

5. REGLAMENTOS SISMICOS

5.1. Reglamento vigente al ocurrir el sismo.

Al ocurrir el terremoto de octubre de 1986 estaba vigente el Reglamento de Diseño Sísmico promulgado al 10 de enero de 1986 (8), -- que estaba inspirado en las Normas Sísmicas de Acapulco, México - (11).

Según dicho reglamento, la cortante en la base de los edificios - quedaba determinado por el producto C.D.W

Donde C, se da en la Tabla N° 6

TABLA 6

VALORES DE C

Tipo de Estructura	Zona 1*	Zona 2
1	0,12	0.06
2	0,24	0.12
3	0,30	0.15

* San Salvador se ubica en la zona 1

D, es un factor de reducción dado por la fórmula

$$D = \sqrt{C/X_c} \quad 0.6 \leq D \leq 1$$

Donde:

X_c (cm) = desplazamiento horizontal del centro de la gravedad del edificio, y

W = Peso del edificio, en Tn.

Los tipos de estructuras quedaban definidos de la siguiente forma:

- TIPO 1 Se deforma lateralmente esencialmente por flexión, tiene en la dirección que se analiza 2 ó más elementos resistentes a la -- fuerza cortante y los pisos son suficientemente rígidos para -- actuar como elementos diafragma.
- TIPO 2. Las fuerzas horizontales son tomadas esencialmente por elementos resistentes al corte, como por ejemplo muros de concreto -- armado.
- TIPO 3. Tanques elevados, chimeneas y construcciones con una sola co-- lumna o una hilera de columnas orientados perpendicularmente a la dirección que se analiza.

En el método elástico de análisis se permitía un incremento de los es-- fuerzos admisibles en madera y acero en un 50% y en concreto y albañile-- ría en 33%.

Por otra parte, en el análisis modal el coeficiente C resultaba modifi-- cado por un factor $a = 0.2/T$, donde T = periodo de vibración fundamental del edificio ($a \leq 1$)

Este espectro normalizado resulta demasiado brusco para el rango de pe-- riodos mayores que 0.2 seg. si se le compara con los espectros de acele-- raciones obtenidos de los acelerogramas registrados en San Salvador du-- rante el sismo de octubre de 1986.

Aunque existía la limitación de que el análisis modal no podía diseñarse con una cortante menor que el 40% que resultara del análisis estático para edificios aporticados de concreto armado de las características de los -- que fueron dañados, el coeficiente sísmico daría $0.12 \times 0.4 = 0.048$ que -- es demasiado bajo si se le compara con los niveles de aceleraciones regis-- trados en San Salvador durante el sismo del 10 de Octubre de 1986.

El espectro ($C \times 0.2/T$) puede ser adecuado para suelos muy rígidos y com-- pactos o roca, pero no para San Salvador donde en el estrato mas superficial predomina ceniza dacítica, que tiene varios metros de espesor cuyo periodo predominante varía entre 0.22 seg. cerca al volcán San Salvador, a 0.84 -- seg. ó más conforme nos acercamos al lago Ilopango.

5.2 Reglamento Sísmico de Emergencia

En noviembre de 1986, ASIA, Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos, publicó el Reglamento de Emergencia de Diseño Sísmico de la República de El Salvador (13), que se tradujo en una mejora-- sustancial del Reglamento Sísmico anterior.

Los cambios más significativos con respecto al anterior son:

- Espectro de diseño deducido de los espectros calculados de los sismogramas registrados en San Salvador durante el sismo del 10.10.86.
- Incremento de la cortante sísmica hasta en 50% de acuerdo al uso e importancia de las edificaciones.
- Necesidad de considerar los efectos de las aceleraciones verticales y los de aceleraciones horizontales en 2 planos ortogonales.
- Necesidad de estudiar las características del suelo para evitar que las fallas del mismo como: asentamiento, licuefacción, tubificación, deslizamiento, etc., provoquen fallas activas; y necesidad de estudios geológicos de la zona para estructuras especiales.

La manera de calcular las fuerzas sísmicas horizontales se presenta de manera resumida:

El coeficiente de diseño sísmico es definido como el cociente entre la fuerza cortante horizontal V en la base del edificio y el peso del mismo, W , sobre dicho nivel. En el peso W se incluye la carga viva. El coeficiente sísmico es el producto de los factores ICD , de tal manera que:

$$V = ICD \times W$$

Donde:

I = Factor de uso e importancia, dado en la Tabla 7.

