UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONES DE
INVESTIGACIONES SISMICAS Y
MITIGACION DE DESASTRES

EL TERREMOTO DE LOMA PRIETA (San Francisco) DEL 17 DE OCTUBRE DE 1989

Por: Jorge ALVA, Yuji ISHIYAMA, Shunichi FUKUMOTO
Yoshio KUMAGAI, Julio KUROIWA y Rafael TORRES

AUSPICIO: JICA - Agencia de Cooperación
Internacional del Japón

Nº 01 - 90 - CISMID / FIC - UNI Lima, Febrero de 1990

APARTADO 2812 LIMA 100 - PERU

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONES DE
INVESTIGACIONES SISMICAS Y
MITIGACION DE DESASTRES

EL TERREMOTO DE LOMA PRIETA (San Francisco) DEL 17 DE OCTUBRE DE 1989

PUBLICACION EN MEMORIA DEL KIYOSHI MUTO

Por: Jorge ALVA, Yuji ISHIYAMA, Shunichi FUKUMOTO
Yoshio KUMAGAI, Julio KUROIWA y Rafael TORRES

AUSPICIO: JICA - Agencia de Cooperación
Internacional del Japón

Nº 01 - 90 - CISMID / FIC - UNI Lima, Febrero de 1990

EN MEMORIA DEL DR. KIYOSHI MUTO

Cuando a inicios de la década de los años 60, en el Perú se comenzaba a estudiar con mayor profundidad e interés la Ingeniería sísmica, el nombre del Dr. Kiyoshi Muto brillaba con nitidez en el firmamento mundial de la especialidad.

El Dr.Muto durante la ceremonia inaugural del VIII Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica, San Francisco, CA, 1984. (Foto FERI)

En 1956, se celebró en San Francisco CA., la 1ra. Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica en conmemoración del 50 aniversario del terremoto que destruyó dicha ciudad. En ese evento, el Dr. Muto presentó su trabajo "Análisis Sísmico de Edificios de Concreto Armado", que permite analizar edificaciones aporticadas, con o sin muros de concreto, y estos últimos con o sin aberturas. También es posible determinar el grado de empotramiento de las columnas de los primeros niveles en la cimentación, la interacción entre muros y pórticos, y efectuar la corrección por torsión en edificios con excentricidad. Este es el mundialmente conocido método Muto.

Además de ser un método integral de análisis sísmico, al trabajarse con rigideces relativas, permite una gran simplificación en las operaciones numéricas, y además va acompañado de tablas que reducen los cálculos, muy importante, en la época en que la principal herramienta era la regla de cálculo. Debido a lo integral y práctico del método Muto, ha sido programado para su procesamiento en computadoras y continúa siendo uno de los métodos que más se utiliza a nivel internacional y también en el Perú, desde que fue introducido por primera vez en el país, en la Facultad de Ingenieria Civil de la UNI, en 1963.

El método lo desarrolló con la colaboración de los estudiantes graduados de la Universidad de Tokio, donde se doctoró en 1931 y fue luego por muchos años profesor de Ingeniería Estructural. Posteriormente decano de la Facultad de Ingeniería. Fue presidente del Comité que desarrolló Acelerógrafos para Movimientos Fuertes (SMAC), instalados en gran número en el Japón y otros países.

Fue el primer presidente de la Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica (IAEE, por sus siglas en inglés), cuando se estableció formalmente en 1963. El IAEE tiene por misión promover la cooperación internacional, el intercambio de conocimientos e ideas, y los resultados de investigaciones y experiencia práctica entre los científicos e ingenieros en el campo de la Ingeniería Sísmica. El IAEE ha organizado hasta la fecha 9 conferencias mundiales. En la penúltima, realizada en San Francisco, CA, en 1984, el Dr. Muto fue especialmente reconocido durante la ceremonia inaugural, el único galardoneado en esa oportunidad, por sus importantes contribuciones a nivel mundial. Le fue entregado el Premio EERI - Instituto de Investigación de Ingeniería Sísmica de los EE.UU. de NA. por el Prof. George Housner.

Después de retirarse como profesor de la Universidad de Tokio, fue el primer director del Laboratorio de Investigación de Kajima Corporation una de las compañías constructoras líderes en el Japón, donde desarrolló muros con aberturas verticales para su utilización como muro de corte con ductilidad, para tomar las cargas horizontales en edificios altos.

Al dejar Kajima, fundó el "Muto Institute of Mechanics" que fue uno de los grupos consultores de mayor prestigio en el Japón. Profesionalmente ha diseñado o asesorado el diseño de los edificios más importantes y altos del Japón.

Es impráctico listar completamente los numerosos premios y galardones recibidos por el Dr. Muto durante sus fructíferos 60 años de dedicación a la Ingeniería Sísmica, así como las instituciones que presidió y/o fue socio honorario.

Sólo se darán algunos: Premio Imperial de la Academia del Japón (1964), Premio Ciencia y Tecnología (1968), Medalla Morada (1968), Premio de la Academia Japonesa de la Construcción (1970), Premio Internacional de Puentes (1976), Premio Imperial de la Invención (1980), Cruz de Mérito Cultural (1983).

Fue presidente y socio honorario de: Cámara Japonesa de la Construcción, Asociación Geotécnica del Japón, Asociación Japonesa de Concreto Armado, Academia Japonesa de Ingeniería. Socio honorario del ACI. Fue asimismo socio honorario de la Asociación Peruana de Ingeniería Sísmica.

El Dr. Muto falleció el 12 de marzo de 1989 a los 86 años. Había nacido en 1903 (Año 36 de la era Meiji).

El que estas líneas escribe, tuvo ocasión de practicar unos meses en el Laboratorio Muto de la Universidad de Tokio en 1962, después de concluir sus estudios en el Instituto Internacional de Sismología e Ingeniería Sísmica, uno de cuyos propulsores fue precisamente el Dr. Muto.

Tuvo ocasión así, de conocer de la calidad humana y sencillez del Dr. Muto, propias de los grandes hombres, gozar de la hospitalidad en su hogar al lado de sus familiares, y cada cuatro años, escuchar con atención sus interesantes y siempre renovadas propuestas en las conferencias mundiales de Ingeniería Sísmica celebradas en Nueva Delhi, Estambul, Roma, Santiago, San Francisco y otros lugares. Por su gran aporte a la humanidad para incrementar la seguridad de sus viviendas, hospitales, escuelas, etc. frente a los terremotos, le decimos muchas gracias Dr. Muto y descanse en paz.

Lima, febrero de 1990

Julio Kuroiwa
JEFE, DPTO. DE RELACIONES
INTERNACIONALES DEL CISMID

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento a JICA, Agencia de Cooperación Internacional del Japón por financiar el viaje de la Misión del CISMID a San Francisco y la publicación de este volumen.

Al Dr. Gerald Brady del USGS, Servicio Geológico de los Estados Unidos, al Prof. Helmut Krawinkler, director del Centro de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Stanford, al Sr. Richard K. Eisner del BAREPP, Proyecto Regional de Preparación para Terremotos del Area de la Bahía, al Prof. Raymond Seed del Laboratorio Geotécnico de la Universidad de California en Berkeley, por el tiempo dedicado a explicar a la Misión informaciones del terremoto y sus experiencias personales sobre dicho evento.

Del Japón viajó a San Francisco una misión para estudiar el sismo del 17 de octubre de 1989. Con ellos se visitaron algunos lugares, se intercambiaron ideas y se dieron facilidades. Se agradece a todos los miembros de dicha misión, en especial al Dr. Shin Okamoto e Ing. Hatsukazu Mizuno del Instituto de Investigaciones de la Edificación (BRI, por sus siglas en Inglés), al Ing. Tsunetaro Iwabuchi de la Asociación Japonesa de Gerentes de la Construcción, Ing. Atsuyoshi Ohara e Ing. Akio Abe de la Tokyo Soil Research.

Al Prof. George Housner de Caltech y a la Oficina de Estudios de Movimientos Fuertes de la División de Minas y Geología del Dpto. de Conservación del Estado de California, por enviar a Lima informaciones sobre los acelerogramas registrados en el evento.

PRESENTACION Y RESUMEN

Uno de los principales objetivos del CISMID-Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, es difundir los resultados de las investigaciones que realiza, así como los últimos adelantos desarrollados en los campos de su interés, a nivel internacional, en especial en el Japón.

De acuerdo a lo expresado; y también a los fines del recientemente creado Departamento de Relaciones Internacionales del CISMID, que son: estrechar relaciones con instituciones similares de otros países, e intercambiar experiencias e informaciones, es que este volumen llega a sus manos.

En esta publicación se incluyen los resultados de las investigaciones efectuadas in situ, por una Misión del CISMID, sobre los efectos del terremoto de Loma Prieta (San Francisco, CA), y los resultados y comentarios de las indagaciones efectuadas, de como las instituciones locales a cargo de los programas de emergencia, hicieron frente a las situaciones creadas por dicho terremoto.

El terremoto con magnitud Ms = 7.1, ocurrido el 17 de octubre de 1989, es de especial interés para el CISMID, debido a que algunos de sus miembros en los últimos 20 años, han desarrollado métodos y técnicas de microzonificación, y los están aplicando en el planeamiento urbano y regional, para mitigar los efectos de los desastres naturales. Y la razón es que, dicho sismo mostró claros efectos de microzona, es decir que en determinadas áreas de características de suelos y geología desfavorables, la intensidad sísmica se incrementó grandemente, y por lo tanto, los daños fueron claramente mayores, que en áreas aledañas, de mejores condiciones naturales.

Los daños más graves ocurrieron en el distrito de Marina, donde fallaron numerosos edificios de departamentos de 4 a 5 pisos, la licuación y asentamientos del suelo que ocurrieron dañaron las tuberías de agua en numerosos puntos, Marina esta construído sobre terreno ganado al mar, con rellenos de escombros de los edificios derruídos por el terremoto de 1906, y arena bombeada desde el fondo marino.

Otro de los lugares más afectado fue West Oakland, donde la autopista I-880, que corre por la calle Cypress, el segundo nivel colapsó sobre el primero en un tramo de más de 1 km., aplastando numerosos automóviles. Allí perecieron la mayoría de las víctimas de este sismo. Además de la alta intensidad sísmica, los pórticos de concreto armado de dos niveles y un solo tramo, fallaron por corte, debido a la precariedad del armado de los nudos, entre el primero y segundo nivel. En esa zona el subsuelo consiste en un potente manto de suelo fino saturado y una capa superficial de arena. Un mapa geológico de susceptibilidad sísmica, preparado antes del terremoto indicaba que en la zona se esperaban altas intensidades.

Esas dos localizaciones donde ocurrieron los daños más graves, están situadas a unos 100 kms., al norte del epicentro. En zonas intermedias los daños fueron menores, excepto en las cercanías del aeropuerto internacional de San Francisco, donde algunos edificios de mediana altura sufrieron daños moderados.

En la zona epicentral, que es montañosa, ocurrieron numerosos deslizamientos, y las carreteras que la cruzan, quedaron interrumpidas en algunos tramos.

En Watsonville, ubicado a unos 16 kms. al sur del epicentro, y Santa Cruz localizado aproximadamente a igual distancia del epicentro, pero al oeste, a orillas del Oceano Pacífico, los daños fueron principalmente en viviendas de madera de 1 y 2 pisos y en albañilería sin reforzar.

Entre Santa Cruz y Monterrey, a lo largo de la bahía, ocurrió licuación en numerosos puntos.

En general los daños en las edificaciones de madera ocurrieron por tener éstas un primer nivel flexible y poco resistente al corte. En el caso de los edificios de departamentos de 4 a 5 pisos, el primer nivel está dedicado a parqueo, donde las puertas de ingreso a los garages obligan a dejar importantes aberturas en la fachada, disminuyendo grandemente su resistencia al corte. En el caso de edificios en esquina, que fallaron en gran número en Marina, se tienen dos frentes débiles que se agrava por el hecho que los dos muros fronterizos posteriores son muy rígidos, provocando excentricidad y daños por torsión.

En cuanto a las viviendas de madera de 1 y 2 pisos, para elevarlas con respecto al nivel del suelo, las construcciones se apoyan sobre tacos de madera de 0.80 a 1 m., de altura, sin arriostre lateral adecuado, rodeados por muros perimétricos de albañilería sin reforzar de la misma altura. Las fallas en casi su totalidad ocurrieron por desplazamiento lateral a ese nivel y la falla del muro de albañilería. Como las viviendas en si no sufrieron daños significativos, la reparación que estaban efectuando al momento de hacer la visita consistió en volverlas a su posición original y colocarlas sobre nuevos apoyos debidamente arriostrados, y la reconstrucción del muro perimétrico bajo. En general se ha encontrado una buena correlación entre distancia epicentral, aceleraciones pico en los registros, las características de suelos y daños observados.

En lo que se refiere a planes de emergencias, en 1983, el "Proyecto de Preparación para Terremotos del Area de la Bahía" (BAREPP, por sus siglas en inglés), que utilizando una aproximación regional al problema, mediante planificadores y geólogos, dá asesoria a los gobiernos locales que son autónomos, y prepara programas y materiales educativos.

Cada año, en el mes de Abril, realiza intensas campañas educativas mediante diarios, revistas y estaciones de radio y TV. Según una encuesta realizada en 1987, dichas campañas levantaron el interés público de hacer frente los desastres naturales, del 35% antes del inicio de dicha campaña, a más del 80%, después de realizada.

Esto puede explicar el adecuado comportamiento de la población al ocurrir el terremoto. Por ejemplo, justo al momento que ocurría el sismo, en el estadio Candlestick Park habían 62,000 aficionados al beisbol para expectar la "Serie Mundial". No se produjo pánico, y la multitud esperó serenamente que los movimientos sísmicos cesaran, no habiendo un solo accidentado. Para trasmitir tan importante evento, sobre el estadio estaban volando dos helicopteros con todos sus equipos de filmación en TV. Al percatarse que un terremoto estaba ocurriendo, prontamente acudieron a Marina, carretera I-880, Watsonville y otros lugares, donde los daños fueron importantes. En el Centro de Operaciones de Emergencia se recibieron instántaneamente, las patéticas imágenes del desastre en su verdadera dimensión, en lugar de informes incompletos y a destiempo, como es usual en estos casos. Esto permitió planificar las acciones de socorro de manera efectiva e inmediata.

Por otra parte, las imágenes de los efectos del terremoto, también eran recibidas por el público en general, en vivo y en directo. Así, los moradores que viven en las cercanías de la autopista I-880, acudieron de inmediato a rescatar a las personas atrapadas dentro de sus autos, bajo la losas de concreto que habían colapsado.

Otro aspecto importante de los planes de emergencia de San Francisco, es la creación de "Distritos de Operaciones de Emergencia (DOE) y sus Facilidades", que es una unidad de la comunidad organizada para responder a la emergencia y cubre un área aproximada de 3 millas x 3 millas, separadas por avenidas anchas o accidentes geográficos como ríos, montañas, etc. El área urbanizada de San Francisco está dividida en 10 DOES. En cada DOE, se asigna uno o pocos "Centros de Cuidados Masivos", para asistir a la población en general a volver a la brevedad posible a su vida normal; y varios "Centros para la Atención de Heridos" que pueden ser hospitales públicos, o clínicas privadas.

Estos centros funcionaron de acuerdo a lo previsto en el distrito de Marina, proporcionando ayuda inmediata y efectiva a los damnificados. Durante las inspecciones efectuadas un mes después del sismo, se encontró que dichos centros ya estaban desactivados por haber concluído sus actividades. En cambio, en Watsonville, se careció de este tipo de organización y la atención a los damnificados fue deficiente, treinta días después del sismo aún estos continuaban viviendo en carpas.

Debido a la trágica experiencia que tiene San Francisco del terremoto del 18 de abril de 1906,

ocasión en que 12.2 Km2. de área urbana quedó destruída por el incendio que originó, quemándose 28,000 edificaciones; al ocurrir el terremoto de Loma Prieta, 1989, posiblemente dicha ciudad tenía el sistema mejor organizado del mundo para combatir incendios. Y quizás, esto evitó que la historia de 1906 se repitiera. Veamos como:

En la actualidad, la ciudad de San Francisco cuenta con 4 sistemas independientes para combatir incendios.

1. Hidrantes contra incendios abastecidos por la red pública de agua.

2. Sistema auxiliar de abastecimiento de agua a alta presión, con reservorios de 10 millones de galones ubicadas en las partes altas de la ciudad.

3. Reservas de agua en cisternas, bajo tierra, ubicadas en diferentes puntos del área en peligro.

4. Sistemas portátiles de abastecimiento de agua, constituído por vehículos y embarcaciones bombas, con suficientes tuberías para suministrar agua del mar.

En el distrito de Marina, el incendio más importante ocurrió en la intersección de las calles Divisadero y Jefferson. Cuando los bomberos conectaron sus mangueras, sucesivamente, a los dos primeros sistemas de abastecimiento de agua, encontraron que no había presión porque las tuberías habían fallado en varios puntos, debido a las características de los suelos. En el tercer sistema, las cisternas de reserva se agotaron rápidamente, no proporcionando suficiente agua para combatir el incendio.

Cuando el fuego casi fuera de control, amenazaba convertirse en una conflagración, y ya había destruído 4 edificios, una embarcación llegó a las cercanías del escenario, y comenzó a bombear a presión agua de mar, permitiendo apagar el fuego. La pregunta que queda flotando es ¿Qué hubiera pasado, si San Francisco no hubiera tenido este sistema múltiple para combatir incendios?

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
EN MEMORIA DEL DR. KIYOSHI MUTO	I
AGRADECIMIENTO	III
PRESENTACION Y RESUMEN	IV
TABLA DE CONTENIDO	
EL TERREMOTO DE LOMA PRIETA (SAN FRANCISCO, CA) DEL 17 DE OCTUBRE DE 1989.	
1. INTRODUCCION	1
2. INFORMACION SISMOLOGICA	2
2.1 Datos Instrumentales	2
2.2 Sismicidad Regional	2
3. INFORMACION GEOTECNICA	7
3.1 Geología	7
3.2 Características Geotécnicas	10
4. EFECTO DE LAS CONDICIONES LOCALES EN LA DISTRIBUCION Y SEVERIDAD DE LOS DAÑOS, MEDICION DE MICROTREPIDACIONES	19
4.1 Efecto de Microzona	19
4.2 Acelerogramas Registrados y su relación con los efectos locales	21
4.3 Mediciones de Microtrepidaciones.	21
4.3.1 Puntos I y II en el Parque de Marina	27
4.3.2 Oakland	27
4.3.3 Watsonville	27
4.4 Conclusiones	27
5. DAÑOS A EDIFICACIONES	38
5.1 Distrito Marina	38
5.2 Watsonville	38
5.3 Daños del Penthouse	39
5.4 Aeropuerto de San Francisco	39
5.5 Universidad de Stanford	39
5.6 Inspección después del Terremoto	39
6. OBSERVACIONES DE DAÑOS EN LOS PUENTES	48
6.1 Daños en las vías expresas	48
6.2 Vía Expresa Interestatal I-880 y otras vías.	48
6.3 Puente San Francisco "Bay Bridge"	52
6.4 Daños en el Tramo sobre el Pilar E9	52
7. PREPARACION PARA HACER FRENTE A LOS DESASTRES Y RESPUESTAS A LAS EMERGENCIAS PRODUCIDAS POR EL SISMO.	59
7.1 Planes de Emergencia para San Francisco	59
7.2 Distrito de Operaciones de Emergencia.	60
7.3 Efectividad de los sistemas múltiples de apoyo.	62
REFERENCIAS	

EL TERREMOTO DE LOMA PRIETA (SAN FRANCISCO, CA) DEL 17 DE OCTUBRE DE 1989

1. INTRODUCCION

Con el objeto de estudiar los efectos del terremoto de Loma Prieta, California, ocurrido el 17 de Octubre de 1989, obtener in situ las enseñanzas dejadas por dicho evento y observar el grado de preparación local para hacer frente a los desastres naturales, una misión del CISMID, constituída por los autores de este trabajo, visitaron el área afectada y se entrevistaron con autoridades e investigadores, del 10 al 18 de noviembre de 1989.

Las áreas que se inspeccionaron fueron los cerros de Loma Prieta (zona epicentral), poblaciones cercanas ubicadas en la zona macrosísmica, como Watsonville, Santa Cruz y Palo Alto. Se estudiaron luego zonas ubicadas a considerable distancia, unos 100 km. al norte del epicentro como Marina y la zona sur de Market Street en San Francisco, que fueron muy afectadas por estar construídas sobre rellenos. Se visitó luego Cypress Street donde colapsó la autopista elevada I-880, en West Oakland, zona de suelo blando y saturado, ubicado en el lado este de la bahía de San Francisco. Se visitó asimismo la zona hotelera cercana al Aeropuerto Internacional de San Francisco, ubicada en una posición intermedia a las antes mencionadas, donde algunos edificios altos sufrieron daños importantes.

Se efectuaron mediciones de microtrepidaciones en 2 posiciones en Marina, en Watsonville y al pie de la colapsada vía expresa I-880 en West Oakland.

Las instituciones que se visitaron para recibir informaciones a través de discusiones y material impreso fueron: El Servicio Geológico de los Estados Unidos de Norteamérica (USGS, por sus siglas en Inglés) ubicado en Menlo Park, la oficina del Proyecto Regional para la Preparación para Terremotos del Area de la Bahía (BAREPP) en Mountain View, el Laboratorio Geotécnico de la Universidad de California en Berkeley (UCB). También se visitaron la Universidad de Stanford, en Palo Alto, el Centro de Investigación de Richmond de la UCB y el Instituto de Investigación de Ingeniería Sísmica (EERI) en Cerrito.

Por otra parte, se recibieron informaciones sobre registros de acelerogramas de la Oficina de Estudios de Movimientos Fuertes de la División de Minas y Geología del Departamento de Conservación del Estado de California, y otros materiales del archivo del CISMID, alimentado por los miembros de la Misión Japonesa y por otras personas e instituciones.

Este informe ha sido preparado en base a las informaciones antes mencionadas, con las limitaciones que esto implica.

2. INFORMACION SISMOLOGICA

2.1 DATOS INSTRUMENTALES.

El día Martes 17 de Octubre de 1989, a las 5 horas 4 minutos pm. hora local (00:04:15.6 GMT), se produjo un sismo de una duración aproximada de 20 segundos. La magnitud del sismo fue determinada inicialmente por el USGS como 6.9 (Ms), aunque esta magnitud se revisó a 7.1 (Ms) por el NEIS (National Earthquake Information Service) en Golden, Colorado, el día 24 de Octubre, después de recibir datos adicionales de 18 estaciones sismográficas de todo el mundo. El epicentro se ubicó por el USGS en Latitud 37°2N 37°02'N y longitud 121°53'W, con una profundidad focal de 18.5 km.

El USGS (United States Geological Survey) en Menlo Park, California, registró hasta el 13 de Noviembre un total de 22 réplicas de magnitud 4.0 o mayor. La réplica mayor de magnitud 5.2 (Ms) ocurrió 37 minutos después del sismo principal. La Tabla Nº 2.1 presenta el listado de las réplicas.

Las Estaciones Sismológicas de la Universidad de California en Berkeley reportaron una magnitud Richter de 7.0 (ML). El epicentro está ubicado a 16 Km al NE de Santa Cruz y 30 Km al sur de San José, en las montañas de Santa Cruz. La Fig. 2.1 presenta la ubicación del sismo y sus réplicas. En función de las réplicas, se estimó una longitud de ruptura de 40 Km. a lo largo de la falla de San Andrés.

En la misma Fig. 2.1 se presenta una distribución de las aceleraciones máximas registradas por el CSMIP (California Strong Motion Instrumentation Program) del Estado de California. El sismo activó más de 90 acelerógrafos, tanto en el terreno, como en estructuras. En Corralitos, cerca al epicentro la aceleración máxima horizontal fue 0.64g. y la vertical 0.47g. En Capitolia, la componente vertical fue la mayor con 0.60g y la horizontal con 0.54 gr. En el Aeropuerto Internacional de San Francisco, el máximo valor de la componente horizontal fue de 0.33 g. En dos estaciones acelerográficas en suelo, cerca de la carretera que colapsó, la 880 en Oakland, se registraron valores de aceleración horizontal máxima de 0.26g. y 0.24g, con un periodo de 0.6 segundos. En el área de la Bahía de San Francisco, la mayoria de estructuras recibieron vibraciones ligeras a moderadas, con duraciones menores a 5 seg. (por encima de 0.10g.). El efecto del suelo y la topografía han producido amplificaciones que han ocasionado la mayor parte de los daños.

2.2 SISMICIDAD REGIONAL.

El área de la Bahía de San Francisco ha experimentado 13 sismos catastróficos durante los últimos 150 años, incluyendo el sismo del 18 de Abril de 1906, con una magnitud Richter de 8.3 (Ms). La mayoría de los principales sismos ocurridos en el área han estado relacionados con las fallas activas existentes, que se presentan en la Fig. 2.2. Estas fallas activas incluyen la Falla de San Andrés que atraviesa las penínsulas de San Francisco y Marin, la Falla de Hayward que corre a lo largo de la base de las montañas de Berkeley en el lado este de la Bahía y la Falla de Calaveras, al sur de la Falla de Hayward. Estas fallas y sus ramas están íntimamente ligadas, y juntas componen una parte importante del sistema de fallas que gobierna la sismicidad del área de la Bahía de San Francisco.

La Tabla Nº 2.2 presenta los desplazamientos históricos superficiales asociados con terremotos en la Región de la Bahía de San Francisco.

Tabla 2.1: Listado del Evento Principal y Réplicas (USGS, 1989)

GMT				TIEMPO LOCAL (PDT antes 10/29) (PST después 10/29)			LATITUD 0 MIN.		LONGITUD 0 MIN.		Profund. (KM)	MAGNI-TUD
MES	DIA	HR	MIN	DIA	HR	MIN						
10	18	0	4	(17	17	4)	37	2	121	53	18.5	7.1
10	18	0	9	(17	17	9)	37	1	121	51		4.3
10	18	0	12	(17	17	12)	37	7	122	1		4.5
10	18	0	25	(17	17	25)	37	2	121	48		4.8
10	18	0	30	(17	17	30)	37	5	122	0		4.2
10	18	0	38	(17	17	38)	37	10	122	1		4.3
10	18	0	45	(17	17	41)	37	10	122	3		5.2
10	18	0	45	(17	17	45)	36	55	121	43		4.0
10	18	2	15	(17	19	15)	37	4	121	44		4.5
10	18	2	26	(17	19	26)	37	1	121	46		4.2
10	18	4	16	(17	21	16)	37	3	121	54		4.1
10	18	4	50	(17	21	50)	37	8	122	3		4.3
10	18	5	18	(17	22	18)	37	1	121	51		4.2
10	18	10	22	(18	3	22)	36	59	121	51		4.5
10	19	8	45	(19	1	45)	36	57	121	51		4.3
10	19	9	53	(19	2	53)	36	55	121	41		4.5
10	19	10	14	(19	3	14)	36	57	121	50		5.0
10	19	12	25	(19	5	25)	36	55	121	41		4.0
10	21	0	49	(20	17	49)	37	1	121	53		4.3
10	21	22	15	(21	15	15)	37	3	121	53		4.6
10	25	1	27	(24	18	27)	37	5	121	50		4.5
11	02	5	50	(01	21	50)	37	3	121	49		4.4
11	05	13	37	(05	5	37)	37	3	121	53		4.0
11	07	23	42	(07	15	42)	37	13	122	2		4.0

* Mainshock

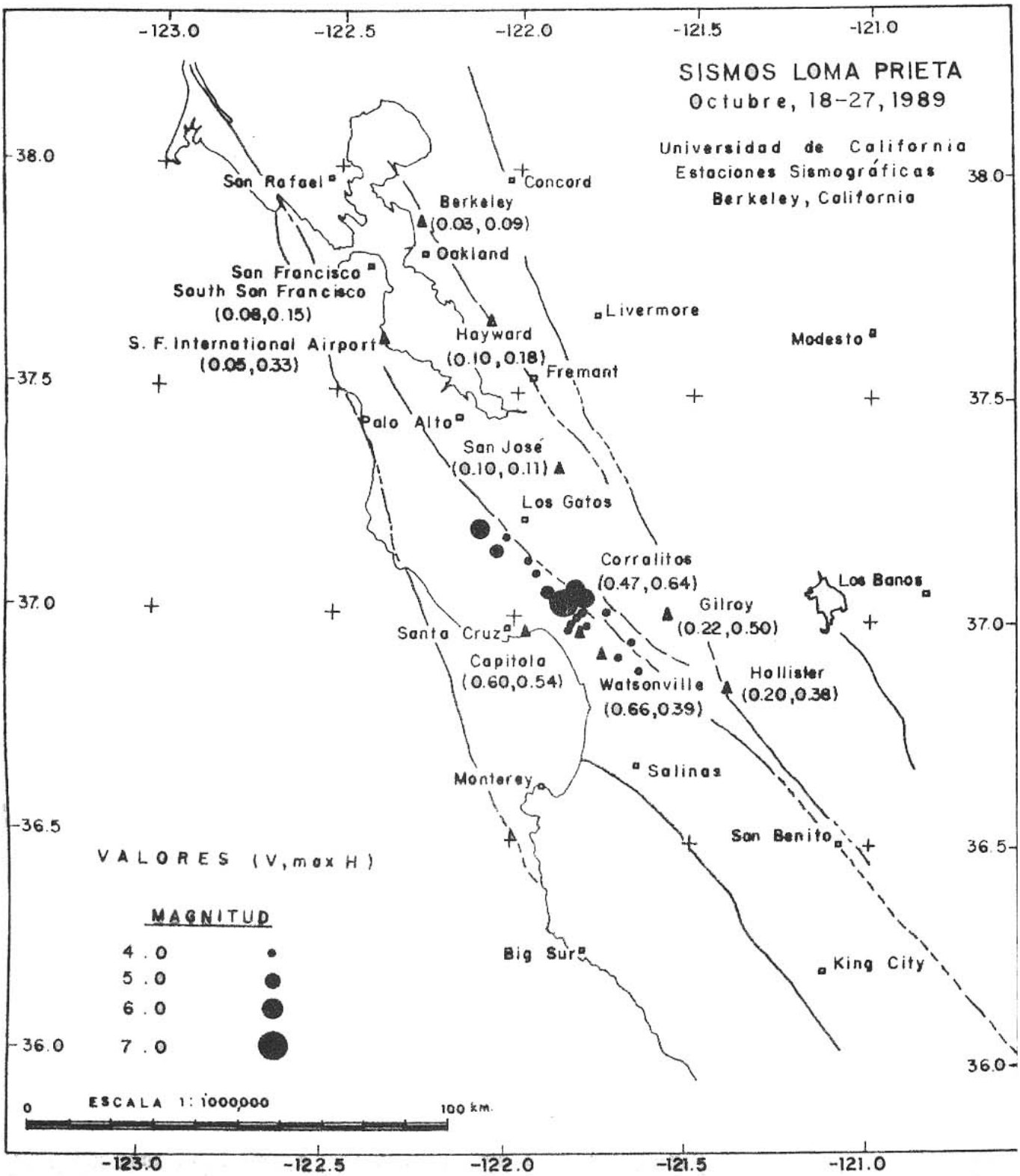


Fig. 2.1. SISMOS DE LAS MONTAÑAS DE SANTA CRUZ (Loma Prieta

TABLA Nº 2.2: Sismos Históricos en la Bahía de San Francisco.

