

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 Ruiz (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 Latinoamérica 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 relleno de 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, constituido por unas 22 manzanas distribuidas en un área casi cuadrada, con unas 5 cuadras con parte al mar, se ha construido 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. 3.8.

GEOLOGIC UNITS F. 4.1
UNIDADES GEOLOGICAS
CENTRAL SAN FRANCISCO BAY REGION

Grouped into Categories of Similar
 Susceptibility to Ground Shaking

- Extremely High Susceptibility
Extremadamente alta susceptibilidad
- Very High
Muy alta
- High
Alta
- Moderately High
Moderadamente alta
- Moderate
Moderado
- Moderately Low
Moderadamente bajo
- Low
Bajo
- Very Low
Muy bajo

Scale 1:25,000 (1 inch = approximately 2 miles)
 Developed by the Association of Bay Area Governments
 February 1967



Daños severos fueron observados en el oeste de Oakland y en Alameda, ubicados en el lado este de la bahía de San Francisco, constituido 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.

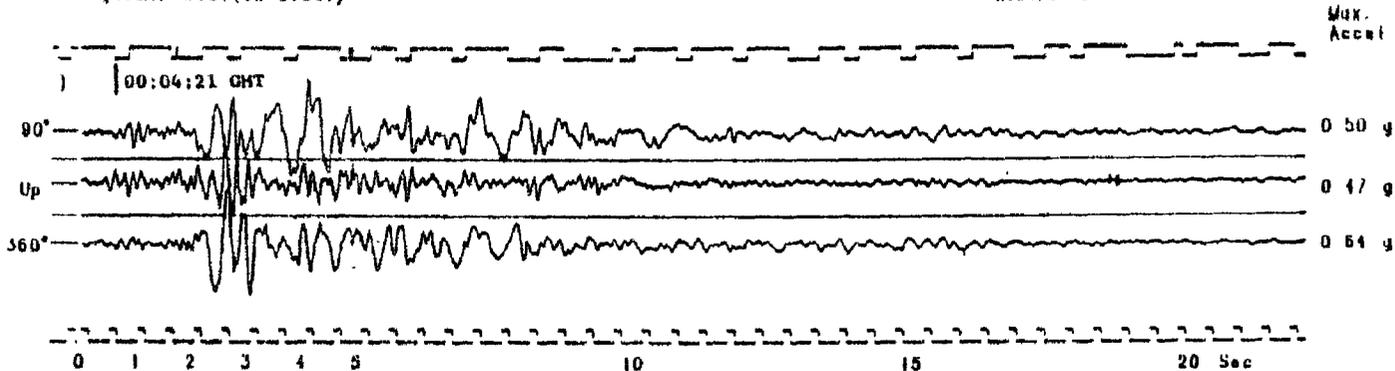
Se incluyen informaciones sobre algunos acelerogramas selectos para tener una idea de la relación entre aceleraciones pico, distancias epicentrales y características de suelos, tal como se muestra en la Tabla 4.1.

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)

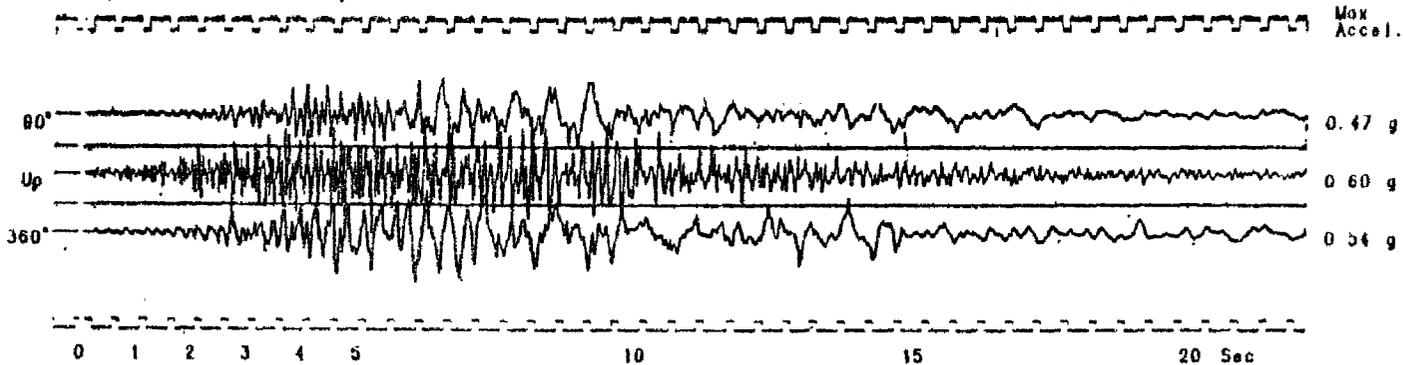
Corralitos - Eureka Canyon Rd.
(CSMIP Station 57007)