Tabla 7 Uso de la Edificación (I)

GRUPO I	1.5
GRUPO II	1.3
GRUPO III	1.0
GRUPO IV	0.9

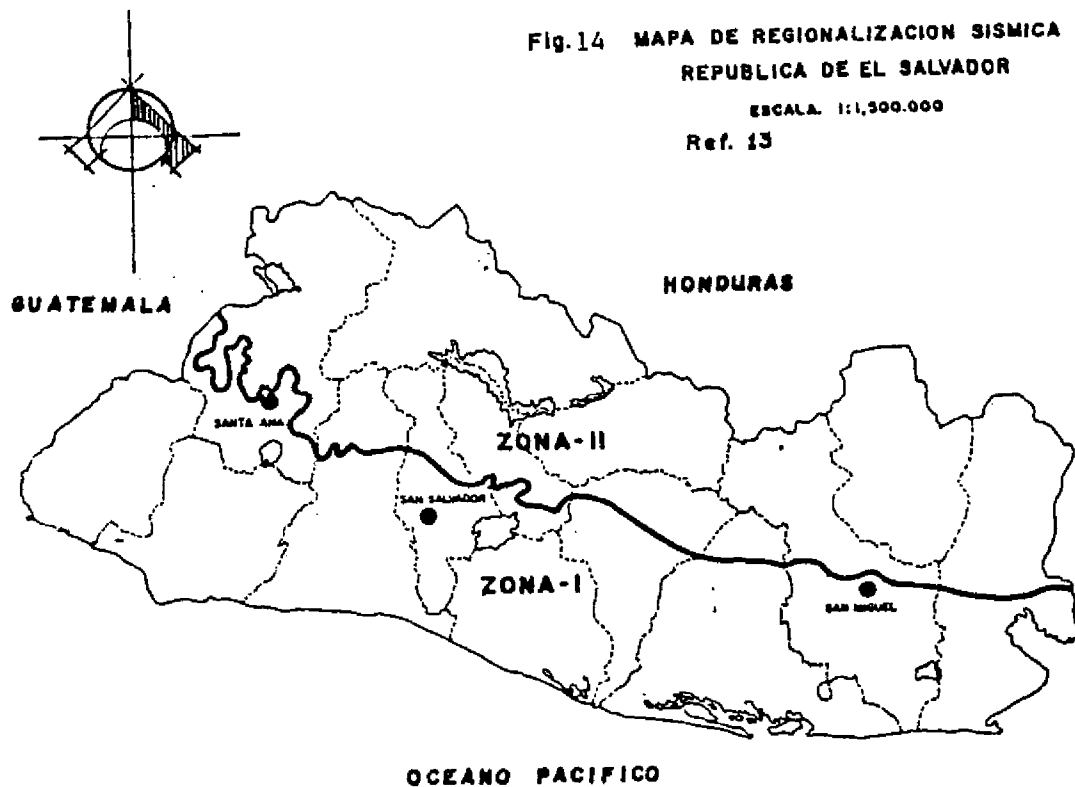
GRUPO I. Alojan instalaciones críticas necesarias para la recuperación después de un desastre, Ejemplo: hospitales.

GRUPO II. Tienen altos niveles de ocupación. Ejem.: colegios, edificios gubernamentales.

GRUPO III. Edificios no incluidos en I ni II. Ejemplo viviendas y oficinas.

GRUPO IV. Cuya falla no causa daños a personas ni daños materiales importantes.

El Coeficiente C , depende del tipo de estructuración y varía entre 0.12 para edificios con base de marcos de concreto reforzado, 0.10 para marcos de acero estructural, 0.19 para mampostería reforzada y 0.30 para sistemas aislados como tanques elevados y chimeneas.



Estos valores son para la zona sísmica I (Ver Fig. 14); para la II estos valores se reducen en 50%.

Existen varios otros tipos de estructuración con sus coeficientes respectivos, pero no se incluyen aquí porque sólo se pretende dar al lector -- una idea de los niveles del coeficiente sísmico.

Factor D

Dado por la expresión:

$$D = \frac{0.72}{T^{2/3}} \leq 1$$

T = Periodo elástico fundamental del edificio
en segundos.

