

RIESGOS URBANOS

(3)

Este libro contiene los materiales más relevantes del tercer curso sobre Riesgos Urbanos "USO DEL SUELO Y RIESGO SÍSMICO", realizado en San Salvador del 6 al 13 de abril de 2005, que organizaron el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) y el Departamento de Organización del Espacio (DOE).

Contando con el apoyo financiero y técnico del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

© DOE-UCA

Edición: Alicia Tenze - Lizeth Rodríguez

Portada: Lizeth Rodríguez

Lo que debemos aprender a través de experiencias pasadas en los desastres por terremotos y otros desastres naturales

Kazuoh Seo

Traducción: Walter Salazar

1. Confusión y orden en la sociedad durante los desastres por terremotos – desde el terremoto de Kanto de 1923 hasta el terremoto de Kobe de 1995, y....?

1.1 Introducción

EN ESTA sección, se realiza una reseña histórica sobre los terremotos que han causado serios daños a la población japonesa. Antes de introducir ejemplos específicos, la manera como nos debemos preparar para futuros terremotos es mostrada en la Figura 1. Siempre existe una incertidumbre de cómo debemos prepararnos para futuros terremotos, por tanto, se necesita preparar estrategias y medidas de mitigación siempre basándose en experiencias pasadas. Esto es como un círculo entre experiencias pasadas y medidas futuras. Si se desea una excelente preparación, se necesita entender las bases y/o las características de nuestra sociedad incluyendo tanto las condiciones naturales y la relación entre muchos campos de investigación.

La Figura 2 muestra la distribución de recientes desastres naturales en el Japón, tanto para terremotos, lluvia, tifones o erupciones volcánicas.

Un famoso físico japonés llamado Dr. Torahiko Terada (1878-1935) introdujo una filosofía sobre la ciencia de los desastres naturales. Su famosa frase era: "Otro desastre nos ataca después que hemos olvidado el último", la cual se basaba en consideraciones de muchos trabajos de campo.

Hubo una importante controversia de un futuro terremoto en Tokio entre dos sismólogos. El Dr. Akitsune Imamura, Profesor asociado de la Universidad Imperial de Tokio (actualmente la Universidad de Tokio), predijo que un gran terremoto podría golpear Tokio en los próximos 50 años, y que las víctimas serían más de 100,000 debido a los incendios. Todos los ciudadanos entraron en una gran confusión ya que el Dr. Imamura publicó su predicción en una revista popular del

Japón. Dr. Fusakichi Omori, la autoridad japonesa en sismología y Profesor de la Universidad Imperial de Tokio inmediatamente negó estas predicciones para evitar el pánico en la ciudadanía. Pero el terremoto predicho ocurrió en 1923 dieciocho años después que el Dr. Imamura presentó su primer reporte. La pregunta es cómo el Dr. Imamura pudo realizar una predicción tan precisa a pesar de existir en ese tiempo una sismología tan pobre.



Figura 1. Características de la sociedad, incluyendo tanto las condiciones naturales y la relación entre diversos campos de investigación.

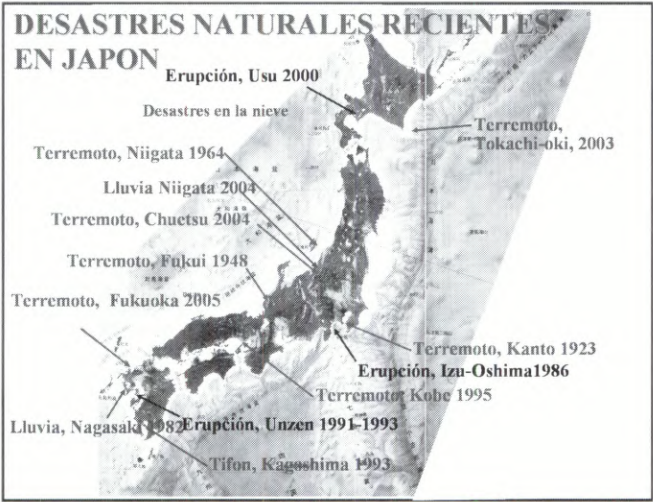


Figura 2. Mapa de ubicación de las ciudades japonesas que han sufrido desastres recientemente.