Record 57007-54809-89202.01



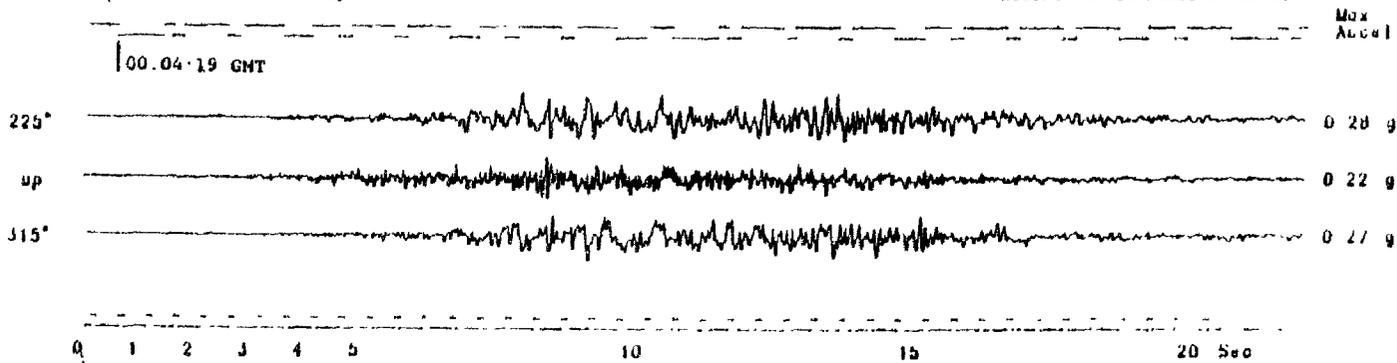
Capitola - Fire Station
(CSMIP Station 47125)

Record 47125-51670-89291.04



San Jose - Santa Teresa Hills
(CSMIP Station 57562)

Record 57562-00358-89283.01



Palo Alto - 2-story Office Bldg.
(CSMIP Station 58264)

Record 58264-00123-89292.02

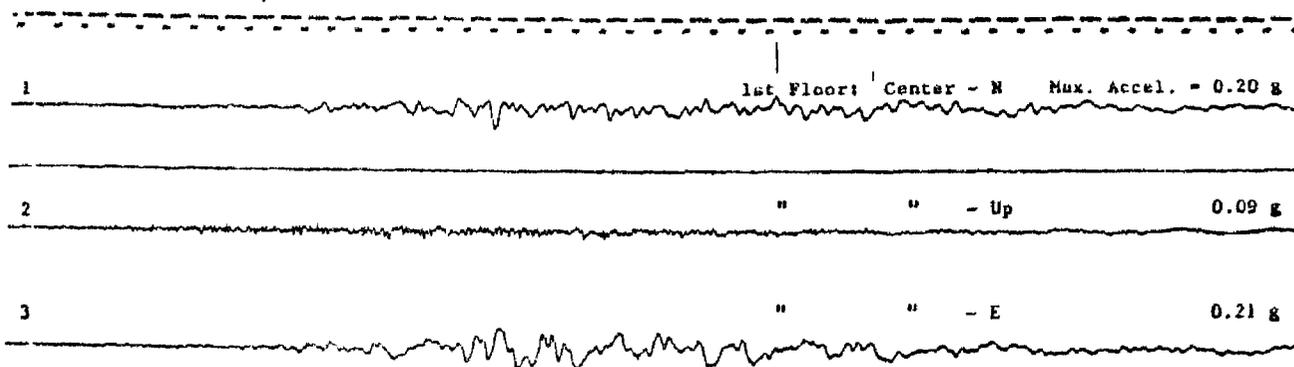
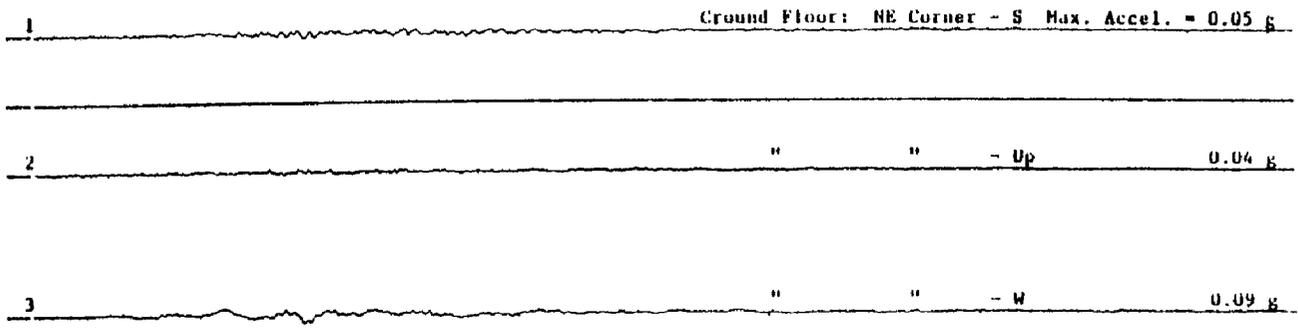


Fig. 4.3: Acelogramas selectos (Ref. 10)