5.3 Algunos comentarios al Reglamento de Emergencia.

El Reglamento Sísmico de Emergencia significa una mejora sustancial con respecto al Reglamento de 1966, sobre todo en lo que respecta al espectro normalizado ($a = 0.2/T^3$, a i) que parece fue tomado de las normas sísmicas de Acapulco, Estado de Guerrero, México- (de junio de 1962) que corresponde a otras características (roca y suelo firme en Acapulco versus tierra blanca de varios metros de espesor en el caso de San Salvador).

La expresión $0.72 T^{2/3}$ parece adecuada para la parte central de San -

Salvador a la luz de los acelerogramas registrados el 10/10/86, pero puede ser insegura para los estratos de tierra blanca más potentes que existen hacia el este de la ciudad, cerca al lago Ilopango. Es una lástima que el acelerógrafo instalado en las cercanías, en el extremo este de la ciudad, con código IUSA (Industrias Unidas S. A.), no funcionara durante el sismo del 10/10/86.

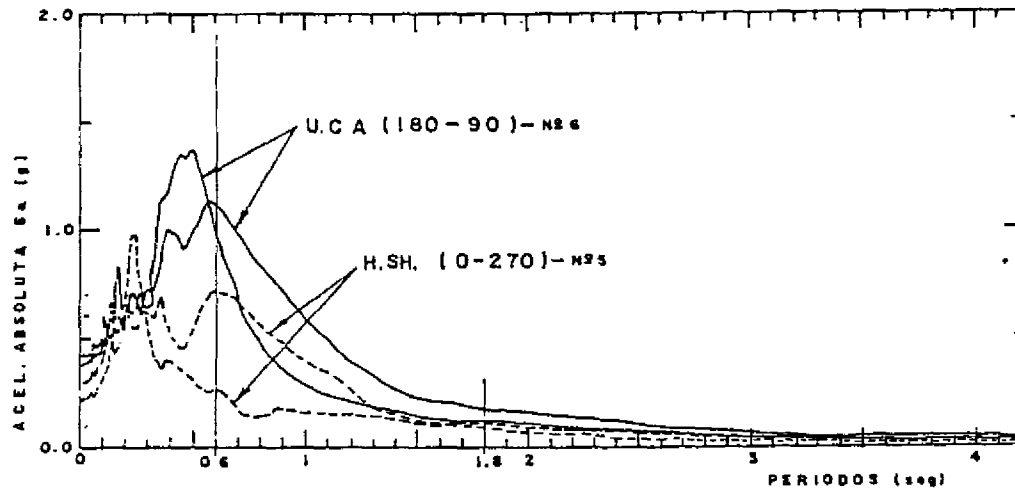
En todo caso, un solo espectro a ser usado a nivel nacional no es adecuado, pudiendo resultar conservador en unos casos, por ejemplo en roca ó suelo firme, o deficitario para ciertos rangos de periodos en estratos blandos de gran potencia.

A nivel nacional podría utilizarse tres tipos de espectros: para suelo firme, suelo intermedio y suelos blandos de gran espesor. Otro punto que podría mejorarse es la clasificación de los edificios de acuerdo al tipo de sistema estructural. Para un extranjero no familiarizado con la terminología local resulta confusa la tabla donde se dan los valores C.

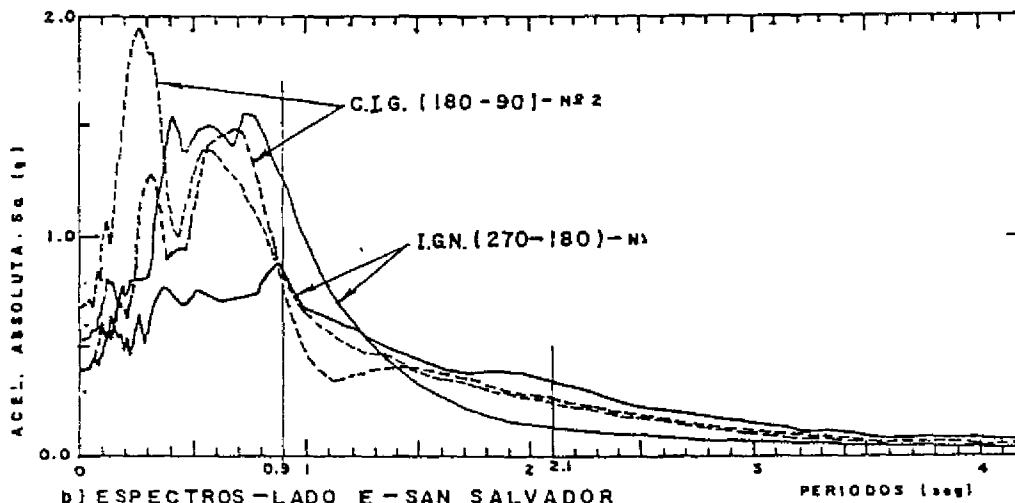
El expresar el espectro de diseño en función de la potencia de tierra parece ser prometedor para San Salvador.

