

iccet

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA
Serrano Galvache, s/n - 28033 Madrid - Apartado 19002 - Teléf. 302 04 40
ESPAÑA

**LECCIONES APRENDIDAS DE TERREMOTOS CATASTRÓFICOS
RECIENTES Y OTRAS INVESTIGACIONES**

**LESSONS LEARNED FROM RECENT CATASTROPHIC
EARTHQUAKES AND ASSOCIATED RESEARCH**

VITELMO V. BERTERO
Profesor de Ingeniería Civil
Universidad de California (Berkeley, USA)

PRIMERA CONFERENCIA INTERNACIONAL TORROJA 1989

Traducción y adaptación al Español de:
Maja Vasiljević
y
Luis Cabañas Rodríguez

n. 410-411

Madrid, noviembre 1992

VITELMO VICTORIO BERTERO

DATOS BIOGRÁFICOS

Fecha y lugar de nacimiento: 9 de mayo del 1923
Esperanza (Argentina).

Titulos universitarios: Ingeniero Civil (Rosario, Argentina; 1947).
Master (M.I.T., USA; 1955).
Doctorado (M.I.T., USA; 1957).

Actividad académica: Profesor de la Facultad de Ciencias Matemáticas (Rosario, Argentina; 1949-1953).
Profesor de Ingeniería Estructural (Univ. de California, Berkeley USA; 1960).
Director del Centro de Investigación en Ingeniería Sísmica (Richmond, California, USA; 1988).

Menciones honoríficas: Premio del Instituto Universitario di Architettura de Venezia (1965).
Miembro de la Academia de Ciencias de Argentina (1971).
Premio Jan Krishna (Indian Society of Earthquake Technology; 1974).
Profesor Honorario de la Universidad de Guayaquil (Ecuador; 1979).
Cátedra "Javier Barrios Sierra" (UNAM, Méjico; 1986).
Premio Raymond G. Reese (American Concrete Institute, USA; 1987).
Premio Moissieff (American Society of Civil Engineers, USA; 1987).
Medalla del Bicentenario de la Universidad de Los Andes (Venezuela; 1987).
Premio James F. Lincoln Arc Welding Foundation (USA; 1987).
Premio Ing. Enrique Butty (Argentina; 1988).
Miembro de la Academia de Ingeniería de Argentina (1989).
Medalla James R. Croes (American Society of Civil Engineers, USA; 1989).



Diploma Internacional Torroja (Instituto de Ciencias de la Construcción, Eduardo Torroja, CSIC, España; 1989)



PRIMERA CONFERENCIA
INTERNACIONAL TORROJA 1989



EL PRESIDENTE
DEL
CONSEJO SUPERIOR
DE
INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

y, en su nombre,
EL DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS
DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA

se complace en invitarle a la conferencia
LECCIONES APRENDIDAS DE TERREMOTOS
CATASTRÓFICOS RECIENTES
Y OTRAS INVESTIGACIONES

por
VITELMO V. BERTERO
Profesor de Ingeniería Civil, Universidad
de California (Berkeley, USA)

SALÓN DE ACTOS DEL CSIC. Serrano 117, MADRID
6 de noviembre de 1989, a las 18,30 horas

Prefacio

Esta Monografía recoge la Conferencia pronunciada en el Instituto de Ciencias de la Construcción "Eduardo Torroja" (ICCET), por el Profesor Vitelmo V. Bertero, en ocasión de la entrega a éste, del Primer Diploma Internacional Torroja, el 6 de noviembre de 1989. Esta distinción, de nueva creación en el ICCET, pretende ser el reconocimiento de la ciencia y la técnica españolas a aquellos investigadores que se distingan por haber impulsado de forma notable el estado del arte de la Ingeniería y Mecánica Estructural a nivel mundial. El Diploma se otorga alternativamente a investigadores hispano-parlantes y del resto del mundo, pudiendo proponer candidatos al mismo los Miembros Correspondientes del Instituto. El galardón va asociado con la Medalla de Oro anual que otorga el Centro y que conlleva la condición de Miembro Honorario del mismo. Las sucesivas Conferencias Torroja se publicarán íntegramente en el futuro en la serie de Monografías del ICCET, a razón de una por año en versión bilingüe (español-inglés).