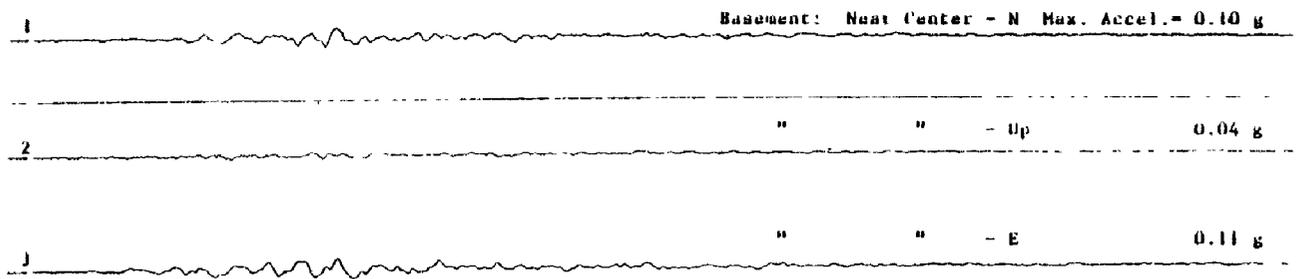
Redwood City 3 story School Office Bldg (concrete shear walls)
(CSMIP Station 58263)

Record 58263-C0110-89292 01



Belmont - 2-story Office Bldg (concrete shear walls)
(CSMIP Station 58262)

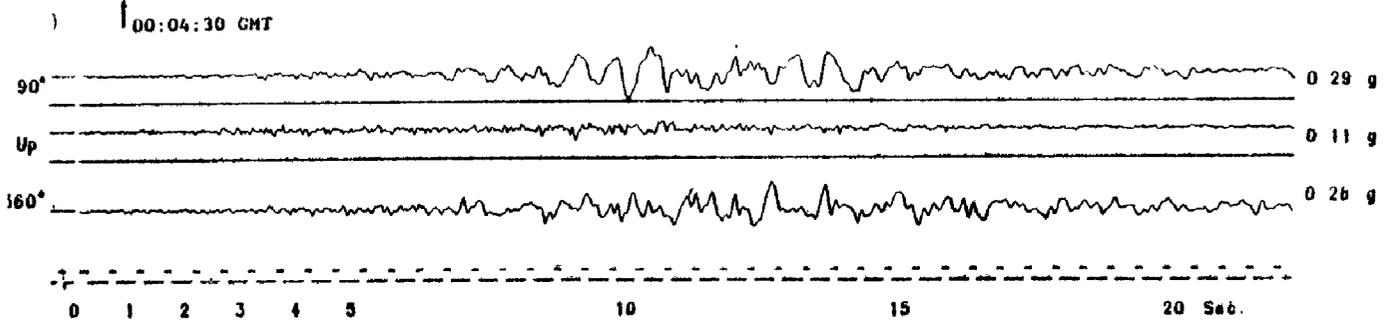
Record 58262-C0122-89292 01



Foster City - Redwood Shores
(CSMIP Station 58375)

Record 58375-S1819-89291 02

Max
Accel.



San Francisco International Airport - Service Bldg near Hwy. 101
(CSMIP Station 58223)

Record 58223-S1846-89291 02

Max
Accel.

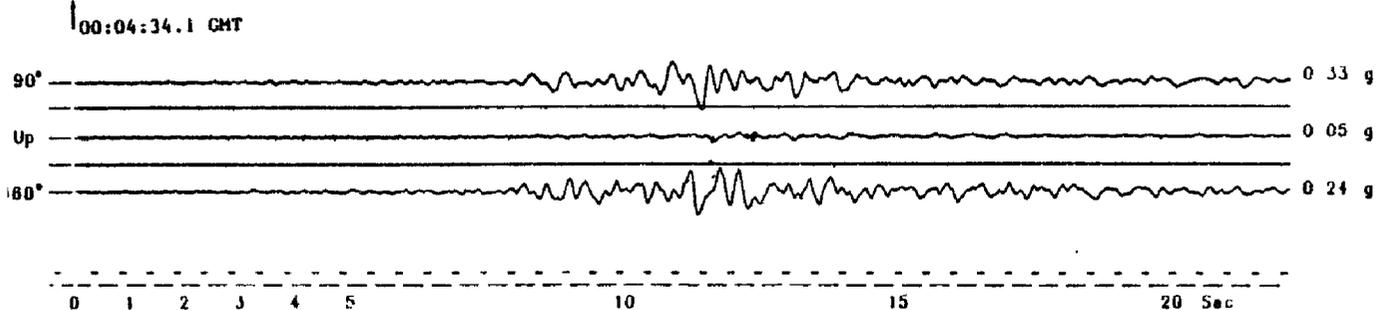


Fig. 4.3a: Acelogramas selectos (Ref. 10)

