

PRESENTACION

**CENTRO PERUANO JAPONES DE
INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES
C.I.S.M.I.D.**

El CISMID nació de la necesidad de hacer frente de manera planificada a los desastres naturales que afectan el Perú, para tratar de reducir las severas pérdidas causadas por dichos fenómenos, optimizando los escasos recursos humanos y materiales existentes en el país reforzándolos adecuadamente con ayuda exterior.

Esta situación fué percibida por un grupo de profesores de la Facultad de Ingeniería Civil (FIC) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), los cuales recibieron apoyo para el proyecto del CISMID de parte de las autoridades e investigadores del Instituto de Investigación de la Edificación (BRI en sus siglas de inglés) del Ministerio de Construcciones del Japón, y en especial de los profesores del Instituto Internacional de Sismología e Ingeniería, que forma parte del BRI, donde han estudiado desde 1961 a la fecha más de 40 egresados de la UNI.

Las primeras conversaciones a nivel institucional se realizaron en Junio de 1981 y el proyecto del CISMID fué perfilándose primero y mejorándose después durante las visitas anuales que, entre 1982 y 1983 misiones japonesas han efectuado a la UNI.

Habiéndose asegurado el apoyo del Gobierno del Japón, a través de su Agencia de Cooperación Internacional (JICA), y habiendo la UNI asignado al terreno para el Centro y el Gobierno del Perú destinados fondos para la construcción del primer edificio, la UNI creó el CISMID el 16 de Junio de 1986.

La forma en que el Gobierno del Japón apoya al CISMID quedó establecida en el Acta de Discusiones suscrita solemnemente el 26 de junio de ese año, en el local de la Cancillería Peruana, por el Dr. José Ignacio Lopez Soria, Rector de la UNI, en representación del Perú, y el Dr. Akira Takahashi, Director General del BRI, por el Gobierno del Japón.

OBJETIVOS

El CISMID es un centro académico y de investigación que estudia, de manera multidisciplinaria y en coordinación con instituciones afines, los desastres naturales que ocurren en el Perú; difunde los resultados y técnicas desarrolladas en el CISMID y en otros países, particularmente en el Japón, con la finalidad de prevenir los desastres naturales y mi-

tigar sus efectos, actuando de manera planificada con los sectores afectados para proteger a la población y a las inversiones en infraestructura - que el país realiza. Los recientes desastres naturales ocurridos en 1985 - en Chile (marzo), México (setiembre), Colombia (noviembre), y las lluvias torrenciales acaecidas en el Perú de 1983 y las inundaciones de 1986 dan - una idea de la importancia de este Centro de Investigaciones para el Perú, ya que su principal objetivo es reducir drásticamente el número de victi-- mas y de pérdidas materiales en futuros fenómenos naturales violentos, co mo terremotos, inundaciones, huaycos, etc.

ORGANIZACION

La organización de este Centro de Investigación está a cargo de la Univer sidad Nacional de Ingeniería a través de la Facultad de Ingeniería Civil - y cuenta con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCY TEC) y con la cooperación técnica y económica del Gobierno del Japón.

El Comité Directivo, conformado por autoridades de la UNI, miembros de la representación japonesa y del CONCYTEC y por expertos peruanos y ja poneses, determina la política a seguir y los programas anuales de activi dades.

El Comité Ejecutivo, conformado por autoridades de la Facultad de - Ingeniería Civil y expertos de la Misión Japonesa, fija las prioridades - de los proyectos de investigación, coordina la participación de sus miem bros en los mismos y la aplicación de los resultados de los estudios para los sectores que sean afectados por desastres naturales, además aprueba - los programas de estudio de los seminarios y cursos regulares y se encar ga de canalizar hacia el CISMID los fondos necesarios para las investiga ciones y las demás actividades del Centro.

DR. JOSE IGNACIO LOPEZ SORIA
RECTOR
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
PRESIDENTE DEL COMITE DIRECTIVO CONJUNTO DEL
C. I. S. M. I. D.

PRESENTACION

En el CISMID pensamos que sólo mediante el trabajo lograremos nuestros objetivos; por ello, tan pronto terminó la ceremonia de inauguración de su sede, se dió inicio al I Simposio Nacional de Prevención y Mitigación de Desastres, y se publica éste su primer volumen que incluye los estudios del sismo de San Salvador del 10 de Octubre de 1986, efectuados por su Director, el Ing. Julio Kuroiwa, actuando como consultor de las Naciones Unidas.

El autor destaca la influencia de las condiciones locales del suelo, geología y topografía en la distribución y grado de daños sísmicos en edificaciones y otras obras; e, igualmente, da recomendaciones para que la reconstrucción de San Salvador se realice de acuerdo a las técnicas más modernas de microzonificación. Estudia con cierto detalle los daños en un buen número de edificaciones. Revisa las normas sísmicas vigentes al ocurrir el sismo, así como las de emergencia, y realiza el análisis de ambas.

Estas investigaciones son válidas no sólo para la zona estudiada, sino también para otras de condiciones similares, tales como la Cordillera de los Andes y el inicio de la llanura Amazónica en el nor-oriental peruano, donde los sismos son de magnitud moderada, muy superficiales y potencialmente muy destructivos. Esta zona actualmente está en pleno desarrollo.

Estamos seguros que este trabajo contribuirá a enriquecer el conocimiento de la Ingeniería Sísmica y el planeamiento contra desastres, y servirá de ayuda al ingeniero y/o planificador en el diseño de edificaciones y otras estructuras vitales para mejorar la calidad de vida.

El autor, Ing. Julio Kuroiwa, profesor principal de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, es miembro del directorio de la Asociación Mundial de Ingeniería Sísmica; es un profesional de reconocido prestigio internacional y autor de numerosos trabajos de investigación en el campo de la Ingeniería Sísmica, Microzonificación y planificación contra desastres, por lo que su biografía ha sido incluida en la publicación Who's Who in Frontiers of Sciences and Technology, reservada sólo para aquellos que han hecho contribuciones originales de utilidad para la humanidad.

ING. ROBERTO MORALES MORALES
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PRESIDENTE DEL COMITE EJECUTIVO DEL
C.I.S.M.I.D.

RESUMEN

Durante el sismo de San Salvador ocurrido el 10 de octubre de 1986, las altas aceleraciones del terreno originadas por el sismo, de origen tectónico local con epicentro dentro de los límites del área urbana, 8 km. de profundidad local y magnitud moderada $M_S = 5.4$, fueron registrados por 7 acelerógrafos y 16 sismocopios en el nivel del suelo. Tres de los instrumentos registraron aceleraciones del orden de 0.70g; y el más distante de la fuente ubicada a 8.9 kms, 0.32g. Otro acelerógrafo instalado en el décimo piso de un edificio de concreto armado, registró 0.91g. Los acelerogramas respectivos han sido procesados, incluyendo el cálculo de sus espectros de aceleraciones.

La información mencionada permite comprender el porqué de la severidad de los daños en modernos edificios de concreto armado de 4 a 10 pisos; también que el espectro del Reglamento Sísmico de El Salvador de 1966 no reflejaba las características sismológicas de San Salvador. Esto último motivó la redacción de un reglamento sísmico de emergencia, preparado por la Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos, y publicado en noviembre de 1986.

Los daños más severos en edificaciones ocurrieron principalmente en construcciones de concreto armado, habiendo colapsado varias de ellas, y en construcciones de bahareque, edificación típica de El Salvador, con paredes a base de barro y estructura interior de madera y caña.

También se dañaron los servicios públicos vitales: agua, alcantarillado, sistema de energía eléctrica, transporte y telecomunicaciones. Vale la pena aclarar que los daños se concentraron en una franja orientada NNW con un área aproximada de 30 km^2 . Fuera de ésta área, los daños no fueron significativos.

En total, los daños se estimaron en unos US\$ 900 millones, agravando los difíciles problemas socio-económicos existentes en El Salvador, debido a un conflicto armado interno que dura más de 7 años, y los bajos precios de sus productos de exportación.

Aparte de las altas intensidades observadas en el área macrosísmica, las causas de los daños en los edificios de concreto armado fueron: columnas cortas, excentricidad, mayor resistencia en una de las direcciones, el no reforzamiento o reforzamiento inadecuado y/o incom-

pleto de edificio dañados por sismos anteriores. Las construcciones de bahareque se dañaron principalmente por la descomposición de la madera de refuerzo debido a su exposición a humedad y secado alternativos.

San Salvador, capital de la república de El Salvador, con 1'500 habitantes, se ubica en una depresión geológica interior, que corre paralela a la costa del Pacífico y se caracteriza por ser una franja de debilidad estructural, cruzada por fallas geológicas superficiales y tachonada de volcanes. Por estas razones, San Salvador ha sido destruida repetida y frecuentemente por sismos de características similares al de octubre de 1986. Managua, situada en la continuación de la fosa centroamericana, fué destruida en 1972 por un terremoto originado por tectonismo local y superficial.

San Salvador se extiende en una planicie de suave pendiente de oeste a este, desde las faldas del volcán San Salvador a unos 850 metros snmm hasta las orillas del lago Ilopango a unos 550 metros, que es el cráter de un volcán apagado.

Estudios preliminares realizados sobre las características de la tierra blanca (ceniza dacítica), especialmente su espesor, parecen indicar que son determinantes en definir las propiedades dinámicas del subsuelo de San Salvador. En los estudios de microzonificación que se realicen para San Salvador, es recomendable que éstas sean estudiadas con toda atención y en detalle, lo que permitirá tener para San Salvador espectros de diseño sísmico que reflejen las características dinámicas locales. Por otra parte es recomendable que se evite el incremento de la población en la actual ubicación de San Salvador y más bien se busque para expansión zonas que no estén afectadas por fallas geológicas activas.

Para los ingenieros peruanos, este sismo tiene un interés adicional, porque en la cordillera oriental de los Andes y el inicio de la llanura amazónica se producen sismos de origen tectónico de magnitud moderada (Ej: Moyobamba, 1968, Huaytapallanca, 1969), con el foco muy superficial. Este lado oriental está siendo desarrollado, y es necesario tener en cuenta el diseño sísmico de la infraestructura que se construya.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Perú, CONCYTEC, que financió la presente publicación dentro de su política de apoyo a la investigación; lo que permite al CISMID poner en manos del lector este volumen, con el que inicia la difusión de los resultados de las investigaciones de sus miembros.