En la Fig. 15c se presenta una familia de curvas que se propone preliminarmente para San Salvador, 2 de cuales fueron determinadas con la información registrada y procesada del sismo del 10/10/86, para el lado oeste de la ciudad Fig.15 a y el lado este Fig.15 b.; las otras son extrapoladas. Una vez verificada la hipótesis mencionada y registrados más acelerogramas en la zona de suelo rígido cercano al volcán San Salvador y la zona de suelo de gran potencia en las cercanías del lago Ilopango, los espectros se podrían reducir a 2 ó 3 para su aplicación práctica. De lo anterior se deduce que es recomendable instalar acelerógrafos adicionales en los extremos este y oeste de San Salvador y en las zonas donde se planifica extender la ciudad.

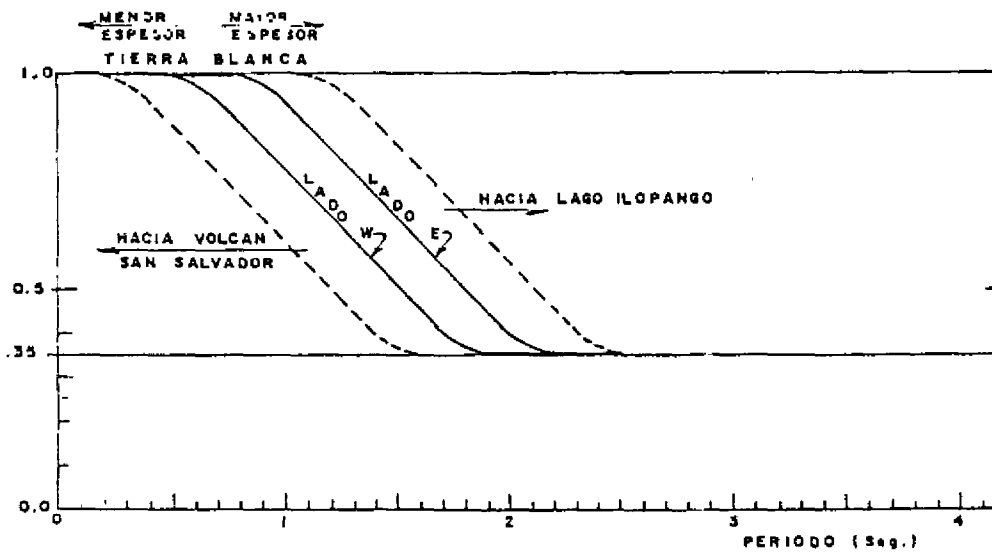
Hay que considerar que el Reglamento de Emergencia fue redactado en un tiempo muy corto, tendrá carácter transitorio y tendrá como máximo vigencia de 1 año.



a) ESPECTROS -LADO W- SAN SALVADOR



b) ESPECTROS -LADO E- SAN SALVADOR



c) PROPUESTA (PRELIMINAR) PARA SAN SALVADOR

Fig 15 ESPECTROS PARA SAN SALVADOR.