Fecha	Falla	Longitud de Ruptura	Magnitud
Junio 1838	San Andreas	Desconocida	
3 de Julio 1861	Calaveras	Desconocida	
22 Octubre 1868	Hayward	> 30 km	7.5
24 Abril 1890	San Andreas	> 10 km	
18 Abril 1906	San Andreas	430 km.	8.3

La fuente del sismo del sismo del 17 de Octubre de 1989 fue a lo largo de una sección de la falla de San Andreas, que también produjo los sismos del 8 de Octubre de 1865 y del 9 de Febrero de 1980, con magnitudes de 6.5 y 7.0 respectivamente. En el sismo de 1865, la mayor intensidad se produjo entre San José y Santa Cruz. En San Francisco hubieron daños en construcciones defectuosas y se rompieron líneas vitales de agua y gas, debido al movimiento del terreno. En las montañas de Santa Cruz, donde se destruyeron casas, se reportaron fisuras y grietas. Las características generales de este sismo con el 17 de Octubre son similares.

Los sismos más recientes en el área epicentral se registraron el 27 de Junio de 1988 (ML=5.4), el 8 de Agosto de 1989 (ML=5.4) y el 11 de Setiembre de 1989 (ML 3.4). No se registraron sismos predecesores con magnitudes mayores de ML = 2.7 en el área epicentral, 24 horas antes del sismo del 17 de Octubre de 1989.

El mecanismo del sismo, en base a las ondas sísmicas registradas en estaciones sismográficas regionales y distantes, indican un desplazamiento de falla predominantemente "strike-slip" lateral-derecho, con una componente reversa con el lado sur-oeste hacia arriba. La solución de la estación Sismográfica de Berkeley indica una falla con rumbo N55°W, buzamiento 70°SW e inclinación 61°. El rumbo promedio de la falla de San Andrés en el área es N50°W, lo cual es coincidente. Los hipocentros del sismo principal y las réplicas se ubican al suroeste de la Falla de San Andreas en concordancia con el buzamiento de 20° con la vertical.

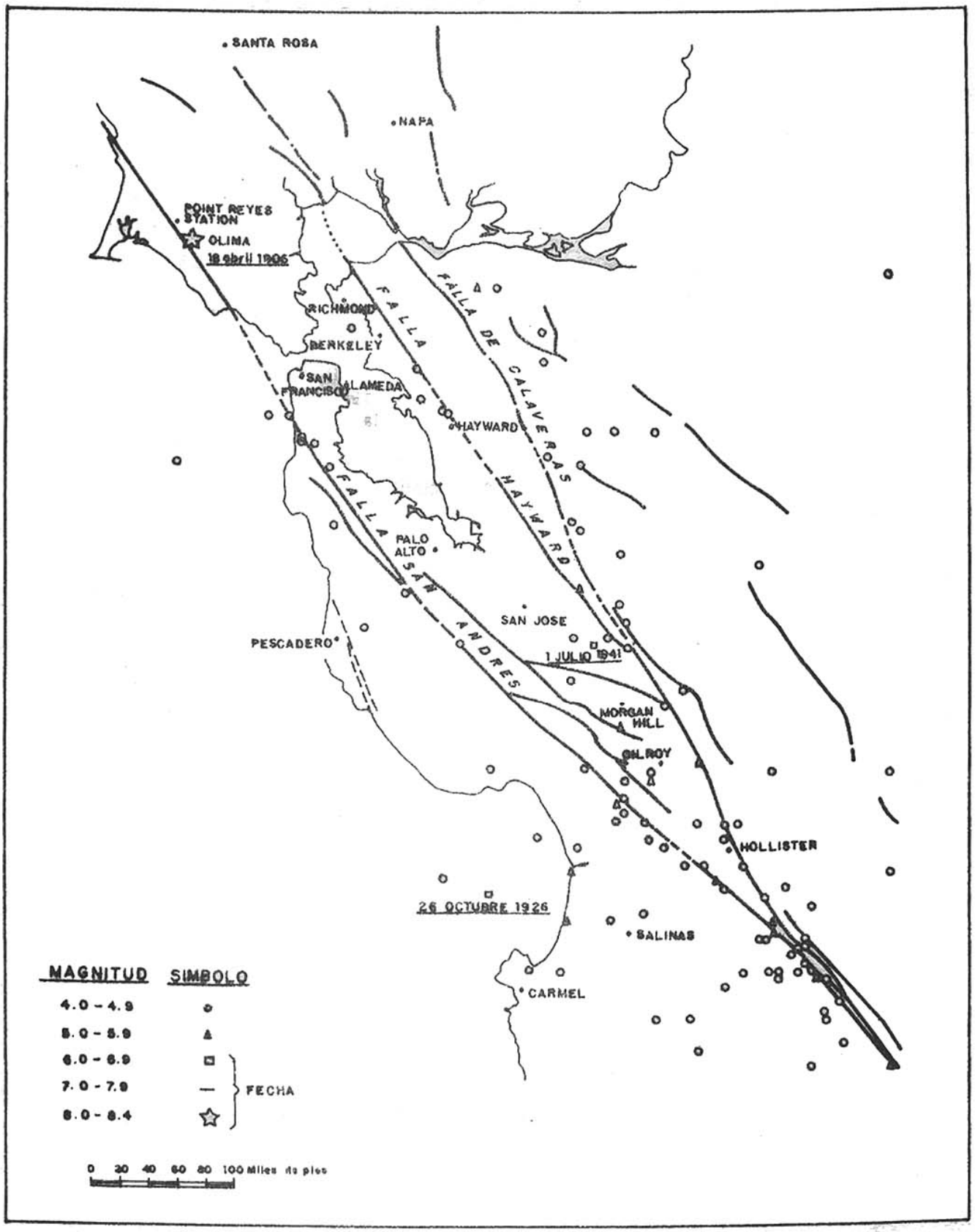


Fig. 2.2. SISTEMA DE FALLAS ACTIVAS EN EL AREA DE SAN FRANCISCO (Bolt, 1978)

3. INFORMACION GEOTECNICA

3.1 GEOLOGIA.

La Bahía de San Francisco ocupa una depresión situada entre regiones solevantadas al este y oeste. Las regiones están relacionadas a fallas activas. Al este de la bahía se ubican las montañas de Berkeley, en cuya base yace la Falla Hayward. Al oeste de la Bahía se ubican una serie de montañas, incluyendo las montañas de Montara, por cuyo centro pasa la Falla de San Andreas.

La Formación Franciscana comprende la principal roca basal de la bahía de San Francisco y áreas aledañas. Esta formación es del Jurásico y consiste principalmente en areniscas, pero también contiene lutitas, limolitas, calcedonias y serpentinas. Antes de la depositación de los sedimentos en la bahía, la Formación Franciscana sufrió considerable fallamiento, deformación y erosión.

Sobre la roca yacen los sedimentos de la Bahía de San Francisco, que son una serie de cinco formaciones sedimentarias, la más joven es el Lodo de la Bahía de San Francisco. Estos sedimentos son del cuaternario reciente y consisten de materiales traídos de las montañas circundantes y de sedimentos del río Sacramento y otros ríos que entran a la bahía. La gran diversidad de rocas fuente de los sedimentos es motivo de la gran variedad de minerales encontrados en estos sedimentos.

Los depósitos más antiguos por encima de la roca basal, lo constituyen las Formaciones Alameda, San Antonio y Posey. A estos depósitos se les denominan Lodos de San Francisco Antiguo. Consisten de depósitos de llanura aluvional de limo y arcilla, interestratificados con abanicos aluviales y depósitos de arena y grava derivados del intemperismo y la erosión de los cerros que rodean San Francisco. Algunos de los depósitos más antiguos pueden estar más consolidados o estar parcialmente cementados. A estos depósitos también se les denomina Aluvión.

A través de la historia geológica de la Bahía de San Francisco, han ocurrido variaciones periódicas en el nivel de los océanos. Estas subidas y bajadas del nivel del mar han estado asociadas con los avances y retrocesos de los glaciares en el Pleistoceno. Con la caída del nivel del mar, los gradientes hidraúlicos de los ríos que entran en la bahía, aumentaron. Estos mayores gradientes causaron erosión intensa en las bocas de los ríos y corrientes. El resultado de esta acción produjo la creación de valles en los sedimentos de la Bahía. Conforme el nivel del mar se elevó, estos valles fueron parcialmente o totalmente llenados por nuevos sedimentos, produciéndose una serie de discontinuidades erosionales entre las distintas formaciones sedimentarias. La discontinuidad más pronunciada es la que existe entre la Formación Posey y la Arena Merritt, estando asociada con el último gran avance del glaciar y la caída del nivel del mar de 80-100 metros. Valles con un ancho de 300 metros fueron erosionados. Con el tiempo arena eólica llenó parcialmente los valles y cubrió las zonas planas entre éstos. Conforme aumentaba el nivel del mar, el material depositado en la bahía cambiaba de arena a sedimento de grano fino, conocido como Lodo de la Bahía.

Este depósito más reciente es del Holoceno, es blando, saturado, rico en contenido de material orgánico, de espesor variable y ocasionalmente interestratificado con depóstos de arena. El espesor del Lodo de la Bahía cuando ha llenado los valles preexistentes en la arena Merrit y la Formación Posey, tienen espesores mayores de 30 metros. En las áreas planas entre valles, su espesor puede ser de sólo 3 a 7 metros. El Lodo de la Bahía está compuesto de arcilla limosa, gris oscura con capas delgadas de limo y arenas finas a medias, con cantidades pequeñas de material orgánico y conchuelas. Cuando está expuesto en la superficie es medianamente rígido y algo desecado. En profundidad está normalmente consolidado.

La Figura 3.1 presenta la geología superficial del área de San Francisco, que ha sido simplificada a roca basal, aluvión y lodo de la Bahia. La Tabla 3.1 presenta una descripción de las formaciones del cuaternario en la Bahía de San Francisco.

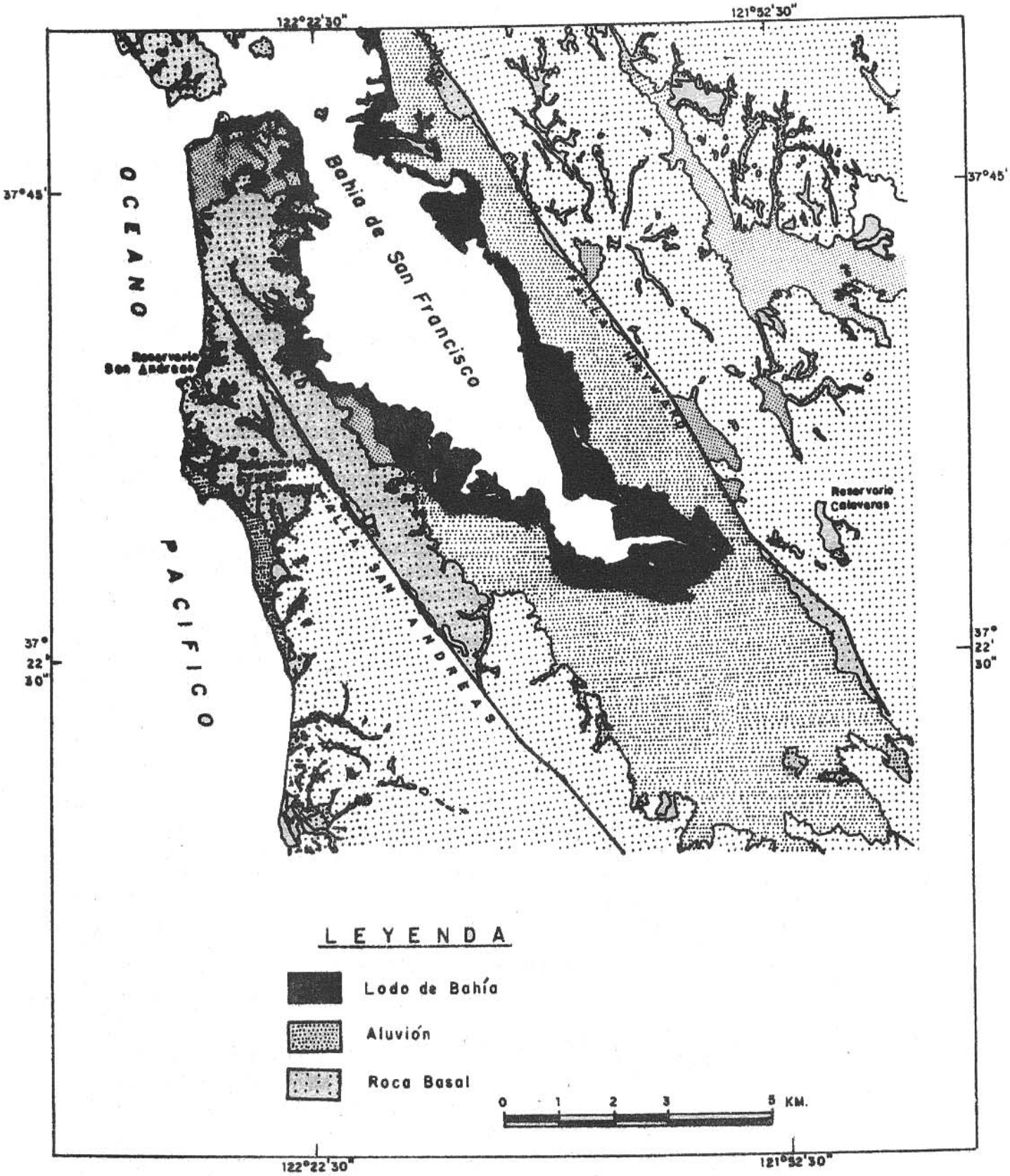


Fig. 3.1. CONDICIONES GEOLOGICAS EN LA BAHIA DE SAN FRANCISCO
(Borcherdt el al., 1975)

TABLA 3.1 SEDIMENTOS DEL AREA DE SAN FRANCISCO

<table>
<tr><th>Trask y Rolston (1951)</th><th colspan="2">Treasher (1961)</th></tr>
<tr><td>LODO DE BAHIA

Formación A

Miembro A-1 Lodo blando de 22 mts. de espesor, compuesto de arcilla limosa y ocasionalmente interestratificado con capas delgadas de arena.

A-2 Arena limosa fina a media de 13 mts. de espesor.

A-3 Arcilla limosa, más rígida y menos arenosa que A-1, hasta 15 mts. de espesor.</td><td>Lodo de Bahía Joven</td><td>Miembro normalmente consolidado.

Miembro semi-consolidado.</td></tr>
<tr><td>ARENA MERRITT

Arena eólica, hasta 20 mts. de espesor.</td><td colspan="2">DEPOSITOS DE ARENA

Incluye arena Merritt</td></tr>
<tr><td>FORMACION POSEY

Mezcla de arena y arcilla arenosa de hasta 17 mts. de espesor.</td><td colspan="2" rowspan="3">LODO DE BAHIA ANTIGUO</td></tr>
<tr><td>FORMACION SAN ANTONIO

Una secuencia de arcillas medianamente rígidas, arenas y gravas entre 5 y 40 mts. de espesor.</td></tr>
<tr><td>FORMACION ALAMEDA

Varía de arcilla muy rígida a arcilla arenosa, y arena y grava. Hasta 70 mts. de espesor.</td></tr>
<tr><td>ROCA BASAL</td><td colspan="2">ROCA BASAL</td></tr>
</table>

3.2 CARACTERISTICAS GEOTECNICAS.

El comportamiento dinámico bajo excitación sísmica dela arcilla blanda de San Francisco es de suma importancia para la ingeniería sismoresistente. Lo anterior quedó en evidencia durante el sismo de San Francisco de 1906. La Fig. 3.2 presenta las condiciones geológicas en la ciudad de San Francisco y la Fig. 3.3 presenta la intensidad de movimiento en la misma ciudad durante el sismo de 1906. A excepción del sur-oeste de la ciudad, por donde pasa directamente la Falla de San Andreas, la mayoría de las secciones de la ciudad con valores altos de intensidades, corresponden a espesores potentes del lodo. Esto fue especialmente cierto para el centro de la ciudad.

El lodo consiste de sedimentos del Holoceno, es blando, saturado, consiste en limos y arcillas orgánicas , ocasionalmente interestratificadas con depósitos de arenas. Los depósitos provienen de materiales traídos por los ríos y corrientes de la bahía. La Tabla 3.2 presenta las propiedades físicas y mecánicas del lodo de la Bahía de San Francisco.

Para realizar estudios de amplificación sísmica, es necesario conocer las propiedades dinámicas del suelo, las que se obtienen de ensayos de laboratorio y los perfiles de velocidad de propagación de ondas de corte (Vs) en la profundidad. En la Fig. 3.4 se presentan valores de Vs para seis lugares en el lodo de la Bahía de San Francisco. En los primeros 30 pies el valor de Vs es constante e igual a 250 pies/seg., aumentando en la profundidad hasta 500 pies/seg. a los 60 pies de profundidad.

Con el propósito de ilustrar las características del subsuelo en el área de San Francisco, especialmente donde existen depósitos blandos del lodo de San Francisco se presentan los perfiles del subsuelo de las Figs. 3.5, 3.6 y 3.7. El edificio Southern Pacific y el Embarcadero Center se ubican en la ciudad de San Francisco, mientras que Ravenswood se ubica en el sur de la bahía. En las figuras se presentan además de los perfiles, la variación de la velocidad de propagación de las ondas de corte con la profundidad.

Finalmente se comentan brevemente los principales aspectos geotécnicos del sismo de Loma Prieta, las que se presentarán en mayor detalle en los capítulos siguientes. La Fig. 3.8 presenta la región afectada y los fenómenos ocurridos relacionados a las características geotécnicas del subsuelo.

1. El fenómeno de licuación de suelos fue generalizado, ocurriendo hasta distancia de 100 kilómetros del epicentro. Este fenómeno ocurrió en los rellenos de la costa de la Bahía en las zonas de San Francisco y Oakland/Alameda. La licuación de suelos fue la causa principal de los daños en el distrito de Marina y en la zona de Oakland Alameda. La licuación también ocurrió en la costa del Pacífico, del sur de Marina la bahía de Monterrey, causando daños en Santa Cruz y la bahía de Monterrey.

2. Las condiciones del subsuelo, de depósitos profundos cohesivos, alrededor de la Bahía de San Francisco, amplificaron las ondas sísmicas produciendo altas aceleraciones. La amplificación sísmica ejerció una gran influencia en los patrones de daño estructural, y puede haber contribuído a la licuación de rellenos arenosos sueltos, que suprayacen a los depósitos de suelo cohesivo.

3. Ocurrieron numerosos deslizamientos y caída de rocas en el área escasamente poblada de las montañas de Santa Cruz, cima del área epicentral. Menos número de deslizamientos y caída de rocas ocurrieron a lo largo de la costa del Pacífico.

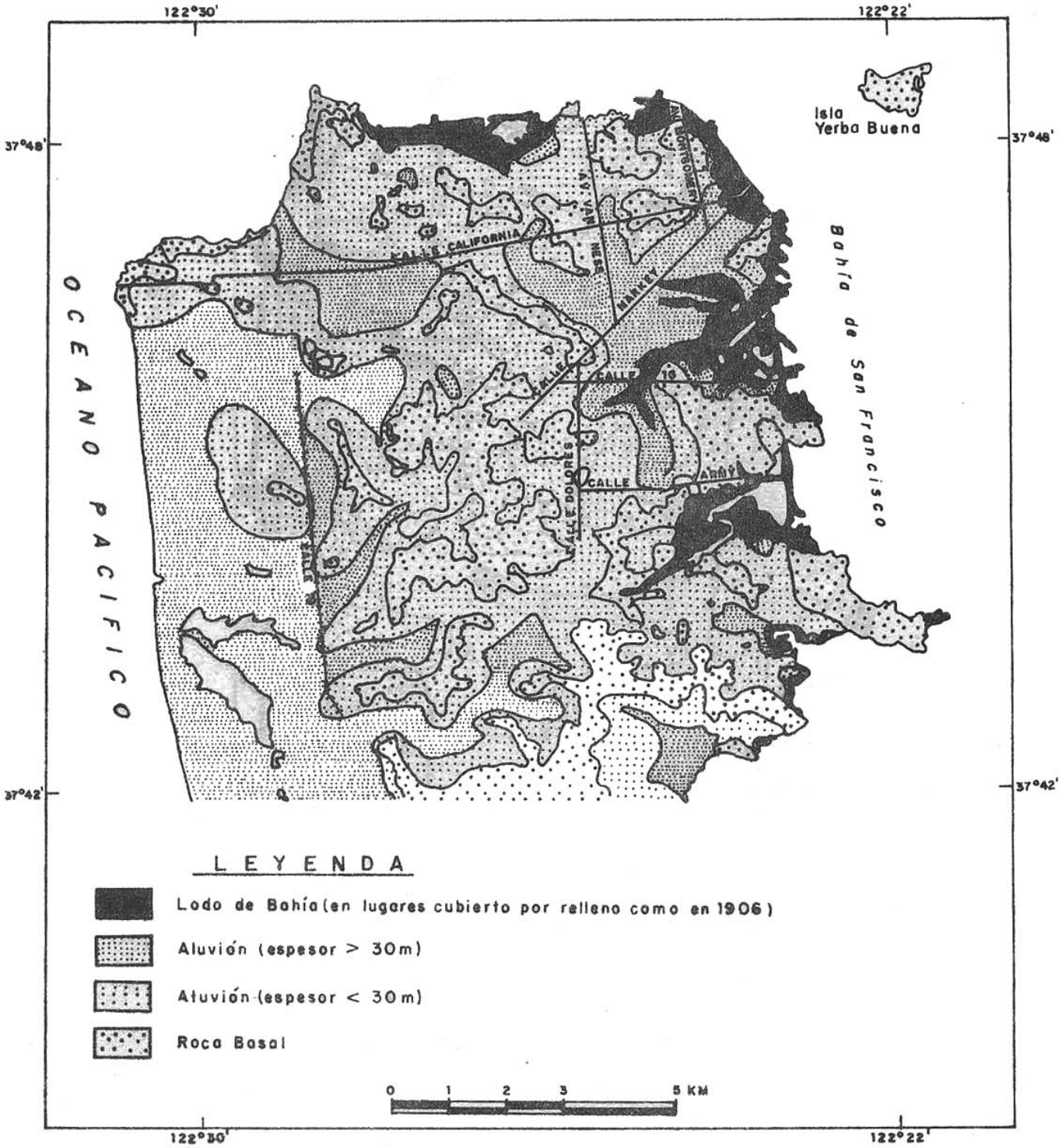


Fig. 3.2. MAPA GEOLOGICO GENERALIZADO DE SAN FRANCISCO
(Compilado por K. R. Lajoie en base a datos de Schloker et al., 1958)

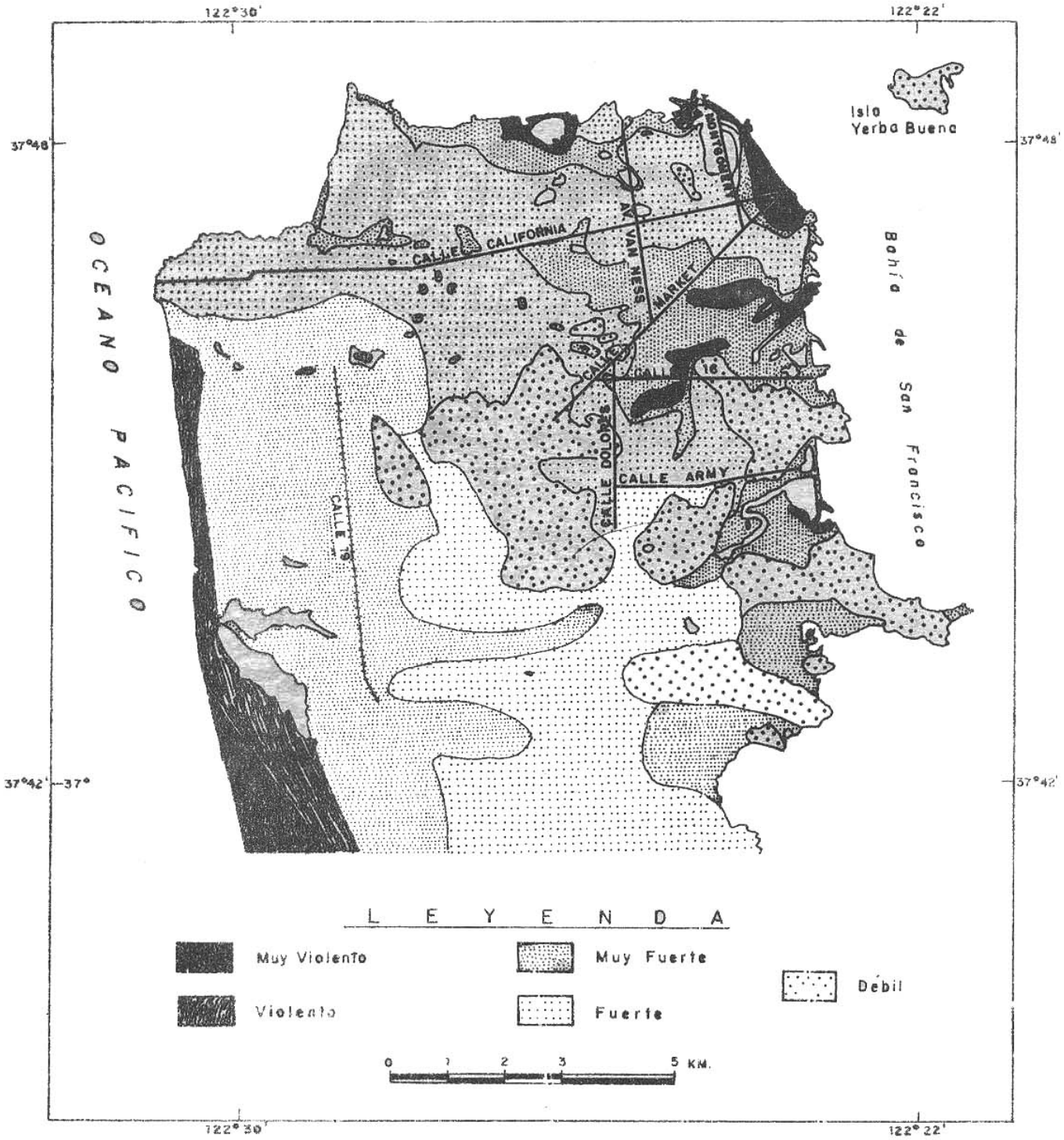


Fig. 3.3. DISTRIBUCION DE INTENSIDADES APARENTES EN EL SISMO DE SAN FRANCISCO DE 1906. (Compilado por Borchedt, 1975 en base datos de Wood, 1908)