Esta primera edición de la Conferencia Internacional Torroja versa sobre Ingeniería Sísmica de Estructuras, materia ésta de carácter multidisciplinar y en consecuencia muy acorde con el lema escogido por Don Eduardo para el Instituto que lleva su nombre: "Technicae Plures Opera Unica". Más aún, el tema específico elegido ("lecciones aprendidas de terremotos catastróficos recientes") pone de relieve, muy acertadamente, algunos de los dogmas de la Sismología moderna, como son el énfasis en la prevención (más que en la predicción) y la necesidad de definir el diseño estructural optimizando el binomio: máxima seguridad - mínimo costo, para una probabilidad no nula, de daños causados por un seísmo.

Es justo también resaltar la extraordinaria personalidad científica del galardonado, Profesor Bertero, maestro de toda una generación de ingenieros, discípulo y seguidor de Torroja y Nervi, y heredero como ellos de la fuente de inspiración que transforma las obras estructurales en auténticas lecciones técnicas. La inauguración con su persona de esta nueva iniciativa que acomete el ICCET nos honra y constituye por sí misma un feliz augurio para años venideros.

Rafael Blázquez
Director del Instituto de
Ciencias de la Construcción
Eduardo Torroja (CSIC)

ÍNDICE

	<u>Página</u>
PRÓLOGO	1
INTRODUCCIÓN	1
DESASTRE SÍSMICO POTENCIAL	1
El terremoto de Loma Prieta del 17 de octubre de 1989	2
Necesidad de preparación	2
OBJETIVOS Y ALCANCE	5
REPASO DE PROBLEMAS ESPECIALES ENCONTRADOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES	6
DIFERENCIAS ENTRE ANALISIS Y DISEÑO, Y ENTRE DISEÑO Y CONSTRUCCION. Terremoto de entrada: Especificación de terremoto de diseño y criterios de diseño	7
Estimación de exigencias fiables	8
Predicción de provisiones	8
Construcción y mantenimiento adecuados de edificios	9
FILOSOFÍA Y ESTADO DE LA PRÁCTICA DEL DISEÑO SISMORRESISTENTE	12
INTRODUCCIÓN	12
PROBLEMAS EN EL DISEÑO SISMORRESISTENTE	12
Filosofía general del diseño sismorresistente	12
Filosofía ideal del diseño sismorresistente	13
Códigos y normas de edificación en EE.UU	14
Filosofía del código	14
Historia de los códigos de diseño sísmico	14
1. Criterios sismorresistentes	14
2. Especificaciones del código para materiales	14
Criterios del Código de Diseño Sismorresistente de los EE.UU.: Estimación de exigencias	15
1) Estimación de fuerzas sísmicas	15
2) Estimación de la respuesta estructural a fuerzas sísmicas	17
Comparación de las provisiones actuales de los códigos sísmicos	18
Adopción y aplicación de los códigos de diseño actuales	18
LECCIONES APRENDIDAS DE TERREMOTOS CATASTRÓFICOS RECIENTES	18
INTRODUCCIÓN	18
EL TERREMOTO DE CHILE DEL 3 DE MARZO DE 1985	19
Movimientos del suelo registrados	19
(a) Registro de Llole	19
(b) Registro de Melipilla	20
(c) Movimiento del suelo en Viña del Mar	20
Efectos geotécnicos	23
Comportamiento de edificios modernos	23
EL TERREMOTO DE MÉXICO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 1985	23
Movimientos del suelo y espectros de respuesta en Ciudad de México	23
Duración del movimiento fuerte y desplazamiento máximo	26
Fallos en cimientos e interacción suelo-estructura	29
Resonancia suelo-edificio	29
Sistemas estructurales de edificios	31
Separación de edificios adyacentes [25]	31
EL TERREMOTO DE SAN SALVADOR DEL 10 DE OCTUBRE DE 1986 [26]	32
Movimientos del suelo registrados	32
Efectos geotécnicos	33