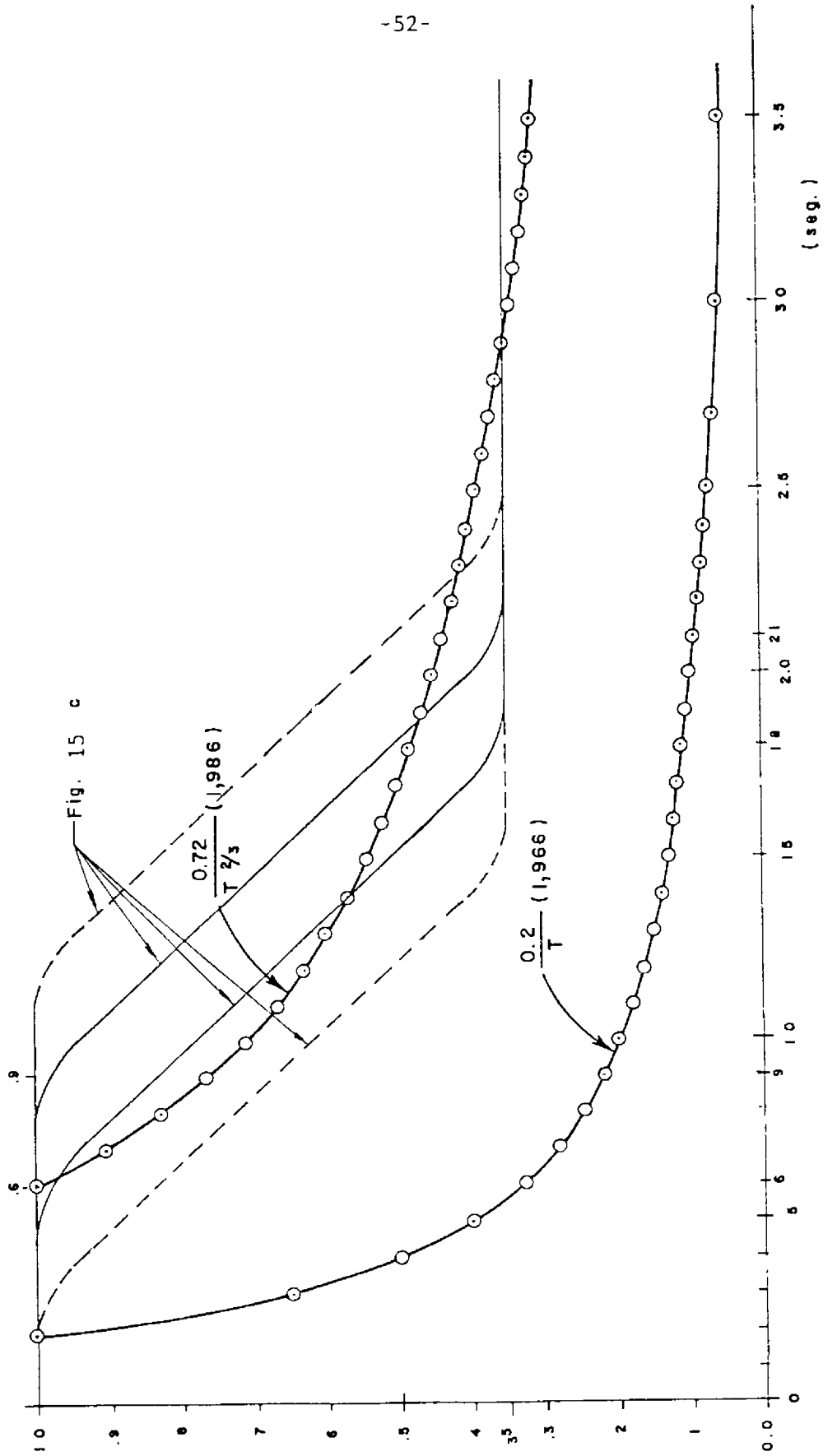


Fig.16 ESPECTROS NORMALIZADOS DEL REGLAMENTO DE 1,966, EL DE EMERGENCIA (1986) Y LAS CURVAS PRELIMINARMENTE PROPUESTAS PARA SAN SALVADOR.

Dado el alto nivel técnico de los ingenieros y arquitectos salvadoreños, varios de ellos con avanzados grados académicos obtenidos fuera de El Salvador, y sus experiencias de varios sismos recientes, se espera que el Reglamento de diseño sísmico definitivo que redactará ASIA, dará una adecuada protección contra sismos a las edificaciones que en el futuro se construyan en este país hermano.