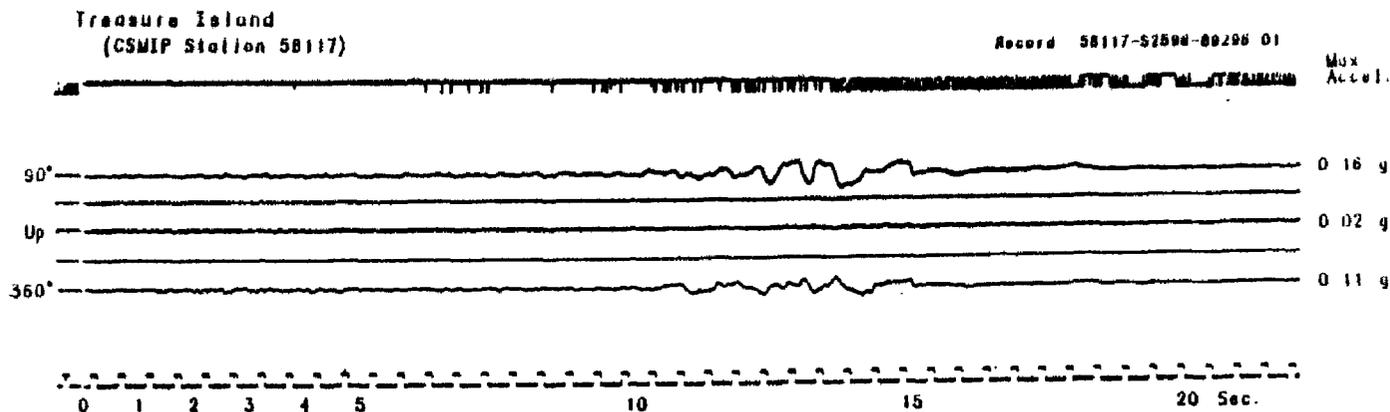
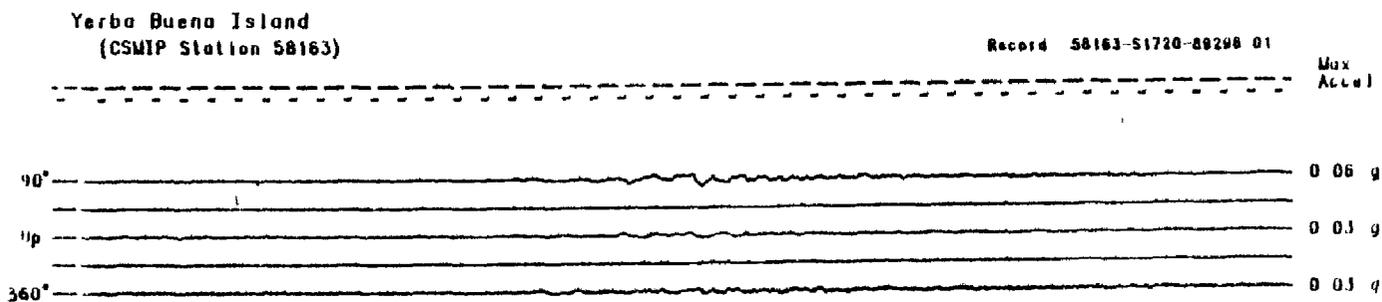
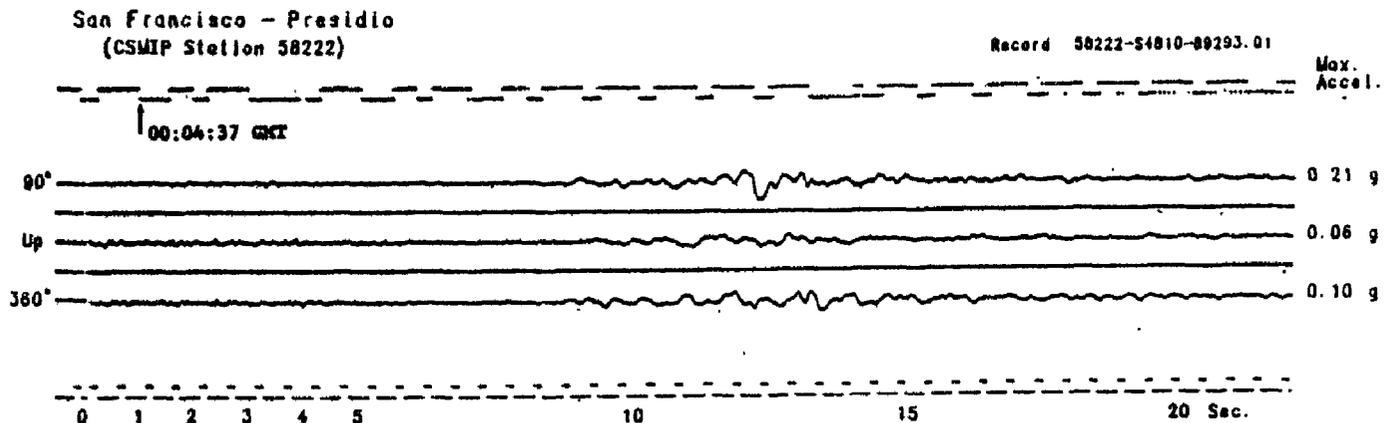
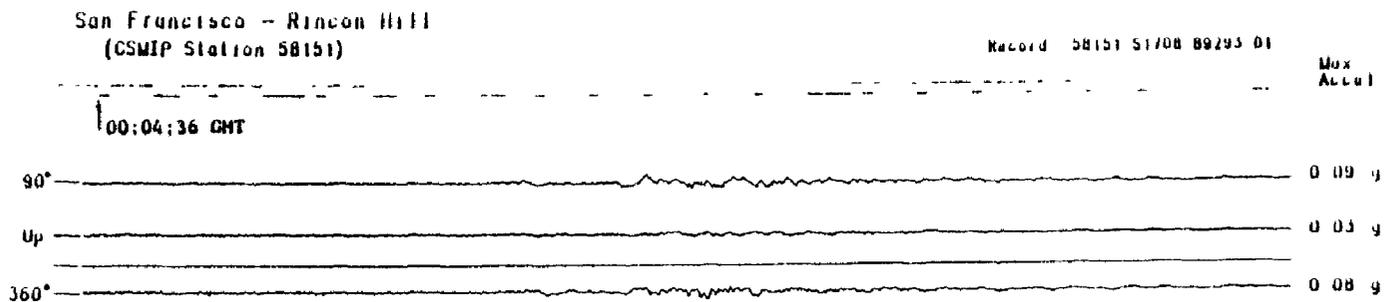