Al Centro de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, HABITAT, que cubrió los gastos de pasaje y estadía en San Salvador, donde el autor, formando parte de la Misión de HABITAT, asistió al Gobierno de El Salvador en la preparación de una propuesta para realizar los estudios de microzonificación de la zona afectada y de expansión de su ciudad capital, con el apoyo de las Naciones Unidas.

Al Ing. Pedro Pérez Guillén, Vice-Ministro de Obras Públicas (MOP), Ing. Remo Bardí, al Vice-Ministro de Vivienda y Desarrollo Urbano a la Lic. Sara Ventura de Nosiglia, Directora de Cooperación Técnica Internacional del Gobierno de El Salvador, y al Dr. José Morales Erlich, Alcalde Municipal de San Salvador, quienes dispusieron una serie de medidas que facilitaron enormemente las labores de la Misión.

Al Centro de Investigaciones Geotécnicas del MOP, a través de su Director, el Ing. Julio Salazar Mena, al Ing. Carlos E. Aguilar Sub-Director y del Ing. Roberto Linares, Jefe del Dpto. de Sismología, quienes proporcionaron a la Misión valiosas informaciones de San Salvador. El Ing. Luis Murcia y el Dr. Hector Hernández, de San Salvador, y el Ing. Luis Zegarra, de Lima, alcanzaron al autor datos muy útiles.

Al Arqto. Ernesto Winkowski, funcionario de HABITAT y Jefe de la Misión, quien sostuvo con el autor discusiones muy provechosas en el campo y durante la redacción de los informes.

Finalmente, a los miembros del CISMID, por su apoyo en la preparación de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pags .
PRESENTACION DEL CISMID	i
PRESENTACION DEL TRABAJO	iii
RESUMEN	iv
AGRADECIMIENTO	vi
1. INTRODUCCION	1
2. CARACTERISTICAS DEL SISMO Y DEL MEDIO FISICO	2
2.1 EL Sismo del 10 de Octubre de 1986	2
2.2 Historia Sísmica de San Salvador y el origen de los sismos que la afectan.	2
2.3 Marco regional centroamericano	2
2.4 Marco nacional	6
2.5 Características locales	7
3. REGISTROS INSTRUMENTALES Y SU PROCESAMIENTO .	15
4. DAÑOS CAUSADOS POR EL SISMO DEL 10/10/87	24
4.1 Daños en edificaciones	24
Fotos de edificaciones dañadas	
4.2 Daños en los servicios públicos esenciales	44
5. REGLAMENTOS DE DISEÑO SISMICO	46
5.1 Reglamento vigente al ocurrir el sismo	46
5.2 Reglamento Sísmico de Emergencia	46
5.3 Algunos comentarios al Reglamento de Emergencia	50
6. CONSECUENCIAS ECONOMICAS Y SOCIALES DEL SISMO	53
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS	58

EL TERREMOTO DE SAN SALVADOR DEL 10 DE OCTUBRE DE 1986

1. INTRODUCCION

A las 11 h, 49 m 27 seg. (hora local) del 10 de octubre de 1986, San Salvador, ciudad, capital de la república de El Salvador, con 1'500,000 habitantes, fué sacudida violentamente por un sismo de corta duración, alrededor de 5 segundos en su fase más intensa, como corresponde a un sismo local de origen muy cercano, sismo que causó graves pérdidas materiales en unos 35 km² del área metropolitana.

Los mayores daños se concentraron en una "franja" orientada NNW, coincidiendo con la orientación de uno de los sistemas de fallas que afectan San Salvador, colapsando varios edificios de concreto armado, y pereciendo en ellos un gran porcentaje de las 1,200 víctimas que dejó el sismo. El número de heridos pasó de 10,000.

Con el terremoto, que se produjo un día laborable, el edificio de oficinas "Ruben Darío", ubicado a una cuadra de la plaza principal, atestado de público, colapsó completamente dejando unas 300 víctimas, entre ellas conocidos médicos y abogados salvadoreños. También colapsaron: el Gran Hotel San Salvador, el Edificio Dueñas, la Consulta Externa del Hospital Bloom, el Ministerio de Planificación, el Pabellón de Economía de la Universidad de San Salvador, y algunos edificios de departamentos. Otro porcentaje importante de víctimas hubo en las construcciones de "bahareque", que son edificaciones de tierra de un piso, con estructura de madera y caña y techo de madera a dos aguas cubierto con tejas; estas construcciones fallaron principalmente por la descomposición y debilitamiento de la madera, producidos por la exposición repetida a la humedad, y al tiempo. Se recuerda que el sismo de 1917 causó graves pérdidas en construcciones de adobe, y el sismo de 1965 barrió con las pocas edificaciones de adobe que quedaban.

A causa del sismo de 1986 unas 200,000 personas perdieron sus viviendas. Los daños materiales se estimaron en US\$ 900 millones (1)*, (2), pérdida que agravó la ya difícil situación económica de El Salvador, asolado por un conflicto armado interno que lleva 7 años de duración.

* Referencia

2. CARACTERISTICAS DEL SISMO Y DEL MEDIO FISICO.

2.1 El Sismo del 10 de Octubre de 1986

Los parámetros más importantes del sismo fueron:

- Epicentro : 13,563°N, 89.186°W
- Profundidad Focal : 8 km
- Magnitud : 5.4 Ms (CIG-USGS)
- Intensidad : VIII - IX M.M.
- Hora de Origen : 17.49.27 GMT
11.49.27 Hora Local

El sismo fue de origen tectónico local, con dislocamiento normal al plano de fallas.

2.2 Historia Sísmica de San Salvador y el Origen de los Sismos que la afectan.

San Salvador, ubicado al pie del Volcán del mismo nombre, ha sido afectado por 33 sismos destructivos entre 1538 y 1986, 23 de ellos de origen tectónico local, algunos de ellos asociados a actividades volcánicas (8 de VII MM., 14 de VIII M.M. y 1 de IX MM.), y 8 generados por la actividad tectónica regional con origen en la zona de subducción (7 de grado VII MM. y 1 de grado VIII MM.). Por la alta frecuencia de sismos intensos que le han afectado, al lugar donde se asienta San Salvador se le llama "Valle de las Hamacas" en lengua aborigen.

En la tabla 1 se listan los sismos que han afectado San Salvador en los últimos 450 años.

2.3 Marco Regional Centroamericano

Para comprender mejor la sismicidad de San Salvador, es necesario enmarcarla dentro de la geología regional centroamericana. El territorio de El Salvador, con 21,000 km², se ubica dentro de la provincia geológica septentrional de Centro América que se extiende entre América del Norte y la parte central de Nicaragua.

Frente a las costas de América Central se extiende la fosa Mesoamericana, que alcanza 6000 metros de profundidad y que corre paralela a sus costas por 2600 km, desde México hasta cerca de la frontera sur-

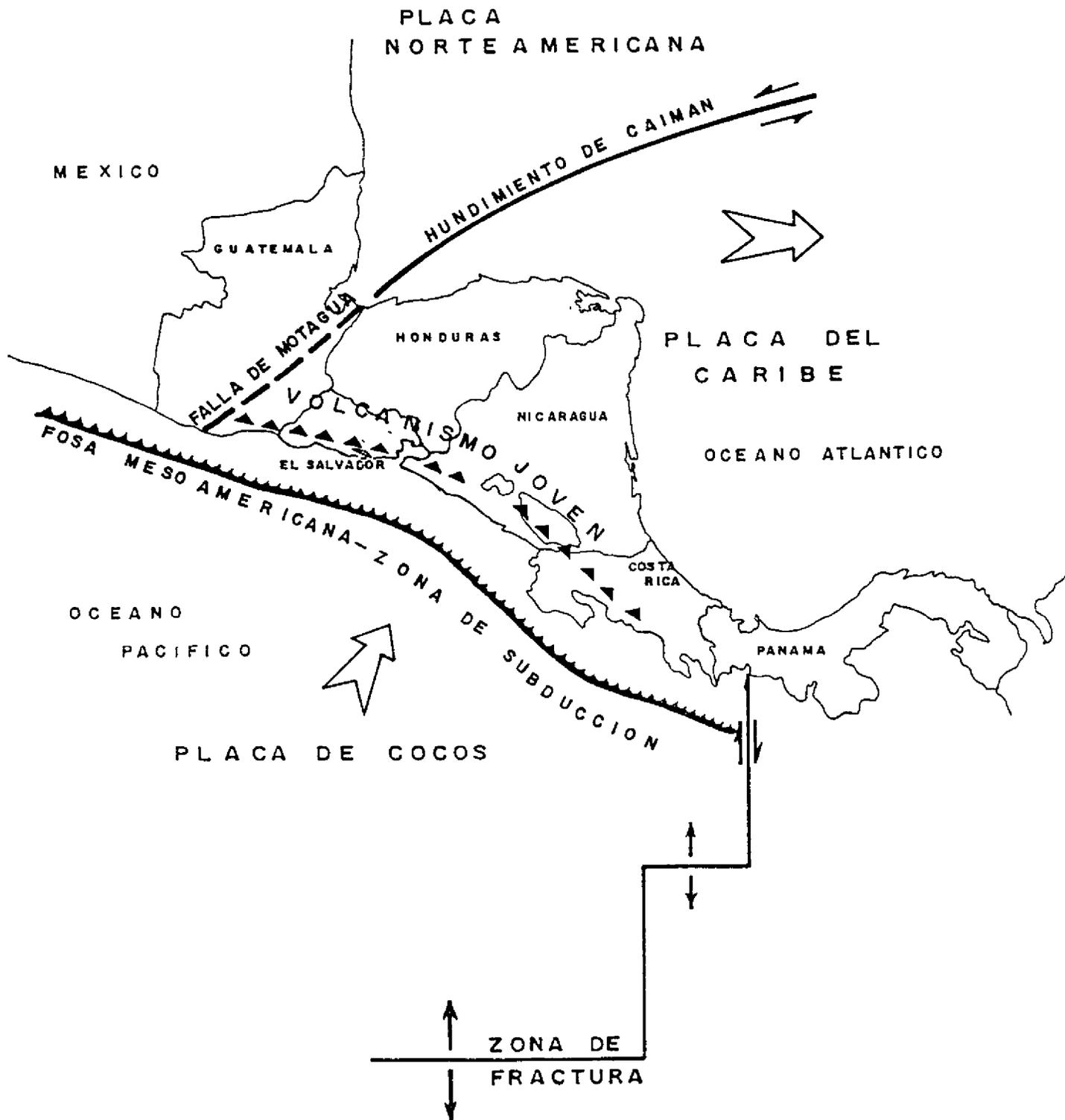
TABLA 1
Sismos Intensos que han afectado
SAN SALVADOR desde 1536 a 1986
(Ref. 3)