6. CONSECUENCIAS ECONOMICAS Y SOCIALES DEL SISMO

Al ocurrir el sismo en octubre de 1986, el Salvador se encontraba sufriendo las consecuencias de un largo conflicto armado interno iniciado en 1979 y de la recesión producida por la baja de los precios de sus principales productos de exportación. Como consecuencia de estos factores, el poder de compra de las exportaciones en 1985 resultó 44% inferior al de compra de las exportaciones en 1979, la actividad económica decreció en 20% para el mismo período y el ingreso por habitante retrocedió a niveles existentes 20 años atrás.

En los primeros años del conflicto interno, se produjo una severa contracción económica, pero a partir de 1983, se pudo notar cierta recuperación con respecto a los años anteriores, por el esfuerzo del gobierno por ordenar las finanzas, y por la inversión del flujo de capitales, pues la fuga masiva de años anteriores se convirtió en ingreso, tanto por la ayuda y donativos, principalmente de Estados Unidos de Norteamérica, cuanto por la remisión de fondos por parte de salvadoreños que trabajan en el exterior. Esto se tradujo en un crecimiento del orden del 1% anual, lo que incrementó la demanda de ciertos artículos y la consecuente reactivación industrial.

A comienzos de 1986, los altos costos del café en los mercados internacionales y el programa de estabilización económica emprendida por el gobierno inducía cierto optimismo; sin embargo, el posterior derrumbe del precio del café, principal producto de exportación del país, y el sismo que causó pérdidas por unos US\$ 900 millones, trajeron abajo esas expectativas (1), (2)

Esta pérdida representa aproximadamente el 23% del producto bruto interno (PBI) de 1986; la destrucción del capital productivo fue superior al 10% de los bienes acumulados en el país y la disminución de la producción fue del 2% del PBI.

El precario equilibrio logrado en los años inmediatos anteriores al sismo, fue pues roto por las enormes pérdidas causadas en ese país por el terremoto.

El problema del alto índice de desocupación en San Salvador se ha-- visto agravado porque los mayores daños se han producido en el sector informal, tanto en la pequeña industria como en los medianos y pequeños co-- mercios, así como en los servicios, cuya actividad económica se desarro-- llaba en las propias casas habitación ubicadas en la zona antigua y en -- los sectores marginales de la ciudad, donde como ya se ha mencionado, los daños fueron más severos que en otras zonas.

Es de esperar que la estrategia que desarrolle el gobierno de El Salvador, las donaciones y préstamos del exterior, el esfuerzo de la actividad privada y sobre todo la participación de la población en las ta-- reas de reconstrucción, permita no solamente absorber la mano de obra de-- socupada, sino que reactivando industrias conexas a la construcción, con-- tribuyan al desarrollo sostenido de ese país, cuyos habitantes son consi-- derados por el resto de los latinoamericanos como los más diligentes y la-- boriosos de Centro América, quizás porque es un área de sólo 21,000 km² - donde viven cerca de 5 millones de habitantes lo cual lo hace uno de los - países más densamente poblados de la región.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sismo de San Salvador del 10/10/86 fue de carácter tectónico de origen local, con foco muy superficial, por lo que a pesar de su magnitud moderada, $M_s = 5.4$, causó altas aceleraciones en una zona poco extensa. Lamentablemente, el área afectada correspondió a la zona más desarrollada de El Salvador, como es su ciudad capital, causando severos daños a edificaciones de concreto armado, (entre 4 y 10 pisos sobre todo). y viviendas de bahareque. También se observaron daños importantes en los servicios públicos esenciales: agua, alcantarillado, energía eléctrica, sistema de telecomunicaciones y transporte. En total los daños ascienden a unos U.S.\$ 900 millones.

-Los daños en edificaciones de concreto armado se han debido, en la mayoría de los casos, tanto a la severidad de las vibraciones causadas por altas aceleraciones del terreno (0.6 s 0.7g), como a la coincidencia de los periodos de vibración del suelo y de los edificios (en la azotea del Hotel Camino Real, de 10 pisos, la aceleración registrada fue de 0.91g); también a defectos de estructuración como columnas cortas, excentricidad y mayor resistencia en una de las direcciones. Otras de las causas han sido: el debilitamiento de edificaciones causado por sismos anteriores y que no fueron reforzadas, como el Rubén Darío; reforzamiento parcial, como en los edificios de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad de San Salvador de 4 pisos, donde sólo fueron reforzados los 2 pisos inferiores y fallaron los 2 pisos superiores.