TABLA 3.2: Propiedades Físicas y Mecánicas del Lodo de la Bahía de San Francisco (Seed y Sun, 1989)

Location	Reference	Thickness of mud (feet)	Natural water content (percent)	Liquid limit (percent)	Plastic limit (percent)	Unit weight lb/ft^3	Mean diameter D_{50} in microns	Shear Strength lb/ft^2	Compression index C_c	S_u/p	S_u/ft psf/ft
Proposed southern crossing	Trask and Rolston (1951)	0-45				94-107	1.4-10.5				
Proposed parallel crossing	Trask and Rolston (1951)	0-65	35-80	47-68	-	93-113	3.7-13.5	200-400	--		
Oakland Estuary	Trask and Rolston (1951)	0-45				96-101	3.6-5.8				
Adjacent to bridge Oakland Hole	Seed and Reese (1957)	20	35-50	41.5	23.5	112	-	100-500	0.36-0.45		
Islais Creek Basin	Lee (1953)	128	52-62	-	-	102-107	-	100-1000	--		
Candlestick Cove	Private Communication	>65	50-75	65-119	20-35	98-108	2-10	150-800	0.5-1.0		
Hamilton Air Force Base	Duncan (1965)	60	90	88	43	93-96	-	400-1200	1.1	0.32	10
Lash Terminal, Port of San Francisco	Duncan and Buchignani (1973)	100	55	50	30	100	-	200-700	--	0.27	10
Islais Creek S2	Clough and Sitar (1977)	50	55-95	75-100	30-45	105	-	400-1000	--	0.40	17
Islaid Creek S2	Clough and Sitar (1977)	120	75-95	75-100	30-45	99	-	400-500	--	0.11	4
Ferry Building	Private Communication (1965)	-	-	-	-	98	-	-	--	0.24	10
Embarcadero Center	Private Communication (1971)	-	-	-	-	110	-	400-1500	--	0.27	13
Hamilton	Denby (1978)	50	86-90	85-88	38-40	94	-	400-1300	.8-11	0.34	10.7
Menlo Park	Holzer, et al, (1973)		86-97	99	47				~1.1		
South S.F. Bay	Arulanandan, et al, (1971)		96-103	93	45	90.5					
Suisun Marsh	This study	75	58-120	90-98	52-62	80-95					

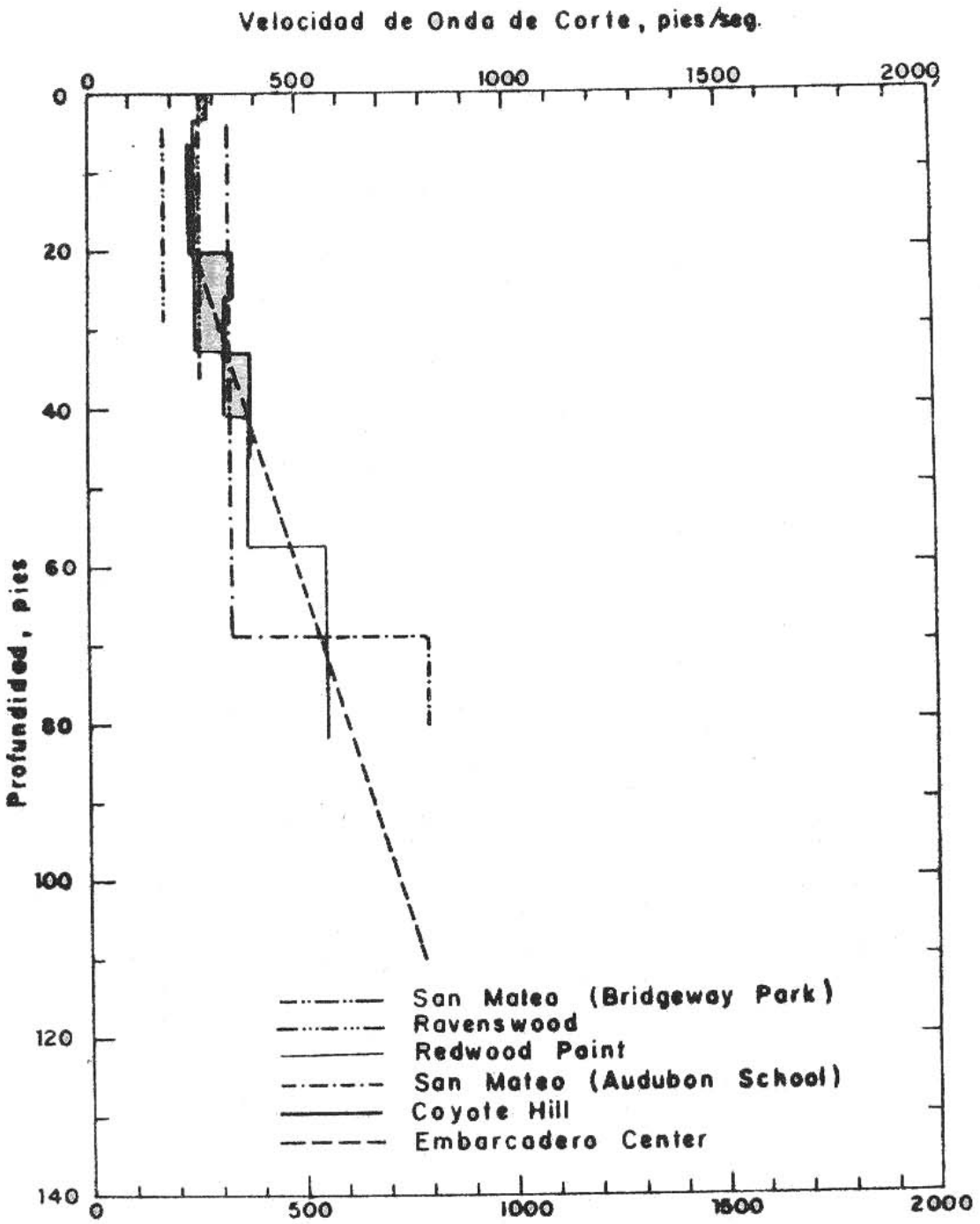


Fig. 3.4. PERFIL DE VELOCIDADES DE ONDA DE CORTE MEDIDAS PARA SEIS LUGARES DE LA COSTA DE LA BAHIA DE SAN FRANCISCO

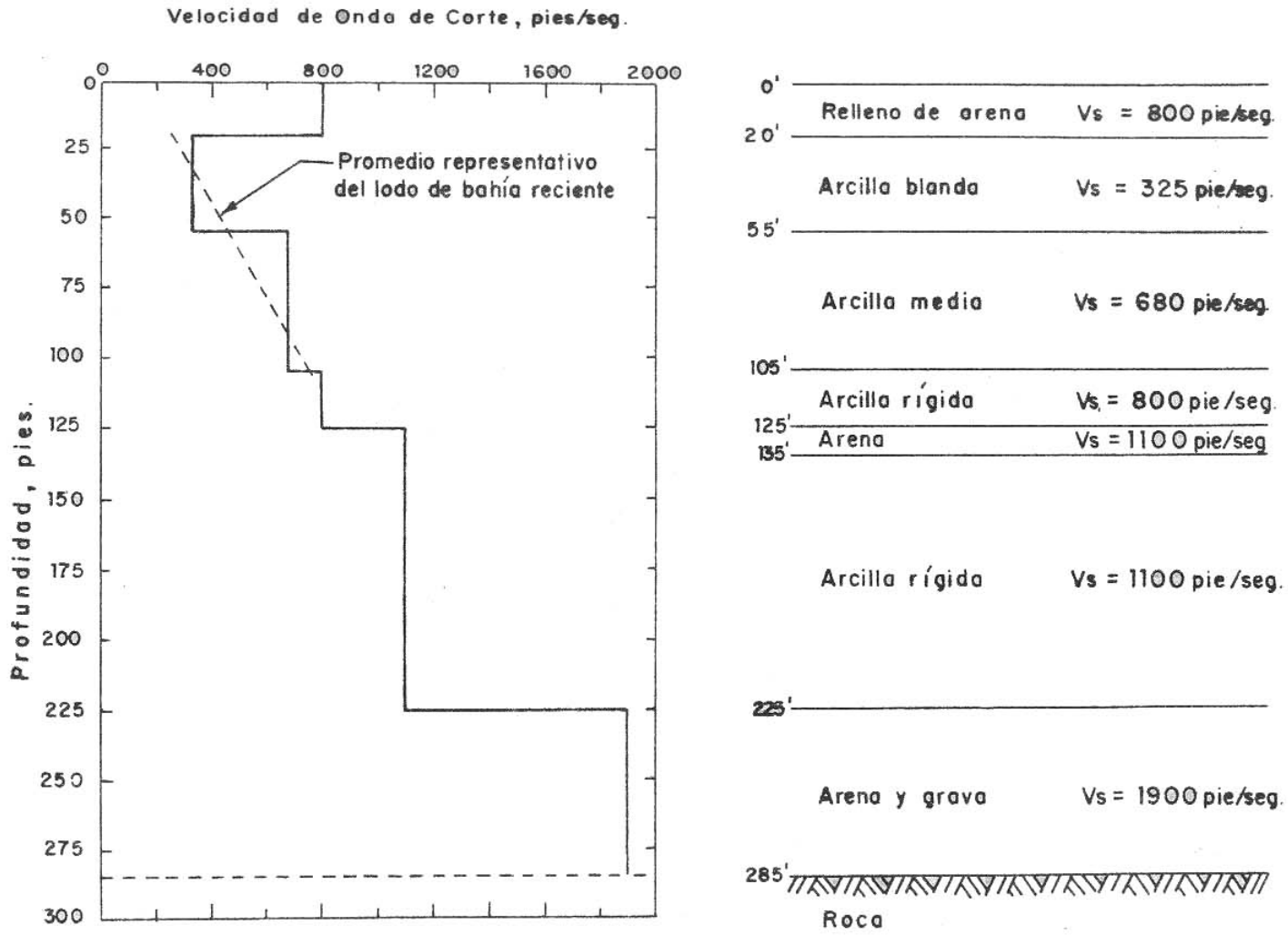


Fig. 3.5. PERFIL DEL SUELO Y VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE EN EDIFICIO SOUTHERN PACIFIC

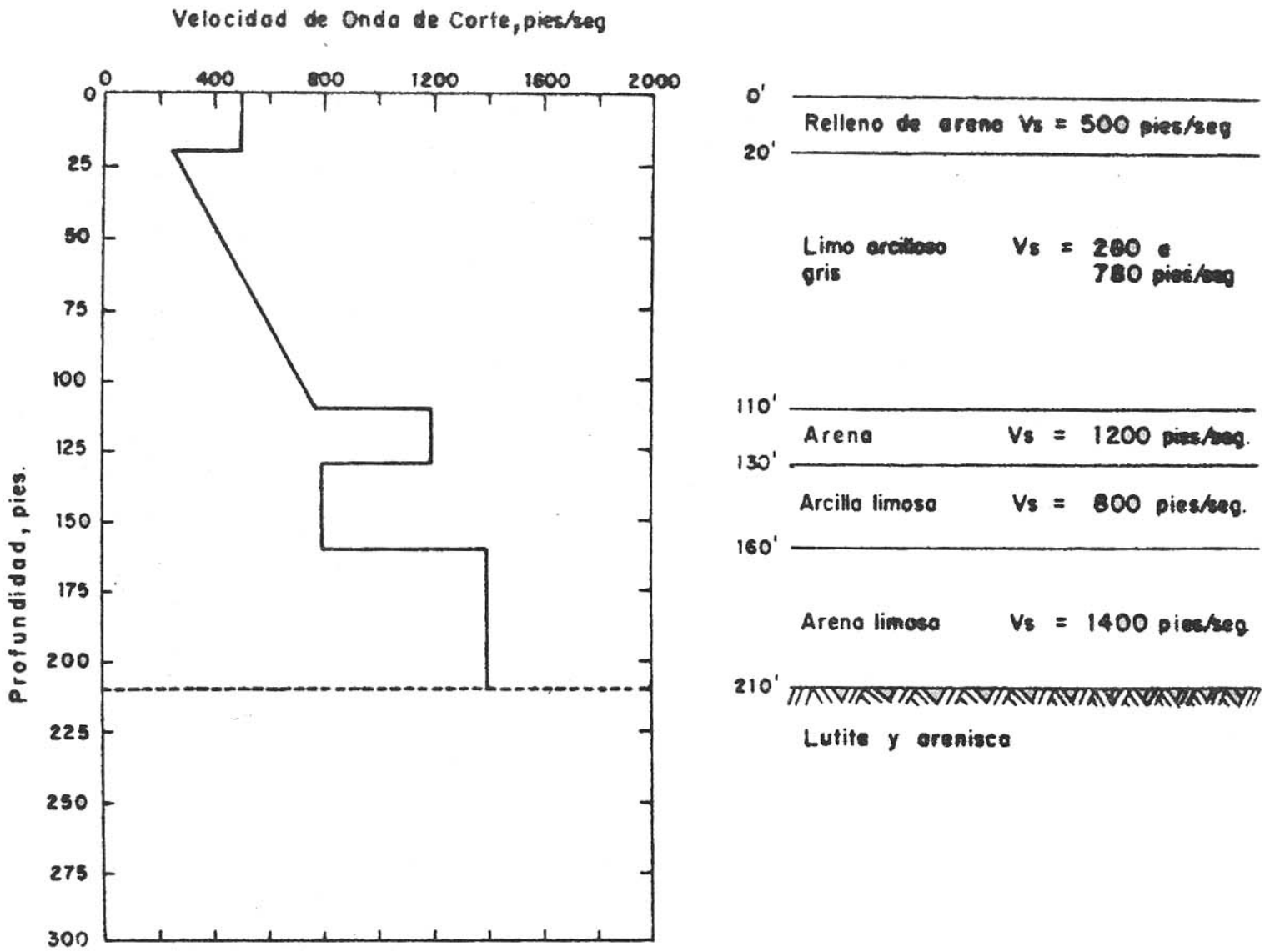


Fig. 3.6. PERFIL DEL SUELO Y VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE EN EMBARCADERO CENTER

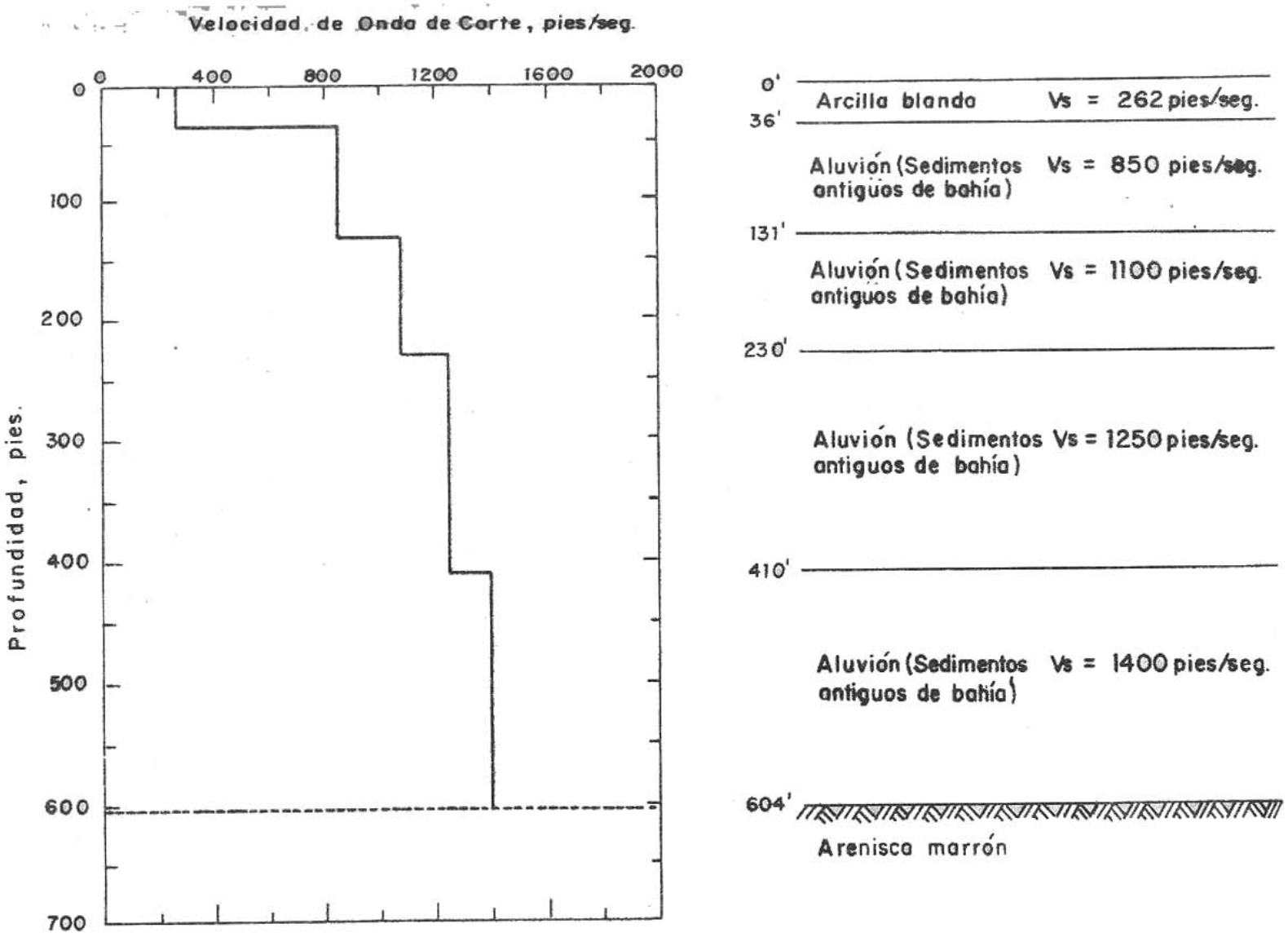


Fig. 3.7. PERFIL DEL SUELO Y VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE EN RAVENSWOOD (USGS)

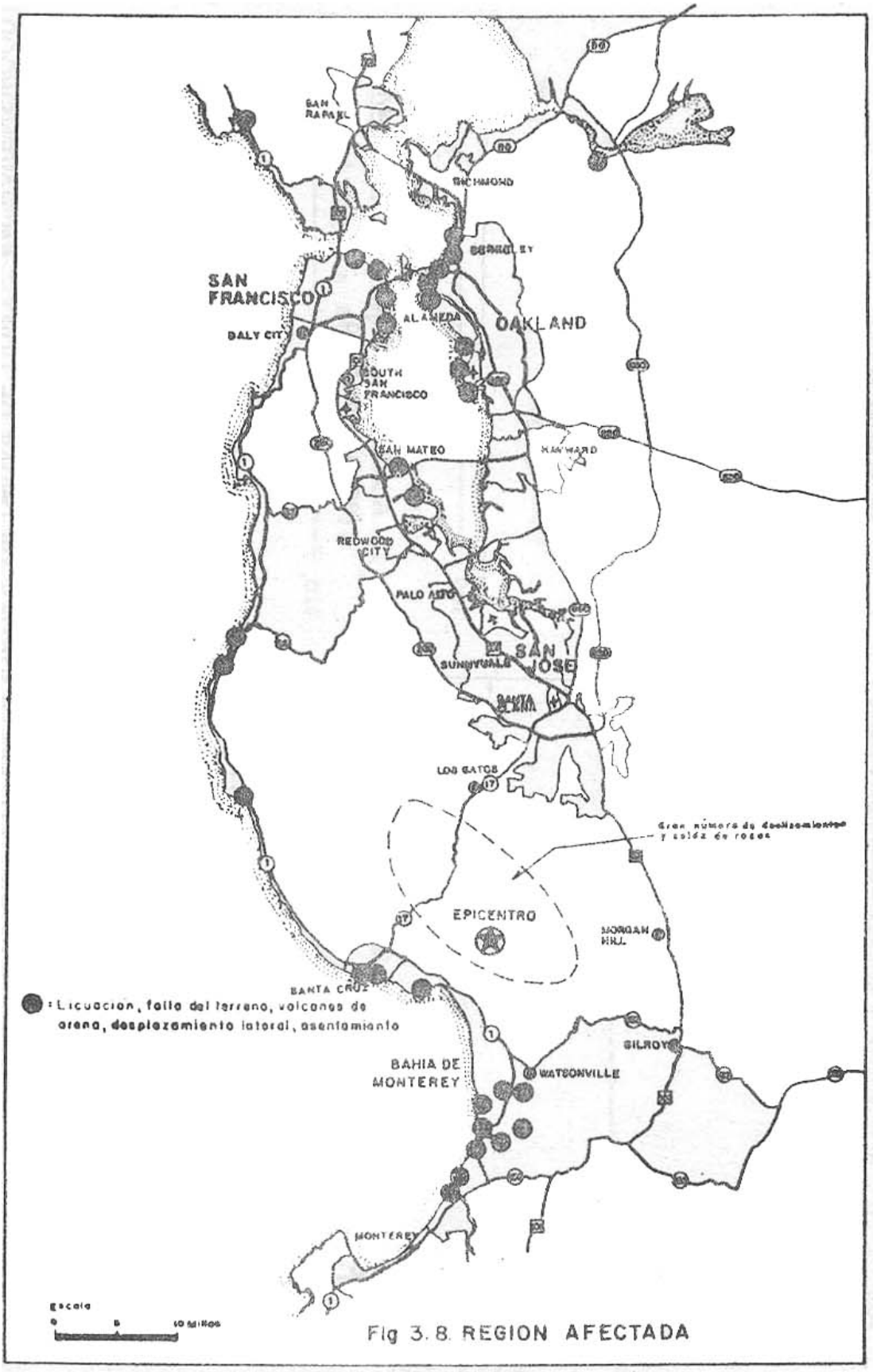


Fig 3.8. REGION AFECTADA

4. EFECTO DE LAS CONDICIONES LOCALES EN LA DISTRIBUCION Y SEVERIDAD DE LOS DAÑOS, ACELEROGRAMAS REGISTRADOS Y MEDICION DE MICROTREPIDACIONES.

4.1 Efecto de Microzona.

Uno de los principales objetivos de la Misión del CISMID en su viaje a San Francisco fue estudiar el "efecto de microzona", es decir, determinar en que medida, las condiciones locales de suelos, geología y topografía, influyeron en la distribución y severidad de los daños causados por el sismo de Loma Prieta.

Anteriormente los sismos de Chile (3 de marzo de 1985), México (17 de setiembre de 1985) y la tragedia de Armero causada por la erupción del volcán Monte del Ruíz (12 de noviembre, 1985) fueron estudiados por el CISMID con los mismos objetivos.

La razón es que en la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI desde 1970 a la fecha, se han desarrollado métodos y técnicas de microzonificación para ser usados en el planeamiento urbano y regional con el objetivo de mitigar los efectos de los desastres naturales; y se desea mejorar todo el proceso estudiando nuevos casos.

En este evento, como en los desastres ocurridos en Latinoamerica en 1985, mencionados anteriormente, el efecto de microzona fue claro, lo cual confirma una vez más, que las condiciones locales son determinantes en la distribución y severidad de los daños causados por los terremotos y otros desastres naturales.

En el sismo que se está reportando, los daños más severos ocurrieron unos 100 km al norte de la zona epicentral, no observándose daños significativos en la zona intermedia, excepto en las cercanías del Aeropuerto internacional de San Francisco, donde existen suelos blandos de potencia considerable. En efecto, en Marina ubicado en la costa norte de San Francisco, una zona residencial de clase media alta, donde existen edificios de departamentos de 2 a 5 pisos y viviendas unifamiliares en lotes relativamente reducidos por el alto costo del terreno, ocurrió licuación de arena que la Misión observó en un parque ubicado frente al mar (ver foto 4.2). Fueron reportados licuación de arena en numerosas residencias, donde brotaron arena fina desde fisuras en el piso rellenando garages y otros ambientes. Ocurrieron extensos hundimientos y fallas del suelo, que fueron notorios en las calles y en las áreas abiertas como el de un centro educativo. Esto provocó fallas en numerosos puntos, en el sistema de abastecimiento de agua y daños severos en edificaciones (ver Foto 4.1). Estos daños pueden explicarse considerando que Marina, constituído por unas 22 manzanas distribuidas en un área casi cuadrada, con unas 5 cuadras con parte al mar, se ha construído sobre rellenos provenientes de los escombros del terremoto de 1906 y arena bombeada del fondo marino.

En San Francisco, otra zona con daños de consideración que la zona al sur de Market Street, que tiene zonas de rellenos donde igualmente se observaron importantes hundimientos en pistas y veredas, a la vez que numerosos edificios dañados. También se han detectado "bolsones de fallas" en la costa este de San Francisco que da a la bahía, en algunas entrantes hacia tierra que constituyen en antiguas depresiones que han sido rellenadas.

En fin, zonas más afectadas concuerdan bastante bien con los lugares donde ocurrieron licuación. Y este último fenómeno, con las características geotécnicas del área, tal como se puede apreciar en la Fig. 0.0.

Daños severos fueron observados en el oeste de Oakland y en Alameda, ubicados en el lado este de la bahía de San Francisco, constituído por suelos finos de gran potencia, que amplificaron las ondas sísmicas a su paso por dichos estratos, y causaron licuación de arena saturada cerca a la superficie del suelo.

Justamente, la calle Cypress, por donde cruza la vía expresa elevada, Interestado 880 que colapsó, se ubica en la parte oeste de Oakland. En otra parte de este informe se incluyen, detalles estructurales de la falla del I-880.

En el área comercial de Oakland también fallaron edificios de albañilería sin reforzar. Suelos con las características similares a las mencionadas, pero de mayor potencia, corresponde a la zona donde falló un tramo del puente Bay Bridge.

Hacia el sur de Oakland, a lo largo de la bahía de San Francisco, también ocurrieron importantes daños por efecto de amplificación de ondas en el potente estrato de suelo fino y blando y licuación de la arena en los estratos superficiales.

El puerto de Contenedores de Oakland quedó fuera de servicio por asentamientos y desplazamientos laterales del suelo, acompañados por volcanes de arena que indican ocurrencia de licuación. Las grúas no podían desplazarse por asentamientos diferenciales del suelo que desniveló los rieles.

Más hacia el sur, la Estación Aero Naval y el aeropuerto Internacional de Oakland severamente dañados por licuación. La porción más dañada del aeropuerto fue de 1/3 de la pista de aterrizaje, unos 1000 m., de sus 3,300 de longitud.

Si se observa el mapa de "unidades geológicas y susceptibilidades a la vibración del suelo", de la zona central de la Región de la Bahía de San Francisco, se podrá notar que las zonas con daños más severos corresponden a las zonas que en dichos mapas están marcados como de "extremadamente alta susceptibilidad" y "susceptibilidad muy alta", como corresponde a la costa norte y este de la ciudad de San Francisco y el lado este de la bahía de San Francisco que va desde Berkeley, pasando por Oakland y Alameda hasta llegar al Aeropuerto Internacional de Oakland.

Este mapa fue producido en febrero de 1987 por la Asociación de Gobiernos del Area de la Bahía. Debido a las complejas relaciones entre magnitud, distancia a las fallas y la geología, los mapas fueron producidos usando información geográfica manejada por computadoras. Hay otros mapas como de máximas intensidades, de riesgos para edificios prefabricados de concreto (sistema Till up) donde las zonas de mayor riesgo son coincidentes.

4.2 ACELEROGRAMAS REGISTRADOS Y SU RELACION CON LOS EFECTOS LOCALES.

El estado de California es una de las zonas mejor instrumentadas del mundo con equipos para registrar movimientos fuertes.