Fecha	Descripción	MAG.	INT. MM	FOCO
1538	Sacudimiento	6.3	VIII	S
1575 (5/23)	Sismo destructivo. Período de actividad volcánica.			
1597	Sismo poco destructivo (B)	5.9	VII	P
1581	Violento terremoto	6.9	VIII	N
1594	Violento terremoto y erupción por el lado del Playón.	6.3	VIII	S
1625	Ruina memorable	6.9	VIII	N
1650	Violento terremoto	6.3-6.9	VIII	N
1656	Violento terremoto	6.3-6.9	VIII	N
1658	Temblores y erupción por El Playón	6.3	VIII	S
1662	Sismo poco destructivo	5.3	VI-VII	S
1671	Terremoto de San Bartolomé y erupción de cenizas	6.3	VIII	S
1707	Sismo poco destructivo	5.3-5.9	VI-VII	N
1719	Ruina (B)	6.9	VIII	P
1730	Sismo poco destructivo	5.3-5.9	VI-VII	N
1765	Leve ruina (B0)	5.3-5.9	VI-VII	N
1776	Sismo poco destructivo (B)	5.9	VI-VII	P
1798 2/2	Violento terremoto	6.3-6.9	VIII	N
1806	Ruina de San Salvador y erupción por el Playón	6.3	VIII	S
1814	Sismo poco destructivo	5.3-5.9	VI-VII	N
1815 8/20	Sismo poco destructivo (B)	5.9	VI-VII	P
1831	Una de las varias ruinas habidas (B)	5.9	VII	P
1839 3/22	Gran ruina, erupción de ceniza	6.3	VIII	S
1839 10/1	Cae lo poco que quedó en pie	5.6	VII	N

Fecha	Descripción	MAG.	INT.	FOCO
1854 4/16	Destrucción completa de la ciudad.	6.3-6.9	VIII	N
1857 11//	Pocos daños (B)	5.6	VII	P
1873	Destrucción parcial de la ciudad	5.6	VII	S
1879	Pocos daños	5.6	VII	S
1880	Pocos daños y formación de los Cerros Quemados en el Ilopango.	5.0-5.6	VI-VII	S
1917	Gran ruina y erupción del Boquerón	6.3	VIII	S
1919 4/	Destrucción de San Salvador	6.3	VIII	S
1965	Daños moderados	5.1	VII	S
1986 10/10	Daños muy severos en un sector de San Salvador	5.4	VIII-IX	S

Notas (B) "Sismos que se han originado en la zona de subducción o de Benioff. Note que todos tienen foco profundo y que todos excepto el de 1719 (VIII MM) han tenido in tensidad moderada en San Salvador (VII o menos). Los otros sismos son de origen local, algunos de -- ellos asociados con actividad volcánica. Las magnitudes de los sismos históricos son estimadas.

FIG. 1 : TECTONISMO REGIONAL EN CENTROAMERICA



de Costa Rica, marcando la zona de contacto entre las placas Cocos y del Caribe. El Salvador se ubica sobre la última. Hacia el Norte cruza el territorio guatemalteco la falla de Motagua, que continúa hacia el mar Caribe formando la fosa de Caimán, separando la placa del Caribe de la placa Norteamérica (ver Fig. 1)

Entre el sur de México hasta cerca de Panamá se tiene una franja paralela al Pacífico de historia geológica muy joven, caracterizada por volcanes activos y sismos tectónicos muy superficiales. Lamentablemente varias ciudades centroamericanas importantes, como Managua y San Salvador, se ubican en esa franja de debilidad y han sido repetidamente destruidas por sismos muy intensos.

2.4 Marco Nacional

En la fig. 2 se puede observar los epicentros de los sismos que han afectado El Salvador durante 1982, y nos da una buena idea de la actividad sísmica en su territorio. En el Océano Pacífico se tienen los epicentros de los sismos que se generan en las zonas de subducción o de Benioff, y en el continente los sismos superficiales originados en la depresión central.

En los 450 años de historia sísmica, ninguno ha pasado de 6.9 de magnitud.

En la zona de Benioff los sismos tienen una profundidad focal de unos 30 km. aproximadamente a 120 km de distancia de la costa, y unos 70 - 150 km de profundidad a una distancia de 20 - 30 km de la misma línea. Debido a estas características, en la faja costera no se esperan altas intensidades y en el mapa de regionalización sísmica preliminar se le asigna una intensidad de VII MM.

La franja central localizada entre la cadena de montañas costera y la interior, corre en la dirección NNW, paralela a la costa, constituida por la cadena joven de volcanes, que geológicamente pertenecen al Pleistoceno y al Holoceno (cuaternario). Las rocas que predominan son lavas basálticas y pómez blanco. También se encuentran domos ácidos como el cerro San Jacinto y depresiones de origen volcánico-tectónico como el lago Ilopango. Los sismos que ocurren son de magnitud moderada, menos que 6.9°, sin embargo por ser muy superficiales, unos 10 km de profundidad o menos, las intensidades observadas son altas VIII-IX MM.

En el mapa de regionalización sísmica, por tanto, se les asigna esas intensidades.

Hacia el NE, acercándose a la frontera montañosa con Honduras, la actividad sísmica decae significativamente y en el referido mapa se le asigna las 2 franjas paralelas a la franja central, intensidades VII y VI MM respectivamente.

2.5 Características Locales

Como ya se ha mencionado, San Salvador se ubica en el graben que atraviesa la república de El Salvador en dirección NW, sobre una

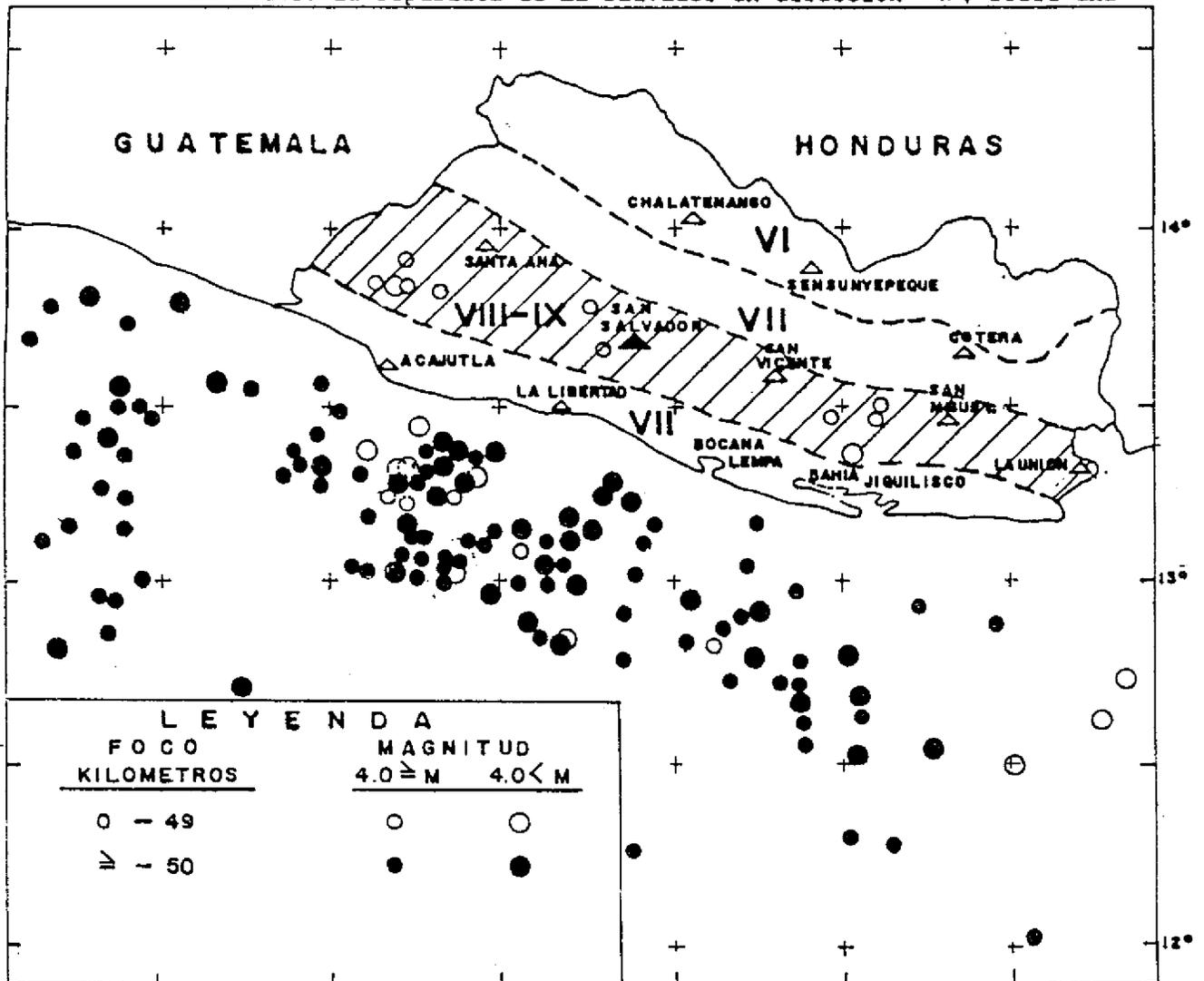


FIG. 2 : MAPA DE REGIONALIZACION SISMICA PRELIMINAR DE "EL SALVADOR" Y EPICENTOS DE SISMOS DE 1,982 (DEPTO. DE SISMOLOGIA, C.I.G., M.O.R "EL SALVADOR")

