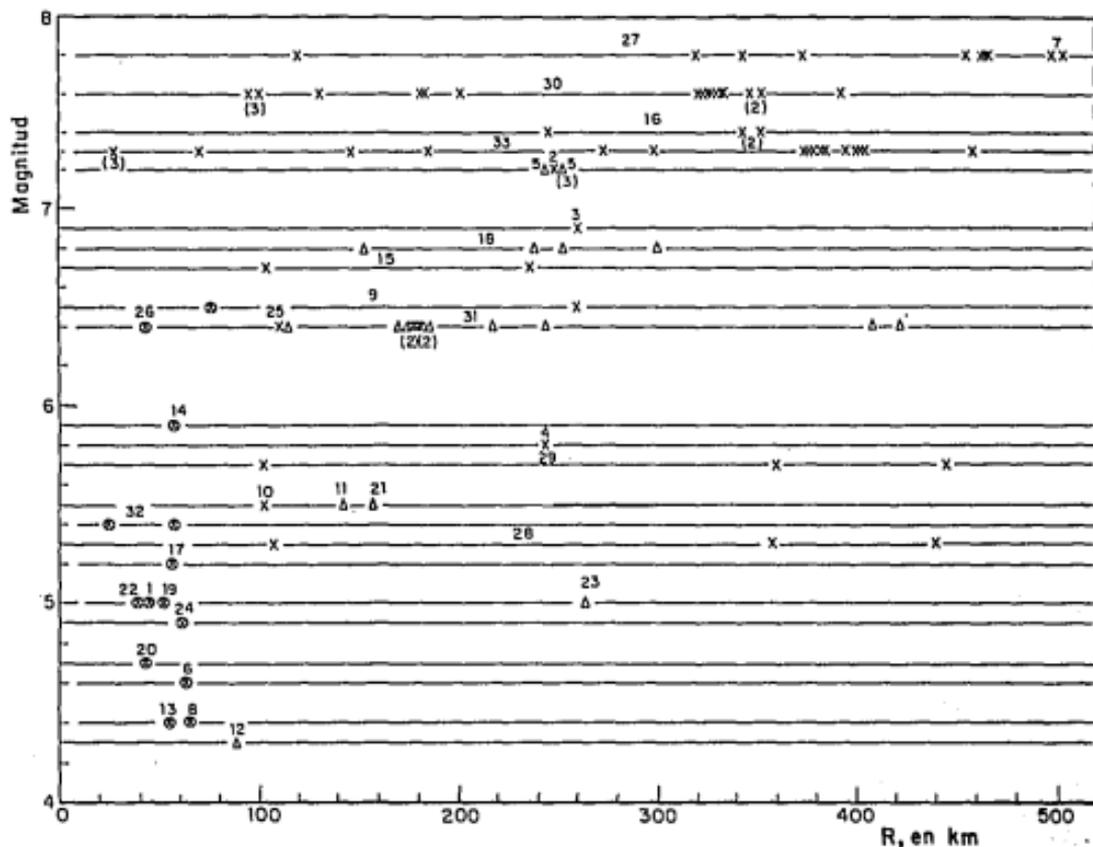


Fig. 2.2. Distribución en M y R del conjunto de datos para aceleración horizontal máxima. Las cruces y círculos indican los datos tenidos en cuenta en la primera regresión. Los círculos corresponden a los datos de los eventos no considerados en el segundo análisis. Los triángulos representan los datos de sismos profundos. El número en la parte superior de la línea representa el evento correspondiente de acuerdo con la Tabla II. El valor entre paréntesis indica el número de datos a una misma distancia.

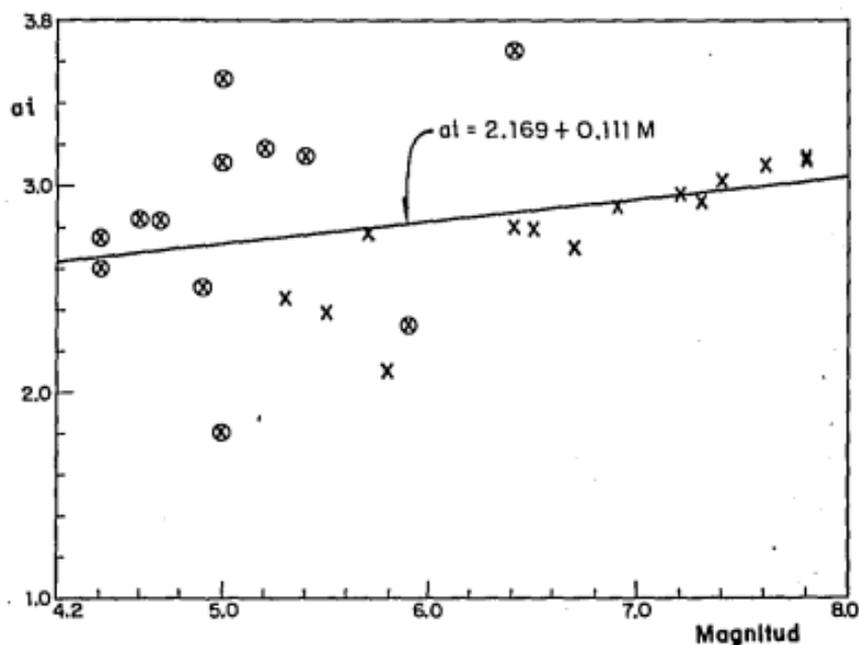


Fig. 2.3. Valores de a_1 para la aceleración horizontal máxima obtenidos del análisis de regresión de la ec (2.1) graficados en función de la magnitud. Los círculos corresponden a los eventos con incertidumbre en la localización de sus epicentros. La recta es el resultado de la regresión según la ec (2.2).