	<u>Página</u>
EL TERREMOTO DE WHITTIER NARROWS DEL 1 DE OCTUBRE DE 1987 [27]	34
Movimientos del suelo registrados	34
Registros de Bright Avenue 7215 en Whittier	34
Respuesta registrada en un edificio de hormigón armado de 10 pisos	35
Comportamiento de los puentes de autopista	37
EL TERREMOTO DE ARMENIA DEL 7 DE DICIEMBRE DE 1988 [27, 28]	37
Movimientos del suelo registrados	37
Efectos geotécnicos	38
Comportamiento de estructuras	38
EL TERREMOTO DE LOMA PRIETA DEL 17 DE OCTUBRE DE 1989	39
Lecciones aprendidas del terremoto de Loma Prieta del 17 de octubre de 1989	40
LECCIONES APRENDIDAS DE LAS INVESTIGACIONES RECIENTES	48
INTRODUCCIÓN	48
TERREMOTO DE ENTRADA: ESTABLECIMIENTO DE TERREMOTOS Y DE CRITERIOS DE DISEÑO	49
Información necesaria para el establecimiento fiable de terremotos de diseño	49
1) Información necesaria para el diseño de instalaciones esenciales	51
2) Información necesaria para estructuras e instalaciones que pueden tolerar cierto grado de daño	51
USO DE CONCEPTOS DE ENERGÍA EN DISEÑO SISMORRESISTENTE	52
VENTAJAS DEL USO DE CONCEPTOS DE ENERGÍA EN DISEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS	53
POTENCIAL DE DAÑO DE LOS MOVIMIENTOS DEL SUELO	53
Energía de entrada del terremoto, E_i	54
CONCLUSIONES SOBRE EL ESTABLECIMIENTO DE TERREMOTOS DE DISEÑO	57
LA IMPORTANCIA DE CONSIDERAR SIMULTÁNEAMENTE E_i , ESPECTROS DE DISEÑO INELÁSTICOS, Y E_H (INCLUYENDO μ_s Y NÚMERO DE PLASTIFICACIONES ALTERNADAS) PARA DEFINIR EL TERREMOTO DE DISEÑO EN NIVEL DE SEGURIDAD	59
Registro de San Salvador (SS) versus registro de Chile (CH)	59
REACONDICIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS SÍSMICAMENTE PELIGROSAS	61
INTRODUCCIÓN	61
REACONDICIONAMIENTO SÍSMICO DE INSTALACIONES PELIGROSAS	62
Selección de la estrategia adecuada	62
Directrices para seleccionar una estrategia eficiente	62
Selección de una técnica de reacondicionamiento apropiada y diseño final	62
APLICACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS Y DIRECTRICES DE LA PROPUESTA APROXIMACIÓN ENERGÉTICA AL REACONDICIONAMIENTO DE EDIFICIOS EXISTENTES	66
Reacondicionamiento sísmico del Edificio CPM	66
a) Estrategia	66
b) Técnica	66
CONCLUSIÓN	67
AGRADECIMIENTOS	68
REFERENCIAS	68

PRIMERA CONFERENCIA INTERNACIONAL TORROJA 1989
LECCIONES APRENDIDAS DE TERREMOTOS CATASTRÓFICOS RECIENTES
Y OTRAS INVESTIGACIONES

Vitelmo V. Bertero*

P R Ó L O G O

INTRODUCCIÓN. La mayor parte de las pérdidas humanas y económicas debidas a terremotos moderados o fuertes, son producidas por el deterioro o colapso de instalaciones que fueron presumiblemente preparadas (diseñadas y construidas) para proporcionar protección contra riesgos naturales, comodidad y bienestar. Esta declaración ha sido dramáticamente confirmada por terremotos recientes ocurridos en el mundo entero (Chile 1985, México 1985, San Salvador 1986, Whittier Narrows 1987, Armenia 1988 y Loma Prieta 1989). Por lo tanto, una de las maneras más eficaces de mitigar los efectos destructivos de los terremotos es mejorar los métodos existentes y desarrollar mejores métodos de diseño, construcción y mantenimiento de nuevas estructuras sismorresistentes, y de reparación y reacondicionamiento de las instalaciones existentes sísmicamente peligrosas.