Durante el sismo de Loma Prieta se registraron 125 acelerogramas obtenidos en 95 estaciones, de las cuales 53 estaban instaladas sobre el suelo, 40 sobre estructuras. De estas últimas: sobre edificios 53, presas 2, intercambios de autopista 2, muelle 1, túnel 1 y estructura de tránsito rápido 1.

Se incluyen informaciones sobre algunos acelerogramas selectos para tener una idea de la relación entre aceleraciones pico, distancias epicentrales y características de suelos, tal como se muestra en la Tabla 4.1.

En algunos lugares se dan datos sobre aceleraciones picos registradas dentro de edificios, a nivel del suelo (1er. piso) o sótanos y también el valor máximo dentro de la estructura. En la mayoría de casos los máximos valores se registraron en las azoteas.

Fig. 4.2: Acelerogramas selectos (Ref. 10)

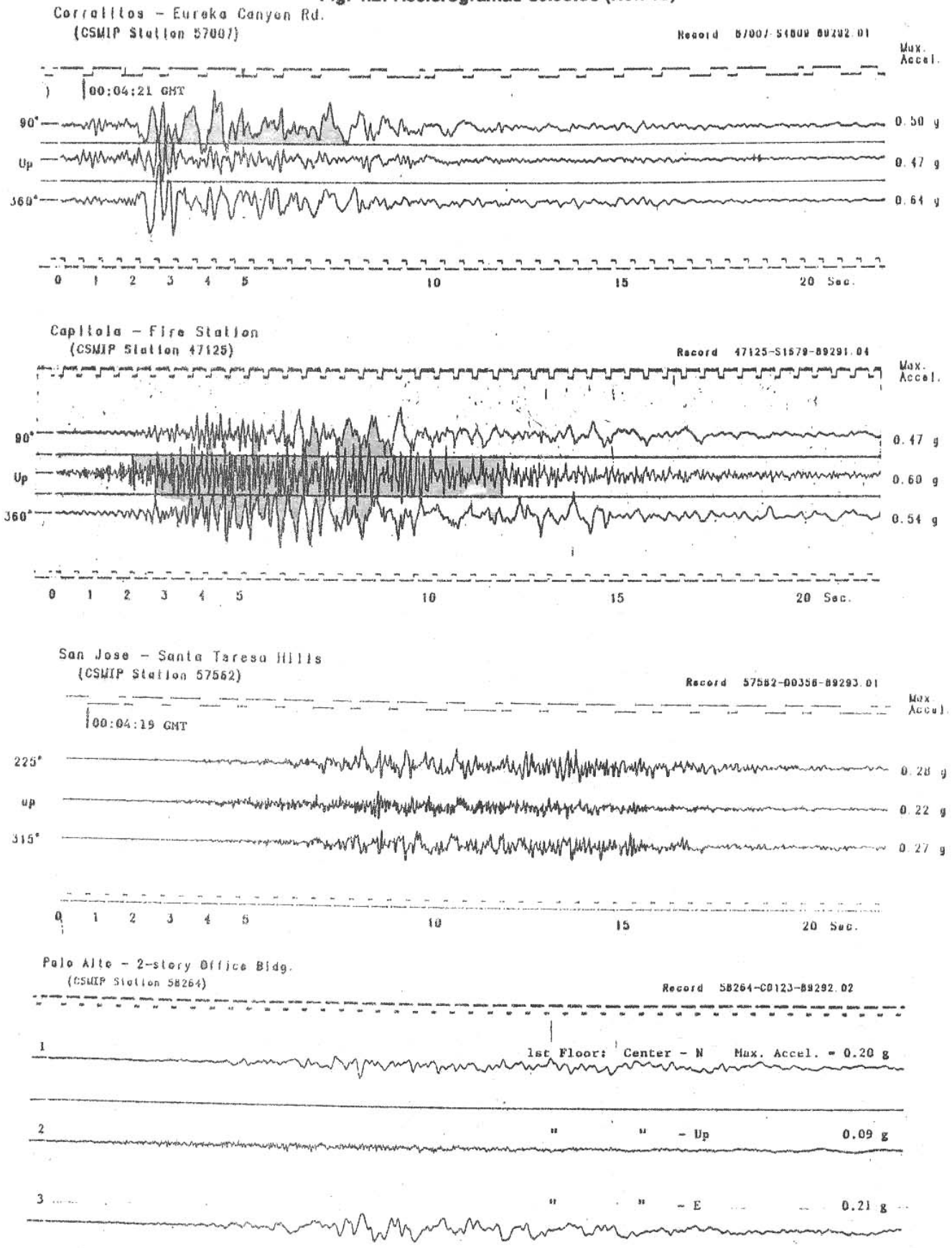


Fig. 4.3: Acelogramas selectos (Ref. 10)

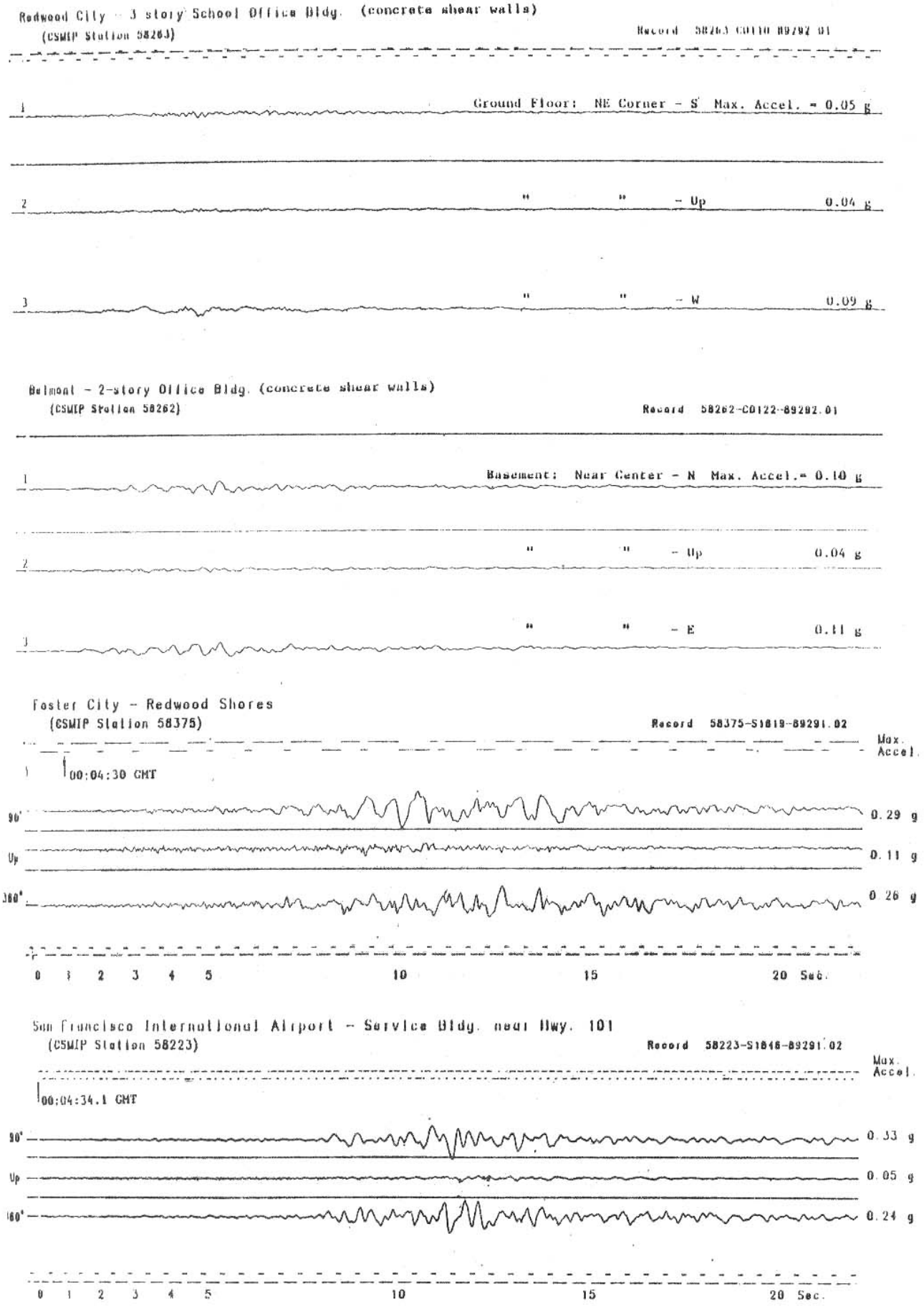


Fig. 4.3a: Acelogramas selectos (Ref. 10)

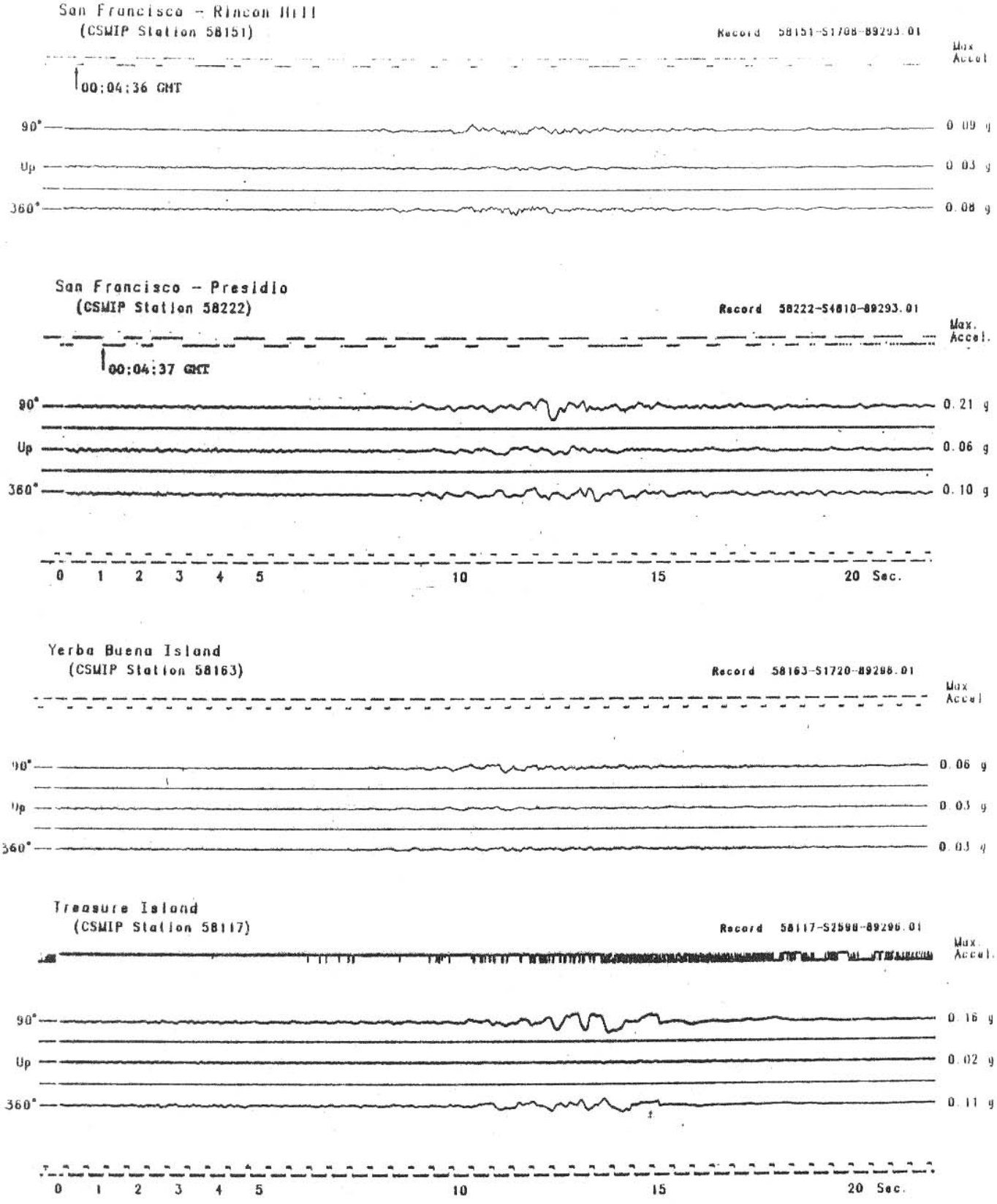


TABLA 4.1

MAXIMAS ACELERACIONES REGISTRADAS EN ALGUNAS ESTACIONES SELECTAS

Estación	Dist. epicentral Km.	Caract. de suelo (y estructura)	Aceler. máxima
Hacia el S y S-W del epicentro			
1) Corralitos	8.94	Depósitos de deslizamientos	0.64g.
2) Capitolia	10.37	Aluvial	0.60g.
3) Santa Cruz	20.05	Caliza	0.47g.
4) Watsonville en edificio	20.02	Relleno sobre aluvial Edificio de 5 pisos	0.66g. (V) 1er. piso 0.39g. 1.24g. azotea
Hacia el norte del epicentro			
5) San José	21.15	Suelo aluvial sobre serpentina	0.28 g.
6) Palo Alto, en edificio	52.71	Aluvial Edificio de 2 pisos	0.21g. 1er. piso 0.55g. azotea
7) Reedqood City, en edificio	63.24	Diorita Edificio de 3 pisos	0.09g. 1er. piso 0.19g. azotea
8) Belmont en edificio	67.12	Arenisca Edificio de 2 pisos	0.11g. sótano 0.20g. azotea
9) Foster City	68.75	Aluvial potente, sobre serpentina	0.29g.
10) Aeropuerto Intern. San Francisco	86.51	Aluvial potente	0.33g
11) San Bruno, en edificio	88.69	Aluvial Edificio de 9 pisos	0.12g. 1er. piso 0.36g. azotea
12) San Fco., Rincon Hill	100.76	Arenisca, pizarra	0.09g.
13) San Fco., Presidio (Instrumento más cercano a Marina)	103.77	Serpentina	0.21g.
14) San Fco., en edificio	101.56	Relleno sobre el lodo de la bahía. Edificio de 18 pisos	0.17g. sótano 0.27g. piso 16
15) San Fco., en edificio	101.32	Relleno. Edificio de 47 pisos sobre pilotes	0.16g. sub-sótano 0.48g. piso 44
En la bahía de San Francisco			
16) Isla Yerba Buena	100.82	Roca, arenisca	0.06g.
17) Isla Treasure	103.00	Suelo de relleno	0.16g.
Al otro lado de la bahía de San Francisco			
18) Hayward	73.34	Suelo aluvial	0.18g.
19) Oakland, en tunel	98.16	Túnel en roca	0.06g. portal 0.04g. a lo largo del túnel
20) Oakland, en edificio	94.12	Suelo aluvial Edificio de 18 pisos	0.18g. sótano 0.38g. azotea
21) Oakland, en edificio	95.40	Suelo aluvial, edificio de 2 pisos	0.25g. 1er. piso 0.69g. azotea
22) Oakland, en zona portuaria	98.83	Barro de la bahía	0.29g. Terminal Marítimo

Datos: 1) V - Componente vertical, otras horizontal.
2) Calculadas de las coordenadas del epicentro y de las ubicaciones de los instrumentos.

Esos valores se dan además, para que el lector tenga una idea sobre la severidad del movimiento sísmico en términos cuantitativos tanto en el suelo como en algunas estructuras. Por las razones indicadas los datos se incluyen por grupos:

1. Hacia el sur y sur oeste del epicentro los daños fueron severos y las poblaciones afectadas se ubican a unos 20 - 30 km. del epicentro con aceleraciones picos entre 0.39g y 0.66g.

   No se dan informaciones de localidades mas hacia el sur. En esa dirección los daños decayeron rápidamente con la distancia y practicamente no hubieron daños en Salinas y Monterrey ni tampoco hay otras poblaciones importantes.

2. Hacia el norte del epicentro.

   Aparentemente las aceleraciones picos van decayendo con la distancia: 0.28g. en San José ubicado a 21.2 km. del epicentro hasta Belmont, 0.11g. ubicado a 67.12 km. En Foster City (68.73 km.), y Aeropuerto Internacional las aceleraciones pico se incrementaron a 0.19g y 0.33g respectivamente. En estos dos últimos lugares, los instrumentos estuvieron ubicados sobre potentes estratos de suelo aluvial saturado. En esta zona algunos edificios de concreto armado de mediana altura sufrieron daños de consideración.

   En San Bruno (88.69 km) se tiene 0.11g y en San Francisco (100 km) registros sobre roca de 0.09g.

   Podriamos asumir que a San Francisco, en roca, la aceleración pico fue del orden de 0.09 a 0.10g y que en otros tipos de suelos menos rígidos las ondas sísmicas sufrieron amplificaciones. Por ejemplo, en Presidio, sobre serpentina, 0.21g, y en sótano de edificaciones sobre el lodo de la bahía, las aceleraciones máximas fueron alrededor de 0.16 a 0.17g. Vale la pena recalcar que Presidio es la estación más cercana a Marina, donde debido a las características de suelos, se puede aceptar que la aceleración fue mayor que ese valor (0.21 g). Aparte de la severidad de las vibraciones, los rellenos de Marina se asentaron y ocurrió licuación, lo que puede explicar la magnitud de los daños en ese lugar.

   En la bahía de San Francisco se tienen 2 registros muy interesantes. En 2 islas separadas por unos 2 km, y a 100 km. del epicentro, se registraron 0.06g. en la isla Yerba Buena sobre roca (arenisca) y 0.16g en la isla Treasure, registrado sobre suelo rellenado. En este caso la relación de amplificación es de casi 3.

   Al otro lado de la bahía de San Francisco, a lo largo de su orilla se tienen barro y los rellenos corresponden a zonas con alta sensibilidad a las vibraciones sísmicas.

   Si en las cercanías de Oakland se toma como base las aceleraciones máximas registradas dentro de un túnel perforado en roca que fue de 0.04g, 0.06g en el portal, se observa a la Tabla 1 que en el suelo o dentro de edificios a nivel del piso, las aceleraciones pico variaron 0.18g y 0.29g de donde se deduce que las amplificaciones fueron importantes. Cerca de esas estaciones está la autopista elevada I-880 que tiene condiciones similares de suelos a ellas. Seguramente dicha autopista estuvo sujeta a aceleraciones de ese orden; 0.25g a 0.30 g.

   Este es un análisis preliminar, efectuado con el fin de ilustrar al lector en algunos aspectos ingenieriles del sismo. Sin embargo, la rica información de acelerogramas registrados, algunos de ellos en alineamientos como: Gilroy y de APEEL, que cruzan diferentes tipos de suelos, darán importantes informaciones sobre efectos de microzona.

   También los registros obtenidos en 40 estructuras profusamente instrumentados, correlacionadas en sus características y las de los suelos permitirán un significativo avance en la comprensión de la respuesta dinámica suelo-estructura. Estaremos alertas a los reportes que produzcan los investigadores locales sobre el tema.

4.3 MEDICIONES DE MICROTREPIDACIONES.

Se han efectuado mediciones de microtrepidaciones en el área de la Bahia de San Francisco, con

la finalidad de conocer las condiciones del subsuelo en los sitios notablemente dañados. Los sitios investigados fueron: 2 puntos en el Parque de Marina en el Distrito de Marina de San Francisco, que es la zona con mayores daños a edificios, el tercer punto está cerca al daño importante de la autopista elevada Cypress 880 en Oakland y el último punto, cerca a las casas residenciales que sufrieron daño severo en Watsonville.

Los resultados y las características de las mediciones de microtrepidaciones son:

4.3.1 Puntos I y II en el Parque de Marina.

En el distrito de Marina ocurrieron los mayores daños a los edificios. Foto 4.1 y el Parque de Marina está localizado cerca a la zona costera en el distrito de Marina Foto 4.2.

Tanto en los puntos I y II del Parque de Marina, como al este de la Bahía de San Francisco en Oakland y Alameda, ocurrió el fenómeno de licuación de arenas. Los puntos de medición fueron seleccionados cerca a los puntos donde las arenas "hirvieron" por el fenómeno de licuación Foto 4.2 y 4.3. Dos periodos predominantes fueron determinados en el Punto I del Parque de Marina, uno fue de 0.4 seg. y el otro entre 1.0 y 1.2 seg. Fig. 4.4. La amplitud espectral correspondiente a los 0.4 seg. es tan grande como la correspondiente al segundo periodo, entre 1.0 y 1.2 seg. El periodo predominante en el Punto II del Parque de Marina fue de 0.8 seg., Fig. 4.5.

En esta área de la Bahía de San Francisco, los patrones de daños fueron fuertemente influenciados por las condiciones locales del suelo. Despúes del Terremoto de San Francisco de 1906, el distrito de Marina fue construido sobre relleno de las arenas marinas de la Bahia de San Francisco, se supone que las condiciones del suelo del Parque de Marina y el área de relleno alrededor de la Bahía de San Francisco, consisten de depósitos aluviales profundos, principalmente depósitos de arcilla y arenas potentes en la parte superior.

Por lo tanto, el valor predominante de los puntos I y II del Parque de Marina debe ser alrededor de 1.0 seg. La licuación de suelos afectó una vasta área, como en el área del Mercado del Sur (Foto 4.4) y causó daños considerables en la zona de relleno. (Fotos 4.4 y 4.5)

4.3.2 Oakland

La medición de microtrepidación fue realizada al este de la Bahía de San Francisco, cerca al colapso de la autopista elevada interestatal Cypress 880 en Oakland (Foto 4.6).

Como resultado se obtuvo un período predominante entre 0.25 y 0.40 seg. pero las condiciones de medición no fueron buenas, pues los trabajos de remodelación introdujeron "ruidos" a las mediciones. (Foto 7). Se supone que el período predominante es alrededor de 0.4 seg. (fig. 4.6), pero en el otro punto en Oakland puede ser mayor de 0.4 seg., debido a que la losa superior de la autopista elevada cayó sobre la vía inferior, debido a las altas aceleraciones del movimiento del suelo.

De acuerdo a las consideraciones geotécnicas de R. B. Seed y otros profesores en Berkeley, los depósitos profundos de arcilla que infrayacen en el sitio alrededor del perímetro de la Bahía de San Francisco, amplificaron fuertemente las aceleraciones en las áreas de Oakland y San Francisco, y la mayoría los daños estructurales inducidos por el movimiento fuerte, como el colapso del Cypress I-880 y el puente dañado sobre la Bahía, ocurrieron sobre "arcilla profunda".

4.3.3 Watsonville.

Los daños a las residencias estuvieron limitados al área epicentral de Watsonville, Santa Cruz y los Gatos. Tales daños ocurrieron en 30 a 40% de las casas residenciales en el área antigua de Watsonville (Foto 4.8).

De las mediciones de microtrepidaciones, se obtiene que el período predominante es de 0.26 á 0.40 seg. (Fig. 4.7). Parece ser que alrededor de esta área, donde pudieron apreciarse casas colapsadas, las casas antiguas de antes de la década del 40 no están sobre suelos malos, pero se encuentran sobre colinas con pendiente suave. Sin embargo las casas modernas observaron un buen comportamiento.

Las condiciones del subsuelo no son rígidas, por lo tanto el impacto del movimiento fuerte, puede ser principalmente atribuido a las irregularidades del terreno y la ausencia de resistencia para soportar las fuerzas sísmicas. (Foto 4.9).

4.4 CONCLUSIONES.

Los principales aspectos geotécnicos de las mediciones de microtrepidaciones efectuadas incluyen:

— Licuación del suelo fue detectado aún a 100 km. del epicentro. En esta área, el distrito de Marina en San Francisco así como Oakland/Alameda, corresponden a áreas de relleno. Además, los depósitos profundos de suelos cohesivos alrededor de la Bahía de San Francisco amplificaron las aceleraciones. En esta zona, los períodos predominantes obtenidos fueron de alrededor de 1.0 seg.

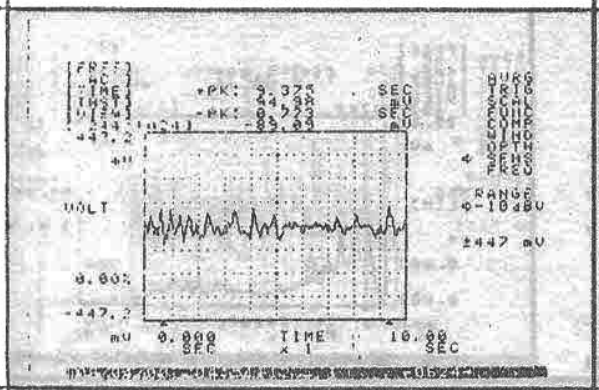
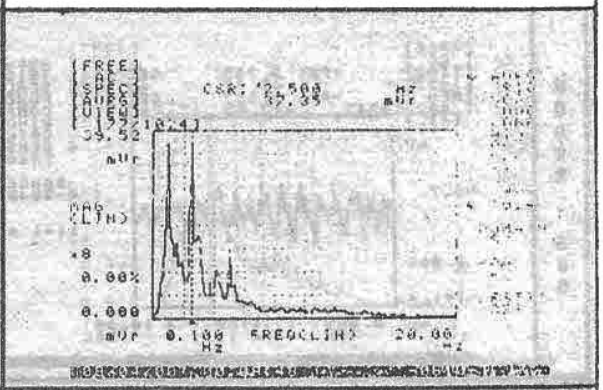
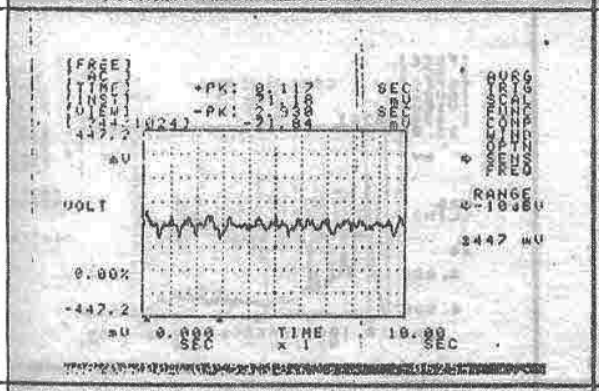
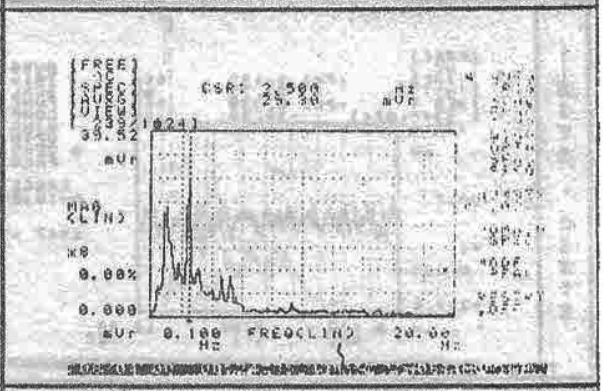
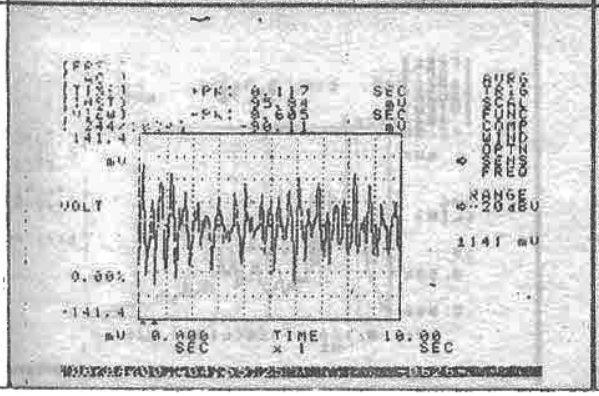
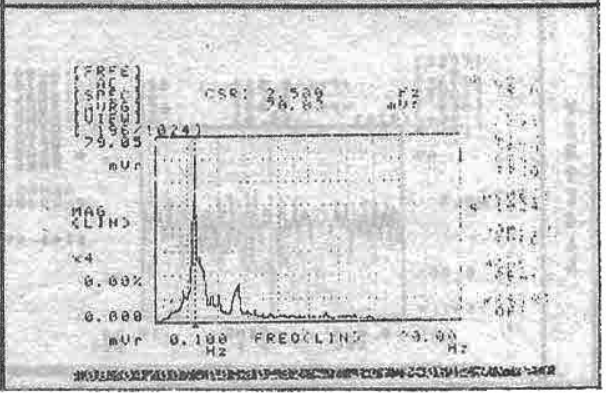
— Los daños a las residencias estuvieron generalmente limitados al área epicentral de Watsonville y otros, las casas antiguas sufrieron mayores daños, la resistencia a la fuerza lateral no fue suficiente. En esta área, las condiciones del subsuelo no fueron tan malas, los períodos predominantes medidos estuvieron alrededor de 0.3 seg.