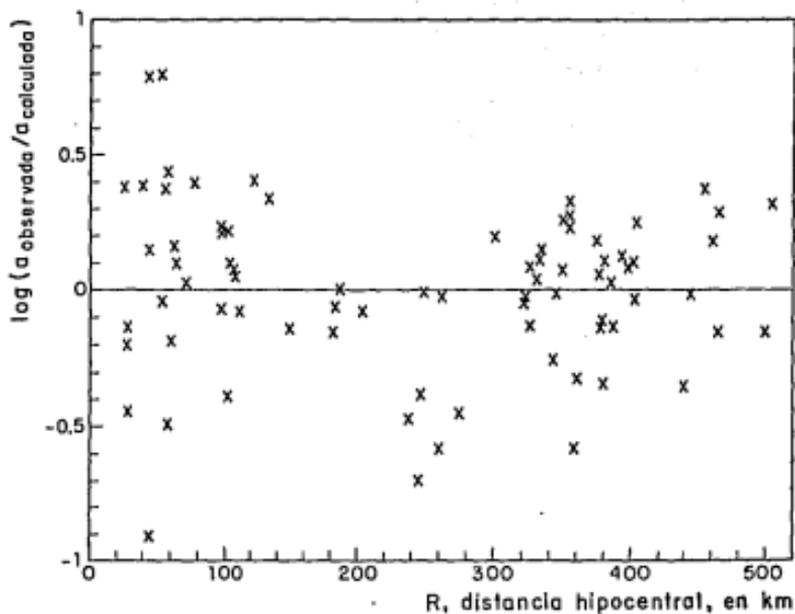


Fig. 2.4. Residuos de la aceleración horizontal máxima con respecto a la ec (2.3) graficados en función de la distancia hipocentral.

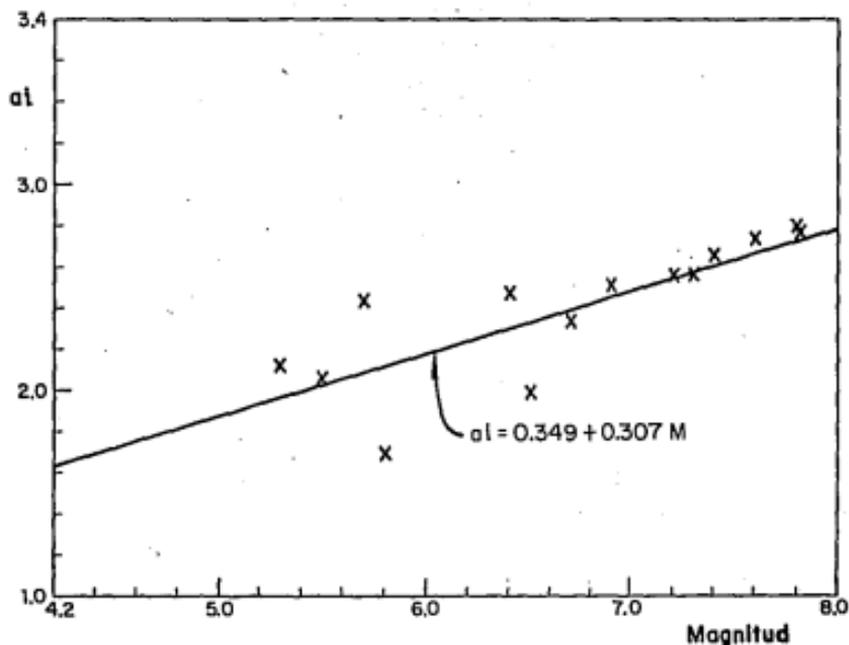


Fig. 2.5. Valores de a_1 para la aceleración horizontal máxima obtenidos del análisis de regresión de la ec (2.1) graficados en función de la magnitud. La recta es el resultado de la regresión según la ec (2.2).

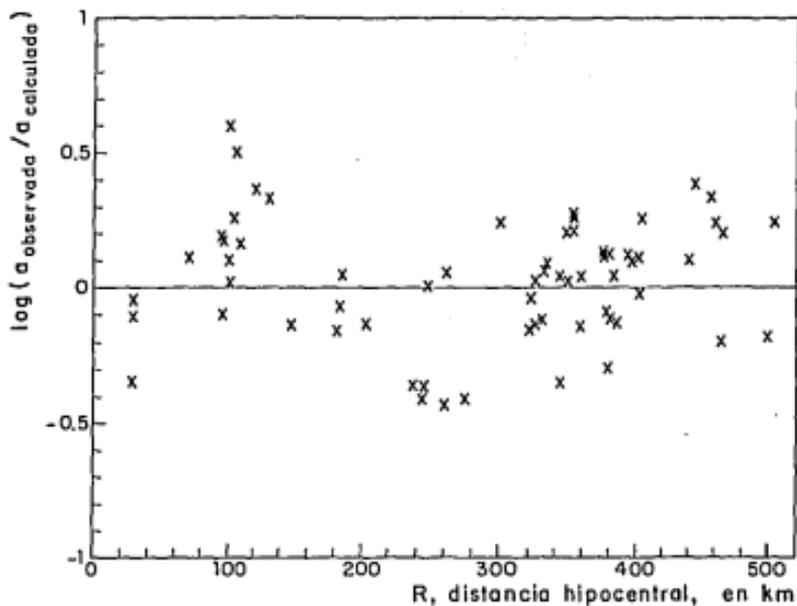


Fig 2.6. Residuos de la aceleración horizontal máxima con respecto a la ec (2.4) graficados en función de la distancia hipocentral.