En un esfuerzo por realizar tales mejoras, el conferenciante y sus colaboradores han llevado a cabo una serie de estudios, examinando los problemas encontrados en: 1) mejorar el diseño sismorresistente de nuevos edificios; 2) desarrollar aproximaciones más fiables de ese diseño; 3) desarrollar estrategias y técnicas más fiables de reacondicionamiento sísmico de estructuras peligrosas existentes. El estado del arte y el estado de la práctica del diseño sismorresistente y construcción de edificios, han sido revisados por el citado grupo, en sucesivas publicaciones [1-11]. La importancia de algunos de los problemas estudiados y mencionados en estas revisiones, ha sido confirmada recientemente por los movimientos del suelo registrados durante los terremotos previamente mencionados, en particular, los dos grandes terremotos de 1985 (3 de marzo en Chile y 19 de septiembre en México), el terremoto de Armenia de 1988 y el de Loma Prieta de 1989; por los resultados obtenidos del procesado de estos registros; por el comportamiento de estructuras, especialmente edificios y autopistas, durante estos y otros terremotos recientes; y por los resultados de estudios integrados, analíticos y experimentales, conducidos por el conferenciante y sus compañeros en Berkeley y por investigadores de otros lugares.

En estos estudios, el autor ha puesto énfasis en encontrar razones por las cuales ocurren las catástrofes sísmicas, y ha intentado determinar qué puede hacerse para evitar la repetición de tales desastres, o en pocas palabras, qué puede hacerse para reducir el riesgo sísmico en nuestras áreas urbanas. En este intento, conviene primero analizar las condiciones que producen la aparición de catástrofes sísmicas, y luego identificar qué está mal en nuestra actual aproximación a la reducción de riesgo sísmico y qué se puede hacer para mejorarla.

DESASTRE SÍSMICO POTENCIAL. Son cuatro las condiciones que determinan la aparición de una catástrofe sísmica. La primera es la magnitud del terremoto, puesto que un terremoto pequeño no inducirá una sacudida del suelo suficientemente fuerte para producir daños extensos. Segunda, la fuente del terremoto debe estar suficientemente cerca del área urbana porque, a largas distancias, el movimiento del suelo se atenuará por debajo del nivel requerido para inducir daños serios, aunque pueden ocurrir desastres sísmicos a distancias de la fuente considerablemente mayores de 160 a 240 km, que pueden considerarse las distancias máximas asumidas: las experiencias de los terremotos de México en 1957, de Caucete (Argentina) en 1972, y de México en 1985 demuestran que, bajo condiciones especiales, pueden producirse daños a distancias epicentrales incluso mayores de 500 km. Tercera y cuarta: el tamaño y distribución de la población, y el grado de preparación ante terremotos determinan, ambos, la posibilidad de catástrofe. Obviamente, la posible catástrofe es mayor cuanto más grande sea el terremoto y cuanto más cerca esté de un centro urbano; cuanto más numerosa sea la población, mayor el desarrollo económico y más bajo el nivel de preparación.

De lo antedicho queda claro que el riesgo sísmico no depende sólo de la sismicidad de la región, sino también de la densidad de su población, desarrollo económico y el grado de preparación. Por lo que a esto se refiere, la reducción del riesgo sísmico está llegando a ser más importante cada año. Incluso aunque la sismicidad permanezca constante, el rápido crecimiento de población y desarrollo económico, no están compensados con un aumento de preparación. Por ejemplo, en términos de población y desarrollo económico, la posibilidad de catástrofe sísmica en California, es ahora por lo menos diez veces mayor, que en el momento del terremoto de San Francisco en 1906. Un claro ejemplo del incremento de riesgo sísmico se obtiene al analizar lo ocurrido durante el terremoto de Loma Prieta.

*Profesor de Ingeniería Civil, Universidad de California (Berkeley, USA).

El terremoto de Loma Prieta del 17 de octubre de 1989. A pesar del hecho de que el número de heridos (alrededor de 3000), y en particular el número de personas que perdieron la vida (alrededor de 65), fueron sorprendentemente bajos, está claro tanto por las informaciones presentadas en los medios de comunicación, como por los aspectos sismológico e ingenieril del terremoto de Loma Prieta, presentados en un informe preliminar [12], que los efectos de este terremoto fueron no sólo devastadores, sino que también produjo tales daños, que le han hecho ser evaluado como uno de los desastres naturales más grandes en la historia de los EE.UU. Estimaciones de las pérdidas económicas debidas sólo a daños físicos (esto es, el coste de reponer instalaciones físicas (estructuras) dañadas) igualan los 8 mil millones de dólares USA en pérdidas, producidas por el Huracán Hugo hace unos meses. Otras consecuencias del terremoto que pueden afectar y afectarán a la población, son los "daños funcionales e indirectos". Los daños funcionales incluyen tensión psicológica y la interrupción de la rutina cotidiana, causados por el desorden funcional de las instalaciones urbanas. Los daños indirectos, generalmente significan la pérdida de oportunidades de trabajo o de negocios. Cuando estos daños se añadan a los daños físicos, las pérdidas excederán los 10 mil millones de dólares USA, en total.