1.2 La experiencia del terremoto de Kanto de 1923.

El terremoto de Kanto con una magnitud de 7.9 ocurrió dos minutos después del mediodía, el día 1º de Septiembre de 1923. Existen muchas publicaciones y fotos describiendo la condición catastrófica en Tokio (Figura 3). Hay muchas publicaciones científicas y técnicas sobre aspectos sismológicos, geológicos, geotécnicos e ingenieriles en detalle. Por tanto, es posible reconocer el mecanismo de la fuente y la distribución de daños en este evento. El principal problema fue el fuego justamente después del terremoto. Un científico en la Universidad de Tokio realizó un levantamiento preciso sobre el esparcimiento de los incendios en la ciudad. Las zonas centrales de Tokio y Yokohama fueron completamente destruidas por el fuego y un total de 140,000 personas murieron. En aquel tiempo, la población de Tokio era aproximadamente de 2 millones de personas. Existían sismómetros mecánicos en la Universidad Imperial que registraron el movimiento fuerte durante el terremoto, pero ninguno de ellos pudo registrar la sacudida completamente. La intensidad en Odawara, Fujisawa, Kamamura, Tokosuka en la Prefectura de Kanagawa, y Tateyama en la Prefectura de Chiba fue de 6, la cual corresponde a la máxima intensidad en la escala japonesa. La proporción total de casas colapsadas entre el total de viviendas habitadas fue más del 50% en estas áreas. Esta proporción fue del 30% en Yokohama y menos del 10% en Tokio.



Figura 3. Condición catastrófica de Tokio después del terremoto de Kanto en 1923.

1.3 La experiencia del terremoto de Fukui de 1948

Un terremoto de carácter superficial ocurrió justo por debajo del valle de Fukui en 1948, después de tres años de la segunda guerra mundial. La población japonesa justamente estaba recuperándose de las ruinas de la guerra. El movimiento del suelo ha sido estimado con una aceleración máxima de 0.6 g, y fue tan fuerte que la ciudad de Fukui fue completamente destruida como se muestra en la Figura 4. Justamente después del terremoto, el gobierno evaluó la proporción de casas colapsadas y casas habitadas con un total del 100% en la mayoría de lugares en el valle de Fukui. Posteriormente, el Instituto de Arquitectura del Japón re-evaluó esta proporción de daños, ya que el 100% parecía ser demasiado grande. Pero se encontró una tendencia similar, aunque el 100% fue sustituido por el 80%. Cabe destacar que el efecto de sitio aparece como un factor importante en este terremoto, ya que el mayor daño ocurrió solamente en la zona de suelos blandos del valle. No hubo casas colapsadas en las afueras del valle. Después del terremoto, trabajos de campo geodésicos confirmaron el movimiento lateral de desgarre en el mecanismo del terremoto. El terremoto de Fukui también se caracterizó por grandes incendios en la región central de la ciudad.



Figura 4. Terremoto de la ciudad de Fukui, 1948. La ciudad fue completamente destruida.

1.4 La experiencia del terremoto de Niigata de 1964

Un terremoto de magnitud 7.5 ocurrió en el Mar del Japón, aproximadamente a 60km de la ciudad de Niigata. Se le llamó el terremoto de Niigata, ya que el daño en esta ciudad fue muy grande a pesar de la lejana distancia de ésta al epicentro. Una característica especial de este terremoto fue el fenómeno de licuefacción en arena suelta a lo largo del Río Shinano, la cual produjo el volcamiento de estructuras de concreto armado, falla en puentes, flujos de lodo e inundaciones. Grandes reservorios de aceite se incendiaron después de un comportamiento de chapoteo debido a movimientos de largo período. Como puede verse en la Figura 5. Una mujer fue rescatada satisfactoriamente de la azotea de un edificio el cual se había volcado sin sufrir ningún daño ya que éste volcó muy lentamente después de la sacudida fuerte. También, en este caso se encontraron daños severos para condiciones de suelos blandos a lo largo del río. El centro de la ciudad de Niigata que fue desarrollado hace mucho tiempo, solamente sufrió daños leves.

1.5 Observaciones en base a estas experiencias

Revisando estas experiencias, podemos destacar aspectos importantes para los futuros desastres por terremoto. El punto es cómo podemos cambiar la situación de pánico y confusión para establecer un orden durante y/o después de una catástrofe. Las lecciones aprendidas en desastres de terremotos pasados son muy importantes y útiles para la preparación futura y tomar las medidas necesarias para mitigar los daños. Pero se deben revisar cuidadosamente los antecedentes históricos, las condiciones económicas, las condiciones naturales y sociales de cada experiencia individual en el pasado ya que podrían ser distintas de una experiencia a otra.