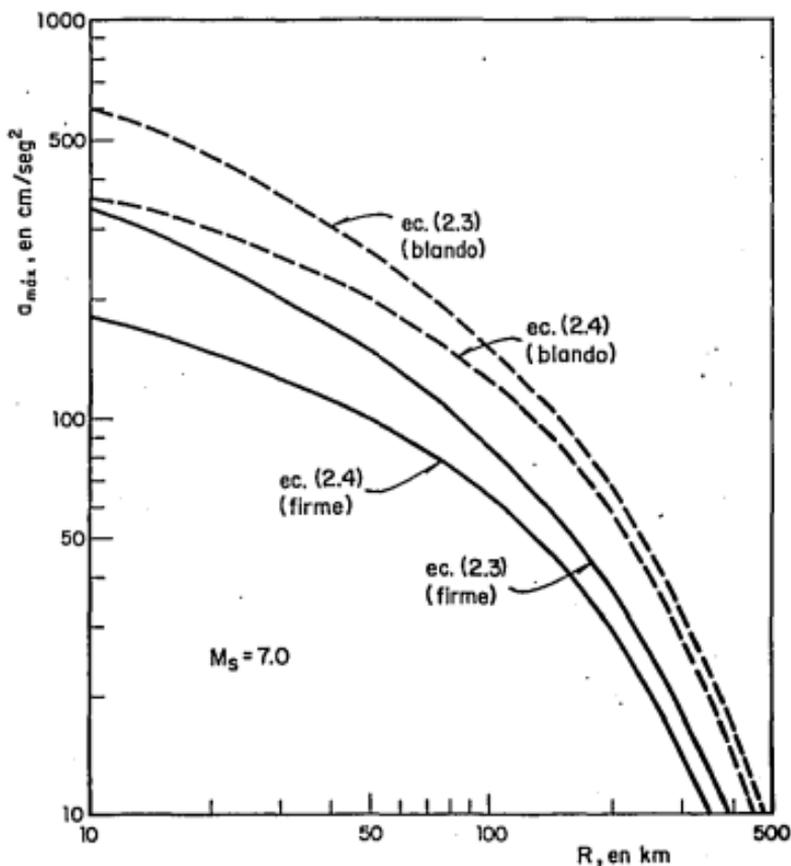


Fig. 2.7. Valores estimados de aceleración horizontal máxima por las ecs (2.3) y (2.4) para los dos tipos de suelo, en función de la distancia y para $M_s = 7.0$.

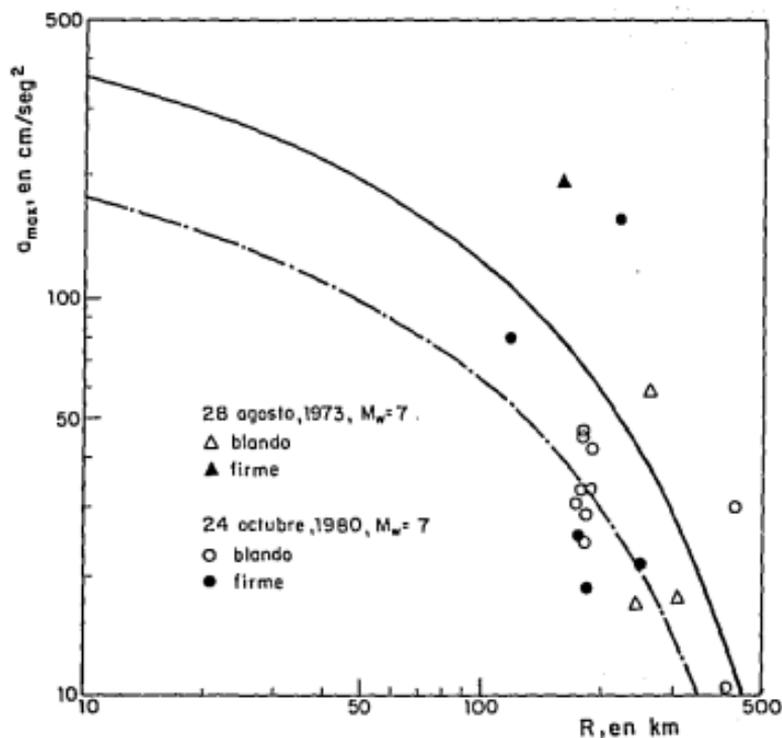


Fig 2.8. Valores estimados de aceleración horizontal máxima por la ec (2.4) en función de la distancia y para $M_w = 7.0$, para los dos tipos de suelo, comparados con los ⁵ datos de aceleración máxima de dos sismos profundos.