Como se ha indicado en los medios de comunicación, las pérdidas económicas de la catástrofe del terremoto de Loma Prieta, serán del mismo orden que las del gran terremoto de San Francisco de 1906. Esto puede sorprender hasta cierto punto porque mientras la magnitud (M) del terremoto de San Francisco de 1906 fue estimada $M(SF) = 8,3$, la magnitud de ondas superficiales (M_s) del terremoto de Loma Prieta fue originalmente estimada $M_s(LP) = 6,9$ y luego corregida a 7,1. Por lo tanto, está claro que la energía, E_{LP} , liberada por este terremoto fue significativamente más baja que la energía, E_{SF} , liberada por el terremoto de San Francisco de 1906. De hecho,

$$\frac{E_{SF}}{E_{LP}} = 63 \quad (1)$$

Además, dado que el epicentro se encontraba a más de 90 km de Oakland y San Francisco (Fig. 1), este terremoto no puede considerarse propiamente, como un terremoto del Area de la Bahía. ¿Por qué entonces, fue la catástrofe de Loma Prieta de 1989 tan grande como la del terremoto de San Francisco de 1906?. ¿Significa la gran pérdida económica, que desde 1906 no hemos avanzado en nuestros conocimientos acerca del diseño y la construcción de estructuras sismorresistentes?. No, no es ese el caso. Aunque la ingeniería sísmica es una rama relativamente joven de la investigación ingenieril, los avances en este campo ya han tenido un papel significativo a la hora de reducir el riesgo sísmico, haciendo posible el diseño y la construcción de estructuras de ingeniería civil sismorresistentes (autopistas, puentes, presas, conducciones, instalaciones críticas, edificios elevados, etc.), y también mejorando la seguridad sísmica de la construcción en general.

Mejor aún, la respuesta puede encontrarse en las siguientes circunstancias. Primero: numerosos estudios han demostrado que la mayor y principal amenaza para la vida y la seguridad, debida a terremotos moderados y fuertes que ocurren cerca de áreas urbanas, la producen las estructuras peligrosas existentes. Existen muchas estructuras e instalaciones peligrosas en los EE.UU., porque muchos edificios se construyeron cuando la ingeniería sísmica estaba en su comienzo. Además, aunque los requerimientos de resistencia sísmica en los códigos de construcción han mejorado considerablemente y han llegado a ser más rigurosos, todavía los códigos actuales no son infalibles.

Segundo: el problema de las estructuras de ingeniería civil peligrosas ya existentes, se ha exacerbado notablemente con el continuo crecimiento de la población, urbanización, y desarrollo de industrias de alta tecnología en nuestras áreas urbanas. Estudios han demostrado que, en lo referente a población y desarrollo económico, la posibilidad de desastre en California actualmente es por lo menos diez veces mayor que en el momento del terremoto de San Francisco de 1906 [13]. El crecimiento de San Francisco y el concomitante aumento del riesgo sísmico están ilustrados en las fotos de la Fig. 2.

Necesidad de preparación. Los terremotos son inevitables, pero la ruptura de la falla que produce el terremoto no es, en sí misma, lo que mata a la gente ni provoca grandes pérdidas económicas. Lo que causa la mayoría de las heridas y pérdidas es la interacción entre los movimientos del suelo y el entorno construido. Por tanto, lo que se necesita es controlar la peligrosidad sísmica en nuestras áreas urbanas controlando este entorno. Para identificar cómo controlar el riesgo sísmico, es necesario definirlo. Según el glosario del Comité para el Riesgo Sísmico del EERI (Earthquake Engineering Research Institute) [14], el riesgo sísmico es "la probabilidad de que las consecuencias sociales o económicas igualen o excedan los valores especificados en un emplazamiento, en varios, o en un área, durante un tiempo de exposición especificado". Según Dowrick [15], el riesgo sísmico, es una consecuencia de la peligrosidad sísmica, como se describe en la siguiente relación:

$$\text{Riesgo Sísmico} = (\text{Peligrosidad Sísmica}) (\text{Vulnerabilidad}) (\text{Valor}) \quad (2)$$