Figura 5. Terremoto de Niigata de 1964. Volcamiento de estructuras de concreto armado y falla en puentes debido a la licuefacción del suelo.

1.6 La experiencia del terremoto de Kobe de 1995

Un terremoto de magnitud 7.0 atacó repentinamente la ciudad de Kobe y distritos aledaños en la madrugada del 17 de enero de 1995. La gente pensaba que la sismicidad en esta zona era mucho menor que en la zona de Tokio, sin embargo sismólogos y geólogos habían publicado la posibilidad de un terremoto grande. Por tanto, justamente después del terremoto, nadie obtuvo información confiable. La municipalidad de Kobe había estado desarrollando construcciones en rellenos artificiales mar adentro y en las montañas tras la ciudad. Por tanto, Kobe era una de las ciudades más avanzadas y preciosas en el Japón. Pero se tornó muy vulnerable durante el terremoto, el cual causó una franja de daño muy fuerte que atravesó la zona central de la ciudad (Figura 6). La zona con mayores daños (Figura 7) corresponde al lugar donde fallecieron 5,500 personas, pero al mismo tiempo, ésta fue definida con una Intensidad de 7, la máxima en la escala japonesa después que se dispuso ampliarla tras el terremoto de Fukui en 1948. Se realizaron muchos estudios en el campo de la sismología y la ingeniería sísmica utilizando registros de movimiento fuerte alrededor de las zonas dañadas, como características del movimiento fuerte, inversiones de la fuente sísmica, características en la atenuación de la aceleración y velocidad máxima del suelo, distribución de daños, etc. El servicio del tren bala (Shinkansen) sufrió daños severos y su reconstrucción fue de carácter urgente. Afortunadamente no había servicio de trenes porque el terremoto ocurrió en la madrugada. Las edificaciones que sufrieron mayores daños fueron las que habían sido diseñadas con un código sísmico antiguo.



El autor encontró un ejemplo típico que confirma la diferencia de daños entre dos edificios similares diseñados con diferentes códigos sísmicos. El más viejo fue construido en base a las normativas antiguas vigentes antes de 1981, el cual sufrió grandes daños. En el caso contrario, el edificio nuevo no sufrió daños esto fue confirmado mediante entrevistas a las personas residentes. Las carreteras también sufrieron grandes daños y el tráfico fue interrumpido durante más de un año. Mucha gente perdió sus propias casas, y tuvo que estar pacientemente 5 largos años en casas temporales. Sumando a estos problemas, la ciudad de Kobe ha sufrido frecuentemente deslizamientos y desastres por lluvia. La municipalidad alarmó a la población que deslizamientos adicionales inducidos por lluvia podrían ocurrir después del terremoto. También las casas tradicionales japonesas sufrieron grandes daños, debido al gran peso del techo, los cuales son convenientes para la protección contra desastres por tifones. Los residentes de estas casas se organizaron para realizar actividades de rescate en sus comunidades. Después del terremoto, muchos señalaron los serios problemas sociales que desencadenó este evento. La gente recibió un pago doble por sus casas colapsadas y una casa nueva, asistencia médica y psicológica para personas con trauma post-desastre, y educación para sus hijos.

Después de 10 años del terremoto, el 17 de Enero de 2005, hubo ceremonias organizadas por la prefectura de Hyogo y otras organizaciones en la ciudad de Kobe. En la impresión del autor, los gobiernos locales parecen haber terminado con todas las actividades post-terremoto celebrando este tipo de ceremonias. Sin embargo al visitar la ciudad de Kobe, se pueden encontrar muchos monumentos en memoria del desastre de 1995. De hecho, en algunas partes de la ciudad la reconstrucción no ha sido finalizada aún después de 10 años.