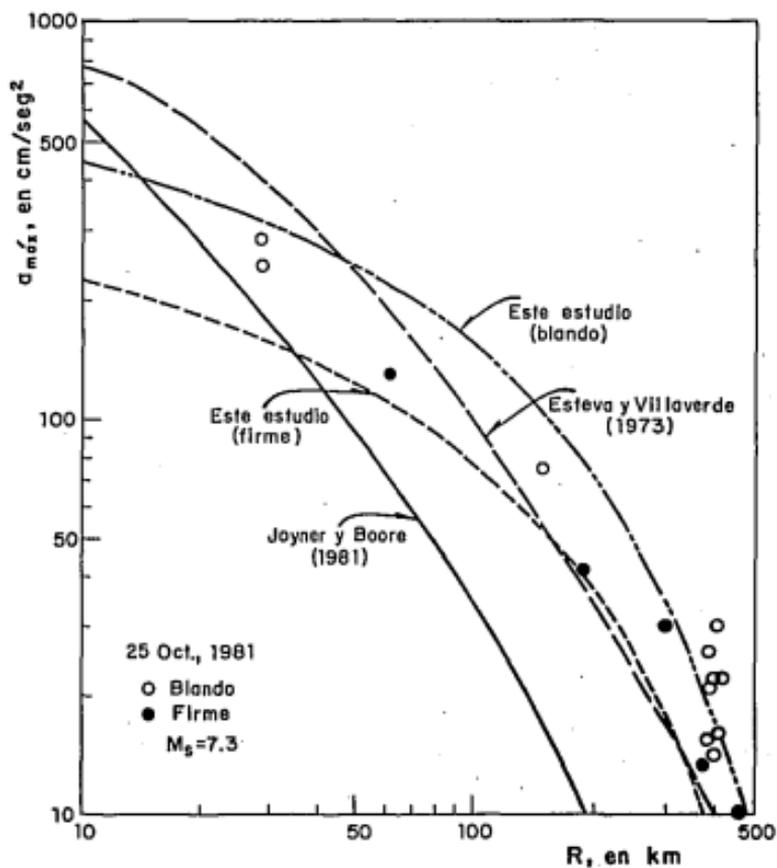


Fig. 2.9. Valores estimados de aceleración horizontal máxima por la ec (2.4) en función de la distancia y para $M_s = 7.3$ comparados con los datos de aceleración del sismo del 25 Oct., 1981 y con las curvas obtenidas en otros estudios.

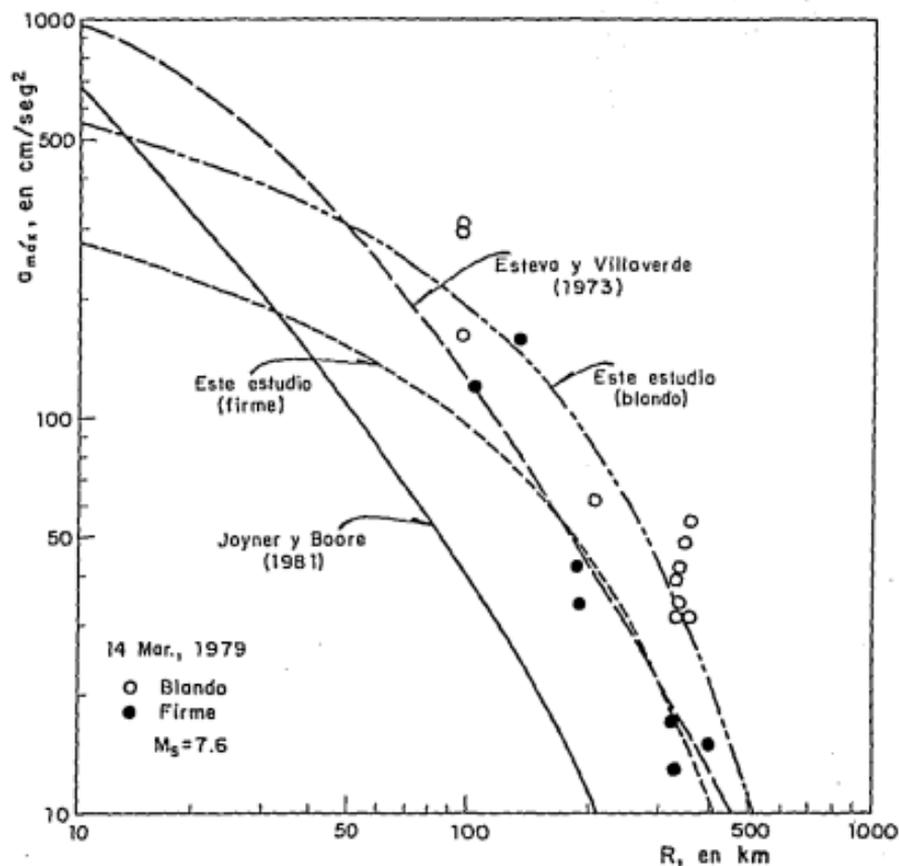


Fig 2.10. Valores estimados de aceleración horizontal máximo por la ec (2.4) en función de la distancia y para $M_s = 7.6$ comparados con los datos de aceleración del sismo del 14^o Mar., 1979 y con las curvas obtenidas en otros estudios.