CENTRO PERUANO-JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

SEGMENTOS DE ONDAS Y ESPECTROS UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

PROYECTO : MICROTREPIDACIONES EN LA CIUDAD DE SAN FRANCISCO			PUNTO DEFINIDO : PM- 01
FECHA : 12/11/89	EQUIPO MICROTREMOR : Nº 1.	CASSETTE : Nº 1.	OPERADOR : J.C.T.N.
CLIMA :		LUGAR : Marina Park I.	
HORA :	CALIBRACION : No hubo	MEDICION : 100-140.	
OTROS : El modo está en desplazamiento con 36 dB de atenuación.			

	SEGMENTO DE ONDA	ESPECTRO
NORTE - SUR		
ESTE - OESTE		
VERTICAL		

CONCLUSION : De los espectros horizontales obtenidos, se aprecia que la frecuencia promedio es 2.5 Hz., lo que corresponde a un período fundamental de 0.40 ~ 1.00 seg.

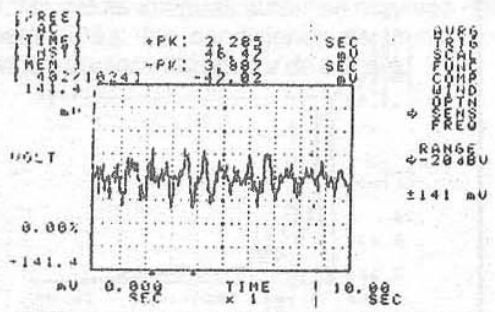
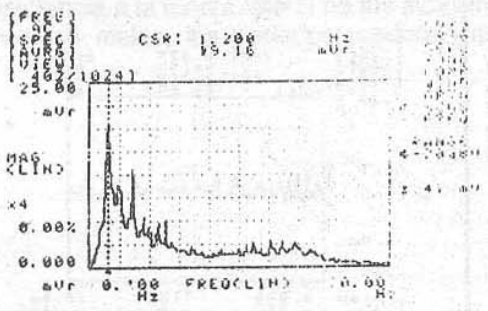
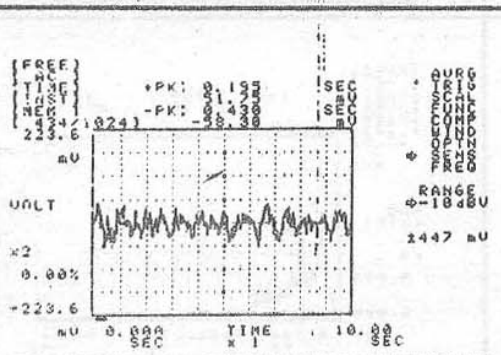
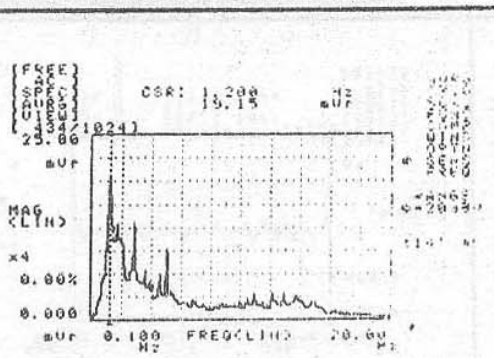
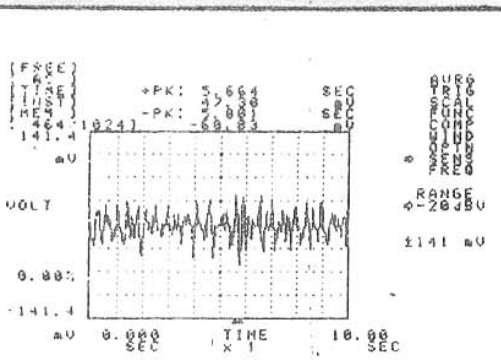
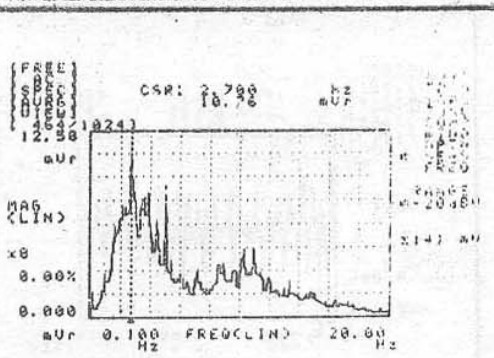
Fig. 6.4: Resultados de Medición de Microtrepidación (Parque de Marina I)

CENTRO PERUANO-JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

SEGMENTOS DE ONDAS Y ESPECTROS UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

PROYECTO : MICROTREPIDACIONES EN LA CIUDAD DE SAN FRANCISCO			PUNTO DEFINIDO : PM-02
FECHA : 12/11/89.	EQUIPO MICROTREMOR : Nº 1.	CASSETTE : Nº 1.	OPERADOR : J.C.T.N.
CLIMA :		LUGAR : Marina Park II.	
HORA :	CALIBRACION : No hubo	MEDICION : 140-200.	
OTROS : El modo está en desplazamiento con 36 dB de atenuación.			

	SEGMENTO DE ONDA	ESPECTRO
NORTE - SUR		
ESTE - OESTE		
VERTICAL		

CONCLUSION : Según los espectros horizontales, se tiene el período predominante es 0.83 seg.

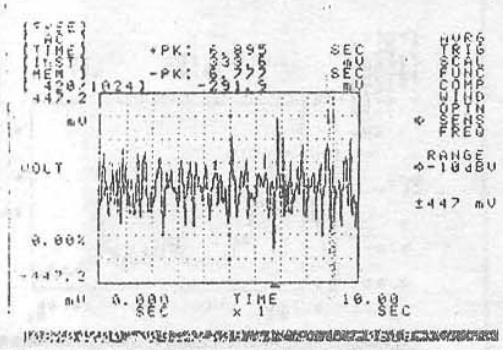
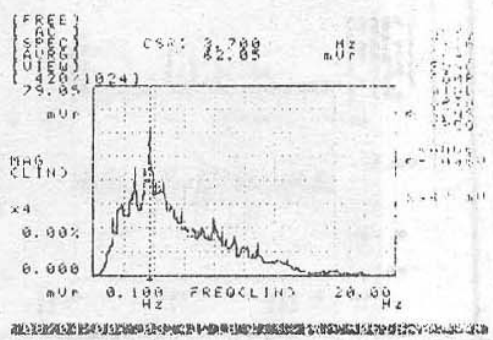
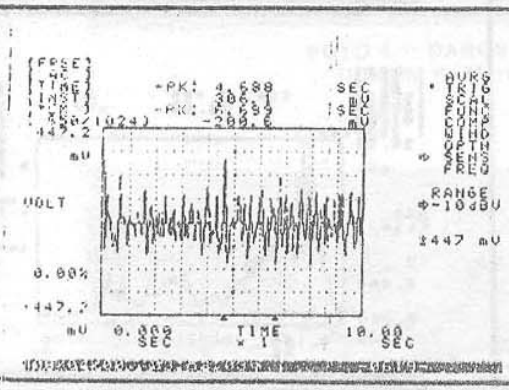
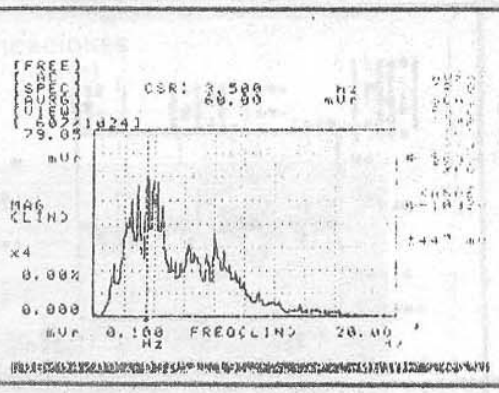
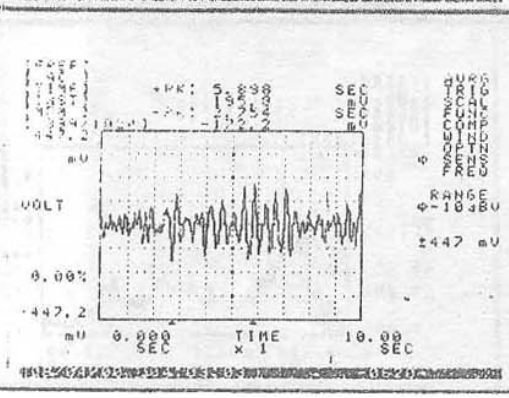
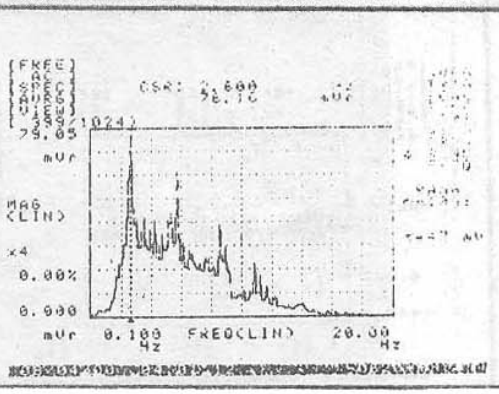
Fig. 4.5: Resultados de Medición de Microtrepidaciones (Parque de Marina II)

CENTRO PERUANO-JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

SEGMENTOS DE ONDAS Y ESPECTROS UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

PROYECTO : MICROTREPIDACIONES EN LA CIUDAD DE SAN FRANCISCO			PUNTO DEFINIDO : PM- 03
FECHA : 12 / 11 / 89	EQUIPO MICROTREMOR : Nº 1.	CASSETTE : Nº 1.	OPERADOR : J.C.T.N.
CLIMA :		LUGAR : Orkland .	
HORA :	CALIBRACION : No hubo	MEDICION : 200-320.	
OTROS : El modo está en desplazamiento con 36 dB de atenuación.			

	SEGMENTO DE ONDA	ESPECTRO
NORTE - SUR		
ESTE - OESTE		
VERTICAL		

CONCLUSION : De los espectros obtenidos, se observa que el período predominante es 0.25 ~ 0.40 seg.

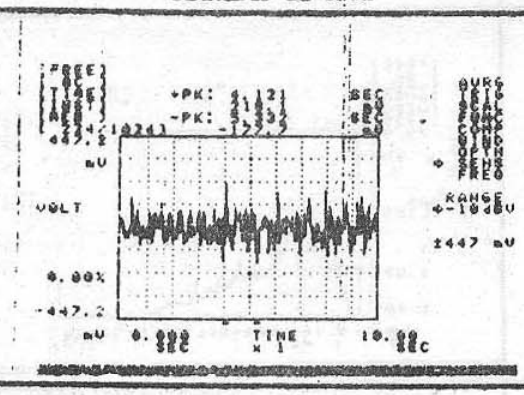
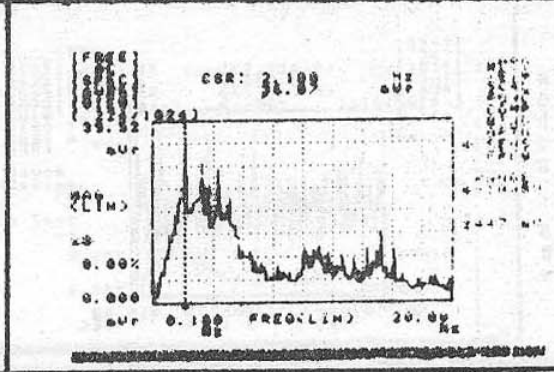
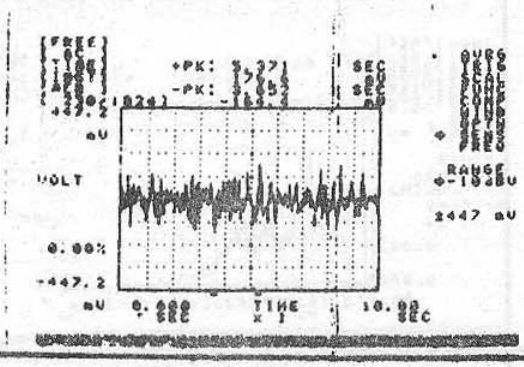
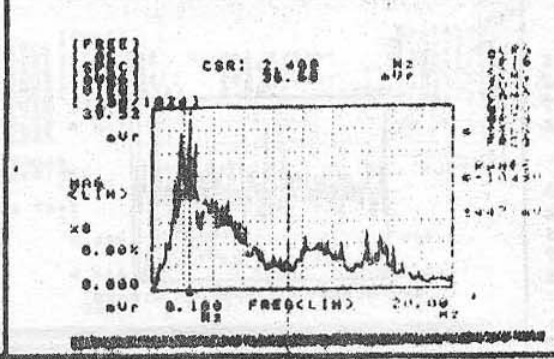
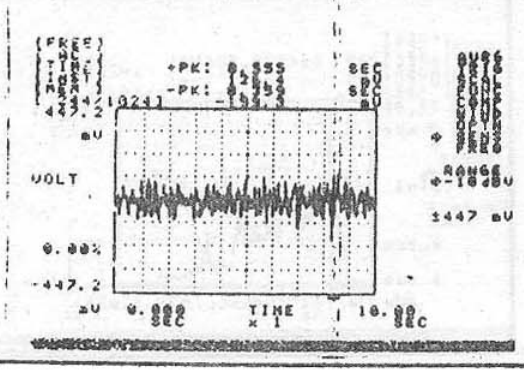
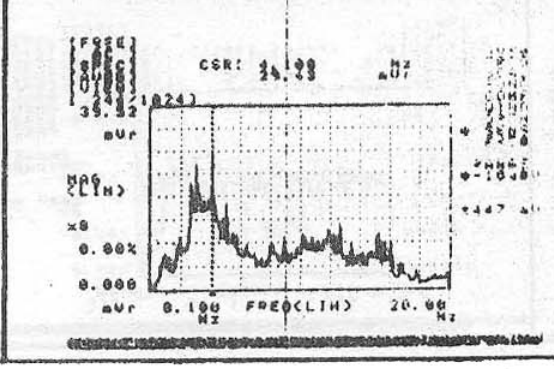
Fig. 4.6: Resultados de Medición de Microtrepidación (Oakland)

CENTRO PERUANO-JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

SEGMENTOS DE ONDAS Y ESPECTROS UTILISADOS EN EL ANALISIS PARA EL CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

PROYECTO : MICROTREPIDACIONES EN LA CIUDAD DE SAN FRANCISCO			PUNTO DEFINIDO : PM- 04
FECHA : 12 / 11 / 89	EQUIPO MICROTREMOR : Nº 1.	CASSETTE : Nº 1.	OPERADOR : J.C.Y.N.
CLIMA :		LUGAR : Watsonville	
HORA :	CALIBRACION : No hubo	MEDICION : 380-390.	
OTROS : El modo está en desplazamiento con 20 dB de atenuación.			

	SEGMENTO DE ONDA	ESPECTRO
NORTE - SUR		
ESTE - OESTE		
VERTICAL		

CONCLUSION : Según los espectros horizontales obtenidos, se tiene que periodo predominante es 0.26 ÷ 0.48 seg.

Fig. 4.7: Resultados de Medición de Microtrepidación (Watsonville)

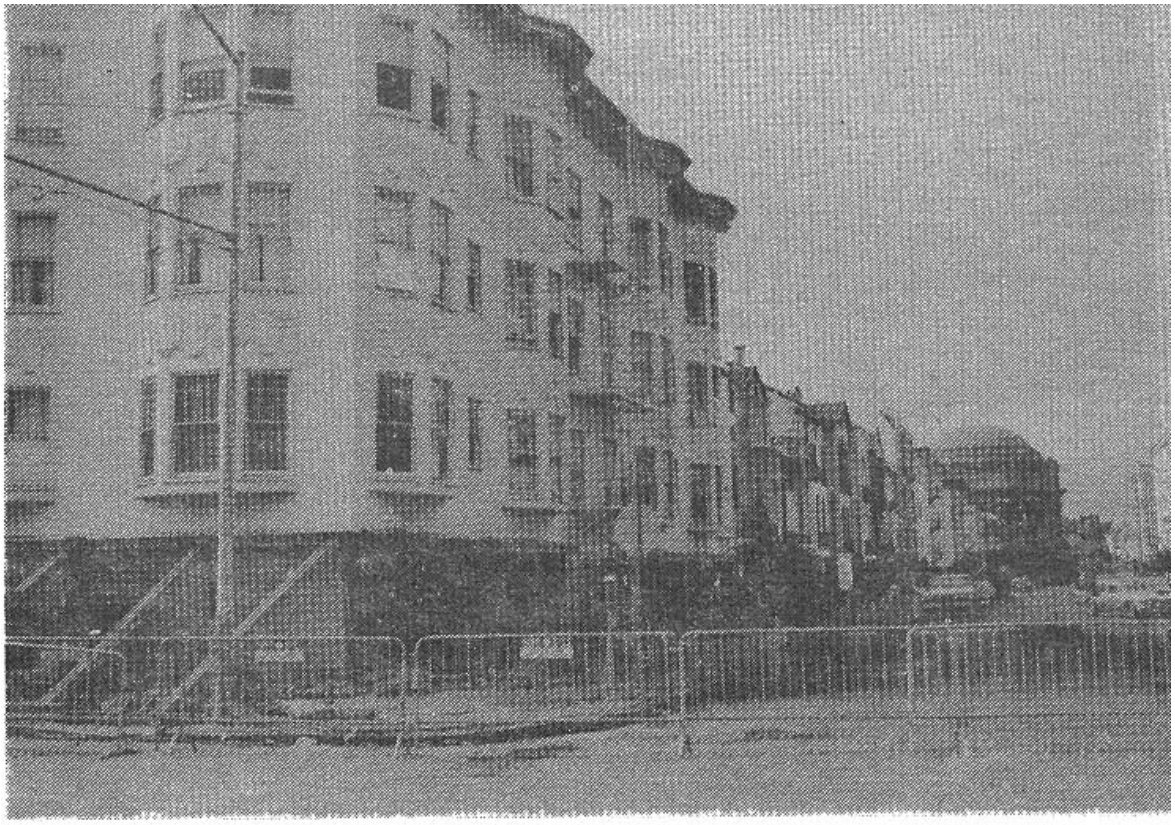


FOTO 4.1: DAÑOS EN EDIFICACIONES
(Distrito de Marina San Francisco)

FOTO 4.2: Volcanes de arenas que sufrieron licuación
(Parque Marina San Francisco)

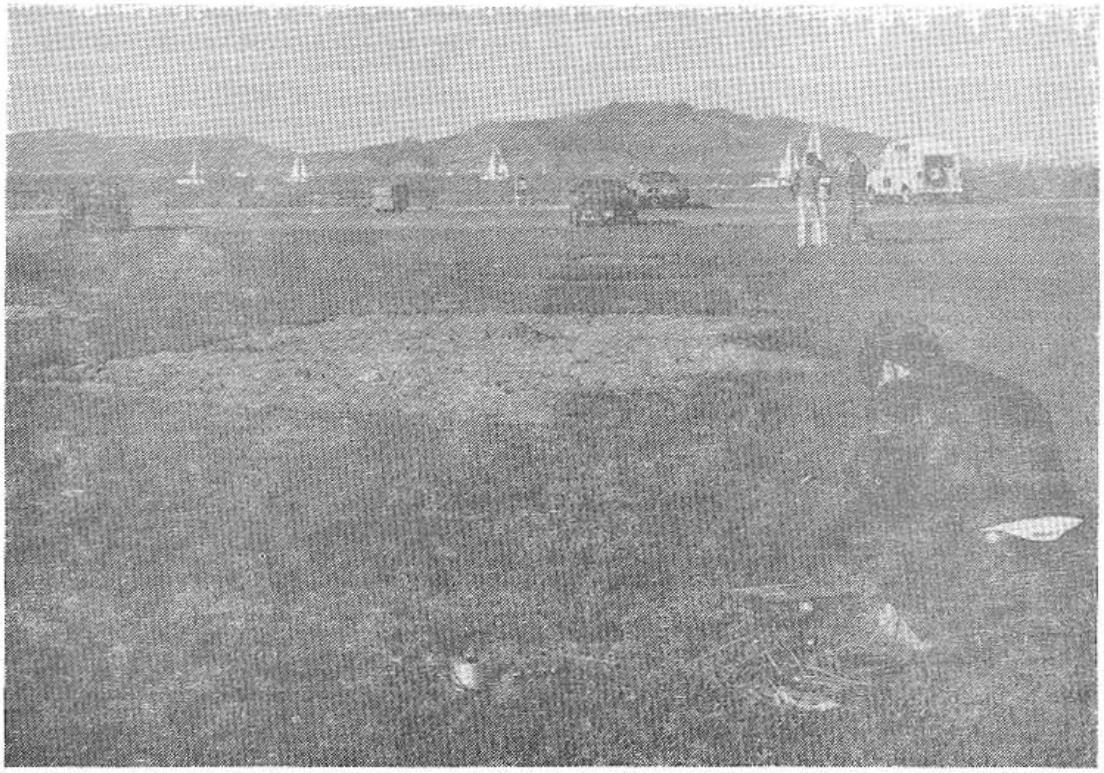


FOTO 4.3: Medición de microtrepidaciones
(Parque Marina, San Francisco)

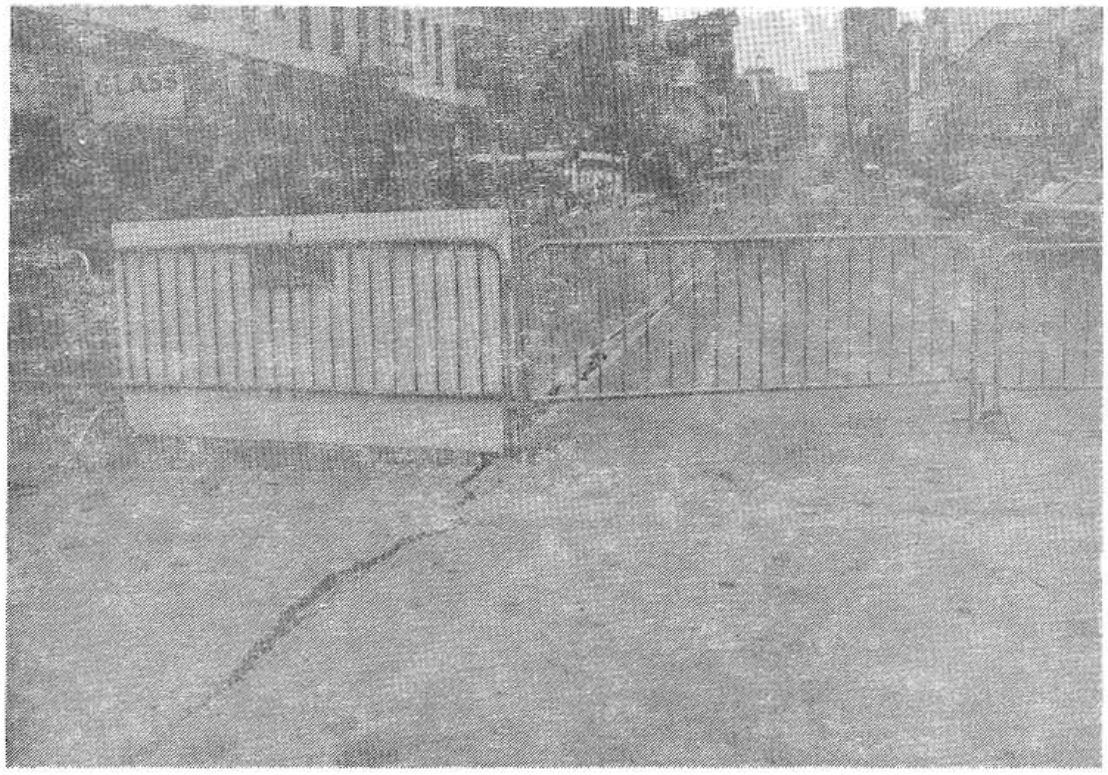


FOTO 4.4: Pavimento fracturado
(Sur de Mercado de San Francisco)

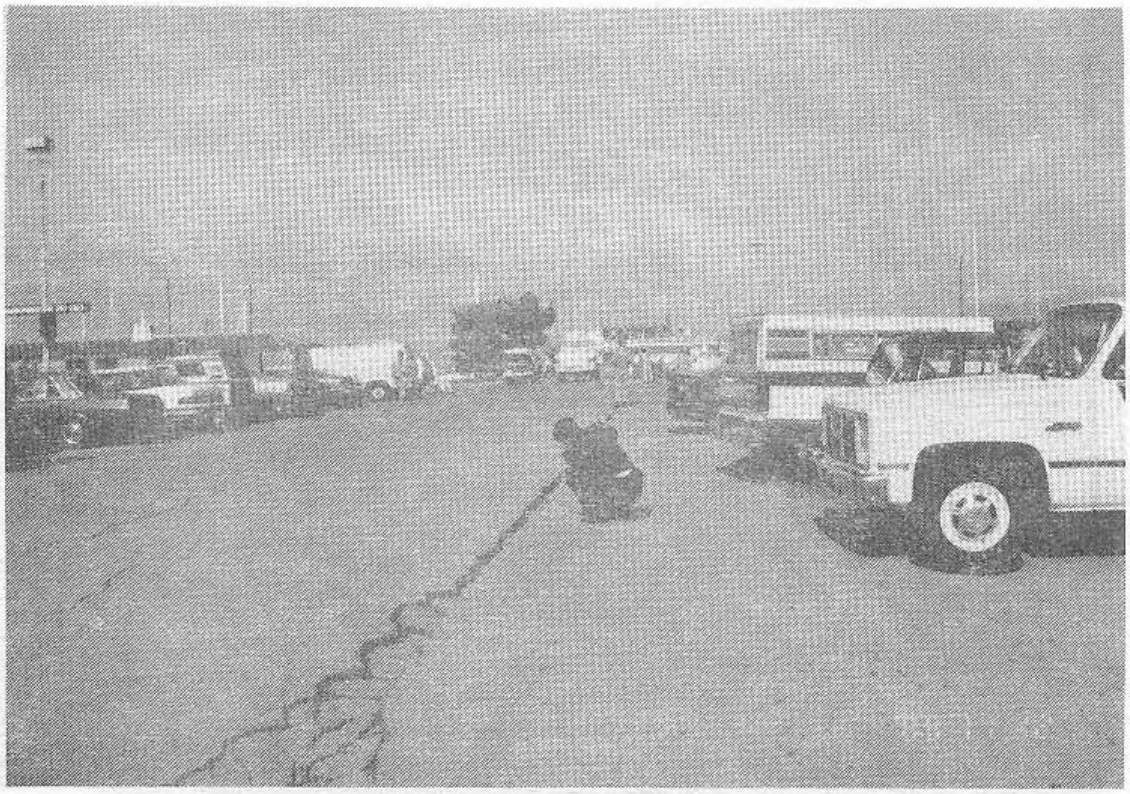


FOTO 4.5: Pavimento fracturado
(Parque Marina en San Francisco)

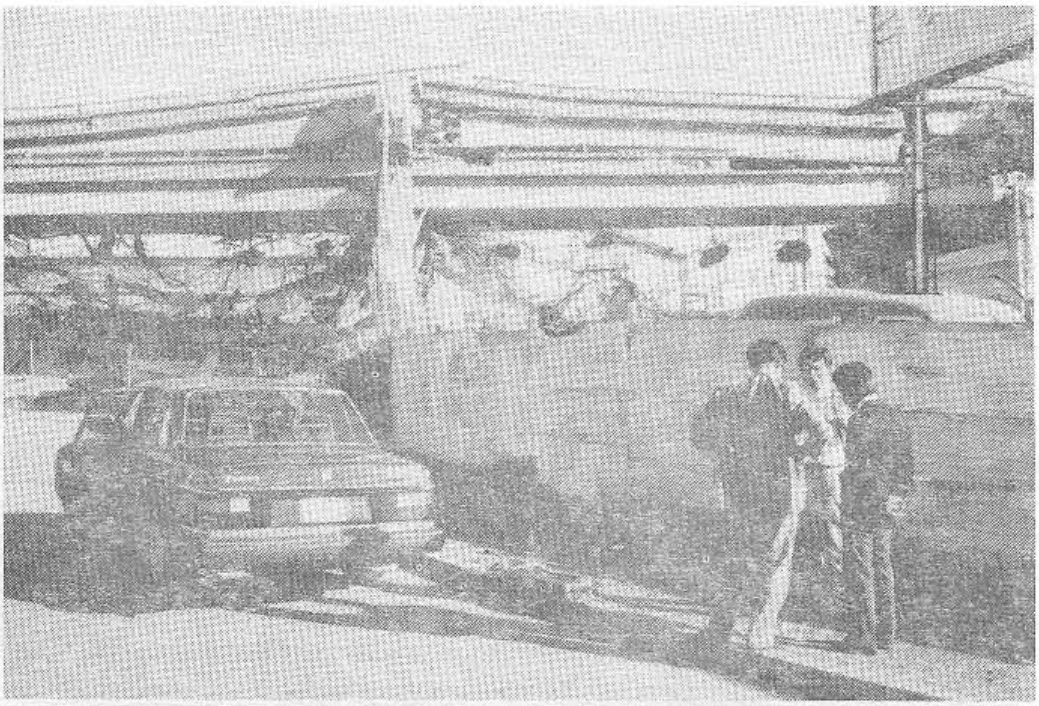


FOTO 4.6: Medición de microtrepidaciones cerca de la autopista elevada I-880 (El tramo sobre la calle Cypress en Oakland)