La peligrosidad sísmica hace referencia a cualquier fenómeno físico relacionado con terremotos (ej. temblores,

sacudidas, fallos del terreno), que pueda producir efectos adversos para las actividades humanas. La peligrosidad sísmica, en cualquier emplazamiento o región, es consecuencia de la actividad sísmica local y su interacción con la vulnerabilidad del entorno construido. Se deben evaluar las respuestas (comportamientos) de sistemas enteros (suelo, cimientos, superestructura y componentes y contenidos no estructurales) de las instalaciones en el entorno construido. Vulnerabilidad es la cantidad de daño inducido por un grado dado de peligrosidad, expresada como una fracción del valor del objeto o instalación dañados. Entorno construido hace referencia a las diferentes instalaciones (preparadas o no sísmicamente) como edificios, sistemas de transporte y comunicación, presas o líneas vitales en general, y equipamientos que hayan sido construidos en un emplazamiento o área.

De las consideraciones anteriormente citadas, está claro que para controlar el riesgo sísmico, en cualquier emplazamiento dado, es necesario hacer una estimación de éste. Para ello es necesario lo siguiente:

- Primero, estimación de la actividad sísmica en el emplazamiento, lo que requiere la identificación de todas las fuentes de movimientos sísmicos que pudieran afectar al entorno construido, esto es, que pudieran potencialmente inducir peligrosidad sísmica (daño). Una vez identificadas las fuentes de actividad sísmica, y su diferente peligrosidad sísmica potencial, es preciso estimar si los terremotos serán eventos simples o múltiples, cuáles podrían ser sus magnitudes, sus períodos de recurrencia y las atenuaciones de las intensidades de sus movimientos con la distancia.