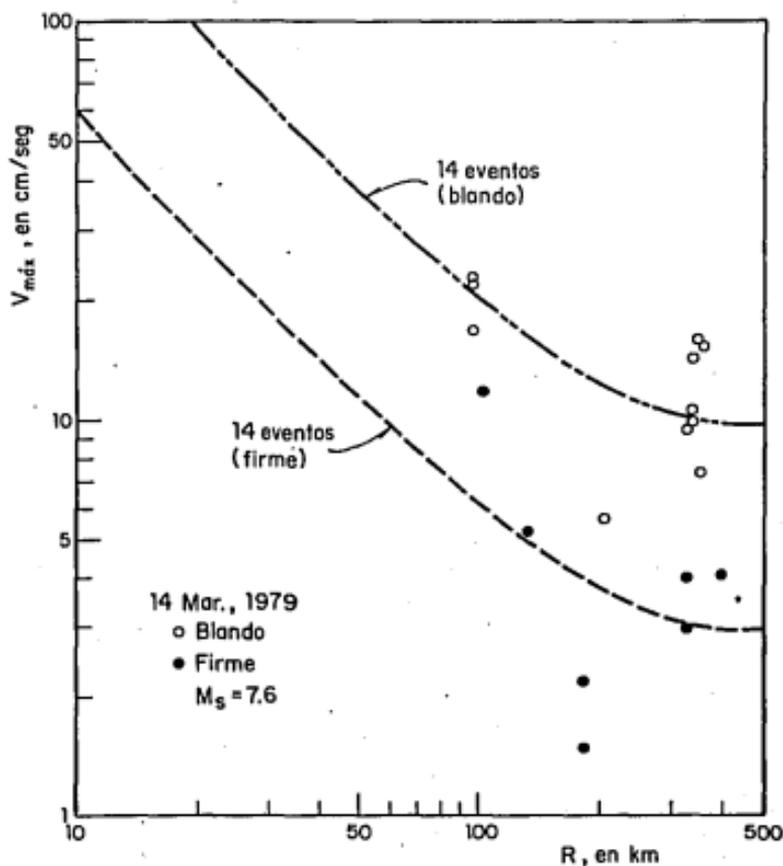
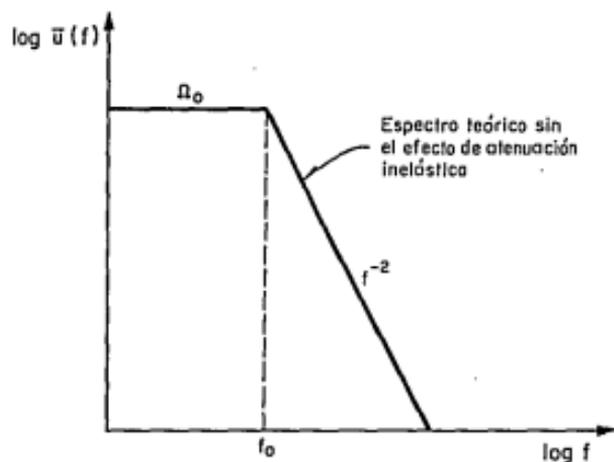
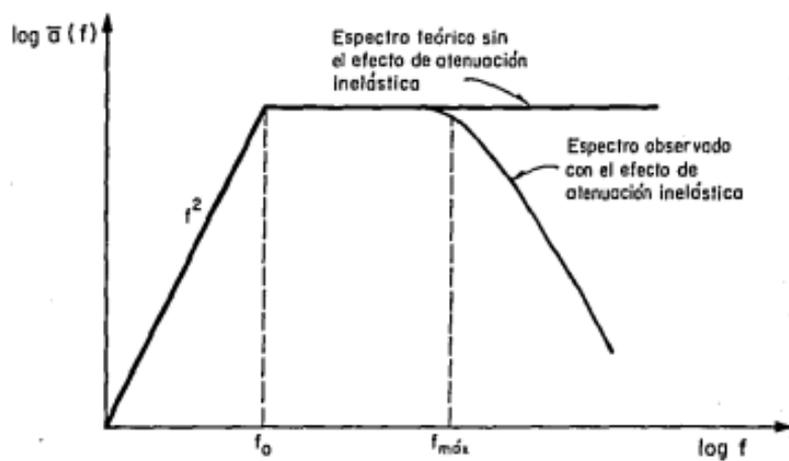


Fig. 2.11. Valores estimados de velocidad máxima por la ecuación obtenida de la regresión de los datos de 14 eventos (Tabla IV) para los dos tipos de suelo, graficados en función de la distancia y para $M_s = 7.6$ comparados con los datos de velocidad del sismo del 14 Mar., 1979.



a) Espectro de desplazamiento



b) Espectro de aceleración

Fig 3.1

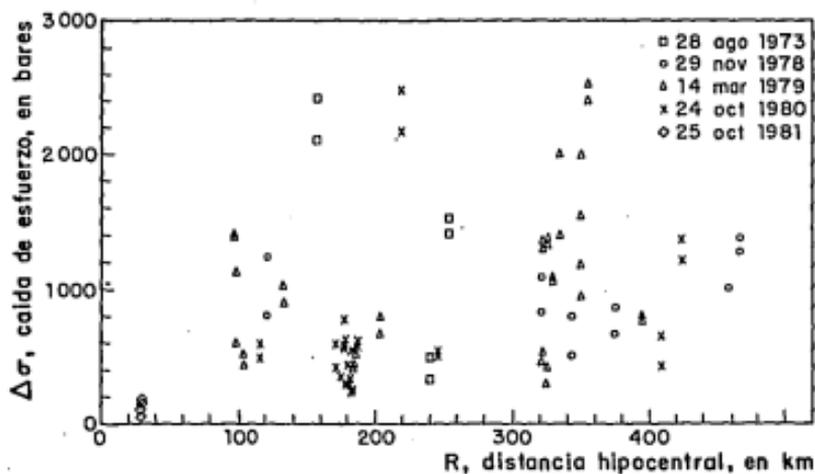


Fig. 3.2. Valores de caída de esfuerzo $\Delta\sigma$, determinados según la ec (3.12) y graficados en función de la distancia hipocentral.

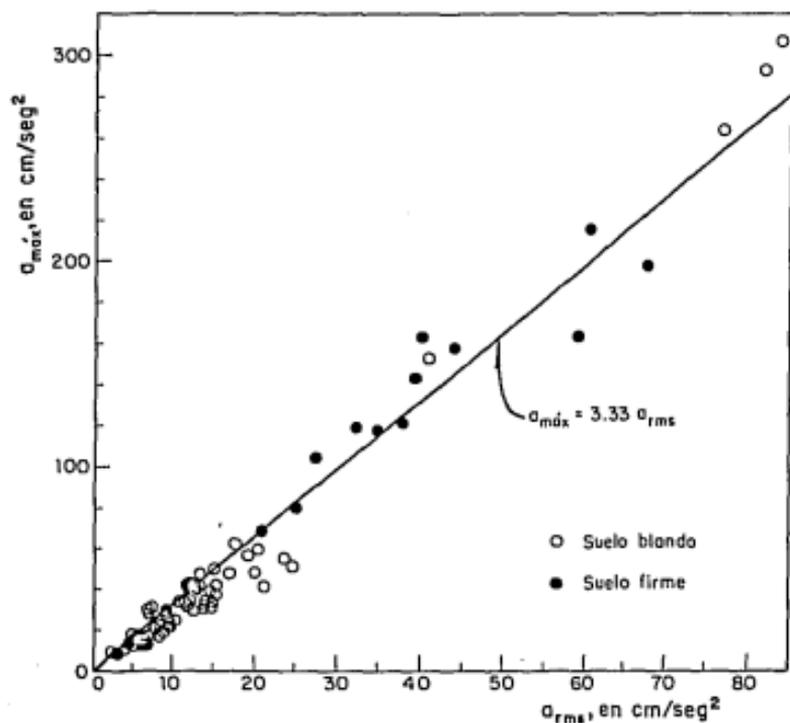


Fig. 3.3. Valores de aceleración máxima, $a_{\text{máx}}$, graficados en función de a_{rms} para cinco sismos mexicanos. La recta es el resultado del ajuste por mínimos cuadrados.