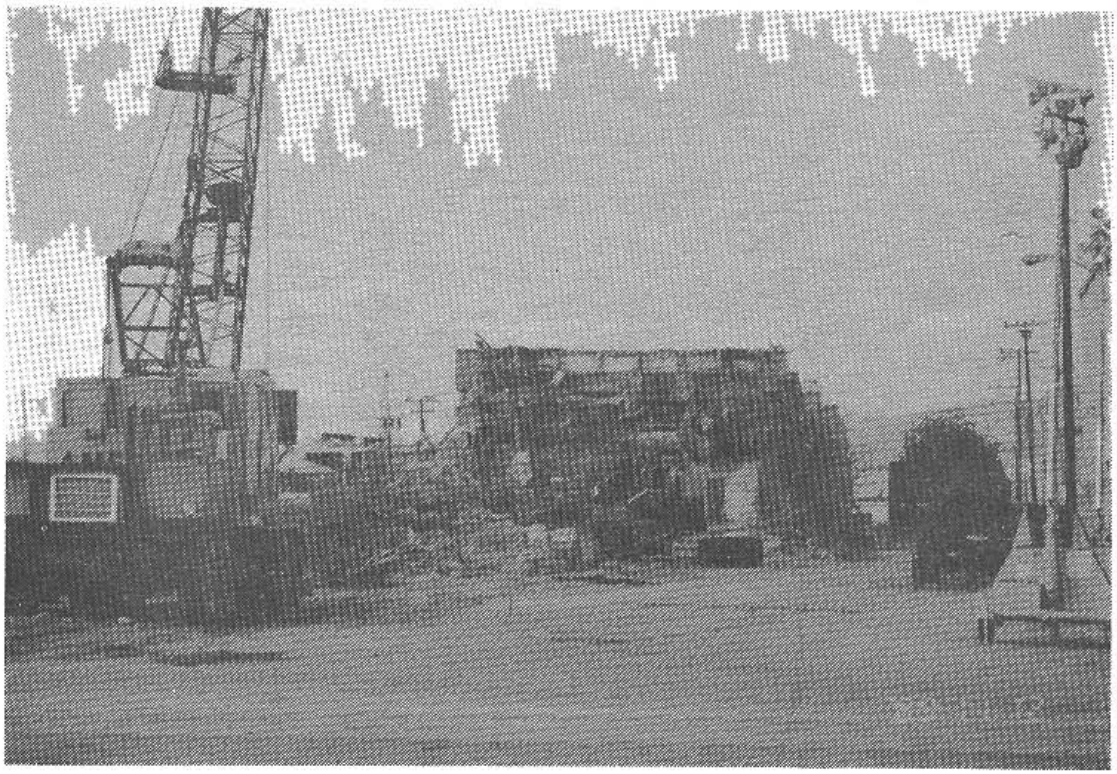


FOTO 4.7: Demolición de la autopista elevada (En la calle Cypress en Oakland)

FOTO 4.8: Daño típico en residencias en Watsonville

FOTO 4.9: Daños en edificaciones en Watsonville

5. DAÑOS A EDIFICACIONES

5.1 DISTRITO MARINA.

El distrito Marina es un área residencial situada al Norte de San Francisco con frente al mar en el ingreso a la bahía, cuyas edificaciones en su mayoría de madera fueron construidas al parecer hace mas de cuarenta años. Los daños más graves en edificaciones ocasionados por el terremoto ocurrieron en este distrito Marina. Muchos edificios de madera de cuatro a cinco pisos fueron seriamente dañados. Incendios ocurrieron también en esta área y las escenas fueron transmitidas por la T.V. al mundo entero por vía satélite

Los aspectos más importantes de los daños en las construcciones por el sismo, así como sus causas son presentados en este informe. El área donde fueron construídas las edificaciones fue lograda desecando los pantanos y rellenándola con material arenoso, después del terremoto de San Fancisco en 1906. Generalmente, las áreas de rellenos (en especial en zonas marinas con material suelto) sufren vibración más severa durante la ocurrencia de terremotos. El relleno fue realizado con arenas y material suelto del fondo marino de la bahía de San Francisco y el área está junto al mar. Por esto, el sismo provocó la licuefacción de las arenas saturadas en muchas zonas del área.

Por efecto del sismo, en las edificaciones de 4 a 5 pisos, el primer piso, usado para garages, sufrió los daños más severos (Foto 5.1). Esto se debió que con el tiempo se cambió el uso del primer piso y la dificultad de construir muros de corte dentro de los garages y la resistencia a fuerzas laterales no fue suficiente. Además la rigidez del primer piso es mucho menor que la de los otros pisos y la energía generada por la vibración durante el terremoto se concentró en el primer piso. (Foto 5.2). En los edificios de las esquinas (Foto 5.3), los daños fueron más graves debido a que los muros de corte no fueron suficientes en ambas direcciones longitudinal y transversales, esto por la existencia de entradas en ambos lados.

Los edificios con mayores daños fueron los construídos con pórticos de madera con revestimiento de tablas horizontales clavadas a los pórticos. (Foto 5.4). Los entablados horizontales no son muy efectivos para resistir fuerzas laterales. Si se hubiera usado paneles de madera contraplacada (triplay), los cuales son muy efectivos para resistir fuerzas laterales, en vez de los entablados horizontales, el daño hubiera resultado mucho menor (Foto 5.5). La mayoría de los edificios fueron cubiertos con ladrillos, o cerámicas, los cuales mantienen la humedad entre estos y los entablados y ocasionaron un deterioro acelerado de los pórticos o entramados con el tiempo (Foto 5.6).

5.2 WATSONVILLE.

Además de los daños considerables en el Distrito Marina, un gran número de viviendas de estructuras de madera de dos pisos fueron seriamente dañadas en Watsonville, una localidad situada a 10 km. del epicentro. En esta población las viviendas en su mayoría son de construcción de madera muy común en los Estados Unidos. Su estructura consiste en uno o dos pisos de madera apoyados sobre muros de cimentación que conforman un semisótano rígido el cual tiene ventanas altas por razones de iluminación y/o ventilación que circundan este nivel. La diferencia de rigideces de la estructura de concreto en la base y la de madera que apoya sobre la primera a través de conexiones no diseñadas para soportar cargas laterales crearon las causas de las fallas. La mayor parte de los daños fue causada por el colapso de la parte superior de los muros de la cimentación, vale decir la falla de la porción comprendida entre los muros de concreto de la cimentación y la estructura de madera del primer piso. En esta porción existen aberturas o ventanas altas de ventilación del semisótano pero no existen suficientes arriostres de los apoyos (Fotos 5.7 y 5.8). Debido a estos daños, cerca de veinte familias tuvieron que permanecer en campamentos y tiendas instaladas en el parque (Foto 5.9).

5.3 DAÑOS DEL PENTHOUSE.

El colapso del Penthouse del Hotel Amfac cerca del Aeropuerto de San Francisco es también uno de los típicos daños ocasionados por el sismo (Foto 5.10). La parte superior del edificio tuvo posiblemente una aceleración tres veces mayor que la de su base durante el sismo. Por ejemplo, en el Hospital VA en Palo Alto, la máxima aceleración fue de 0.35 g. al nivel del suelo y de 1.09 g. en el 7º piso. En el edificio Trans América en San Francisco, la máxima aceleración fue de 0.1 g. en el sótano y de 0.31 g. en la parte superior del piso 49°. Además, las pequeñas porciones o apéndices de las partes altas de los edificios experimentan vibraciones más fuertes que la porción a la cual están apoyados o fijados. Por consiguiente la máxima aceleración de estas partes o apéndices podría fácilmente alcanzar un valor mayor de la gravedad (1g.)

5.4 AEROPUERTO DE SAN FRANCISCO.

El Aeropuerto de San Francisco no pudo funcionar por lo menos algunas horas después del terremoto. Esto debió ser porque existió la necesidad de inspeccionar, por unas horas, las partes importantes del aeropuerto, tales como las pista de aterrizaje, la torre de control para verificar si sufrieron algún daño y en ese caso estimar si los daños podrian ser de peligro o no. El daño sufrido por el cielo raso del edificio de las terminales del aeropuerto debió tomar varias horas, sacar las partes dañadas o vulnerables. La reparación no había sido terminada un mes después de la ocurrencia del terremoto (Fotos 5.11 y 5.12).

5.5 UNIVERSIDAD DE STANDFORD

Varios edificios de mampostería en la Universidad de Standford tuvieron daños menores o moderados y la suma total de las pérdidas debidas al sismo podría ser de 150 millones de U.S. dólares. Algunos edificios habrían sido reforzados temporalmente mediante estructuras de madera (Foto 5.13). Incidentalmente, en los últimos años varios edificios de mampostería habrían sido reforzados y estas construcciones ya reforzadas se comportaron bastante bien, probando que el método de reforzamiento era satisfactorio.

La Escuela de Negocios para Graduados tuvo daños menores en los muros de corte y los cielos rasos del edificio de concreto armado de tres pisos (Foto 5.14). En la biblioteca del edificio, todos los estantes de los libros se volcaron o fallaron (Foto 5.15). No hubieron elementos para resistir las fuerzas laterales en los estantes. Esto deberá tomar varios meses reparar los daños y reordenar la biblioteca para su normal funcionamiento.

5.6 INSPECCION DESPUES DEL TERREMOTO.

Las construcciones en las áreas afectadas fueron inspeccionadas luego del terremoto y clasificadas como "INSPECCIONADAS", "ENTRADA LIMITADA" y "INSEGURA" (Foto 5.16). Este método de clasificación fue desarrollado por el Consejo de Tecnología Aplicada* y el encuentro para difundir el método había sido llevado a cabo poco antes del sismo. Este hecho fue muy útil para dar las medidas estandarizadas para la clasificación de los edificios dañados, los cuales algunas veces causan un conflicto de opiniones entre el propietario de la construcción y el ingeniero inspector de la misma.

(*) Consejo de Tecnología Aplicada "Procedimiento para la Evaluación de la Seguridad Post-Terremoto de Edificios", ATC 20, 1989.

FOTO 5.1: DAÑO TIPICO EN EDIFICIOS CON GARAGES EN EL PRIMER PISO EN EL DISTRITO DE MARINA, SAN FRANCISCO.

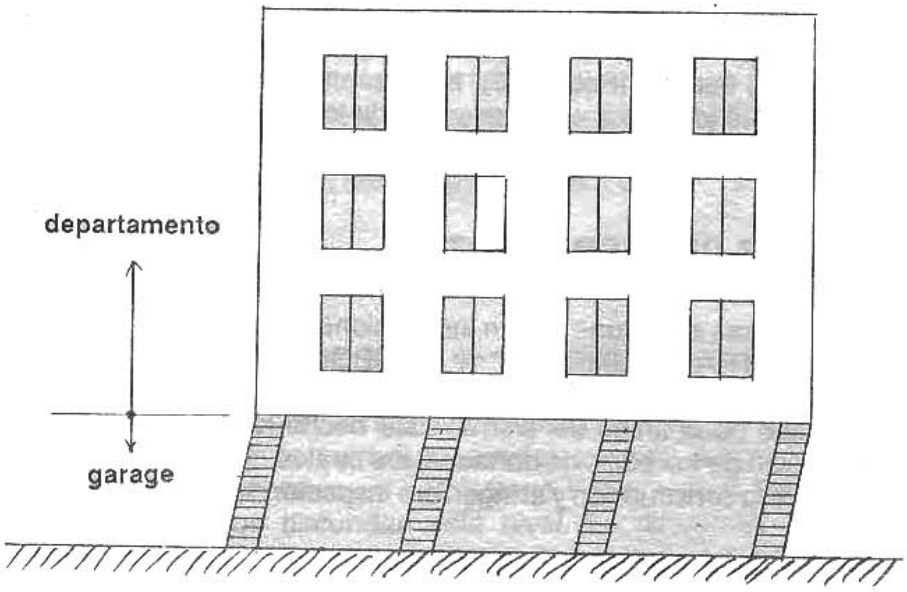


FOTO 5.2: CONCENTRACION DE DAÑOS EN EL PRIMER PISO FLEXIBLE

FOTO 5.3: DAÑOS TIPICOS EN EDIFICIO DE ESQUINA, MARINA, SAN FRANCISCO

FOTO 5.4: DAÑOS A LOS ELEMENTOS RESISTENTES HORIZONTALES, MARINA, SAN FRANCISCO

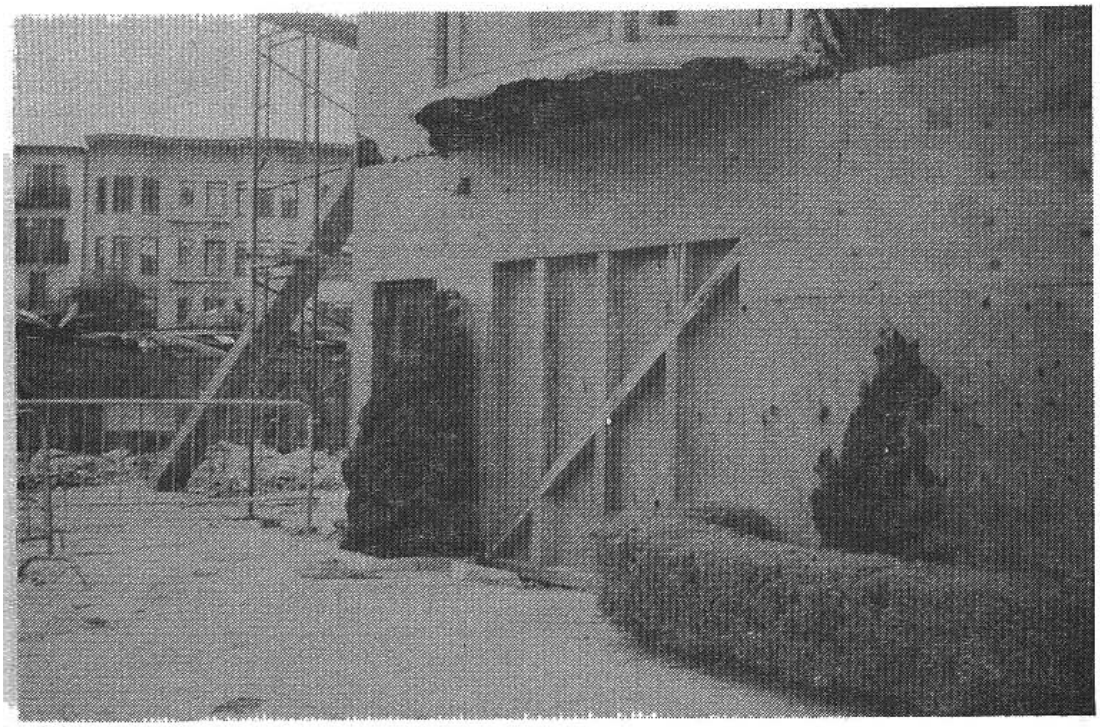


FOTO 5.5. REPARANDO EL PRIMER PISO DAÑADO CON PANELES DE MADERA (TRIPLAY). MARINA, SAN FRANCISCO.

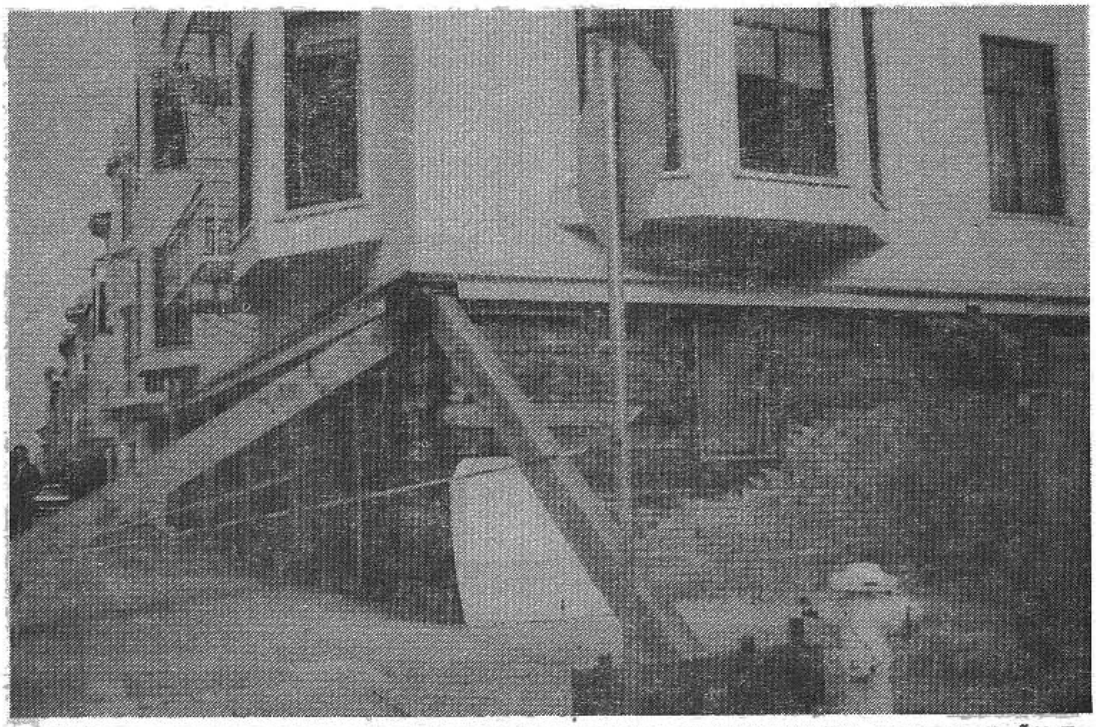


FOTO 5.6 DETERIORO DE PORTICOS DE MADERA CUBIERTOS CON ALBAÑILERIA, MARINA, SAN FRANCISCO

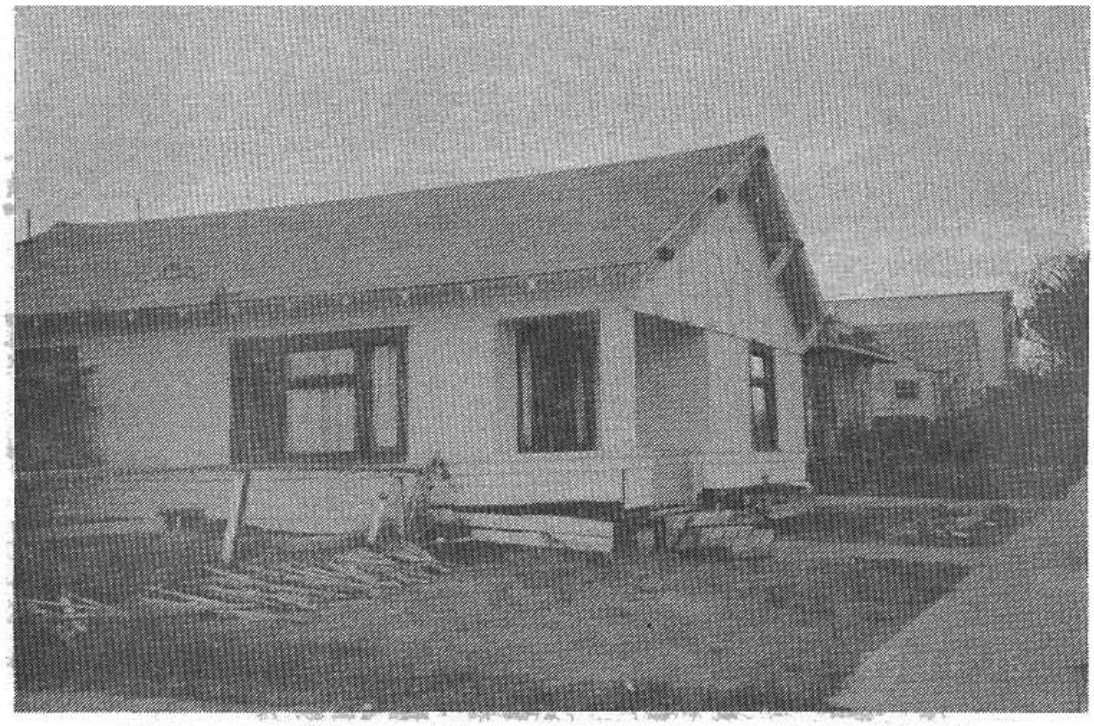


FOTO 5.7: DAÑOS EN LOS APOYOS DE MADERA, WATSONVILLE

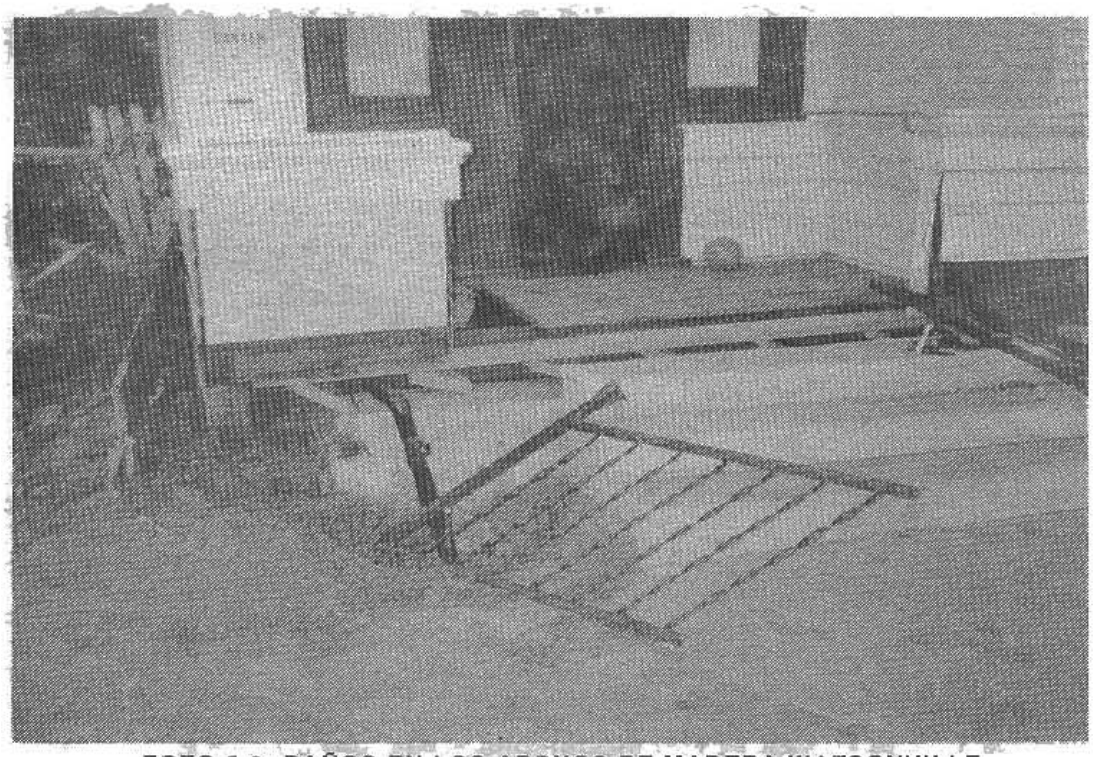


FOTO 5.8: DAÑOS EN LOS APOYOS DE MADERA WATSONVILLE

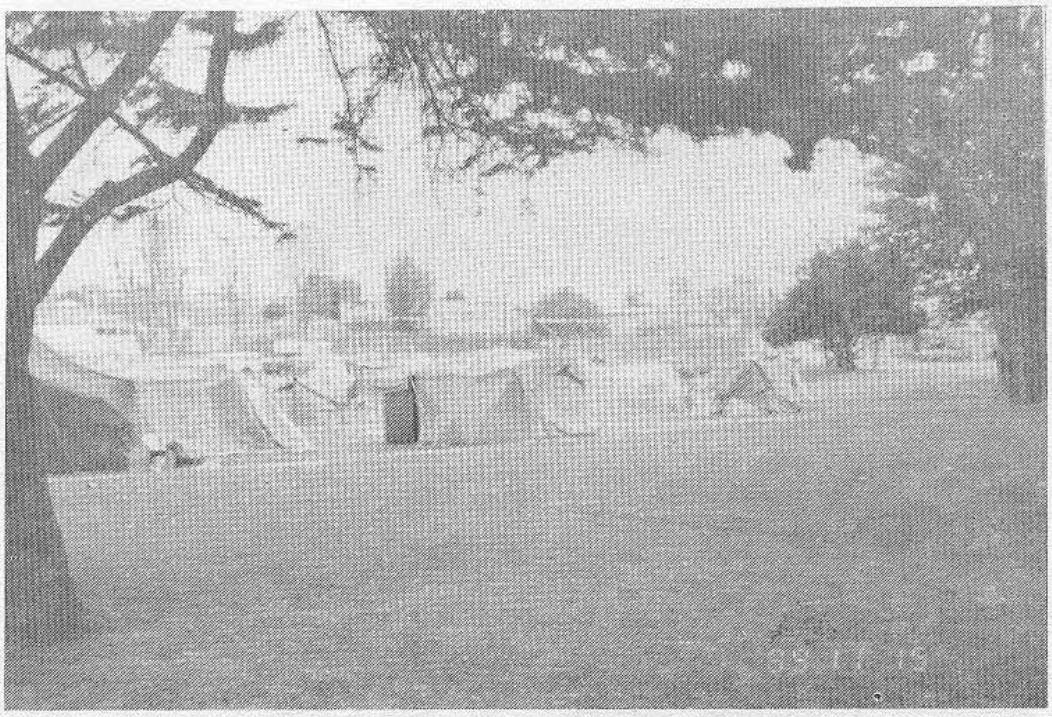
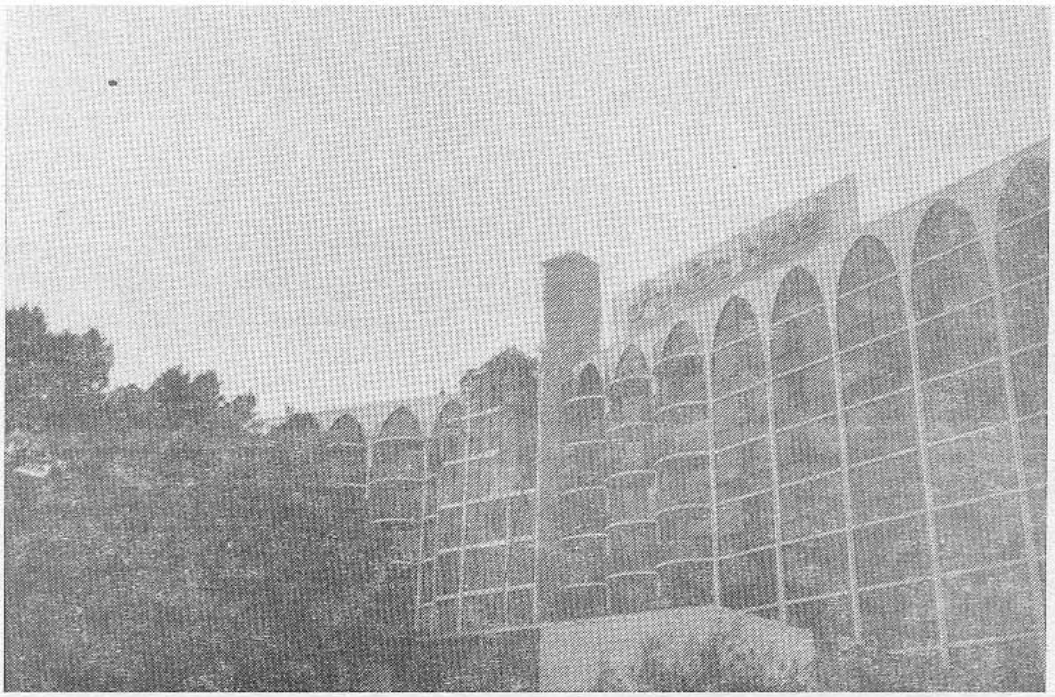