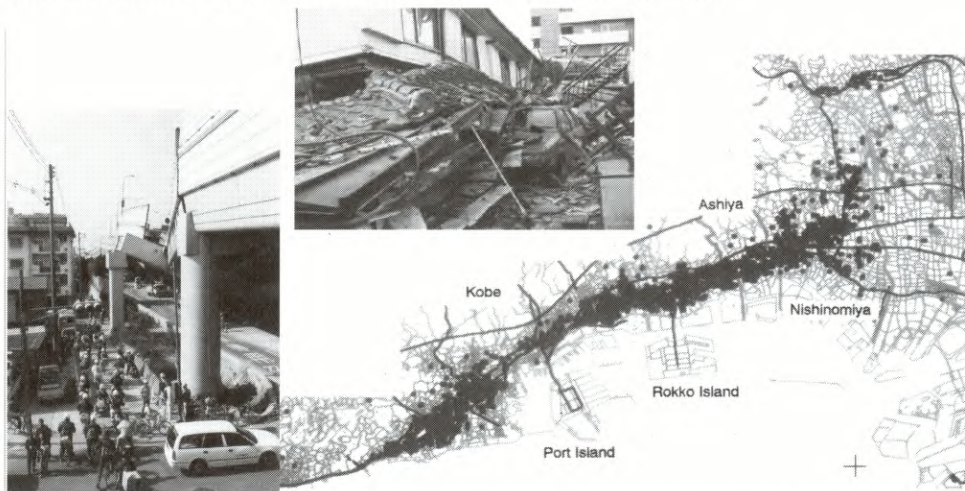


Figura 7. El mapa a la derecha muestra la zona de mayor intensidad (puntos) durante el sismo. Las imágenes de la izquierda, muestran el colapso del Honshin-Highway.

1.7 El terremoto de Niigata de 2004.

Recientemente un terremoto de magnitud 6.8 atacó el área de Chuetsu, el distrito central de la prefectura de Niigata el 23 de octubre de 2004 (Figura 8a). Las áreas dañadas se distribuyeron en algunas partes planas de ciudades locales y pueblos, pero en la mayoría de los casos, en algunas aldeas situadas aleatoriamente en las montañas. Muchas casas colapsaron y se reportó una intensidad de 7, la máxima en la escala japonesa, observada alrededor del epicentro. El número de víctimas fue de 40, no solamente por el colapso de las viviendas, sino por enfermedades y exaltación después del evento. Las líneas ferroviarias del tren bala (Shinkansen) sufrieron grandes daños incluyendo descarrilamiento, destrucción de columnas y daños en túneles. Por fortuna estas fallas no dejaron víctimas. Después de dos meses, la fuerte nieve cubrió la parte total del área dañada por un periodo de tres meses con un espesor de más de 3m. Tales condiciones dificultaron los trabajos de reconstrucción en esta zona. Se observaron varios deslizamientos de tierra en zonas montañosas

1.8 El terremoto de Fukuoka-oki de 2005.

Un terremoto de magnitud 7.0 atacó la ciudad Fukuoka en distritos aledaños en la parte norte de la Isla de Kyushu el 20 de marzo de 2005 (Figura 8b). Se ha reconocido que esta zona es una de las que posee más baja actividad sísmica en el Japón. De ahí que los sismólogos afirmaron la poca confianza que existe en la predicción de terremotos. Los daños no fueron muy severos, a excepción de los localizados en una pequeña isla cercana a la zona epicentral.

La ciudad de Fukuoka posee 1.3 millones de habitantes y el 70% de la población vive en residenciales con edificios altos. Las fallas en estos edificios fueron secundarias (no estructurales). Las oficinas de Fukuoka trabajaron excepcionalmente bien a pesar de no tener experiencia en desastres naturales.



Figura 8a. Daños en las ciudades de Kawaguchi durante el terremoto de Niigata en 2004.



Figura 8b Daños en casas tradicionales causados por el terremoto de Fukuoka en 2005.

1.9 Comentarios adicionales en base a las experiencias de terremotos recientes.

Después del terremoto de Kobe de 1995, el gobierno financió la preparación de medidas completas en *hardware* y *software* en términos de estrategias para la mitigación de futuros terremotos grandes. Al mismo tiempo, una revisión rápida fue realizada para confirmar medidas típicas realizadas por el gobierno japonés en las últimas décadas. El primer intento para preparar una ley nacional para un futuro terremoto de magnitud 8.0 en la zona de Tokai fue realizado en 1978. Las municipalidades esperaban que un evento produjera una intensidad sísmica de 6 o más para preparar las provisiones completas antes de un terremoto. En 1992, el gobierno declaró que en cualquier lugar del distrito de Kanto, incluyendo Tokio y Yokohama, existía la posibilidad de que un terremoto de magnitud 7.0 ocurriera muy pronto, sin embargo, no se pudo identificar el lugar exacto de la fuente. Más aún en 1997, se sugirió la posibilidad de un terremoto de magnitud 8.0 con un desplazamiento de falla entre 5 y 10m en la Prefectura de Kanagawa, muy pronto o después de 100 años. Aceptando estas consideraciones, la oficina de la ciudad de Yokohama, por ejemplo, preparó un mapa de micro-zonificación (Figura 9). En el 2003 un sismólogo destacó la importancia de revisar tan pronto como fuera posible una planta nuclear situada en la proyección de la falla en la superficie del terremoto hipotético de Tokai.