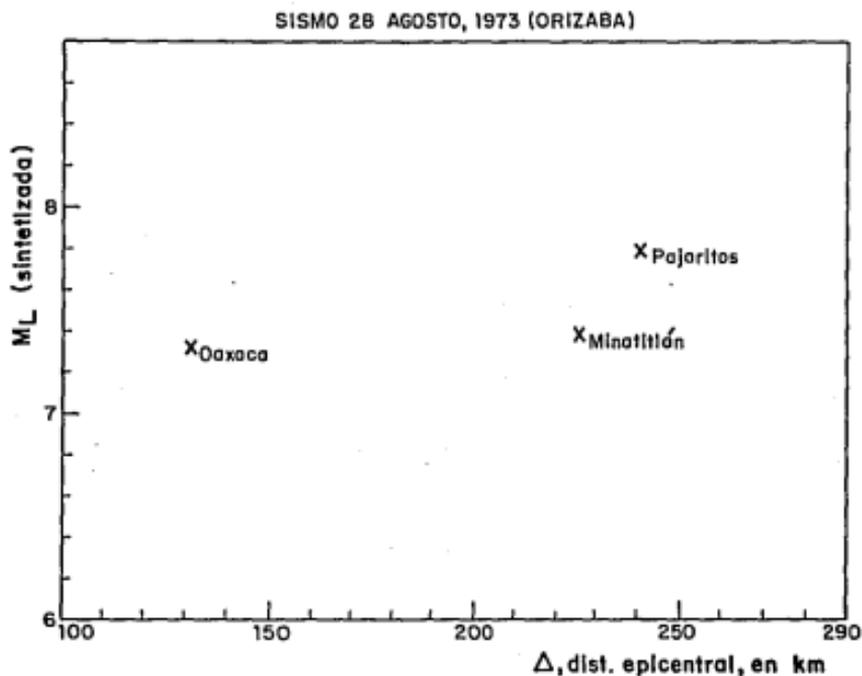


Fig. 4.1. Valores de M_L para el sismo del 28 Ago., 1973 obtenidos para cada estación y graficados en función de la distancia epicentral.

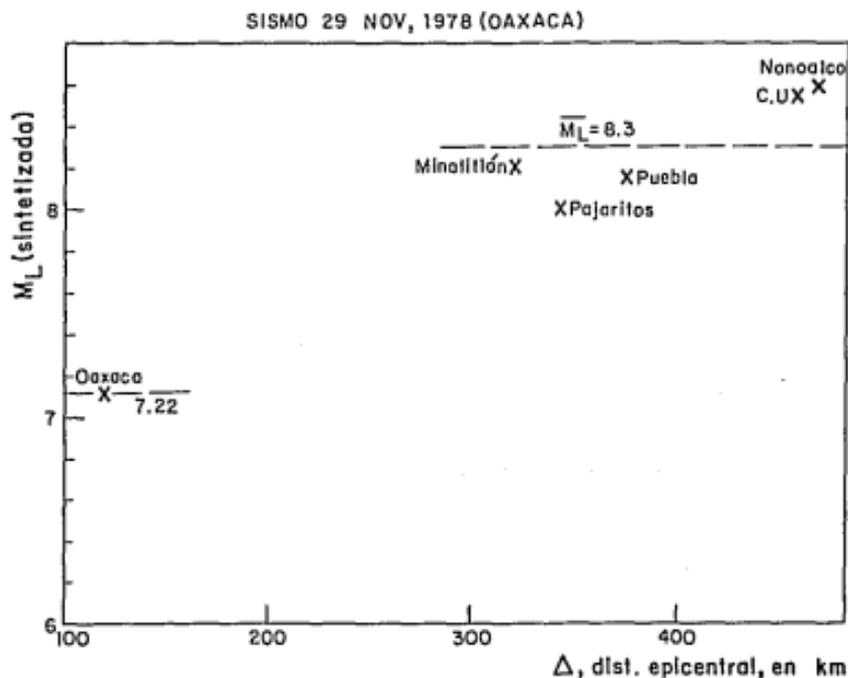


Fig. 4.2. Valores de M_L para el sismo del 29 Nov., 1978 obtenidos para cada estación y graficados en función de la distancia epicentral. $M_L = 8.3$ es el valor promedio entre las estaciones situadas a distancias > 300 km.