- En San Salvador no está muy difundido el uso de muros de concreto armado para tomar las cortantes sísmicas horizontales. Según la experiencia que se tiene en el Perú y otros países, estos muros son los elementos más efectivos para tomar la cortante sísmica en edificios bajos o de mediana altura (hasta de 12 a 14 pisos, como los hay en San Salvador).

Por lo expuesto, se recomienda usar muros de concreto armado dispuestos simétricamente en ambas direcciones, tanto en los proyectos de nuevos edificios como para reforzar edificios dañados por terremotos; debiéndose, en este último caso, tener especial cuidado en diseñar los elementos que transmitan el corte entre los elementos existentes y los nuevos muros.

- Los daños en las viviendas de bahareque se han debido principalmente al debilitamiento de los refuerzos de madera, causado por exposición repetida a humedad y secado. El bahareque tiene un comportamiento sísmico superior al adobe; de tal forma que si se mejora la estructura, se trata la madera y se la aísla de la humedad, este sistema constructivo podría seguirse utilizando. La quinchá modular prefabricada, sistema desarrollado en el Perú (14), puede ser útil en El Salvador por su alta resistencia sísmica (puede tomar G horizontalmente) y su bajo costo; además, como sistema constructivo, resulta ser un buen aislante térmico y acústico, es confortable y se logran con él buenos acabados.

- Las construcciones de albañilería, tanto de arcilla cocida como de bloques de concreto, en general tuvieron comportamientos bastante satisfactorios, dada las altas aceleraciones. Mayoritariamente se observaron daños en zonas de fachada, cuando éstas tenían una densidad de muros muy baja o cuando ocurrieron asentamientos o deslizamientos del terreno.
- En este caso se podría recomendar que en zonas de fachada donde predominan grandes aberturas (puertas y ventanas) y la densidad de muros es baja, los elementos resistentes sean de concreto armado.
- San Salvador está ubicado en una zona de alta sismicidad. En 450 años ha sido afectado por 33 sismos destructivos, 16 de ellos de intensidad VIII MM o más. En promedio, San Salvador ha sido sacudida con violencia 14 años.
- Considerando que la mayoría de sismos que afectan San Salvador se generan en los sistemas de fallas superficiales que cruzan su área metropolitana, es necesario plantear una política de descentralización para evitar un crecimiento excesivo de la capital, disminuyendo el riesgo a que serían sometidas millones de personas.
- Es recomendable además, buscar para su inevitable crecimiento localizaciones cercanas a San Salvador donde la amenaza sísmica sea menor, bien sea por la ausencia de fallas tectónicas o por buena calidad sísmica del subsuelo, o mejor si gozan de ambas características, que permitan ubicar a la futura población con menores riesgos. Un estudio de microzonificación, como el programa preparado por el gobierno de El Salvador con asistencia de HABITAT, puede ayudar a seleccionar las alternativas más favorables (15). El método de microzonificación propuesto está basado en la experiencia desarrollada después del sismo de Perú del 31 de mayo de 1970 (16) (17) (18).
- En los estudios de microzonificación que se ha recomendado para San Salvador, las investigaciones sobre la tierra blanca en lo que respecta a su espesor y características dinámicas deberán recibir preferente atención. Si se cuenta con mayores fondos que los que estaban disponibles al preparar la propuesta, el método de registrar microsismos con una red de sismógrafos que son activadas simultáneamente, puede ser un método rápido para determinar las respuestas sísmicas de las diferentes zonas de San Salvador. El equipo dirigido por el Dr. Brian Tucker aplicó con éxito este método para la zona de La Molina en Lima, Perú

- Análisis y estudios de la información existente indican que, la "tierra blanca" (ceniza dacítica) es el estrato más superficial que cubre San Salvador, influye en función de sus características, en especial de su espesor, en el contenido de frecuencias de los registros sísmicos, así como en la severidad de las vibraciones.
- Es necesario, pues, incrementar la información existente sobre dicha tierra blanca efectuando más estudios, e instalar acelerógrafos adicionales en las zonas de San Salvador donde los estratos son más potentes que unos 15 m, y en los lugares donde aflora roca y prácticamente no existe ceniza.
- El Reglamento Sísmico de Emergencia publicado por el ASIA en noviembre de 1986 ha significado una mejora sustancial con respecto al vigente al - ocurrir el terremoto del 10/10/86, sobre todo en el espectro sísmico, - pues el propuesto refleja las características de la mayor parte del área que actualmente ocupa San Salvador.
- Sin embargo, para el reglamento sísmico que se adopte pasada la emergencía, no es conveniente considerar un solo espectro a nivel nacional, pues en algunos casos puede ser excesivamente conservador y en otros deficitario para ciertos rangos de períodos.