TABLA 4.1

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) Capitola	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) Reedwood 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

Notas: 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 87.12 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.

Podríamos 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 relleno. 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 Bahía 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. Después del Terremoto de San Francisco de 1906, el distrito de Marina fue construido sobre relleno de las arenas marinas de la Bahía 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 periodo 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 periodo 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).

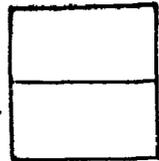
De las mediciones de microtrepidaciones, se obtiene que el periodo predominante es de 0.26 a 0.40 seg. (Fig. 4.7). Parece ser que alrededor de esta área, donde pudieron apreciarse casas colapsadas, las casas antiguas de antes de la década del 40 no están sobre suelos malos, pero se encuentran sobre colinas 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.

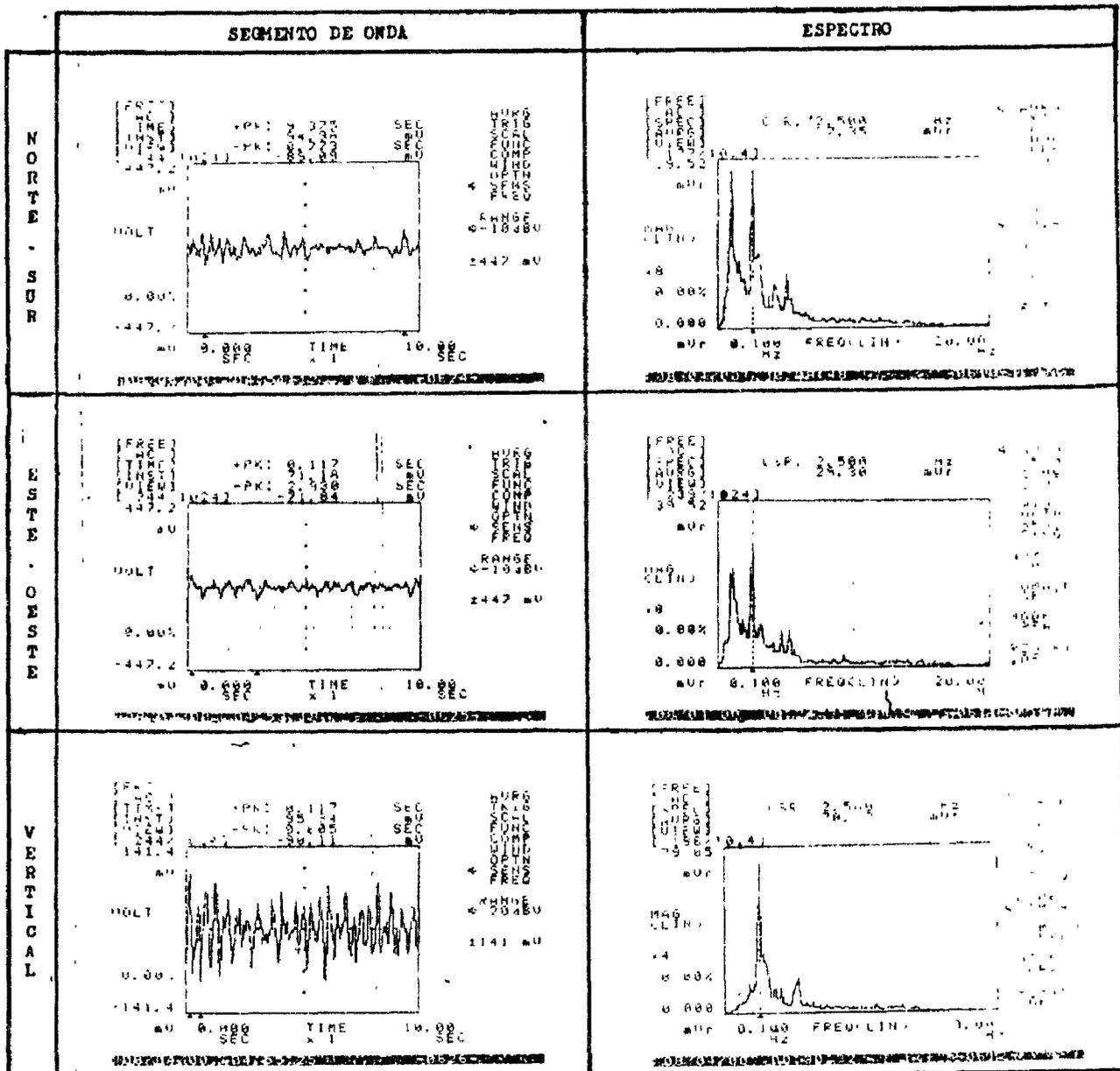
Los principales aspectos geotécnicos de las mediciones de microtrepidaciones efectuadas incluyen:

- 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.



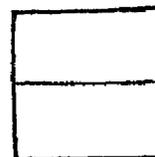
SEGMENTOS DE ONDAS Y ESPECTROS UTILIZADOS EN EL ANALISIS
PARA EL CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

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.R.
CLIMA :		LUGAR : Marina Park I.	
HORA :	CALIBRACION ; No hubo	MEDICION ; 100-140.	
OTROS : El modo está en desplazamiento con 36 dB de atenuación.			



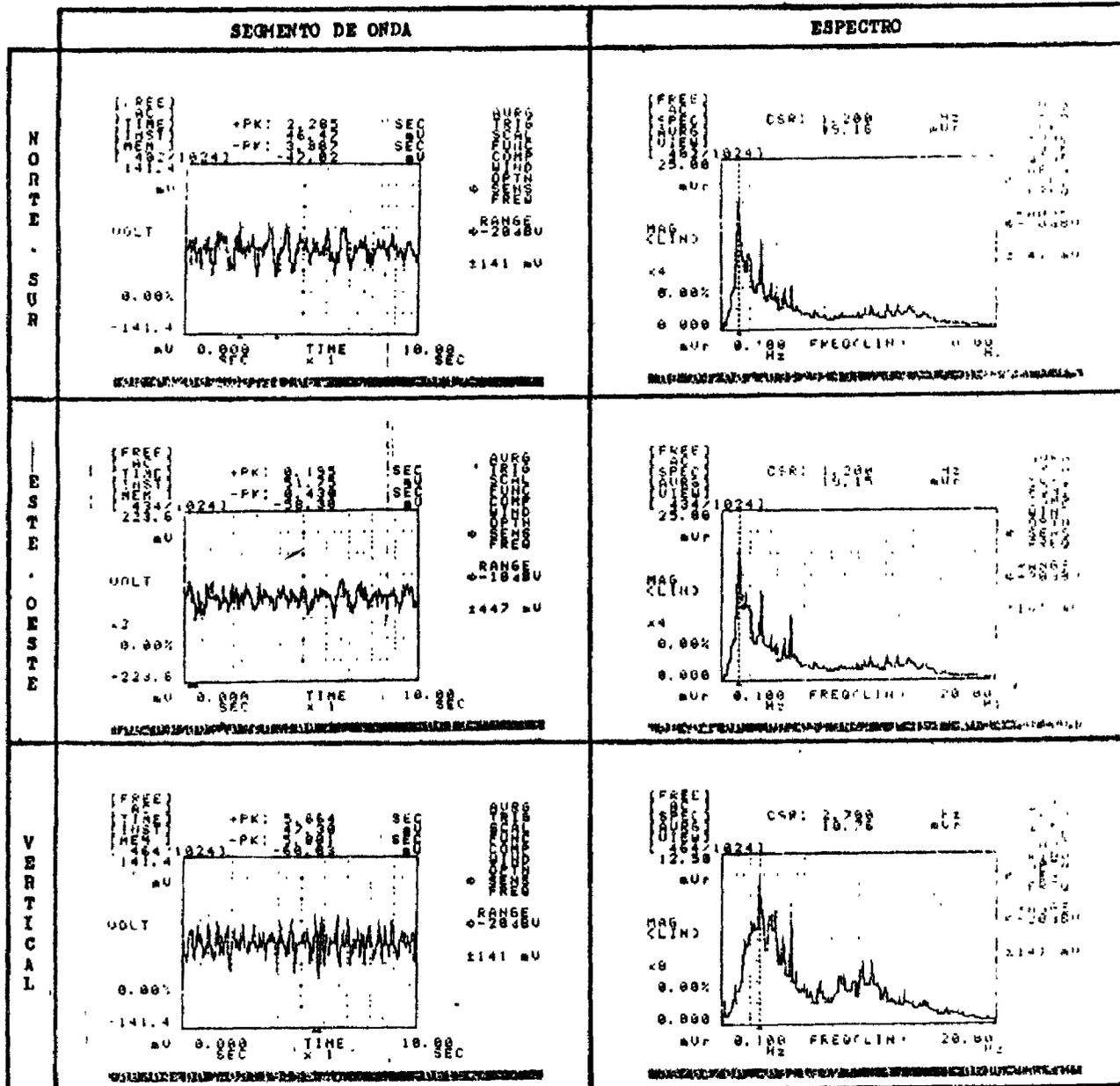
CONCLUSION ; De los espectros horizontales obtenidos, se aprecia que la frecuencia promedio es 2.5 Hz., lo que corresponde a un periodo fundamental de 0.40 ~ 1.00 seg.