SISMO 14 MAR, 1979 (PETATLAN)

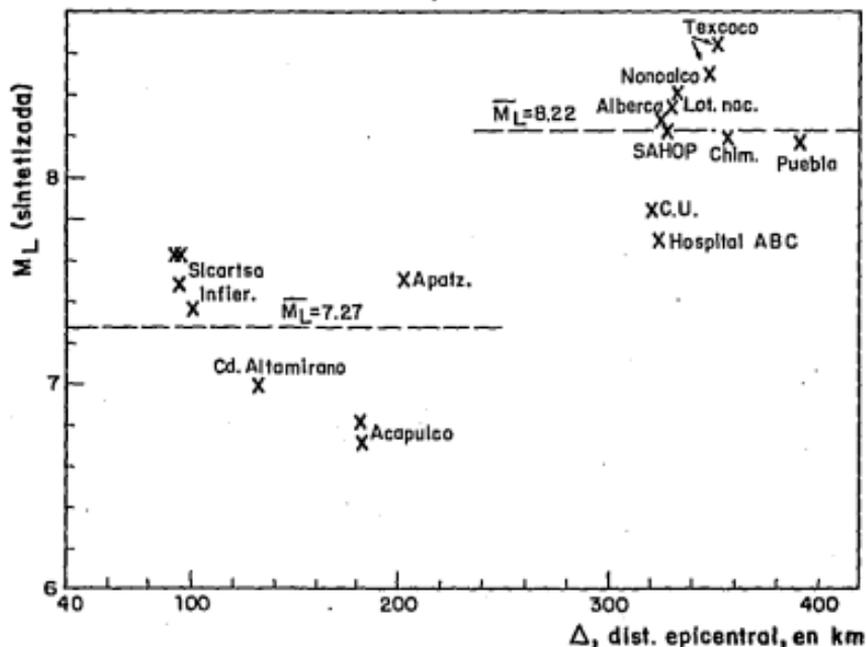


Fig. 4.3. Valores de M_L para el sismo del 14 Mar., 1979 obtenidos para cada estación y graficados en función de la distancia epicentral. $\bar{M}_L = 7.27$ es el valor promedio entre las estaciones situadas a distancias ≤ 200 km y $\bar{M}_L = 8.22$ el obtenido entre las estaciones a distancias > 300 km.

SISMO 24 OCT, 1980 (HUAJUAPAN DE LEON)

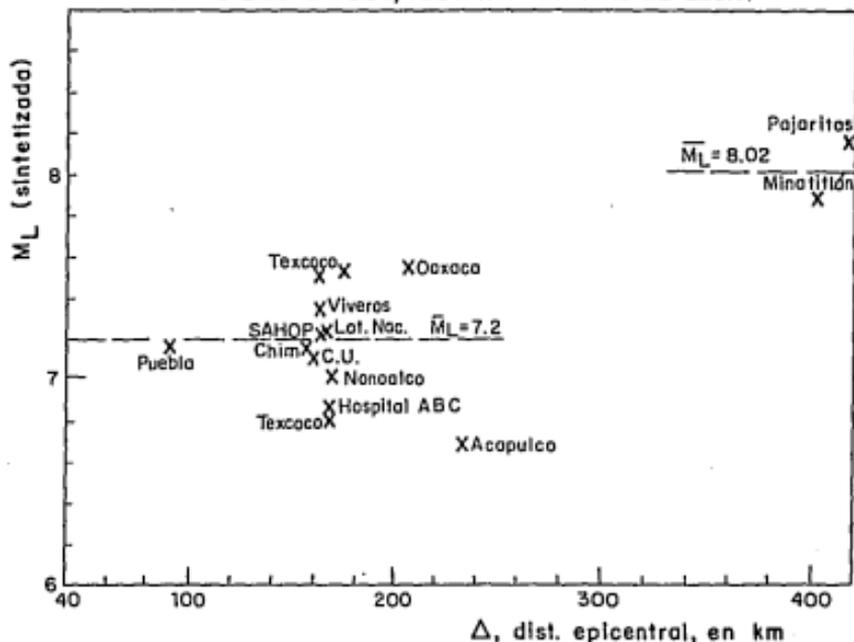


Fig. 4.4. Valores de M_L para el sismo del 24 Oct., 1980 obtenidos para cada estación y graficados en función de la distancia epicentral. $\bar{M}_L = 7.2$ es el valor promedio entre las estaciones situadas a distancias < 240 km y $\bar{M}_L = 8.02$ el obtenido entre las estaciones a distancias $= 400$ km.

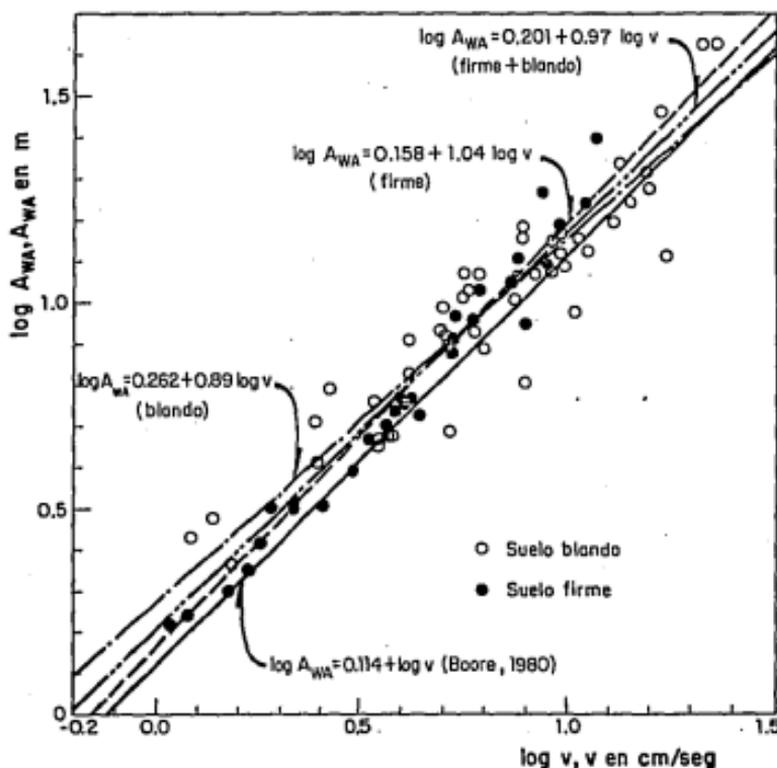


Fig. 4.5. Valores del logaritmo de la amplitud máxima de un registro sintetizado a partir del acelerograma en función del logaritmo de la velocidad de ese acelerograma. Las rectas representan los ajustes realizados por mínimos cuadrados y se comparan con la relación obtenida por Boore (1980) para estos valores.