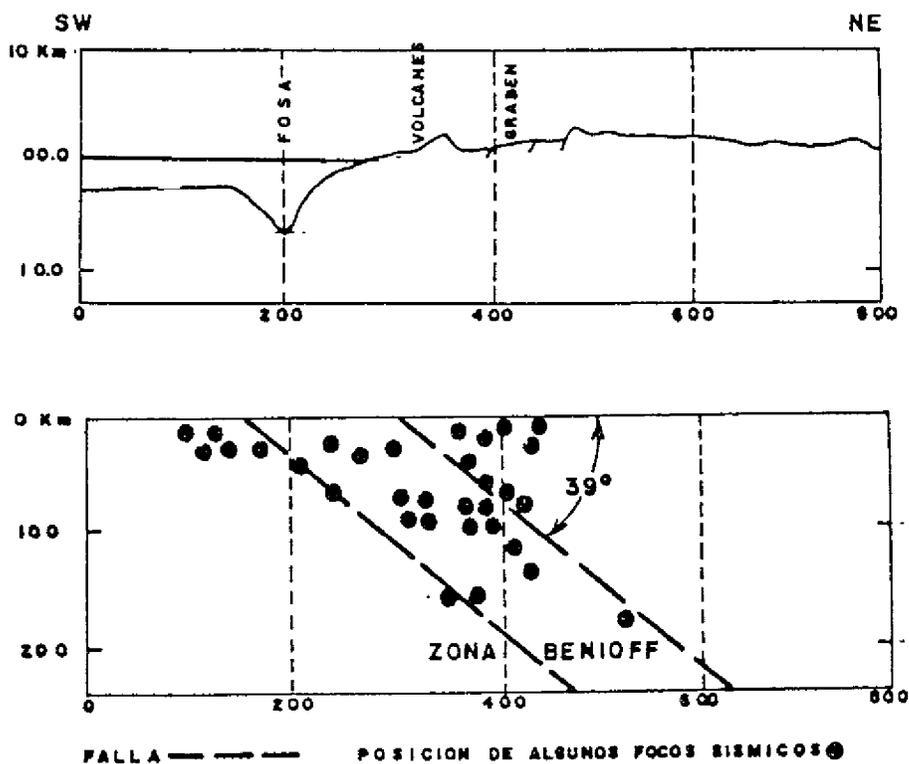


FIG. 3: CORTE PERPENDICULAR A LA COSTA Y DISTRIBUCION EN PROFUNDIDAD DE ALGUNOS SISMOS (REF.)

superficie relativamente plana comprendida entre los 650 msnm en el este, elevándose suavemente hacia el oeste en dirección a las faldas del volcán San Salvador hasta unos 900 msnm. y por el norte por el cerro Mariana (798 m). Ver Figs. 4 y 4a.

La ciudad se extiende unos 9 km de N a S y unos 12 km de E.W, angostándose hacia el este a unos 2 km, desarrollando el área urbana a lo largo de la Carretera Panamericana y el Boulevard del Ejército .

El plano donde se desarrolla San Salvador está cruzado predominante de W a E por ríos y quebradas erosionadas que tienen fuertes y profundos taludes en sus cauces. Luego en el lado Este estos ríos y quebradas inflectan hacia el norte, constituyendo así el sistema de drenaje natural del valle San Salvador. Todas las rocas expuestas en el área metropolitana de San Salvador son de origen volcánico, tal como se puede apreciar en la Fig. 5. La formación San Salvador es la que cubre toda el área metropolitana, y en general, los materiales que la componen son productos piroclásticos y epiclásticos de color café amarillo, más o menos consolidados, de grano medio a fino, que tienen un espesor mayor que 25 m al lado este de la ciudad y se incrementa aun más conforme se acerca al Lago Ilopango.

89.255°w

89.109°w

13.749°s

13.654°s



-  ALUVION
-  ROCAS PIROCLASTICAS ACIDAS (TIERRA BLANCA)
-  ROCAS PIROCLASTICAS ACIDAS, Y ROCAS EPICLASTICAS (Tobas color café)
-  LAVA ANDESITICA Y BASALTICA
-  LAVA ANDESITICA
-  LAVA MEDIO ACIDA O ACIDA
-  ROCAS PIROCLASTICAS ACIDAS, ROCAS EPICLASTICAS, TOBAS SOLDADAS E IGNIMBRITAS
-  LAVA ANDESITICA - BASALTICA, ROCAS PIROCLASTICAS Y EPICLASTICAS

San Salvador
 Balsamo
 Curcullán
 F O R M A

-  FRACTURA
-  FALLA
-  ESTRUCTURA DE ANILLO
-  CRATER

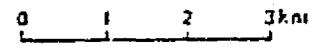


Fig. 5 Geología de San Salvador

Se pueden citar algunas de las características más saltantes de la formación "San Salvador"

-En general a varias decenas de metros de profundidad se encuentran los suelos con fuerte grado de consolidación (tobas color café)

- Cerca al volcán San Salvador las tobas color café tienen un espesor considerable y disminuyen notoriamente conforme se aleja del mismo.

- En el sub-suelo de San Salvador se han detectado dos flujos de lava, producto de la erupción del volcán del mismo nombre, que están a 1-5 m de profundidad en sus faldas y a unos 10 - 25 m en el centro de la ciudad.

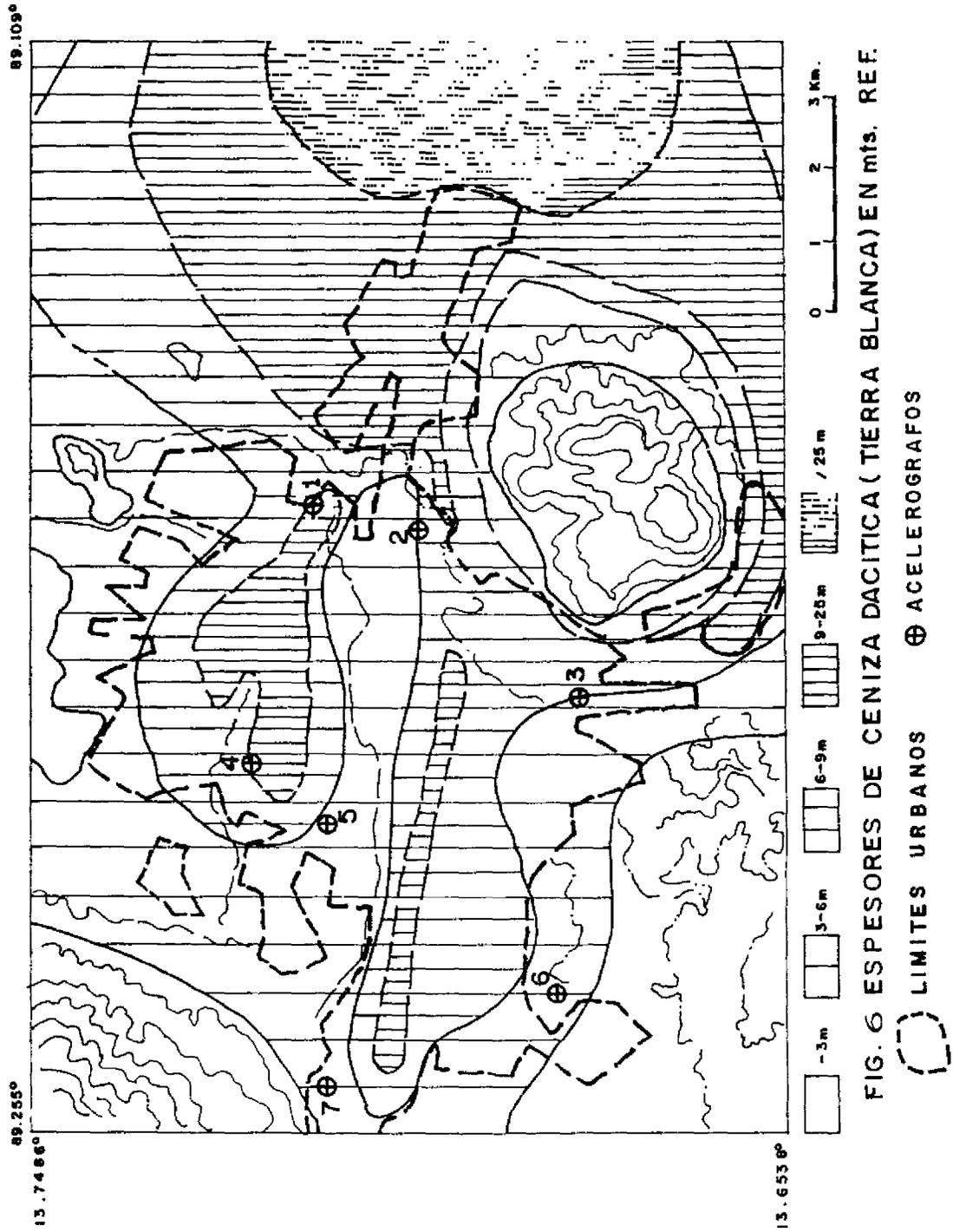
-Debido a la topografía, el clima y características del suelo, la superficie está fuertemente erosionada en ciertos sectores.

Se puede tener una buena idea de las características de estratos superficiales del área estudiada si se observa la Fig. 6, donde se puede apreciar el espesor de la "tierra blanca" como se le llama en San Salvador a las cenizas dacíticas, que prácticamente cubren toda su área metropolitana. En general son de poco espesor o prácticamente inexistentes en las alturas que rodean la ciudad: el volcán San Salvador al oeste, cerro Mariana en el norte y cerro San Jacinto y Cadena de la Costa en el sur. El espesor se incrementa hacia el centro del valle y se hace ostensiblemente más potente -- conforme nos acercamos hacia el Lago Ilopango.

Las tierras blancas son ricas en sílice con una granulometría bastante uniforme. Presentan una textura angular a sub-angular con granos pómez sub-redondeadas a angulares, alcanzando hasta el 80% del volumen.

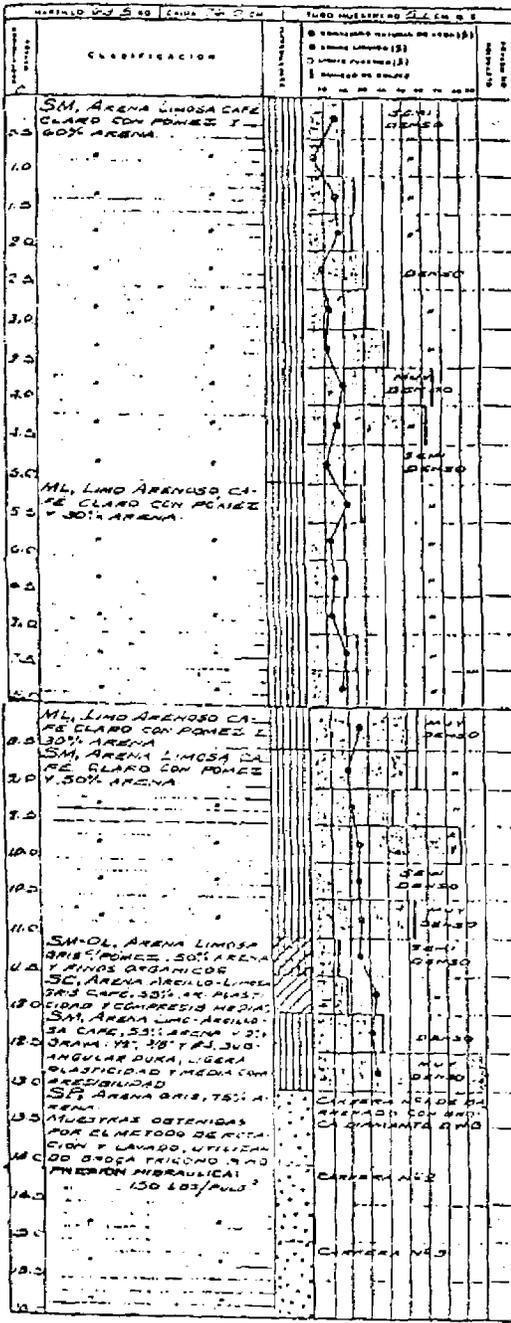
Incluso en algunos afloramientos son casi puro pómez por no haber sufrido procesos importantes de intemperismo, no han desarrollado mucha cohesión y su comportamiento es granular.