FOTO 5.9: CARPAS PARA LOS REFUGIADOS



FOTOS 5.10: DAÑOS EN EL PENTHOUSE DEL HOTEL AMFAC CERCA AL AEROPUERTO DE SAN FRANCISCO

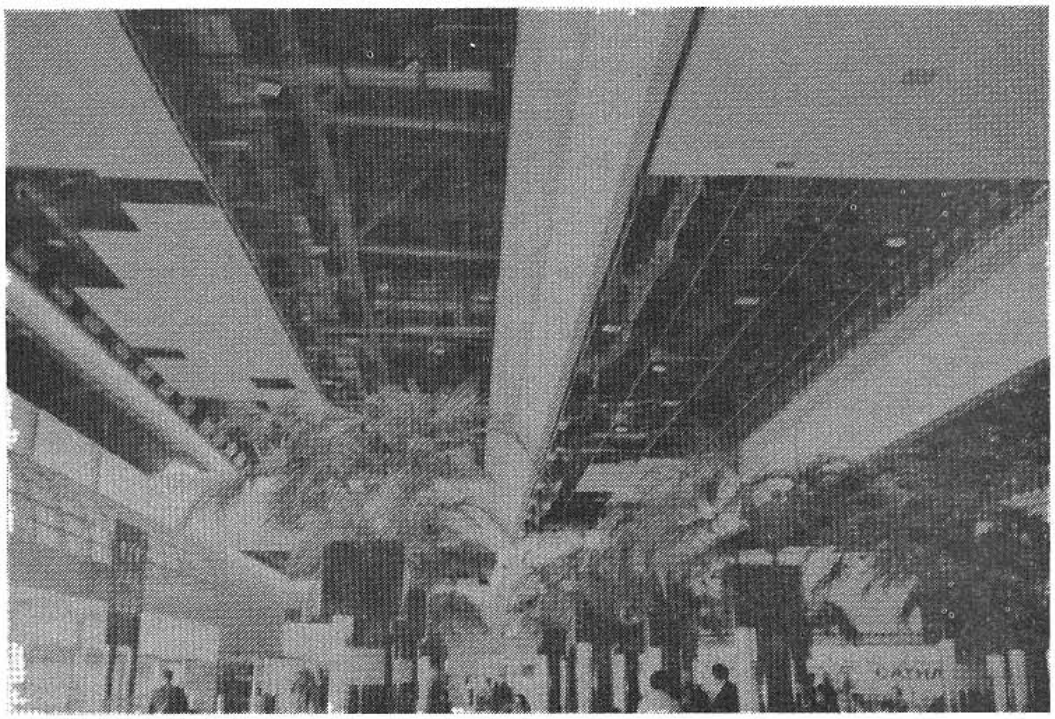


FOTO 5.11: DAÑOS EN EL CIELO RASO DEL EDIFICIO TERMINAL DEL AEROPUERTO DE SAN FRANCISCO

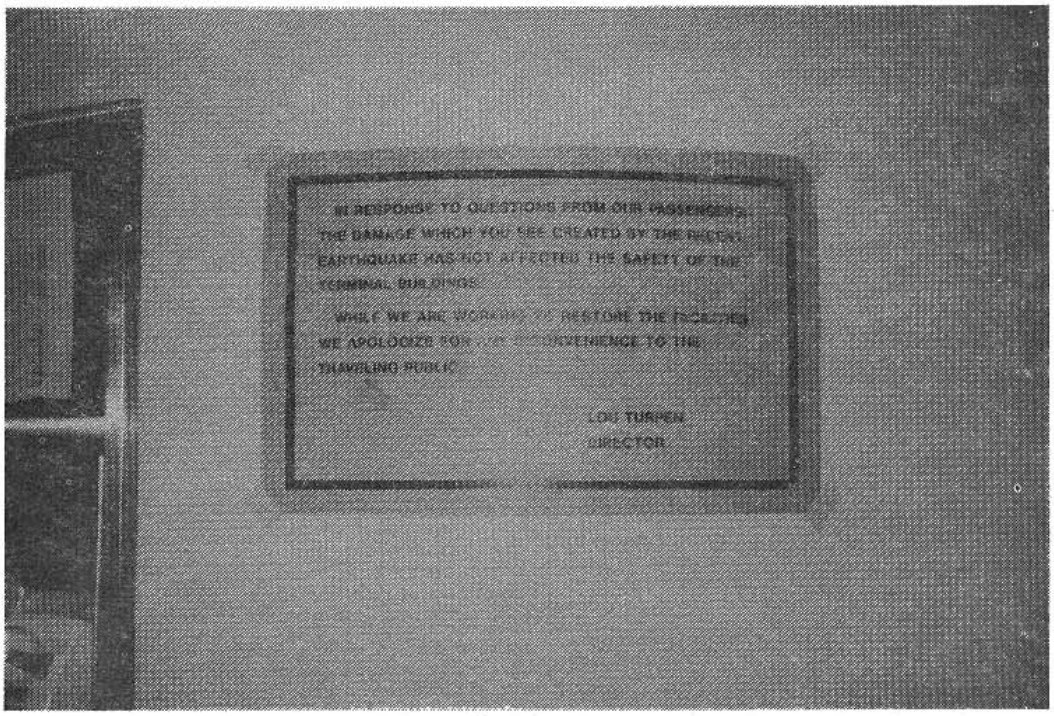


FOTO 5.12: NOTICIA A LOS PASAJEROS CON RESPECTO A LOS DAÑOS. EDIFICIO TERMINAL DEL AEROPUERTO DE SAN FRANCISCO

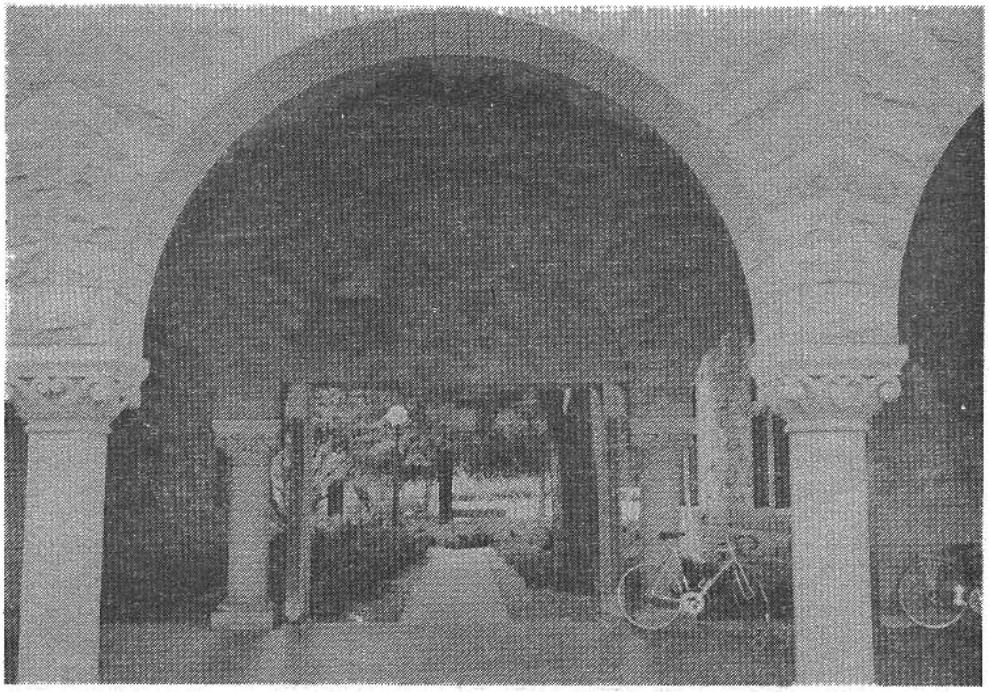


FOTO 5.13: APUNTALAMIENTO TEMPORAL A EDIFICIOS DE ALBAÑILERIA.
UNIVERSIDAD DE STANFORD, PALO ALTO.

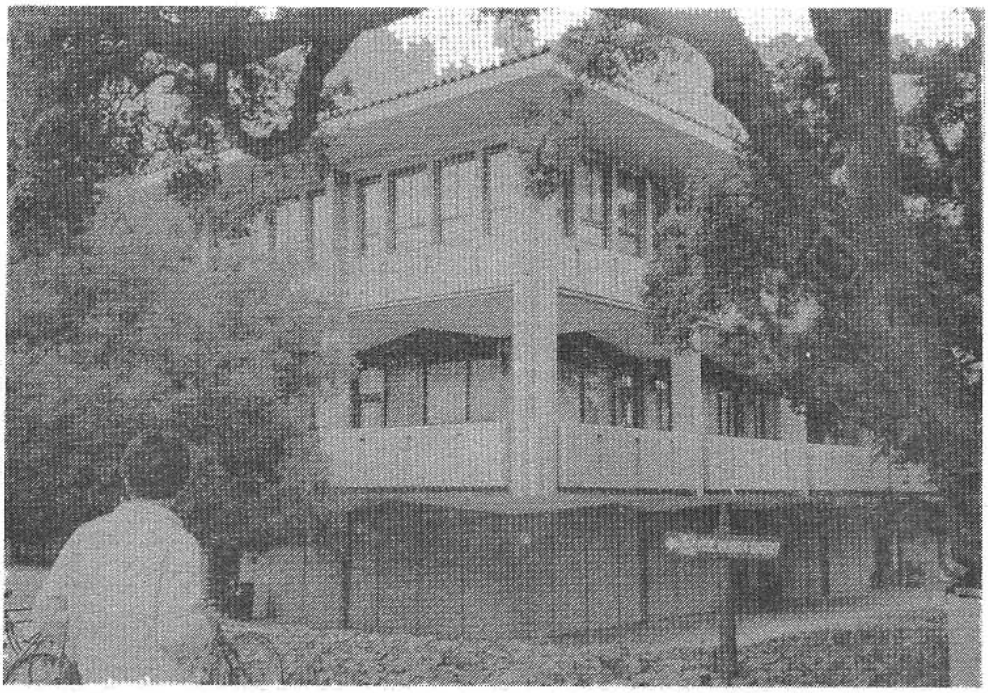


FOTO 5.14: EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO CON DAÑOS MENORES.
UNIVERSIDAD DE STANFORD PALO ALTO.

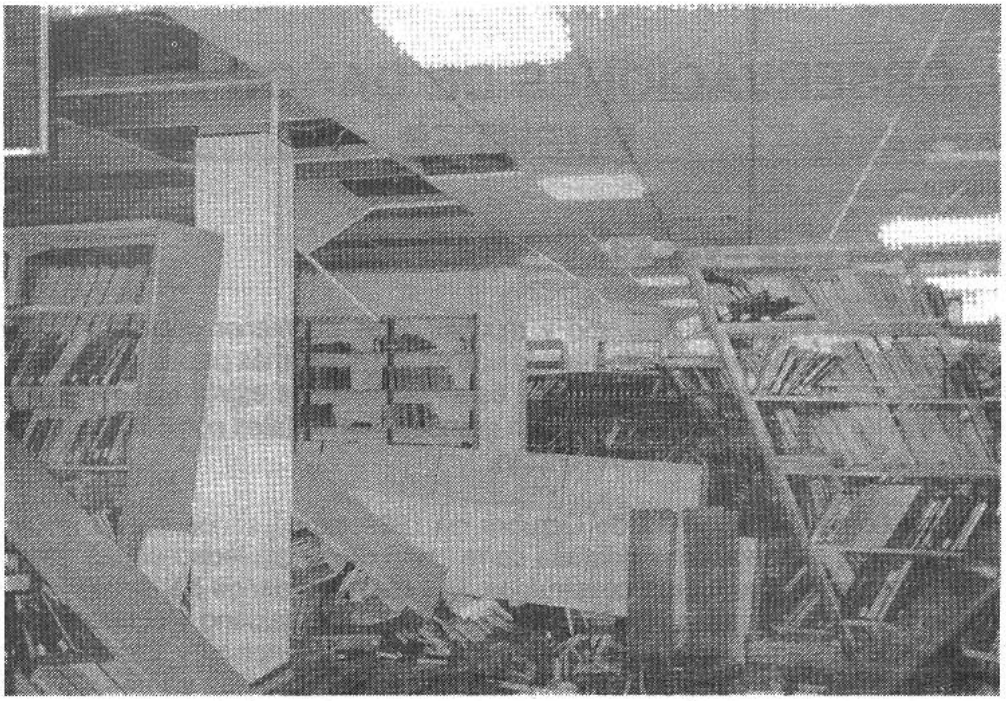


FOTO 5.15: DAÑOS EN LA BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD STANFORD

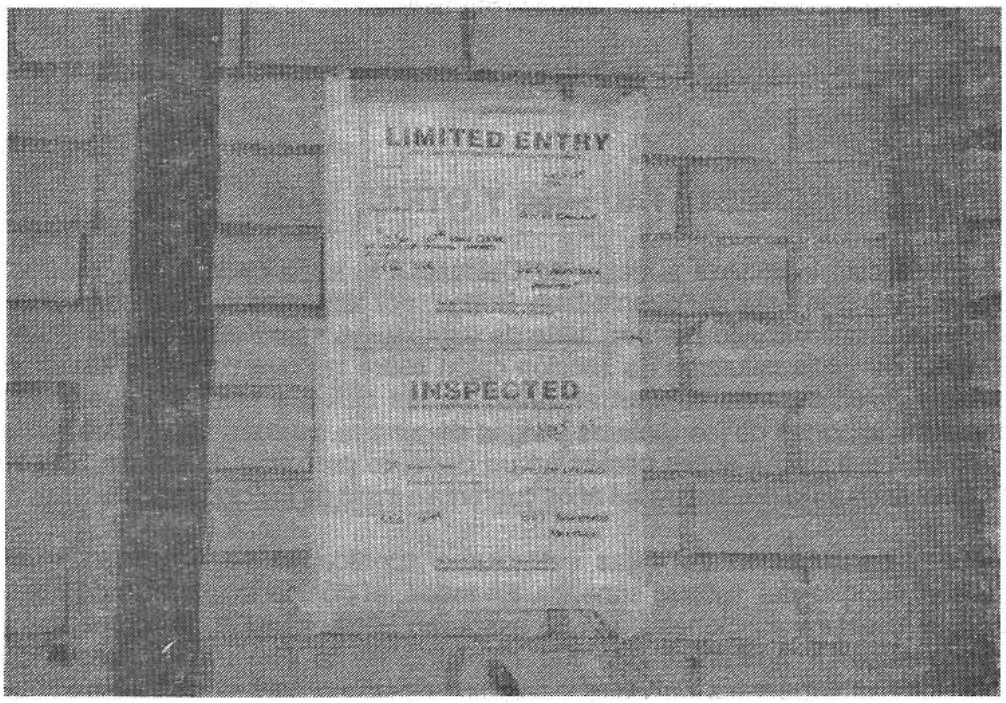


FOTO 5.16: CLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS DAÑADOS

6. OBSERVACIONES DE DAÑOS EN LOS PUENTES

6.1 DAÑOS EN LAS VIAS EXPRESAS

Las ciudades de San Francisco, Oakland y muchas otras de menor población están localizadas alrededor de la Bahia de San Francisco, conformando una de las áreas más pobladas y de mayor actividad en los Estados Unidos. Para interconectar y servir a estas poblaciones existe una red vial muy extensa. Muchas de las vías son de tráfico rápido, elevadas en grandes tramos tales como las vias interestatales I-80, I-280, I-880 y otras que circundan la bahía o la cruzan.

El terremoto de Loma Prieta del 17 de Octubre de 1989 causó serios daños en el sistema vial esparcidos en toda el área, observándose una alta correlación de su gravedad en las estructuras con la calidad de los suelos sobre los que fueron construídos. Los mayores daños del sismo fueron el colapso de la porción Cypress en la vía expresa Nimitz, parte de la I-880 en Oakland y el desplazamiento de los apoyos en el "Puente de la Bahía", que cruza la bahía entre San Francisco y Oakland, produciendo la caída de un tramo de conexión en uno de los apoyos. Las causas de estos y otros daños ocurridos en otras estructuras de concreto de las vías expresas elevadas están siendo investigadas.

Al tiempo de la visita realizada a mediados de noviembre, las estructuras falladas de los puentes y aquellas que sufrieron graves daños habían sido demolidas, los escombros estaban siendo removidos y se estaba en proceso de apuntalamiento de los puentes cuyos daños eran reparables. Precisamente a medianoche del 17 de Noviembre, un mes después de la ocurrencia del sismo, la reconstrucción del tramo colapsado del puente "Bay Bridge" fue terminada y reabierto el tráfico entre San Francisco y Oakland cruzando la bahía. La celebración jubilosa de la reapertura fue transmitida por la televisión.

El presente informe se ha preparado de acuerdo a las observaciones en el lugar y con los datos de la información obtenida.

6.2 VIA EXPRESA INTERESTATAL I-880 Y OTRAS VIAS.

Esta vía expresa está localizada al oeste de Oakland a lo largo de la bahía, su porción Cypress estaba muy cerca del extremo Este del puente "Bay Bridge, por tanto cerca de la Interconexión con la I-80. Este viaducto estaba conformado por una serie de estructuras aporticadas de concreto armado que soportaba dos niveles de losas celulares de sección cajón sobre las que circulaba el tráfico elevado de cinco líneas en cada nivel; además cubrían el tráfico de las calles a nivel del suelo. Fig. 6.1. Estas estructuras aporticadas soportes de los tableros y vigas de amarre estaban separados típicamente cada 24 m. y su cimentación fue hecha sobre pilotes en un depósito profundo de arcilla. Su construcción al parecer fue realizada a fines de la década de los años cuarenta o inicio de los cincuenta.

En el diseño y construcción de estas estructuras aporticadas se usaron diferentes tipos de estructuración para el soporte del tablero superior. En todos, el pórtico inferior fue de concreto armado con uniones de vigas y columnas monolíticas que aseguran la transmisión de momentos y cortes. Sin embargo, el pórtico superior aparentemente fue diseñado en la mayoría de veces para soportar momentos en sus uniones superiores de vigas y columnas pero no conexiones articuladas al pie de la columna y la unión con el pórtico inferior. En otros casos, los pórticos superiores, especialmente cerca de las rampas, los paños más largos fueron de concreto pretensado y se usaron conexiones articuladas entre las vigas y las columnas e inclusive una conexión de rótula al pie de una de las columnas. En casi todos los casos la sección de las columnas fue variable.

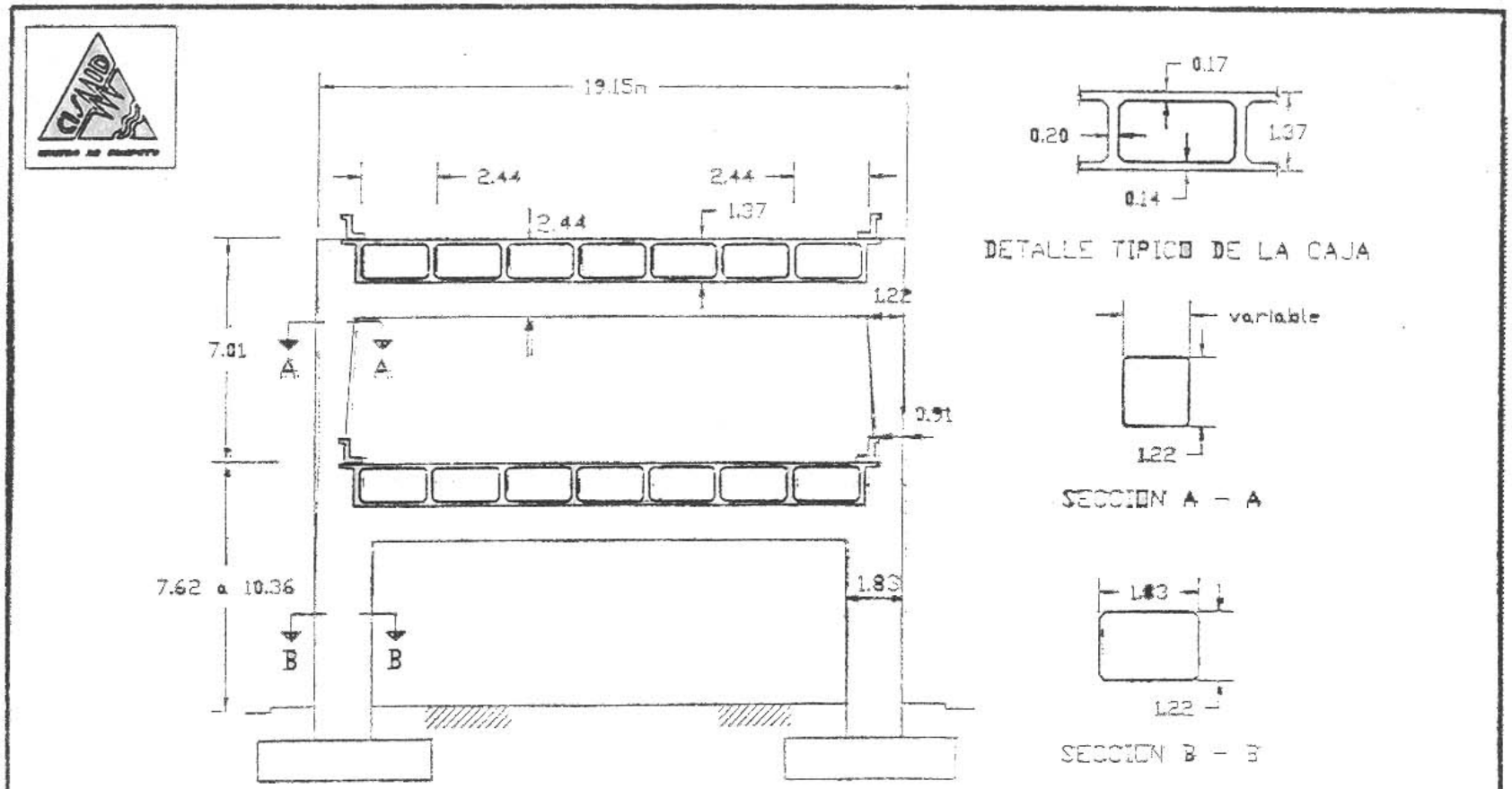


Fig. 6.1: Configuración de la Estructura de Soporte
Terremoto de Loma Prieta San Francisco California
17 de Octubre de 1989

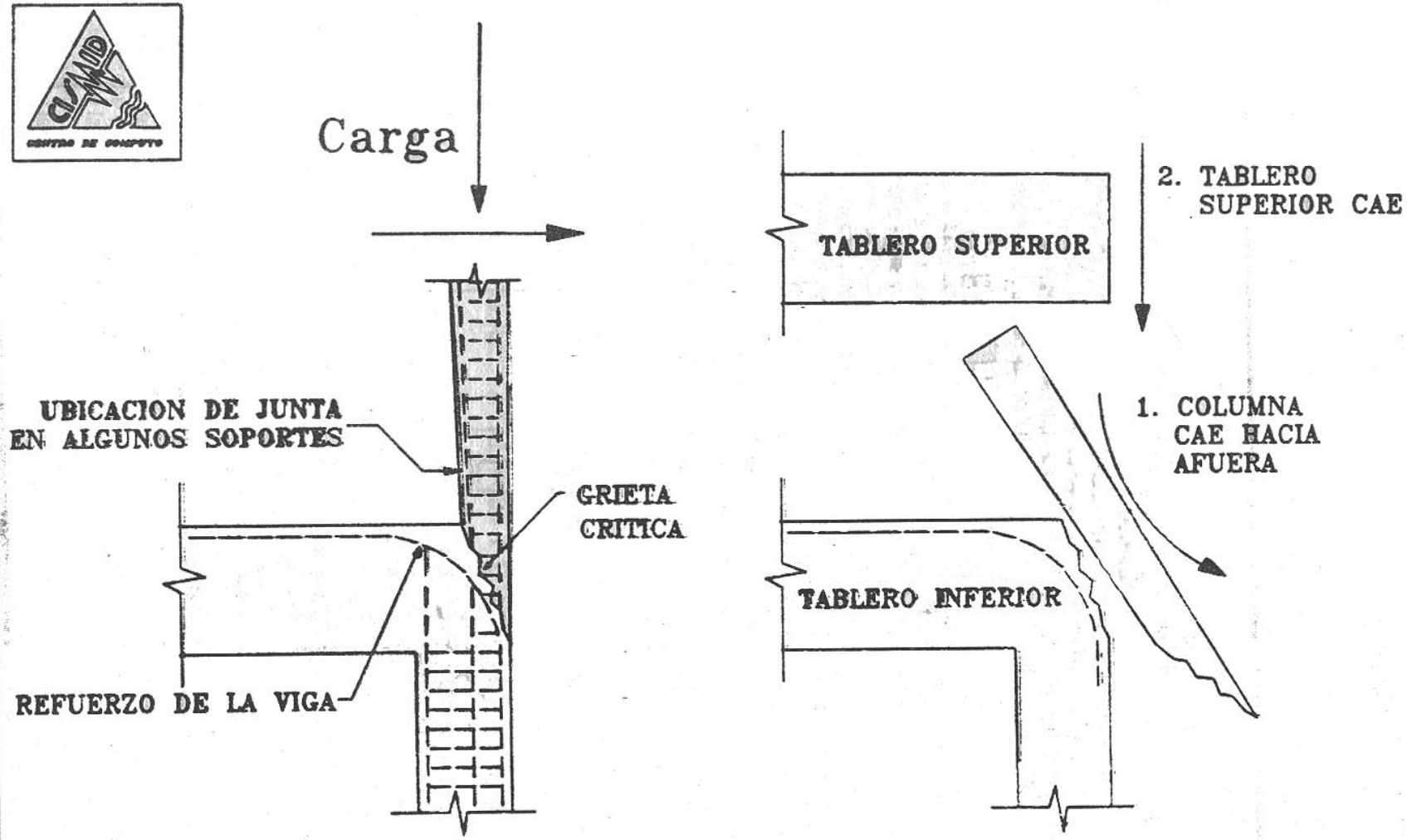


Fig. 6.2: Esquema del Posible Modo de Falla

Las conexiones articuladas se construyeron llenando con material expansivo, una capa de media pulgada de espesor en la mayor parte de la sección de la columna, dejando una pequeña llave de concreto en el centro de la sección transversal de la columna en la unión.

Esta pequeña parte de la sección fue reforzado con cuatro varillas delgadas (dowels) y en unos casos pasaba además un tubo de drenaje en esta porción continua de la columna.

El refuerzo longitudinal típico de las columnas superiores consistió en varillas Nº 10 y Nº 18 colocadas en el perímetro de la sección en número de determinado. El refuerzo transversal consistió en estribos de 1/2 de diámetro que abrazaba las varillas longitudinales. Estos estaban a espaciamiento típico de 30 cm. con ganchos a 90° . El concreto usado ha sido determinado su esfuerzo de rotura en 420 Kg/cm2 y su módulo en 260,000 Kg/cm2.

El terremoto produjo el colapso de los pórticos superiores de las estructuras soportes y la caída del tablero superior sobre estas, descritas anteriormente en un tramo aproximado de una milla (1608 m,) desde la calle 18 hasta el intercambio. En lugares distantes una milla del tramo colapsado del viaducto, se experimentó el sismo durante 10 a 15 segundos con aceleraciones máximas de 0.26g. y 0.29g. al Este y Oeste del viaducto, respectivamente.

La forma del colapso de la estructura mostró relativamente varias características consistentes. En la mayoría de los casos aparece que el tablero superior cayó casi verticalmente sobre el inferior sin desplazamiento lateral apreciable. Esto luego que las columnas falladas fueron arrojadas a los costados de la vía, en algunos casos permanecieron colgando de los refuerzos que los unían al tablero superior, otras veces al pórtico inferior. En algunos lugares, columnas que fueron construídas "articuladas" en ambos extremos permanecieron en su lugar soportando el tablero mientras que las columnas del lado opuesto habían colapsado y el tablero superior caido sobre el inferior. El mayor daño causado sobre el tablero inferior se debió al impacto recibido por la caída del tablero superior. Asimismo no se observó movimiento significativo en las cimentaciones.

Varios fueron los aspectos del diseño y la construcción que contribuyeron al colapso de las estructuras. Un aspecto aparente es la presencia de conexiones articuladas, las cuales en la mayoría de los pórticos superiores fueron localizadas en dos o tres de las cuatro conexiones. Como una consecuencia del desplazamiento de las articulaciones, la resistencia a las fuerzas laterales generadas por el sismo fueron dada por las restantes una o dos conexiones rígidas con capacidad para absorver flexión, pero estas fueron insuficientes, resultando una estructura soporte estáticamente determinada. La falla en los pocos elementos o conexiones con capacidad para soportar fuezas laterales pudo originar la inestabilidad y el colapso.