A P E N D I C E A

TABLA Ia. ESTACIONES DE REGISTRO CON ACELEROGRAFO EN BAJA CALIFORNIA

NOMBRE ESTACION.	TIPO DE SUELO	LATITUD (N°)	LONGITUD (W°)
CERRO PRIETO	Roca: F. Cerro Prieto	32.421	115.311
CHIHUAHUA, B.C.	Suelo aluvial	32.480	115.240
COMPUERTAS, B.C.	Suelo aluvial	32.590	115.080
CUCAPAN, B.C.	Suelo aluvial	32.550	115.230
DELTA, B.C.	Suelo: F. Cerro Prieto	32.356	115.195
ISLAS AGRARIAS, B.C.	Suelo: F. Imperial	32.620	115.311
K 13 AEROP. MEXICALI	Suelo: F. Imperial	32.658	115.331
MEXICALI HOSPITAL SOT.	Estruct. concret. sôt.	32.650	115.470
MEXICALI SAHOP	Suelo aluvial	32.616	115.420
RIITO, B.C.	Suelo: F. Cerro Prieto	32.166	114.950
VICTORIA, B.C.	Suelo: F. Cerro Prieto	32.290	115.100

TABLA IIa. PARAMETROS FOCALES DE LOS TEMBLORES CON REGISTROS DE ACELERACION EN BAJA CALIFORNIA

EVENTO	FECHA	TIEMPO DE ORIGEN (UT)	COORDENADAS EPICENTRALES		MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km)
			LAT. N.	LONG. W.		
1	7/12/76	12:59:56.3 (1)	31.983 (1)	114.783	mb = 5.5 (1) $M_s=5.7$	8.0 (1)
2	16/03/78	01:51:10.0	32.300	115.116	mb = 4.2	5.0
3	15/10/79	23:16:54.5	32.633	115.333	mb = 5.7 $M_s=6.9$	12.0
4	9/06/80	03:28:18.9	32.220	114.985	mb = 5.6 $M_s=6.4$	5.0

(1) Preliminary Determination of Epicenter. U.S. Geological Survey.

TABLA IIIa. DATOS DE MOVIMIENTOS FUERTES PARA BAJA CALIFORNIA

SISMO	ESTACION	COMPONENTE	a máx (cm/gal)	a mín (gal)	v máx (cm/seg)	v mín (cm/seg)	DISTANCIA HIPOC. (km)	SITIO
7/12/76	Riito	S45W	193.58	-205.52	6.31	- 4.12	27.20	blando
		S45E	124.08	-138.60	3.45	- 4.76		
		Vertical	107.67	- 66.18	1.02	- 1.22		
	Delta	S45W	56.98	- 89.15	5.86	- 4.02	58.05	blando
		S45E	84.10	--	2.64	--		
		Vertical	17.73	- 21.54	0.38	- 0.53		
16/03/78	Victoria	S45W	71.21	- 92.82	1.32	- 1.67	5.35	blando
		S45E	130.87	- 74.82	2.08	- 1.25		
		Vertical	53.96	- 43.46	0.62	- 0.46		
15/10/79	Islas Agrarias	183°	274.68	--	29.80	--	12.28	blando
		0.93°	222.69	--	33.60	--		
		Vertical	--	--	10.00	--		
	Aerop. Mexicali	N00E	262.00	--	15.50	--	12.32	blando
		N90W	324.00	--	16.30	--		
		Vertical	151.38	-169.05	2.67	- 2.64		
	Mexicali SANOP	N00E	245.22	-197.89	15.30	-13.76	14.76	blando
		N90W	449.21	-398.47	30.41	-21.39		
		Vertical	363.14	-249.47	7.39	- 4.65		
	Cuaceph	085°	304.11	--	34.60	--	18.06	blando
		Vertical	112.81	--	2.92	--		
	Chihuahua	192°	261.93	--	21.40	--	22.64	blando
		102°	258.00	--	33.30	--		
		Vertical	210.91	--	4.95	--		
	Cerro Prieto	057°	146.17	--	14.50	--	26.47	firme
		327°	163.83	--	11.90	--		
		Vertical	194.24	--	5.74	--		
	Compuertas	195°	184.43	--	14.50	--	27.55	blando
		105°	146.17	--	10.22	--		
		Vertical	64.75	--	2.97	--		
	Delta	172°	342.37	--	31.90	--	35.58	blando
		082°	230.53	--	22.10	--		
		Vertical	149.11	--	4.92	--		
	Victoria	075°	119.68	--	5.64	--	45.80	blando*
345°		159.90	--	8.28	--			
Vertical		54.94	--	1.34	--			

TABLA IIIa. - DATOS DE MOVIMIENTOS FUERTES PARA BAJA CALIFORNIA. (Continuación)

SISMO	ESTACION	COMPONENTE	a máx (gal)	a mín (gal)	v máx (cm/seg)	v mín (cm/seg)	DISTANCIA HIPOC. (km)	SITIO
9/6/80	Cerro Prieto	N45E	529.34	--	31.72	--	38.92	firme
		N45W	487.15	--	20.26	--		
		Vertical	295.27	--	13.12	--		
	Mexicali SAHOP	N10E	98.90	--	8.46	--	61.00	blando
		N80W	67.25	--	8.86	--		
		Vertical	42.79	--	2.56	--		
	Mexicali Hosp. Sót.	N00E	42.75	--	4.64	--	67.00	blando
		N90W	31.78	--	5.29	--		
		Vertical	22.95	--	1.68	--		