Los productos proclásticos de diámetros mayores que las cenizas -- (> 4 mm) están constituidos por horizontes de lapilli hasta blanco grisáceo en los estratos de pómez.



CIG	M.O.P. CENTRO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS SERVICIO TÉCNICO DE SUELOS REGISTRO DE PERFORACION	HOJA No. 1 de 4
		PERF. No. 2 PERF. R. Z. J. J. J. J. J.

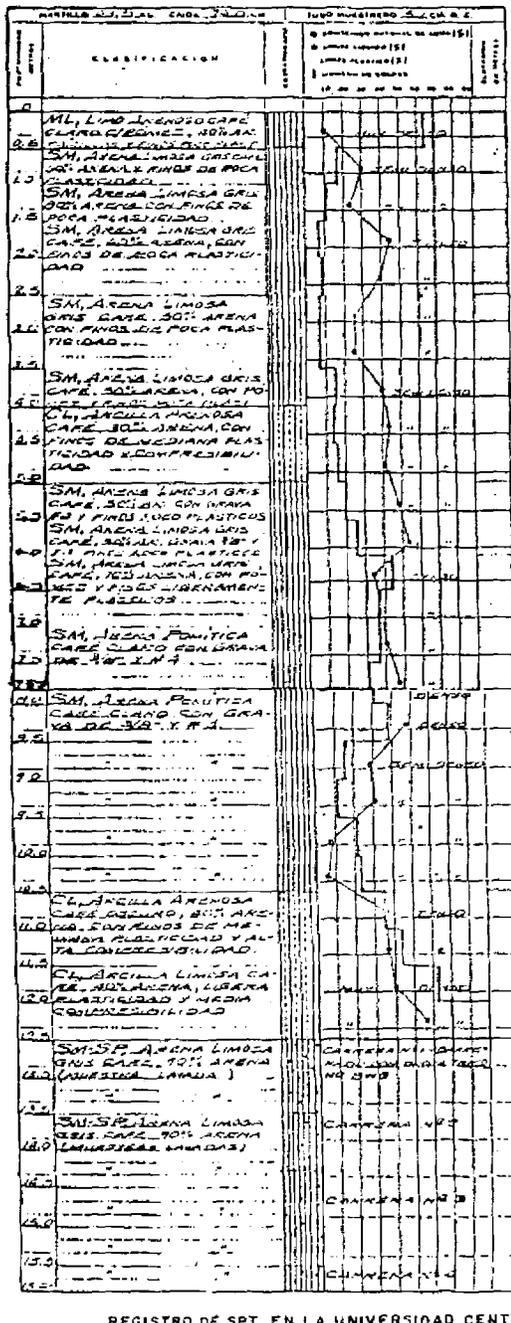
INSTITUTO DE VIVIENDA URBANA
 INSTITUTO DE VIVIENDA URBANA SAN SALVADOR
 ESTACION PERFORACION: ...
 FECHA COMIENZO: 18 NOVIEMBRE 63
 FECHA TERMINACION: 22 NOVIEMBRE 63
 PROFUNDIDAD: 20.00 METROS
 OPERACION CON BOCA SURTIENDO A UNO M. A. 2. C. 2.



REGISTRO DE SPT EN EL INSTITUTO DE VIVIENDA URBANA

CIG	M.O.P. CENTRO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS SERVICIO TÉCNICO DE SUELOS REGISTRO DE PERFORACION	HOJA No. 4 de 4
		PERF. No. 4 PERF. R. Z. J. J. J. J. J.

UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA SAN SALVADOR
 ESTACION PERFORACION: ...
 FECHA COMIENZO: 2 ENERO 64
 FECHA TERMINACION: 13 ENERO 64
 PROFUNDIDAD: 20.00 METROS
 OPERACION CON BOCA SURTIENDO A UNO M. A. 2. C. 2.



REGISTRO DE SPT EN LA UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSE SIMON CANAS

Fig. 7 Perfiles de Suelo en el Instituto de Vivienda Urbana IVU y en la Universidad Centroamericana UCA.

La densidad de los suelos está influenciada por la presencia del pómez. Sin pómez la densidad es de 1.5 a 1.7 Tn/m³ con humedad 15 -- 20%, y con pómez la densidad baja a 1.3 - 1.5 Tn/m³ con humedad de 10-25% y valores de N la mayoría entre 10 y 50 pero todos menores de 100 golpes (N de la prueba de penetración estándar - SPT)

En la mayor parte de investigaciones de suelo efectuadas en San Salvador se obtuvieron valores de N entre 10 y 50. Se adjuntan dos -- perfiles ubicados en el Instituto de Vivienda Urbana y la Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", para tener una idea de las propiedades de los estratos superficiales de suelo.

También se han detectado zonas de alguna extensión urbanizadas recientemente, donde se han efectuado cortes y rellenos y donde el valor de N es menor o igual a 10. En algunos casos los rellenos son mayores que 10 m. En las zonas de N bajos y rellenos recientes se pueden esperar importantes amplificaciones de las ondas sísmicas y asentamientos importantes, como se pudo observar en el MAG (Ministerio de Agricultura y Ganaderías) y zonas aledañas. También se notaron numerosas roturas de tuberías de agua y alcantarillado.

El área metropolitana de San Salvador está cruzada por sistemas de fallas en varias direcciones E-W, NW-SE, NE-SW y N-S, que se han reactivado repetidamente causando sismos muy intensos.

3. REGISTROS INSTRUMENTALES Y SU PROCESAMIENTO.

Valiosos registros instrumentales fueron obtenidos durante el sismo del 10/10/86. Nueve (8-SMA-1 y 1-AR-240) de los once acelerógrafos instalados después del terremoto de 1965 funcionaron, obteniéndose los respectivos acelerogramas, siete a nivel del suelo y los otros 2 en el 2do. y último piso de un edificio de concreto armado de 10 pisos. También se recuperaron 16 registros de sismocopios (Wilmot Sr-100)

Todos esos instrumentos están instalados dentro del área urbana de San Salvador (Ver fig.6) y son operados y mantenidos por el Centro de Investigaciones Geotécnicas del Ministerio de Obras Públicas de El Salvador. A pesar de la magnitud moderada del sismo, $M_s = 5.4$, se registraron altas aceleraciones: 0.72g, 0.71g y 0.66g en las estaciones más cercanas a la fuente y 0.32g. a 8.9 km del epicentro; sucedió algo parecido con los registros de los sismoscopios, haciéndose notar que el periodo de los mis

TABLA N° 2
 DATOS DE ACCELEROGRAFOS Y REGISTROS DEL SISMO DEL
 10/10/86

St. N°	Código St. Nombre	Coord. St. Lat.N. Long W	Distan. epic.(km)	Azimuth (grado)	Aceler. pico(g)	Tipo suelo superficial	Espesor estimado	Pico.es- pectro - seg **
1	I G N Inst. Geograf. Nacional	13.714 89.171	5.7	270 Vert 180	-0.54 0.46 0.40	ceniza dabi tica [tie-- rra blanca]	7-9 m	0.73 0.84
2	C I G Centro Invest. Geotecnicas	13.700 89.175	4.3	180 Vert 90.	0.42 0.41 -0.71	"	6-9 m	0.66 ---- 0.57
3	O B S Observ.Sismol. Nacional	13.680 89.198	0.9	180 Vert 90	0.66% 0.37% 0.54%	"	6-9 m	0.80 ---- 0.57
4	I V U Inst. de Vivien das Urbanas	13.721 89.206	5.3	90 Vert 180	0.37 -- 0.72	"	6-9 m	0.45 ---- 0.50
5	H C R Hotel Camino Real	13.712 89.215	4.5	90 Vert 360	0.34 0.26 0.47	"	3-6 m	0.45 ---- 0.50
	H C R (2do. Piso)	" "	"	90 Vert 360	0.69 -0.37 0.53	"	----	----
	H C R (Azotea 10 Piso)	" "	"	90 Vert 360	0.91 0.43% 0.43%	"	----	----
6	U C A Univ. Centro Americana	13.683 89.237	3.8	180 Vert 90	-0.39 0.24 0.43	"	3-6 m	0.48 ---- 0.53
7	H S II Hotel Sheraton	13.713 89.243	6.2	360 Vert 270	0.22 -0.15 0.32	Lava volcánica sobre tierra blanca	3-6 m	0.22 ---- 0.57

mos fue de 0.76 seg., cercano al período predominante del suelo de la zona instrumentada, lo que ha contribuido a las altas respuestas de esos instrumentos. Se registraron, pues, altas aceleraciones que afectaron el área más densamente poblada de San Salvador.

La ubicación de los acelerógrafos se indica en la Fig. 6. Las coordenadas de los acelerógrafos así como las aceleraciones registradas se presentan en la Tabla 2

Los valores de los desplazamientos, velocidades y aceleraciones espectrales obtenidos de los registros de los sismoscopios así como las características de los instrumentos se incluyen en la Tabla 3

Ocho de los nueve acelerogramas registrados fueron procesados en la Oficina de Estudios de Movimientos Fuertes de la División de Minas y Geología del Departamento de Conservación de California, ubicado en su capital Sacramento. Los resultados están incluidos en un informe de 113 pags (12) enviado gentilmente al autor por el Dr. Brian Tucker de esa repartición.