REFERENCIAS .

1. MIPLAN. Ministerio de Planificación y Coordinación del Desarrollo Económico y Social. "EL Salvador, Terremoto del 10 de octubre de 1986, Evaluación de Daños y Política y Programas de Emergencia y Reconstrucción".
República de El Salvador, C.A., noviembre, 1986.
2. GOBIERNO DE EL SALVADOR & CEPAL. "El Terremoto de 1986 en San Salvador: Daños, Repercusiones y Ayuda Requerida".
LC/G. 1443 noviembre, 1986
3. Martínez, Maximiliano "Cronología Sísmica y Eruptiva de la República de El Salvador a partir de 1520" Departamento de Sismología, - Centro de Investigaciones Geotécnicas (GIG). Ministerio de Obras Públicas (MOP), El Salvador, 1980.
4. Dongo, G. "Estructura Geológica, Historia Tectónica y Morfológica de América Central" Centro Regional de Ayuda Tectónica AID, USA, 1968.
5. Alvarez, S. J. "Informe Técnico sobre Aspectos Sismológicos del Terremoto de San Salvador del 19 de Junio de 1982". Dpto. de Sismología, CIG, MOP. El Salvador 1982.
6. DURR, F. "Marco Geológico de El Salvador" Inf. N° 1 de Energía - Geotérmica. Servicio Geológico Nacional, pp 829, El Salvador, - 1960.
7. SCHMIDT, T. M. "The Geology of the San Salvador Area Basin for City Development and Planning " Natural Resources and Development. Germany, 1955
8. Ministerio de Obras Públicas. "Reglamento de Diseño Sísmico". República de El Salvador. Centro América.
9. LINARES, Roberto. "El Terremoto de San Salvador del 10 de octubre de 1986". 4o. Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente". San José, Costa Rica, 3-8 noviembre, 1986.
10. KUROIWA, J. y E. WINKOWSKI. Informe de Misión HABITAT - Centro de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. San Salvador,

- 27 de noviembre al 10 de diciembre de 1986. Documento preliminar, diciembre, 1986.
11. IAEE - International Association for Earthquake Engineering. EARTHQUAKE RESISTANT REGULATIONS AT WORLD - 1973 "Norms for Design of - Construction in Acapulco, State of Guerrero, Mexico" June 1962, - pp 262-269. Tokyo, April 1973.
 12. SHAKAL D.F., HUAN M.S., PARKE D.L. and R. LINARES* "Processed - Strong Motion Data from the San Salvador Earthquake of October 10, 1986". California Department of Conservation, Division of Mine and Geology. Office of Strong Motion Studies. Report OSMS 86-07 1986 (* Dpto. de Sismología, Centro de Investigaciones Geotécnicas, -- San Salvador).
 13. ASIA. Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos. "Reglamento de Emergencia de Diseño Sísmico de la República de El Salvador. San Salvador," noviembre de 1986.
 14. KUROIWA, J. "Prefabricated Quincha Construction". International Symposium on Earthquake Relief in Less Industrialized Areas Zurich - 28-30 March 1984.
 15. Gobierno de El Salvador & HABITAT "Microzonificación Sísmica de - San Salvador y su aplicación al Planeamiento Urbano para la Mitigación de Desastres". Documento de Proyecto. diciembre 1986.
 16. KUROIWA, J., E. DEZA, H. JAEN y J. KOGAN "Microzonation Methods and Techniques used in Peru". Memorias II Conferencia Internacional - de Microzonificación Sísmica, San Francisco, California, noviembre diciembre, 1978.
 17. Kuroiwa, J. "Simplified Microzonation Method for Urban Planning". - Memorias III Conferencia Internacional de Microzonificación Sísmica. Seattle, Wahington, junio - julio 1982.
 18. KUROIWA, J. "Physical Planning for Multi-Hazard Mitigation". Simposio Internacional de Riesgos Naturales y Provocados por el Hombre. Rimousky, Canadá, agosto 1986.