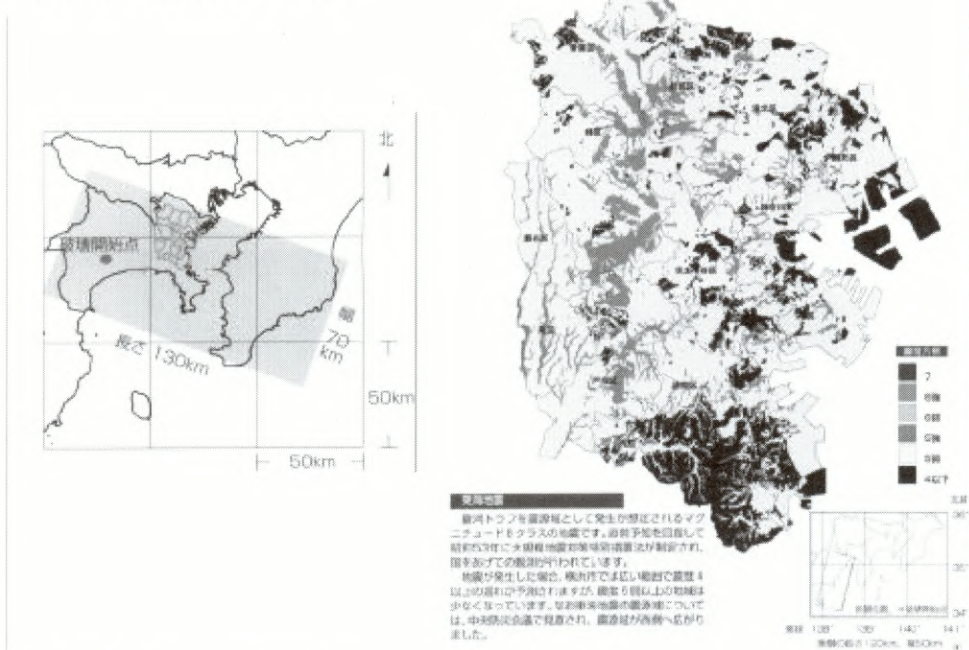


Figura 9. Mapa de microzonificación sísmica de la Ciudad de Yokohama.

El autor enfatiza y resume sus comentarios otra vez más acerca de los tópicos necesarios para establecer una ciudad libre de desastres. Asimismo, refuerza la importancia de la cooperación entre diferentes campos de investigación, ya que los desastres pueden ser concurrentes como un terremoto después de unas fuertes lluvias, o fuertes tormentas antes de un terremoto, fuertes lluvias después de una erupción volcánica, etc. De acuerdo a datos estadísticos japoneses; los desastres por lluvia causan mayor número de víctimas que aquellos por terremotos. Actualmente en el 2004, las islas japonesas han sido atacadas por 10 tifones ocasionando grandes deslizamientos e inundaciones. Una lluvia causó una precipitación de 400mm en total durante un día y medio. Recientemente, el Ministerio de Construcción preparó una nueva ley para prohibir la construcción en zonas de amenaza alta. Las erupciones volcánicas pueden ocasionar otro tipo de problemas los cuales explicará el autor en detalle en otra oportunidad. (Figura 10)



Figura 10. Nueva ley en Japón, para controlar utilización del suelo y así reducir el riesgo de deslizamientos de tierra.