Para cada uno de los registros de 3 componentes se incluye en dicho informe los acelerogramas sin corregir. Cada componente con su línea de base corregida: aceleración, velocidad y desplazamiento, donde se incluye las características de los filtros usados. Se tiene luego los espectros de respuesta de aceleraciones absolutas (S_a) para 5% de amortiguamiento y finalmente los espectros de respuesta de velocidad, aceleración y desplazamiento y los espectros de amplitud de Fourier.

Con fines ilustrativos se incluyen algunas de las figuras tomadas de la referencia indicada.

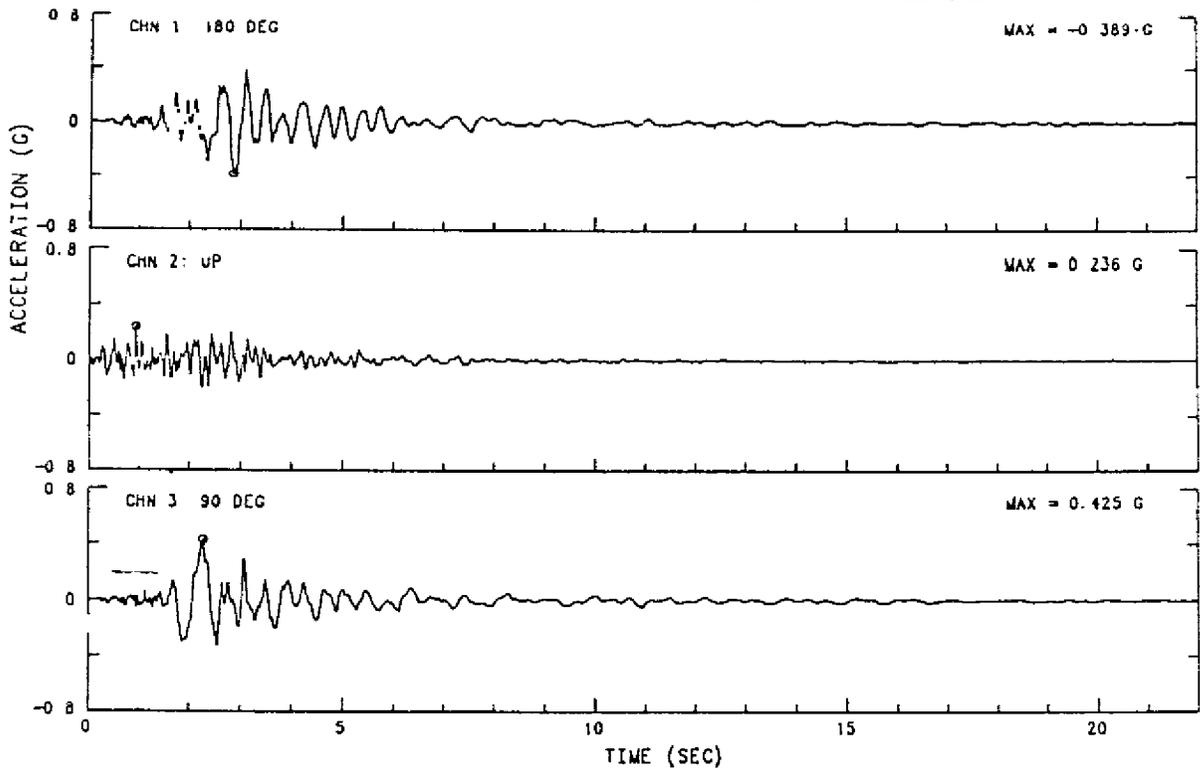
En primer lugar se tiene los acelerogramas registrados en la Universidad Centroamericana y en el Hotel Sheraton (Fig.8) ubicados al lado oeste de la ciudad donde los estratos de tierra blanca son de menor espesor y los períodos más cortos.

Se incluyen luego los acelerogramas registrados en el Instituto Geográfico Nacional y el Centro de investigaciones Geotécnicas (Ver fig.9), los 2 instrumentos que funcionaron el 10/10/86 ubicados más al oriente, donde el espesor de la tierra blanca es mayor. Se podrá apreciar que los períodos de estos 2 últimos son notoriamente mayores que los de la Fig. 8 en las 2 componentes horizontales.

TABLA N° 3
Velocidades, desplazamientos y
aceleraciones espectrales
obtenidos de los registros
de los Sismoscopios

	Estación Código	Amortg. %	Periodo (seg)	Sd (cm)	Sv (cm/seg)	Sa (cm/seg ²)
1.	IGN	9.57	0.76	8.19	67.71	559.8
2.	CIG	9.60	0.76	8.02	66.27	547.9
3.	OBS	9.37	0.76	8.06	66.62	550.8
4.	IVU	10.68	0.76	9.08	75.10	620.9
5.	SEM	12.53	0.76	8.98	74.23	613.7
6.	UCA	10.74	0.76	8.83	73.01	603.6
7.	HSH	10.13	0.76	7.22	59.71	493.6
8.	SMA	8.24	0.76	7.92	65.47	541.2
9.	HÑÑ	10.63	0.76	9.18	75.86	627.4
10.	MDE	13.92	0.76	9.64	79.71	659.0
11.	MUS	8.86	0.76	7.10	58.71	485.4
12.	STO	10.81	0.76	5.37	44.37	366.8
13.	IMSA	11.90	0.76	5.64	46.60	385.2
14.	SCHULZ	10.65	0.65	3.42	28.28	233.8
15.	IUSA	10.38	0.76	4.38	36.18	299.1
16.	CSC	10.22	0.76	2.07	17.14	141.7

SAN SALVADOR EARTHQUAKE OCTOBER 10, 1986 17 49 GMT
CENTRO AMERICANA UNIV. - (NIVEL/FLOOR: 1)
UNCORRECTED ACCELEROGRAM 90016-S0016-86283 01 110686 1825-QS86A016



SAN SALVADOR EARTHQUAKE OCTOBER 10, 1986 17 49 GMT
HOTEL SHERATON - (NIVEL/FLOOR: 1)
UNCORRECTED ACCELEROGRAM 90018-S0018-86283 06 111286 1824-QS86A018

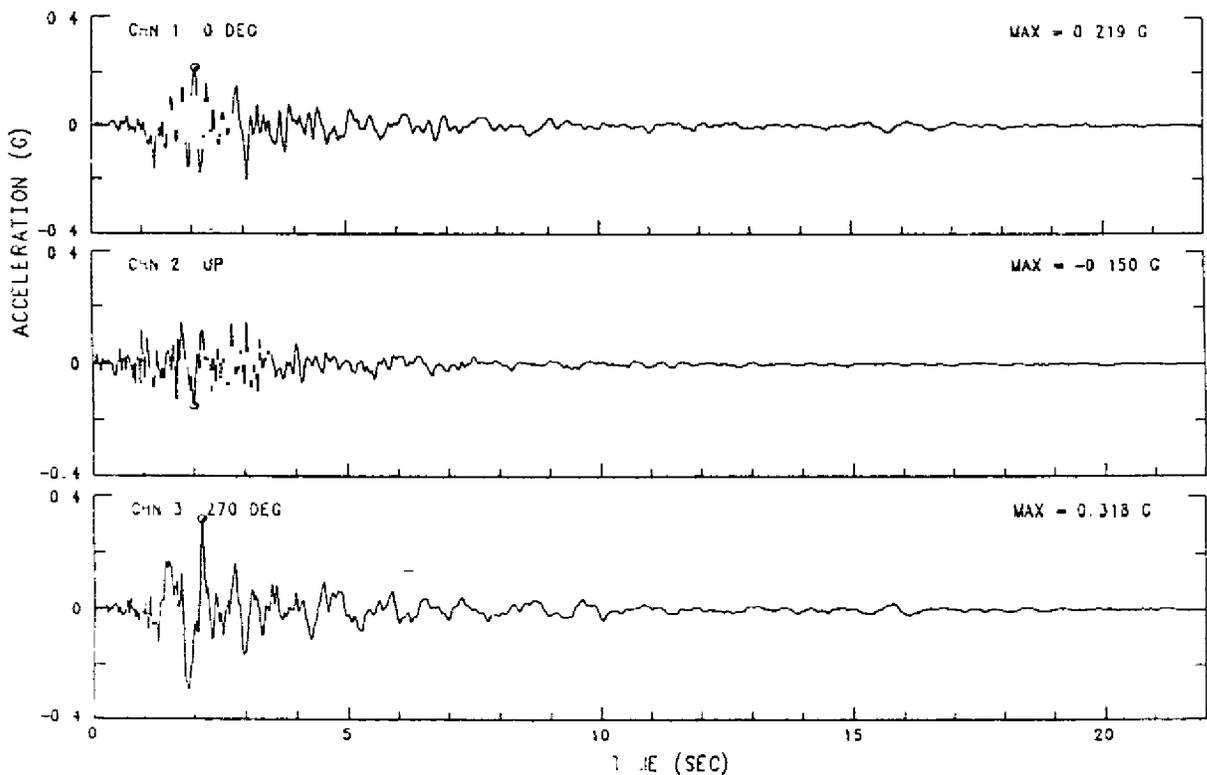
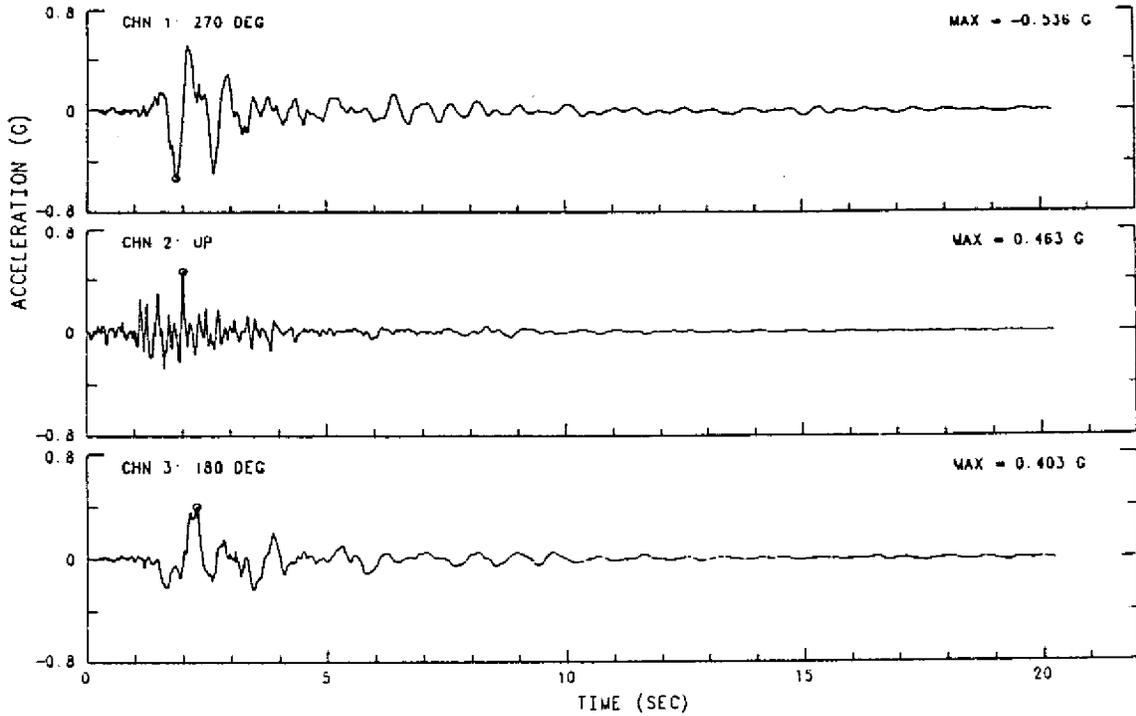