Fig. 4.4: Resultados de Medición de Microtrepidación
(Parque de Marina I)



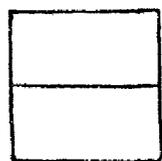
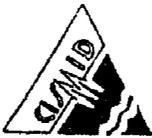
SEGMENTOS DE ONDAS Y ESPECTROS UTILIZADOS EN EL ANALISIS
PARA EL CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

PROYECTO ; MICROTREMIDACIONES EN LA CIUDAD DE SAN FRANCISCO			PUNTO DEFINIDO ; PM-02;
FECHA ; 12/11/89.	EQUIPO MICROTREMOR ; N° 1.	CASSETTE ; N° 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.			



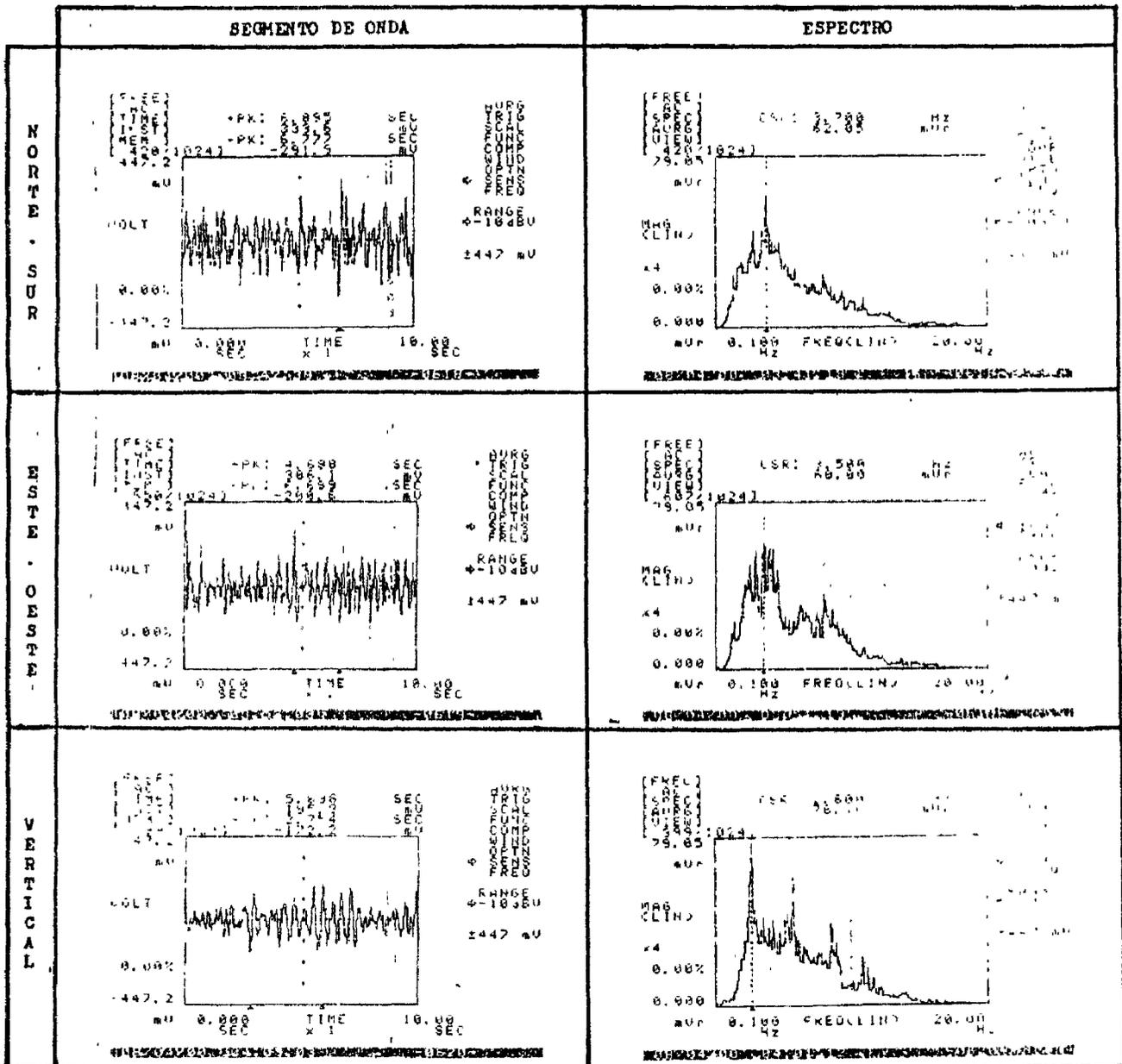
CONCLUSION ; Según los espectros horizontales, se tiene el periodo predominante es 0.83 seg

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



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 ; PH- 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.			