Otro aspecto del diseño y construcción que pudo haber contribuido al colapso es el refuerzo transversal inadecuado en las columnas, sea en estribos o en forma de espiral.

Los estribos usados en las estructuras al parecer fueron simples colocados en el perímetro y espaciados cada 30 cm aproximadamente a lo largo de las columnas. Sin embargo, en el reconocimiento efectuado en el sitio observó numerosas columnas completamente intactas en el suelo, revelando que la suma de refuerzo transversal en el interior de la columna podría haber hecho una pequeña diferencia. Otras columnas fueron completamente trituradas o cortadas, o tuvieron el refuerzo longitudinal desgarrado fuera de las columnas. Sin embargo, estas formas de falla parece que fueron en la mayoría de los casos resultado del colapso y no ser su causa.

Sin duda la mayor atención en la estructura restante se está prestando a los detalles de la conexión entre las columnas superiores y las inferiores dentro del peralte de la viga que soporta el tablero inferior. En el tiempo en que se efectuó el diseño de estas estructuras, no fueron bien establecidos lineamientos sobre el diseño de este tipo de conexiones a excepción del refuerzo superior de las vigas el cual fue doblado dentro de la conexión de las columnas, las conexiones de las estructuras tuvieron muy poco refuerzo horizontal para proveer de resistencia lateral a la conexión. Como se indica en la Fig. 6.2 es probable que la falta de refuerzo en esta región más la acción del peso de la estructura y las cargas sísmicas causaron la falla crítica desarrollada a lo largo del plano inclinado justo hacia afuera del doblado del refuerzo de las vigas. Este plano inclinado de falla ha sido ampliamente observado en el sitio tanto en las conexiones donde ocurrió el colapso como en conexiones donde no ocurrió colapso. De acuerdo a

esto, que pudo ser el modo de falla más probable, las columnas fueron guiadas en su caida hacia afuera y consecuentemente el tablero superior cayó verticalmente sobre el inferior.

Cálculos preliminares de la resistencia lateral del tablero superior de la estructura fueron hechos considerando solamente la resistencia a la flexión y corte a las columnas usando técnicas de cálculo convencionales. Estos cálculos indican que la resistencia lateral sea mayor que la requerida por los códigos vigentes en el tiempo de la construcción. Estudios del comportamiento de otras vías elevadas en el área de la bahía son menores al presente. La vía expresa Embarcadero (Interestatal I-480) en San Francisco junto al norte del puente la Bahía sufrió daños similares en las conexiones a aquellas que ocurrieron en la estructura Cypress pero en menor grado.

Observaciones preliminares en la vía Interestatal I-280 justo al sur del puente de la Bahía indican que hubieron algunas fallas en las columnas y en las conexiones debido al impacto entre las estructuras, en el punto de la conexión de la vía expresa con otra vía de acceso.

6.3 PUENTE SAN FRANCISCO "BAY BRIDGE"

Este puente constituye la más importante vía que conecta la Ciudad de San Francisco con la de Oakland.

La interrupción del tráfico en este puente por causa del sismo creó durante un mes serias dificultades en la comunicación de estas dos modernas urbes, al tener que usar sus habitantes las otras vías, como son los puentes de San Mateo y Dumbarton al Sur de San Francisco, o los puentes Golden Gate, Richmond y otras vías que circundan la bahía.

El Puente San Francisco-Oakland "Bay Bridge" está formado por una sucesión de estructuras de puentes colgantes y de armaduras simplemente apoyadas y en voladizo con una longitud total de 13.4 km.

Los tramos colgantes situados en la porción oeste, se encuentran entre San Francisco y la pequeña Isla de Yerbabuena en medio de la bahía y los tramos de armaduras reticuladas conforman el lado Este, entre la Isla y la ciudad de Oakland, Figs. 6.3 y 6.4.

El puente tiene un ancho de 20m. y dos tableros de concreto en dos niveles de tráfico. En el lado Este, los tableros están soportados por vigas longitudinales, las cuales se apoyan en vigas de acero transversales. Estas vigas transversales a su vez transmiten las cargas en las armaduras principales a cada lado de los tableros, Fig. 6.5

Los tramos del puente están apoyados en pilares, existiendo 6 en porción Oeste y 23 en la porción Este. Algunos de estos pilares son estructuras reticuladas, tal el caso del pilar E9 en la porción Este.

6.4 DAÑOS EN EL TRAMO SOBRE EL PILAR E9

El sismo causó el movimiento de una sucesión de 13 tramos del puente desplazándolos en la dirección longitudinal Este-Oeste. Estos tramos están comprendidos entre el pilar E9 y el E23, en una longitud aproximada de una milla (1608 m.)

El resto de los tramos no sufrieron mayores efectos del sismo. El pilar E9 es una estructura reticulada con elementos horizontales y diagonales que amarran a las 4 columnas, dos al lado Oeste y dos con cara hacia el Este distantes 15.25 m. El pilar sirve de apoyo a un tramo de 154.40m. de luz situado al lado Oeste y a otro de 88.50m. al Este del pilar.

De la observación en los daños ocasionados por el sismo del 17 de Octubre de 1989, los 13 tramos al Este del pilar al parecer experimentaron en su movimiento un desplazamiento en la dirección Este, hacia Oakland.

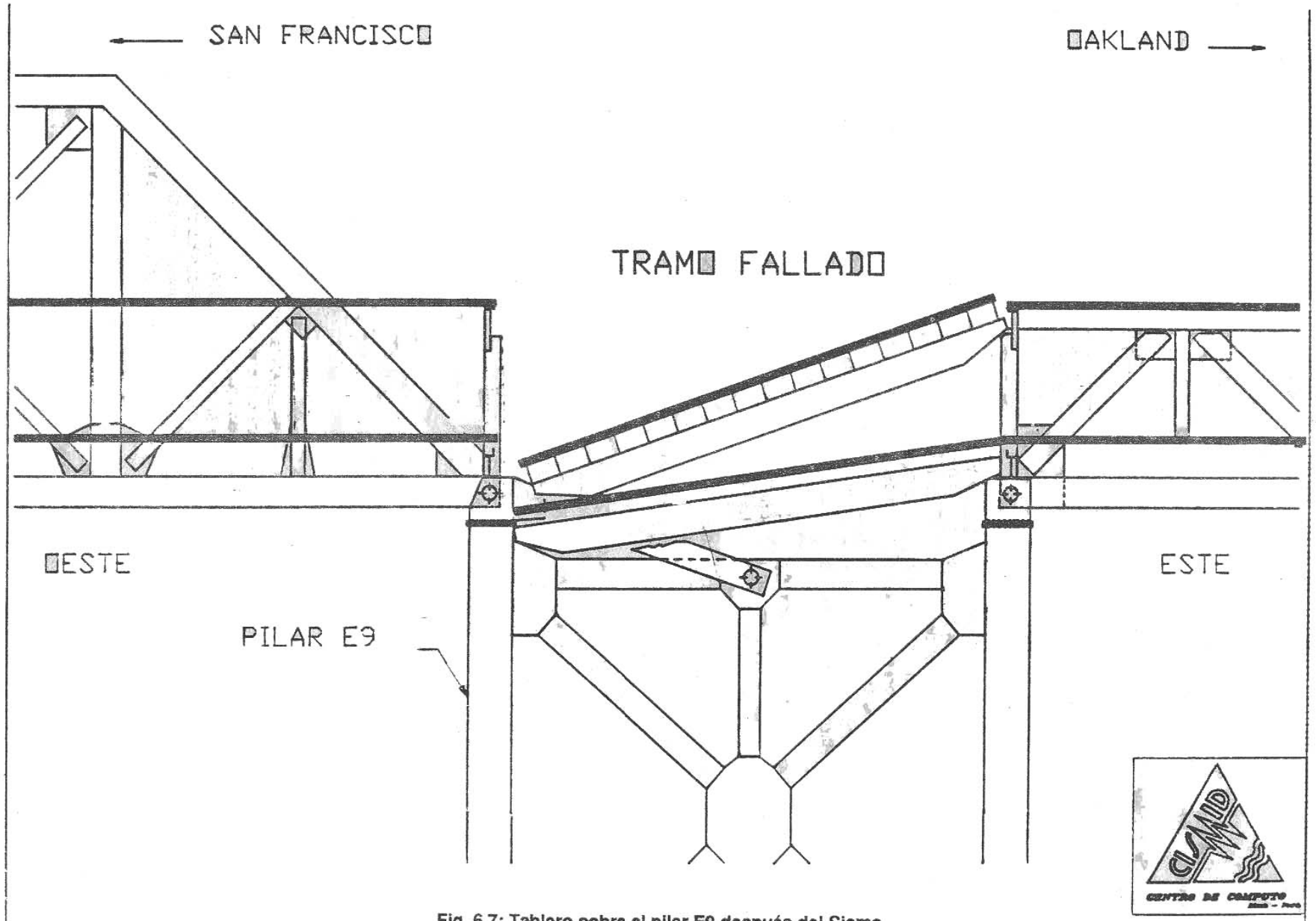


Fig. 6.7: Tablero sobre el pilar E9 después del Sismo

Los tableros portantes de las plataformas de tráfico entre los pilares E9 y E23 están apoyadas en las bridas superior e inferior de los reticulados principales, tal como se ha indicado anteriormente.

Se explica el colapso del tramo sobre el pilar E9 como una consecuencia del desplazamiento en dirección este de los reticulados de los tramos comprendidos entre el pilar E9 y el E23, el cual alcanzó la longitud de 7 pulgadas (aprox. 18 cm.). El tramo en mención estaba articulado en su extremo Este y con apoyo simple en su extremo Oeste. El asiento del tramo sobre el ala de la brida superior de la viga transversal soporte tenía solo un ancho de 5 pulgadas. El movimiento horizontal de los tableros mayor que la longitud del apoyo explica la causa de la salida de estos fuera de su sostén y la caída de sus extremos. Fig. 6.6.

Después del sismo, se pudo observar el tramo yaciendo sobre el tablero inferior, el cual también colapsó por el impacto recibido por la caída del tablero superior. La estructura del pilar sostenía, debajo del nivel del tráfico, la estructura de una estación de transformación de energía la cual impidió que los tableros siguieran su caída vertical. Por esto, el daño ocasionado fue limitado al colapso de los tableros y el pilar no sufrió daños mayores. El desplazamiento de 7 pulgadas acumulado a lo largo de una milla, no resultó significativo en los tramos, ni en los otros pilares cuya altura es considerable en relación al desplazamiento sufrido. Los otros daños menores experimentados fueron en las conexiones empernadas debido a las fuerzas cortantes generadas, Fig. 6.7.

La reconstrucción del tramo sobre el pilar E9 así como la reparación de los daños en los elementos afectados de su estructura se realizaron en forma urgente logrando ser reabierto el tráfico un mes después de la ocurrencia del terremoto tal como se ha indicado antes.

7.PREPARACION PARA HACER FRENTE A LOS DESASTRES Y RESPUESTAS A LAS EMERGENCIAS PRODUCIDAS POR EL SISMO

7.1 PLANES DE EMERGENCIA PARA SAN FRANCISCO.

A las 5.04 pm. del martes 19 de octubre de 1989, hora en que concluyen las labores del día, las autopistas deberían estar llenas de vehículos. Sin embargo, un importante evento deportivo estaba por iniciarse en el estadio Candlestick Park, ubicado al sur de San Francisco. Para expectar el tercer juego de la "Serie Mundial" de béisbol, 62,000 fanáticos llenaban las tribunas de dicho estadio y otros habían vuelto más temprano a sus hogares a expectar el partido por TV, lo que raleaba las autopistas.

En el aire, justamente sobre el estadio, estaban 2 helicópteros con todos sus equipos de filmación para trasmitir el partido. Ocurrido el terremoto, estos se trasladaron inmediatamente hacia las zonas más afectadas: Marina, Calle Cypress, Santa Cruz, puente Bay, etc., y en pocos minutos, se recibía en vivo y en directo, en el Centro de Operaciones de Emergencia, imágenes que describían de manera real y patética, la magnitud del desastre, lo que permitó ajustar los planes de socorro de manera muy expeditiva y actuar de inmediato.

Por otra parte, las imágenes del desastre estaban llegando simultáneamente al público en general y la solidaridad humana no se hizo esperar. Ocurrido el colapso del segundo nivel de la autopista elevada I-880, que aplastó numerosos autos y sus ocupantes, en una longitud de más de 1 km; centenares de personas que viven en las cercanías de la calle Cypress acudieron al rescate de ellos.

Pero esta respuesta positiva, incluyendo el sereno comportamiento de los 62,000 expectadores que sintieron el violento terremoto en las tribunas del Candlestick, no es fruto de la casualidad, sinó el producto del trabajo de varios años de preparación para hacer frente a situaciones de emergencia.

En fecto en 1983, se inició en San Francisco el Proyecto de Preparación para Sismos del Area de la Bahía (BAREPP por sus siglas en inglés), que utilizando una aproximación regional al problema, prepara programas y da lineamientos para la prevención, mitigación de desastres sísmicos a nivel local. Esto, debido al carácter regional de los eventos sísmicos y la autonomía con que actúan las autoridades de los condados y las ciudades.

El estado de California conjuntamente con la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA), proporciona los fondos para el BAREPP y el SCEPP - éste último, el Proyecto de Preparación para Terremotos del Sur de California que fue iniciado en 1980. El director del SCEPP Sr. Paul Flores visitó el Perú a comienzos de esta década para observar los avances logrados para la protección de Lima, estudios que se iniciaron en 1973, el primero de este tipo de América, pero que lamentablemente no ha tenido continuidad en su aplicación por diversos motivos, principalmente por la diferencia en la dedicación y capacidad de los jefes de Defensa Civil del Perú. En unos casos se avanzó mucho y en otros, el sistema quedó prácticamente paralizado.

Los proyectos BAREP y SCEPP, son parte de los Servicios de Emergencia de la Oficina del Gobernador del Estado. Su personal está conformado por planificadores y geólogos y asesora a los gobiernos locales y organizaciones privadas en la preparación para hacer frente a los desastres naturales, incluyendo la producción de programas y materiales educativos como informes, manuales y audiovisuales. Cada año, en el mes de abril, a través de la prensa impresa y TV, se realizan campañas educativas y de promoción. Según una encuesta realizada en 1987 dichas campañas educativas levantaron el interés del público en hacer frente a los desastres del 35% antes de su inicio a más del 80%,

después de realizadas.

El BAREPP, iniciado en 1983, pudo ser rápidamente implementado, debido a la existencia del ABAG siglas en inglés de la Asociación de Gobiernos del Area de la Bahía, iniciado en 1961 como consejo de gobiernos locales para trabajar unidos y coordinados, en el planeamiento del futuro de los 5.5 millones de habitantes que tiene el área.

El plan comprende: vivienda, desarrollo económico, transporte, calidad del medio ambiente, manejo de materiales peligrosos, recreación, etc.; incluyendo la mitigación de desastres, de manera específica, a partir de 1983.

7.2 DISTRITO DE OPERACIONES DE EMERGENCIA.

A manera de ilustración, se presentará uno de los planes de la ciudad y condado de San Francisco para responder a las emergencias, y es el concepto de "Distrito de Operaciones de Emergencia y sus Facilidades".

El área urbanizada de la ciudad y condado de San Francisco está dividida en Distritos de Operaciones de Emergencia (DOE). El DOE es una unidad para dar respuesta a las emergencias de una comunidad y sus residentes, y cubre un área aproximada de 3 millas x 3 millas. La ciudad de San Francisco, está dividida en 10 DOES, sus fronteras están constituídas por avenidas o calles anchas, parques, accidentes topográficos, etc.

En cada DOE, se designan uno o pocos "Centros de Cuidado Masivo" y varios "Centros para la Atención de Heridos". Las características de estos centros son:

— Centro de Cuidado Masivo:
  Desde instalaciones adecuadas como escuelas, se proveen a las víctimas inmediatamente después de los desastres: techo, alimentación, vestimenta, registro, informaciones sobre víctimas, primeros auxilios y servicios sociales básicos.

— Centro para el Cuidado de Heridos:
  Puede ser un "Hospital" con capacidad plena para realizar operaciones, toma de rayos "X", laboratorios de análisis, etc. para tratamiento de heridos graves; o puede ser, un "Centro de Primeros Auxilios" con capacidad para tratar heridos menos graves. Estas facilidades pueden ser: públicas o privadas.

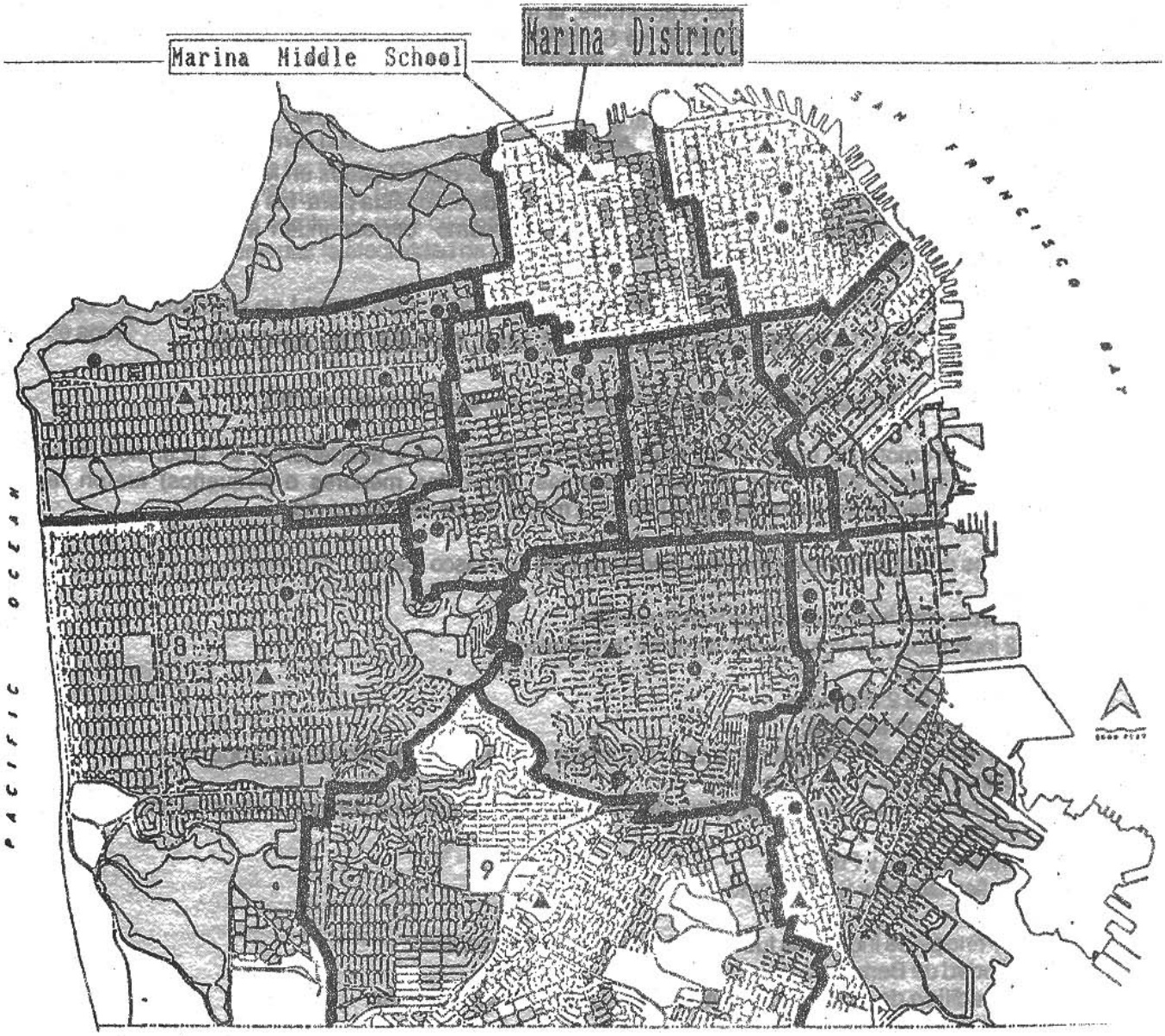
En el distrito de Marina, el área más afectada de la ciudad de San Francisco, el colegio secundario "Marina" fue designado como Centro de Cuidado Masivo. Mas de 500 residentes se refugiaron en dicho colegio y en su zona deportiva se construyeron oficinas temporales para la atención de la emergencia, tales como servicio de electricidad y gas, servicio municipal de agua y otros servicios.

De acuerdo al plan de respuesta a la emergencia, los afectados del distrito Marina recibieron socorro de manera precisa y rápida.

Cuando la Misión visitó el Colegio Marina, 4 semanas después del sismo, los damnificados habían retornado a sus hogares o se habían refugiado en casa de sus familiares, y las instalaciones para darles techo habían sido retiradas. En el Colegio Marina, solo estaban operando las oficinas provisionales para la rehabilitación temporal de los servicios públicos esenciales, tales como la electricidad y suministro de agua.

Por otra parte, la ciudad de Watsonville, la mas severamente afectada del condado de Santa Cruz, así como la parte central de la ciudad de Santa Cruz, no tenían planes

Por otra parte, la ciudad de Watsonville, la mas severamente afectada del condado de Santa Cruz, así como la parte central de la ciudad de Santa Cruz, no tenían planes para responder a la emergencia. Los residentes, cuyas viviendas fueron dañadas por el sismo, se vieron obligados a ocupar carpas que se



Límite de distritos de operaciones de emergencia.

▲ : Centro de atención masiva

● : Centro para atención de heridos

Fig. 7.1: Distrito de operaciones de emergencia y facilidades en la ciudad de San Francisco

Fuente: Oficina de Servicios de Emergencia Mayer

instalaron de manera temporal en los parques. Cuando se visitó Watsonville, aproximadamente 1 mes después del terremoto, los damnificados aún estaban viviendo en carpas.

Por otra parte, la ciudad de Watsonville, la mas severamente afectada del condado de Santa Cruz, así como la parte central de la ciudad de Santa Cruz, no tenían planes para responder a la emergencia. Los residentes, cuyas viviendas fueron dañadas por el sismo, se vieron obligados a ocupar carpas que se instalaron de manera temporal en los parques. Cuando se visitó Watsonville, aproximadamente 1 mes después del terremoto, los damnificados aún estaban viviendo en carpas.

Si se compara el nivel del socorro recibido por los damnificados en Marina y Watsonville, podemos darnos cuenta de la importancia de contar con planes de respuesta para las emergencias. Pero los planes de emergencias deben ser flexibles y redundantes, como corresponden a las situaciones imprevistas que pueden generar los terremotos.

7.3 EFECTIVIDAD DE LOS SISTEMAS MULTIPLES DE APOYO.

(Preparación para hacer frente a los incendios que originó los terremotos)

El terremoto de Loma Pieta originó en San Francisco y alrededores, 27 incendios (otros informe dicen que fueron 22) y mas de 500 incidentes (incendios menores o pequeños) fueron reportados, desde la ocurrencia del sismo (5.4 p.m.) hasta la media noche del mismo día.

Los principales incendios en la ciudad de San Francisco fueron:

— Aeropuerto Internacional de San Francisco:
  2 incendios y un voluminoso derrame de petroleo.
— Calle Bixby:
  Pérdida de 2 viviendas
– Depósito de madera:
  Se generó una emergencia debido a la rotura de la tubería conductora de propano.
— Calles Divisadero y Jefferson:
  La rotura de tubería de gas (natural). Se destruyeron 4 edificios dejando 3 víctimas por incendio.
— Calle Cole
— Calles Larkin y Fulton
— Calles Gough y Sacramento

Principales incendios fuera de la ciudad de San Francisco:
— Ciudad de Berkeley:
  Un edificio de 1 piso de autoservicio por la ignición de solventes.
— Condado de Santa Cruz:
  24 edificios destruídos por fuego.

La ciudad de San Francisco, fue literalmente destruida por el incendio que siguió al gran terremoto del 18 de Abril de 1906. En esa oportunidad se iniciaron 18 incendios, se quemaron mas de 28,000 edificios, dañando un área de 12.2 km2. en 75 horas.

Después de ese desastre en San Francisco se instaló un sistema especial de alta presión llamado "Sistema Auxiliar de Abastecimiento de Agua" (AWSS, por sus siglas en inglés), consiste en reservorios de 10 millones de galones de agua ubicados en la cima de un cerro. Se construyeron 2 estaciones de bombeo en la orilla de la bahía y se aprovisionaron 200 km de tubería de alta presión. Prácticamente todos los AWSS se instalaron antes de 1912. También existen más de 150 cisternas bajo tierra, cada una de ellas capaces de proporcionar agua para combatir incendios por 1 hora (3000 m3) que fueron instalados antes de 1915, como un sistema de apoyo a los AWSS.

Este sistema especial para combatir incendios cubría el cuadrante N-W de la ciudad, que era la sola porción de la ciudad urbanizada para entonces.

Desde esa época, la ciudad ha crecido, rellenando los otros cuadrantes. Para lograr un nivel satisfactorio de protección contra terremotos e incendios de las nuevas zonas urbanizadas, el Dpto. de Incendios de San Francisco (SFFD, por sus siglas en Inglés) esta implementado los siguientes programas:

— Análisis sísmicos y reforzamiento, si lo requieren, de las 55 instalaciones del SFFD, incluyendo las 41 estaciones de bomberos, las estaciones de bombeo de las AWSS, cuarteles generales, etc.
— Instalación de varios nuevos circuitos de tuberías en las AWSS para proporcionar mayor presión hidraúlica, redundancia en la red de los AWSS, etc.
— Construcción de 94 cisternas nuevas, en la parte de la ciudad, de reciente desarrollo.
— Actualización y mejora de los planes de emergencia de la ciudad y del SFFD.
— Implementación de 4 "Sistemas Portátiles de Abastecimiento de Agua" (PWSS, por sus siglas en inglés), constituído por camiones para combatir incendios cargados con mangueras de 1.6 Km y sus conexiones para incrementar la efectividad de los camiones y embarcaciones de bombeo.

Antes del terremoto de Loma Prieta, San Francisco tenía 4 sistemas independientes de abastecimiento de agua.

REFERENCIAS

1. **ASTANEH. A.** y otros "Preliminary Report on the Seismological and Engineering Aspects of the October 17, 1989 San Cruz (Loma Prieta) Earthquake". Vol. de 51 págs. Report Nº UCB/EERC-89/14. Octubre 1989.

2. **ASTANEH A., BERTERO V., BOLT B., MAHIN S., MOCHLE J., Y SEED R.** (1989), "Preliminary Report on the Seismological and Engineering Aspects of the october 17, 1989. Santa Cruz (Loma Prieta) Earthquake Report NO. UCB/EERC-89/14.

3. **BORCHARDT R.D., JOYNER W.O., WARRICK R.E. y GIBBS J.C.** (1975), "Responde of Local Geological Units to ground Shaking" U.S. Geological Survey Profesional Paper 941-A.

4. **BRADY, Gerald**, Comunicación personal.

5. **EISNER, Richard**. Comunicación personal.

6. **EQE Engineering Inc.** "The October 17, 1989 Loma Prieta Earthquake". A Quick Look Report Vol. de 39 págs.

7. **MALEY R., ASCOSTA A., ELLIS F., ETHEREDGE E., FOOTE L., JOHNSON D., PORCELLA R., SALSMAN M. y SIVITZER J.** (1989) U.S. Geological Survey Strong-Motion Records from the Northern California (Loma Prieta) Earthquake of october 17, 1989", U.S. Geological Survey Open-File Report 89-568.

8. **SEED, Raymond**. Charla en el Laboratorio Geotécnico de la UCB dada a un grupo de visitantes del Japón y Peru.

9. **SEED H.B. y SUN J.I.** (1989), "Implication of Site Effects in the Mexico City Earthquake of Sept. 19, 1985 for Earthquake - Resistant Design Criteria in the San Francisco Bay Area of California", Report UCB/EERC-89/03, University of California at Berkeley.

10. **SHAKAL A., HUANG M., REICHLE M., VENTURA C., CAO T., SHORBURNE R., SAVAGE M., DARRAGH R., y PETERSEN** (1989), "CSMIP Strong-Motion Records from the Santa Cruz Mountains (Loma Prieta), California Earthquake of 17 october 1989", Report No. OSMS 89-06, California Strong Motion instrumentation Program, California Department of Conservation, Division y Mines and Geology.