Fig. 8 Acelerogramas registrados en la Universidad Centroamericana UCA y en el Hotel Sheraton HSH (Ver ubicaciones en Fig. 6)

SAN SALVADOR EARTHQUAKE OCTOBER 10, 1986 17:49 GMT
NATL GEOGRAFICAL INST - (NIVEL/FLOOR: 1)
UNCORRECTED ACCELEROGRAM 90005-50005-86283.03 102886.0040-Q586A005



SAN SALVADOR EARTHQUAKE OCTOBER 10, 1986 17:49 GMT
GEOTECH INVESTIG CENTR - (NIVEL/FLOOR: 1)
UNCORRECTED ACCELEROGRAM 90006-50006-86283.01 102786.2340-Q586A006

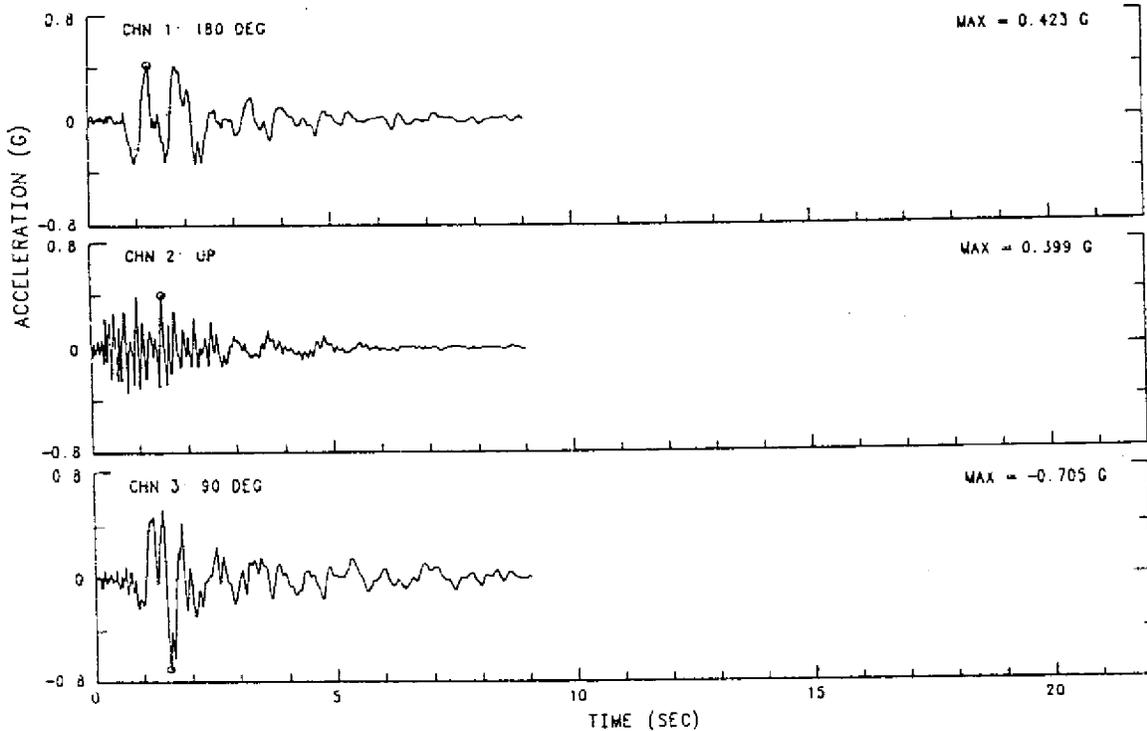
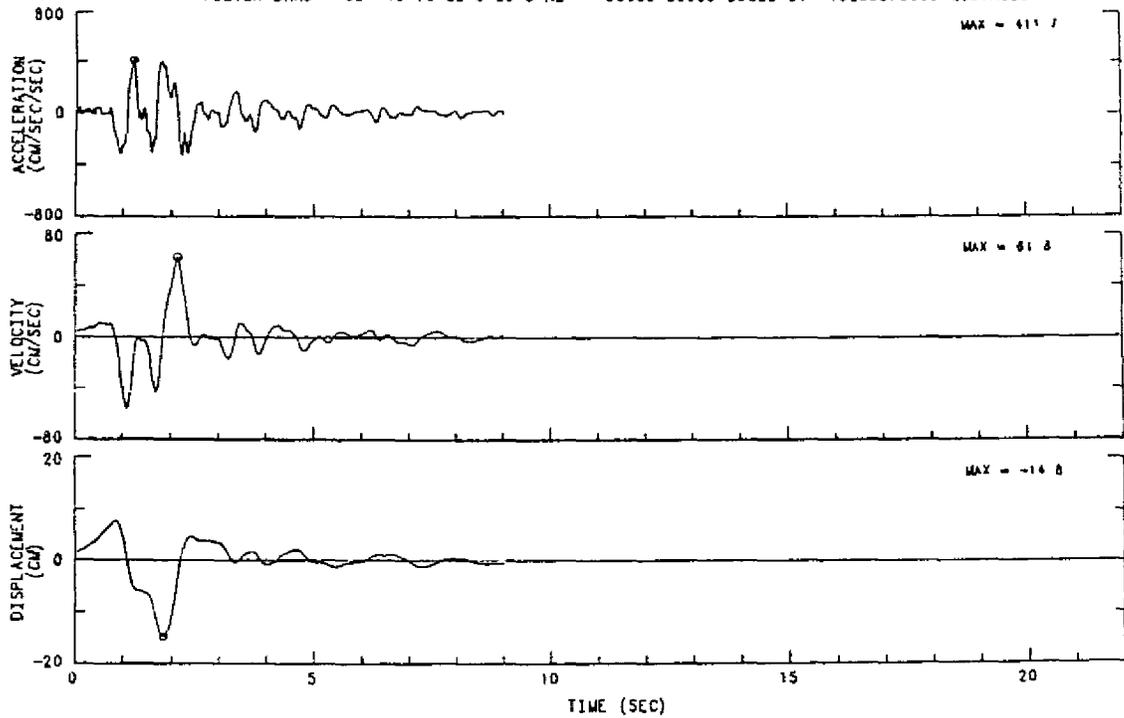


Fig. 9 Acelerogramas registrados en el Instituto Geográfico NacionalIGN y en el Centro de Investigaciones Geotécnicas CIG-(Ubicaciones - en Fig. 6)

SAN SALVADOR EARTHQUAKE OCTOBER 10, 1986 17 49 GMT
GEOTECH INVESTIG CENTR - (NIVEL/FLOOR 1) CHN 1 180 DEG
INSTRUMENT-CORRECTED AND BANDPASS-FILTERED ACCELERATION, VELOCITY AND DISPLACEMENT
FILTER BAND 08- 16 TO 23 0-25.0 HZ 90006-S0006-86283 01 102886.0003-QS86A006



SAN SALVADOR EARTHQUAKE OCTOBER 10 1986 17 49 GMT
HOTEL CAMINO REAL - (SOTANO/BASEMENT) CHN 3 0 DEG
INSTRUMENT-CORRECTED AND BANDPASS-FILTERED ACCELERATION, VELOCITY AND DISPLACEMENT
FILTER BAND 08- 16 TO 23 0-25.0 HZ 90014-S0114-86283 01 102886.0128-QS86A114

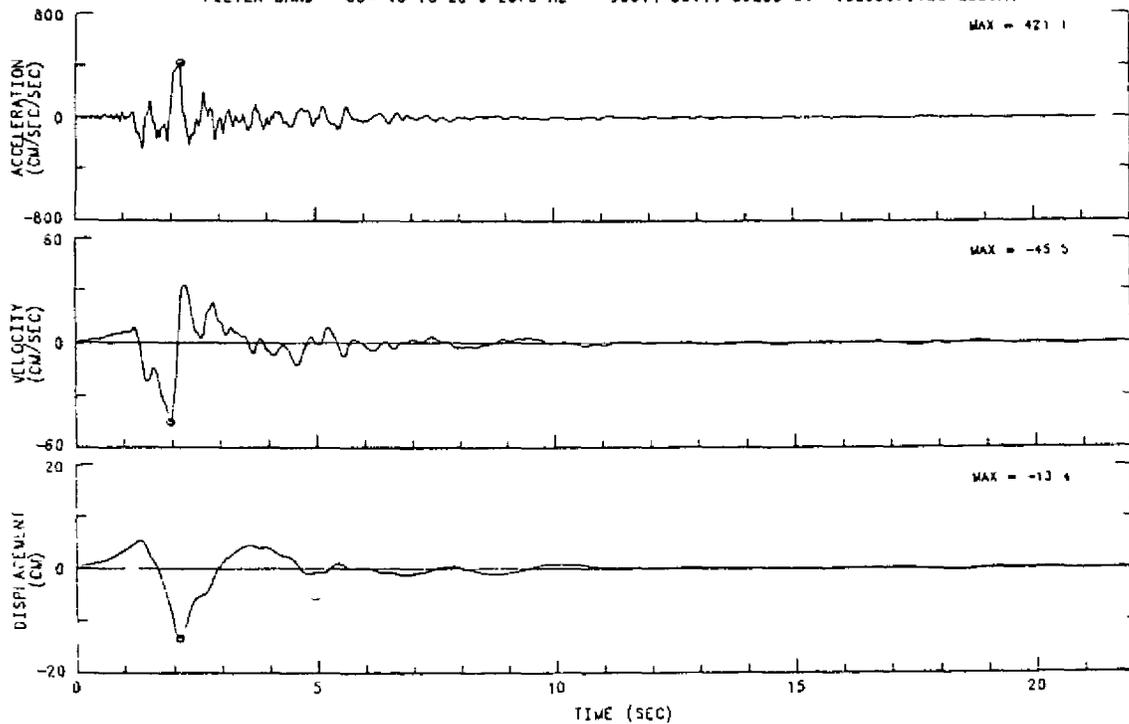


Fig. 10 Aceleración, velocidad y desplazamiento correspondiente a uno de los componentes horizontales obtenidos en el Centro de Investigaciones Geotécnicas y en sótano del Hotel Camino Real.