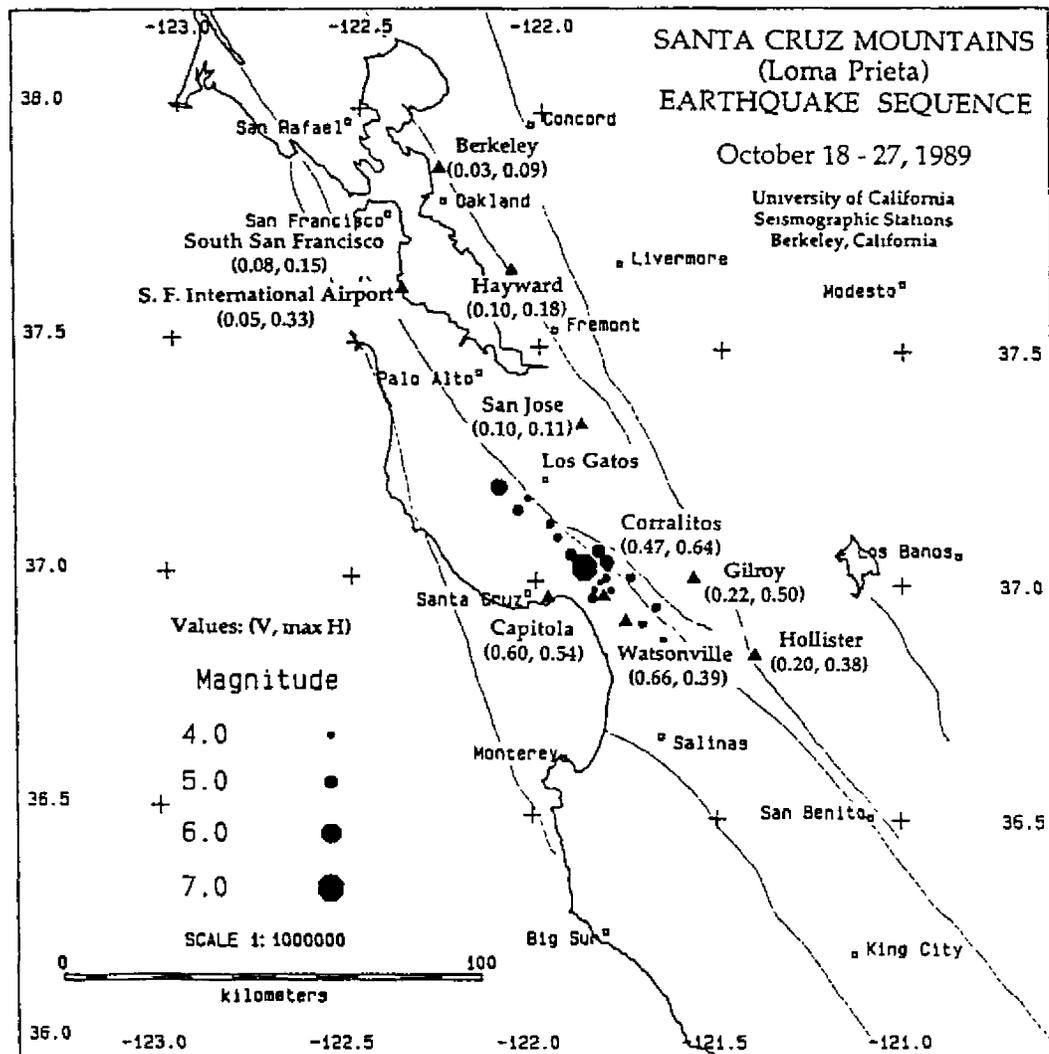
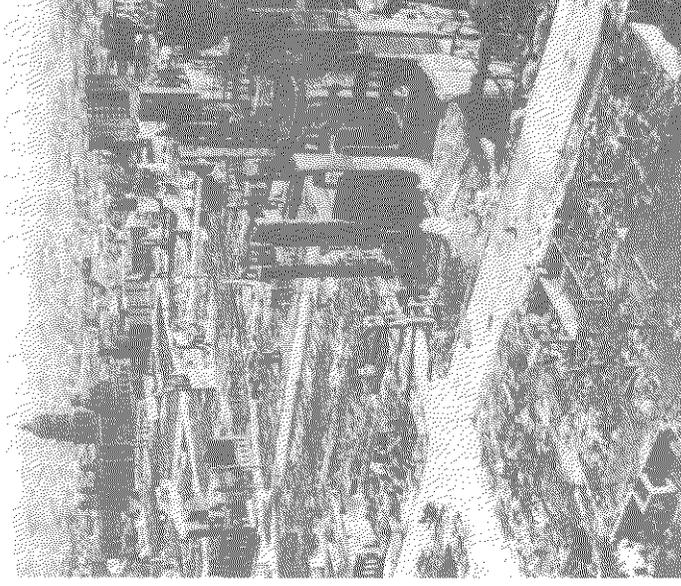


Fig. 1 —TERREMOTO DE LOMA PRIETA DE 1989: Localización del epicentro del seismo principal y de los secundarios. Se indican las aceleraciones pico verticales y horizontales en algunos puntos (Bolt [12]).



a) Inmediatamente después del terremoto de 1906.



b) Después del terremoto de 1906.



c) San Francisco hoy.

Fig. 2.—VISTAS DE SAN FRANCISCO.

- Segundo, predicción de si el terremoto que origina los movimientos del suelo podría provocar en las zonas del emplazamiento cualquiera de las siguientes fuentes de peligrosidad sísmica potencial: rupturas de falla en superficie, tsunamis, seiches, deslizamientos de tierras e inundaciones.
- Tercero, predicción de la historia temporal de las seis componentes del movimiento del suelo en el emplazamiento y en los cimientos de cada instalación.
- Cuarto, predicción de si los movimientos del suelo previstos pueden inducir fallos del terreno, es decir, licuefacción, asentos, subsidencia, compactación diferencial, pérdida de capacidad portante, expansión lateral, deslizamientos y/o reptación de tierras.
- Quinto, cálculo, para cualquier instalación dada, del comportamiento mecánico del sistema entero, sometida en los cimientos a las seis componentes de movimiento previstas, estimando el grado de daño y pérdidas, considerando la posibilidad de incendio, inundación y otras consecuencias o fuentes indirectas de peligrosidad sísmica.
- Sexto, evaluación de las consecuencias económicas de las pérdidas y el impacto socio-económico en la comunidad. Deberían ser estimados también los costes y beneficios de la modernización sísmica de instalaciones peligrosas existentes.