2. Ingeniería estructural y aspectos de micro-zonificación sísmica relacionados con terremotos devastadores en el mundo.

2.1 Introducción

En esta sección se realiza una revisión de terremotos típicos en el mundo que han causado daños severos. (Figura 11)

Figura 11

Physical Map of the World, April 2004



2.2 El terremoto de Michoacán, México de 1985

Un terremoto de subducción entre la placa de Cocos y Norteamérica golpeó la ciudad de México ocasionando grandes daños a pesar de la distancia epicentral de 350km. Arcillas extremadamente blandas amplificaron el movimiento sísmico produciéndose el colapso de muchos edificios en la región central de la ciudad. Las personas residentes en diferentes condiciones de suelo, como flujos de lava o roca volcánica en la superficie, no imaginaba el gran daño en la zona central. Los registros de movimiento fuerte se hicieron en varios lugares con condiciones de sitio distintas y fueron abiertos al público rápidamente. Mediciones de micro-trepidaciones fueron realizadas por un grupo de expertos japoneses con el objetivo de explicar las condiciones de sitio. Existe una buena correlación entre las micro-trepidaciones y los registros de movimiento fuerte para condiciones de suelo blando.

Posteriormente la técnica de micro-trepidación fue aplicada para generar mapas de micro-zonificación. Las Figuras 12a y 12b muestran un ejemplo de la estimación de la respuesta espectral de aceleración de un sistema de un grado de libertad con periodo de 2.0s y un amortiguamiento del 5% durante el terremoto de 1985. El periodo fundamental de los edificios fue confirmado también utilizando micro-trepidaciones (Figura 13b). Realizando estos trabajos de campo, las características de las condiciones de suelo blando en la ciudad de México y la importancia de las condiciones de sitio durante los terremotos fueron examinadas en detalle en esta ocasión.

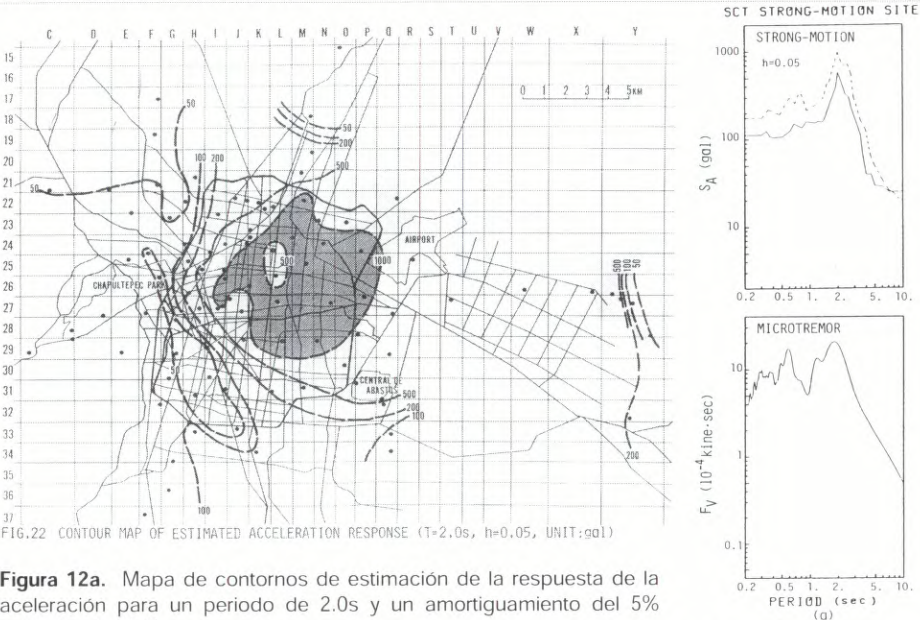


Figura 12a. Mapa de contornos de estimación de la respuesta de la aceleración para un periodo de 2.0s y un amortiguamiento del 5% unidades (cm/s2).



Figura 13a. Edificio colapsado y dañado en la ciudad de México.

Figura 12b. Comparación entre micro trepidación y registro de movimiento fuerte en la ciudad de México.

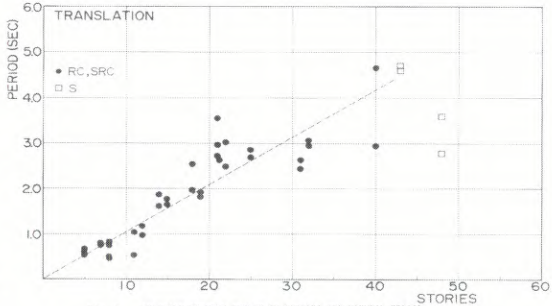


Figura 13b. Periodo fundamental de vibración vrs. Numero de pisos para edificios en ciudad de México.