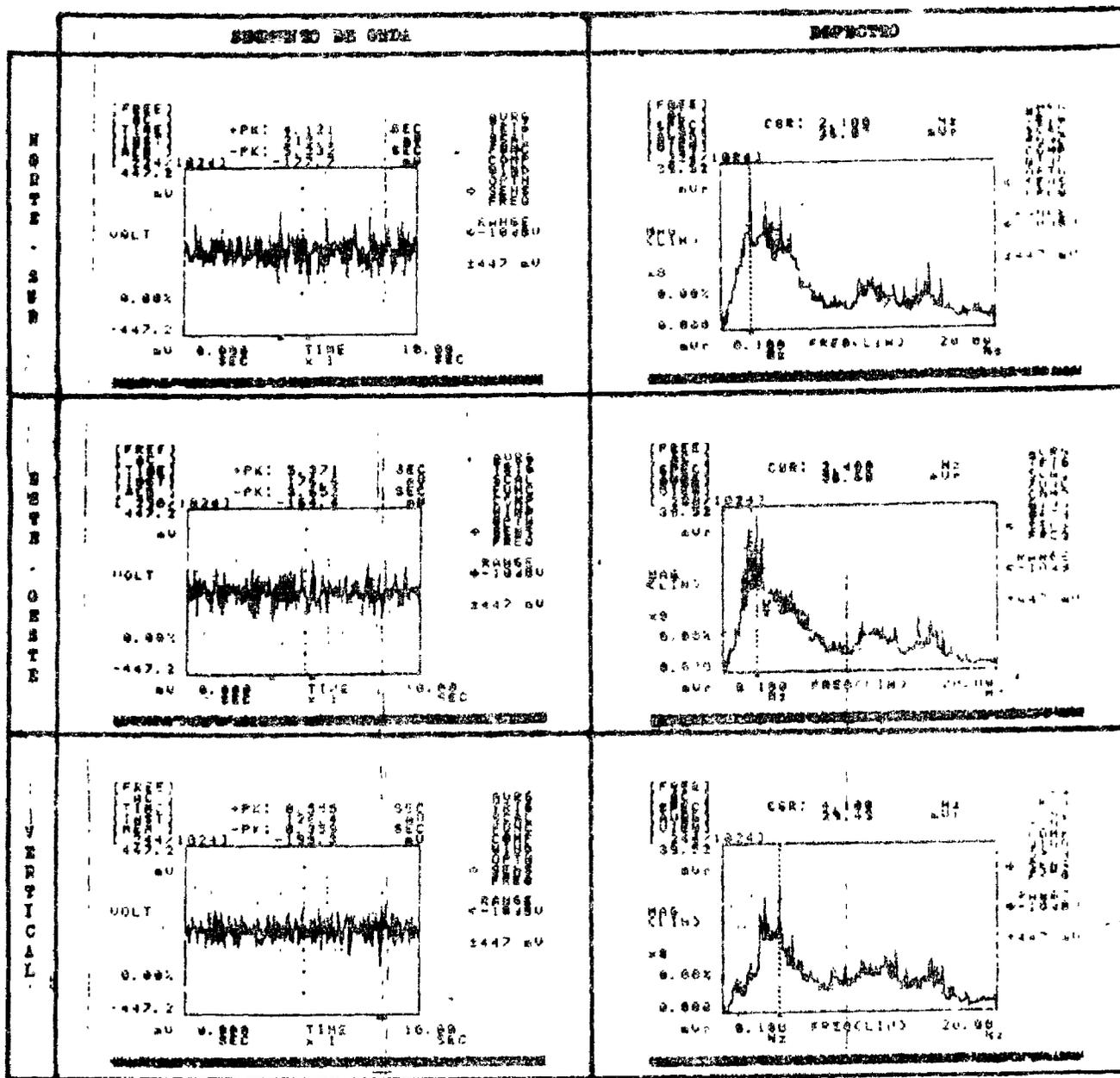
CONCLUSION ; De los espectros obtenidos, se observa que el periodo predominante es
0.25 ~ 0.40 seg

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



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

PROYECTO : MICROTRÉPIDACIONES EN LA CIUDAD DE SAN FRANCISCO			PUNTO REGISTRADO : PM- 04	
FECHA : 12 / 11 / 89	EQUIPO MICROTRÉPIDADOR : N° 1.	CASSETTES : N° 1.	OPERADOR : J. G. T. N.	
CLIMA :		LUGAR : Watsonville		
HORA :	CALIBRACION : No hubo	MEDIACION : 300-350.		
OTROS : El modo está en desplazamiento con 20 dB de atenuación.				



CONCLUSION : Según los espectros horizontales obtenidos, se tiene que período predominante es 0.26 + 0.48 seg

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