Un análisis de la necesidad de expertos, derivada de las evaluaciones requeridas indica que: 1) la estimación de la actividad sísmica debería ser conducida por geocientíficos (geólogos y sismólogos); 2) la predicción de posibles fuentes de peligrosidad sísmica debería ser conducida por geocientíficos e ingenieros geotécnicos; 3) la predicción de los movimientos del suelo, en el emplazamiento y en cimientos, debería ser conducida por geocientíficos e ingenieros geotécnicos en colaboración con ingenieros estructurales; 4) la predicción de fallos del terreno, inducidos por los movimientos del suelo en el emplazamiento, tiene que ser hecha por ingenieros geotécnicos; 5) la evaluación del comportamiento mecánico del sistema entero, para cualquier instalación dada, sometida a los movimientos previstos, requiere la colaboración de ingenieros geotécnicos, ingenieros especializados en cimentaciones, ingenieros estructurales, e ingenieros mecánicos junto con arquitectos y contratistas; y 6) la evaluación de las consecuencias económicas de las pérdidas y del impacto socio-económico en la comunidad requiere la colaboración de ingenieros, arquitectos, contratistas, economistas, funcionarios del estado y políticos. De este análisis, se deduce que la reducción y el control del riesgo sísmico en cualquier área urbana es un problema complejo, que requiere la integración de conocimientos y la colaboración de expertos en diferentes disciplinas.

Además, el problema de reducción del riesgo sísmico no se resolverá tan sólo adquiriendo los conocimientos requeridos a través de la investigación. La investigación debería ser acompañada por los desarrollos tecnológicos necesarios, y la implementación práctica de tales conocimientos y desarrollos. En otras palabras, lo que se necesita es una traducción de las experiencias actuales en ingeniería y arquitectura en opciones simples, que puedan dar respuesta a los intereses socio-políticos y económicos. Esto requerirá no sólo un acercamiento multi-disciplinar, sino también un amplio programa educativo, tanto para los propietarios y los futuros usuarios, como para todo tipo de públicos diferentes, que de una manera u otra participen en la realización de medidas de reducción sísmica. Este programa educativo debería enfatizar la importancia del nivel de preparación ante catástrofes sísmicas, incluyendo la preparación para incendios, control del pánico, etc.

Hasta ahora, el mayor énfasis se ha puesto en 1), intentar predecir terremotos basándose en aproximaciones probabilísticas y en 2) la adquisición de conocimientos sobre el comportamiento mecánico de diferentes instalaciones. Aunque estos temas son necesarios, la predicción por sí sola no resolverá los problemas. Lo que se necesita es mejorar la preparación del público ante un desastre sísmico. Existe la necesidad urgente de coordinar la adquisición, procesamiento, evaluación y síntesis de los resultados de investigación ya accesibles, y los conocimientos adquiridos a través de lecciones aprendidas en terremotos pasados. Estos conocimientos integrados se deben convertir en acción. Existe la necesidad de formar grupos multidisciplinares de investigadores, técnicos profesionales, usuarios, funcionarios del estado etc. que diseñen y aseguren la ejecución de políticas y estrategias fiables y convenientes para ayudar a reducir y controlar los riesgos sísmicos.

El autor cree que la información obtenida de recientes terremotos catastróficos, y de los resultados de investigación de los estudios llevados a cabo en Berkeley y en otros lugares, son importantes para todos aquellos que estén interesados en mejorar la mitigación del riesgo sísmico. La conferencia tiene los siguientes objetivos:

OBJETIVOS Y ALCANCE. El objetivo principal de esta conferencia es presentar un resumen de las características principales de recientes terremotos catastróficos, poniendo énfasis en las lecciones aprendidas una y otra vez, a través del estudio de estos terremotos, y luego evaluar y discutir la importancia de estas lecciones y de los resultados de las investigaciones dirigidas hacia la reducción y control del riesgo sísmico, en nuestras áreas urbanas. Se subrayan tanto la importancia de lo que se ha aprendido, con respecto al estado del arte y de la práctica en el diseño sismorresistente y construcción de nuevas estructuras, en particular edificios, como en el desarrollo de estrategias y técnicas eficientes, de modernización sísmica de estructuras peligrosas existentes. Finalmente, se proponen nuevas aproximaciones, para perfeccionar el estado de la práctica del diseño sismorresistente de nuevas estructuras y el