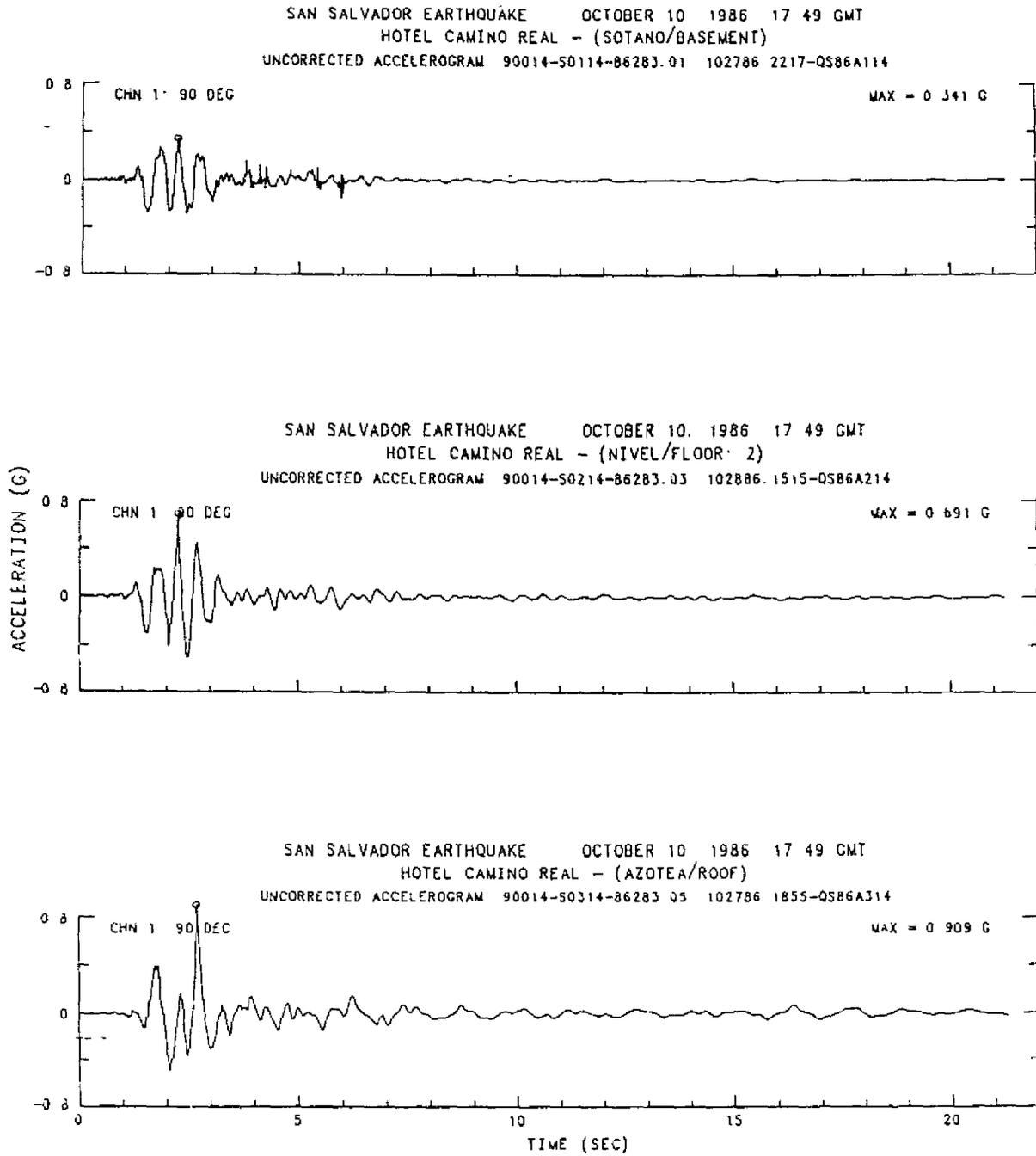


Fig. 11 Acelerogramas registrados en el sótano, 2do. piso y azotea del Hotel Camino Real.

SAN SALVADOR EARTHQUAKE OCTOBER 10, 1986 17:49 GMT
INST. URBAN CONSTR. - (NIVEL/FLOOR: 1)
CHN. 1: 90 DEG
ACCELEROGRAM BANDPASS-FILTERED WITH RAMPS AT .08-.16 TO 23.0-25.0 HZ.
90013-A0013-86283.01 111286.1757-QS86A013A

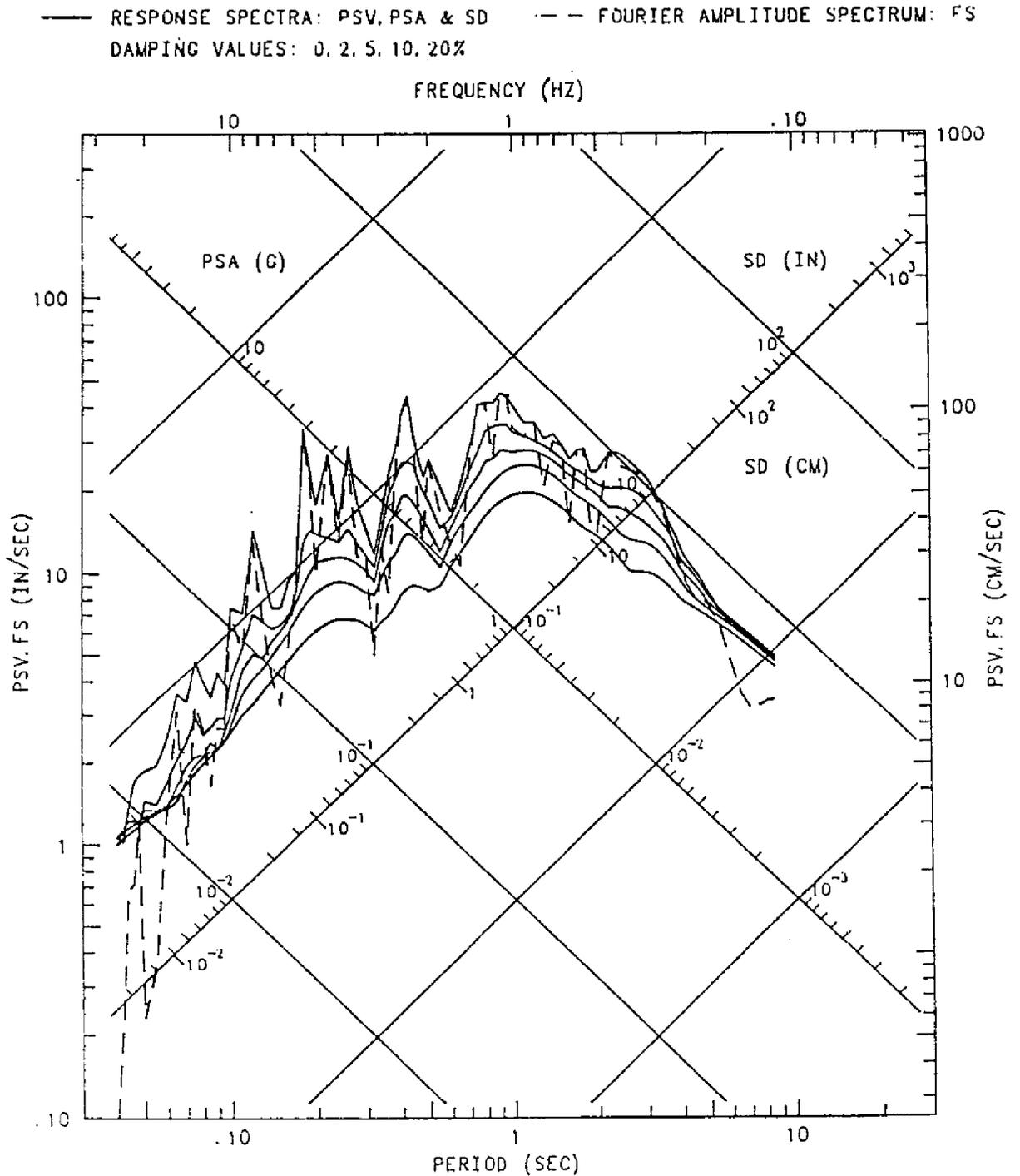


Fig. 12 Espectros respuesta de velocidad, aceleración y desplazamiento para 0, 2, 5, 10 y 20% de amortiguamiento y espectro de amplitudes de Fourier de uno de los componentes horizontales registrando en el IVU

Se han escogido estos acelerogramas porque oportunamente se harán comentarios sobre los espectros de diseño para esos lugares, en el punto 5.3 de este trabajo, donde se presentarán los espectros de aceleración para los cuatro lugares mencionados.

Se han incluido los acelerogramas sin corregir porque las escalas verticales (g) son iguales para todos los casos, lo que permite una comparación más fácil entre los registros.

En la Fig. 10 se incluyen los acelerogramas registrados en una de las componentes horizontales para 2 de los instrumentos ubicados más cerca a la fuente sísmica. Sus velocidades y desplazamientos han sido obtenidos integrando la primera curva. Se podrá notar la similitud de las curvas de desplazamiento del suelo, donde predomina el pulso de desgarramiento de la falla, lo que es indicativo de su cercanía.

Son interesantes los registros obtenidos en el sótano, 2do. piso y azotea del Hotel Camino Real, edificio de 10 pisos de concreto armado, que se presentan en la Fig. 11. Nótese el incremento de la aceleración pico con la altura (0.341g, 0.691g y 0.909g).

En la Fig. 12 se presenta los espectros de respuesta de velocidad, aceleración y desplazamiento, así como el espectro de amplitudes de Fourier.