2.3 Los terremotos de Loma Prieta de 1989 y Northridge de 1994 en California

Después de las investigaciones de campo para ambos terremotos, se encontraron diferentes características de sitio entre San Francisco y Los Angeles. En el área de la bahía de San Francisco, los resultados de las mediciones de micro-trepidación muestran una gran diferencia entre las zonas dañadas y no dañadas. Sobre sitios de suelo blando ocurrieron grandes daños durante el terremoto de 1989; los periodos predominantes aparecen muy claramente con largas amplitudes, sin embargo para sitios de suelo firme sin daños, no se observaron picos predominantes en las micro-trepidaciones.

En Los Ángeles, las características de las micro-trepidaciones no coincidieron con las zonas dañadas y no dañadas. En otras palabras las condiciones de sitio aparecieron muy claras en San Francisco no así en la región de Los Angeles.

También se examinaron las características dinámicas de las estructuras utilizando micro-trepidaciones (Figura 14a y b). El periodo fundamental de un edificio alto fue medido en 2.0s, pero el periodo predominante durante la sacudida fuerte de 1989 fue de 3.0s, debido a los efectos no-lineales.



Figura 14a. Zona urbana de San Francisco. Se trata de ejemplificar las condiciones reales del suelo que no son apreciadas, cuando ya existen urbanizaciones.

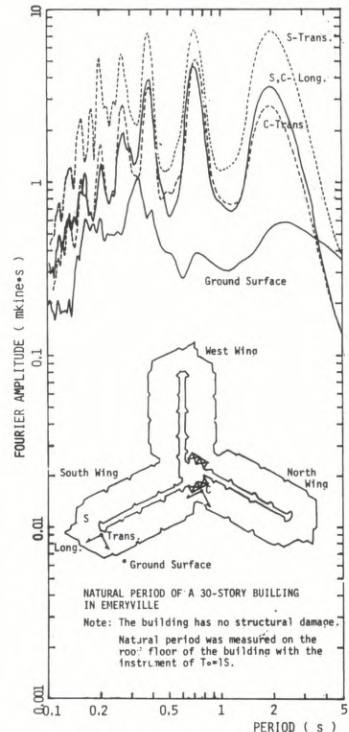


Figura 14b. Obtención del periodo fundamental y subsecuentes armónicas a través de espectros de amplitud de Fourier utilizando microtrepidaciones.

2.4 El terremoto de Chi-Chi en Taiwán de 1999.

El terremoto de Chi-Chi con magnitud 7.7 tuvo lugar en la parte central de Taiwán. Ya que fue un terremoto *entre-placa* de subducción, la ruptura de la falla inversa apareció en la superficie del suelo. Por tanto las estructuras fueron seriamente dañadas en la región epicentral (Figura 15). La ciudad capital, Taipei, se encontraba muy lejana a la zona del epicentro, por tanto el daño no fue considerable. Pero la ocurrencia de este terremoto sugiere la importancia de la micro-zonificación sísmica en el valle de Taipei, ya que la ciudad está creciendo hacia la zona con peores condiciones de suelo en el valle.

2.5 El terremoto de Kocaeli en Turquía de 1999.

Turquía ha sufrido frecuentemente terremotos debido a la sección norte de la Falla Anatolia. El terremoto de 1999 con magnitud de 7.8 ocurrió en el distrito de Kocaeli es uno de ellos. La ciudad de Adaparazi sufrió severos daños debido a la condición de suelos blandos (Figura 16a y b). Se realizó un intento de evaluar el movimiento fuerte durante la sacudida principal utilizando registros de réplicas y micro-trepidaciones. Solamente una estación registró el movimiento fuerte para el terremoto principal. En primer lugar, la sacudida principal fue estimada para varias estaciones donde las réplicas fueron registradas. Como primer paso, las razones espectrales de las réplicas fueron utilizadas para obtener una función de transferencia relativa, entre una estación arbitraria que ha registrado la réplica y la estación de referencia donde el evento principal fue registrado. En el segundo paso, la razón espectral de las micro-trepidaciones se utilizaron de la misma manera para transferir la información de la estación más cercana con registro de réplica a una estación arbitraria donde se mide la micro-trepidación. La información obtenida mediante esta metodología fue distribuida y comparada con la razón de daños en edificaciones. Como resultado, se realizaron mapas de micro-zonificación para periodos predominantes y amplificación.



Figura 15. El terremoto del Chi-Chi en Taiwán, 1999.

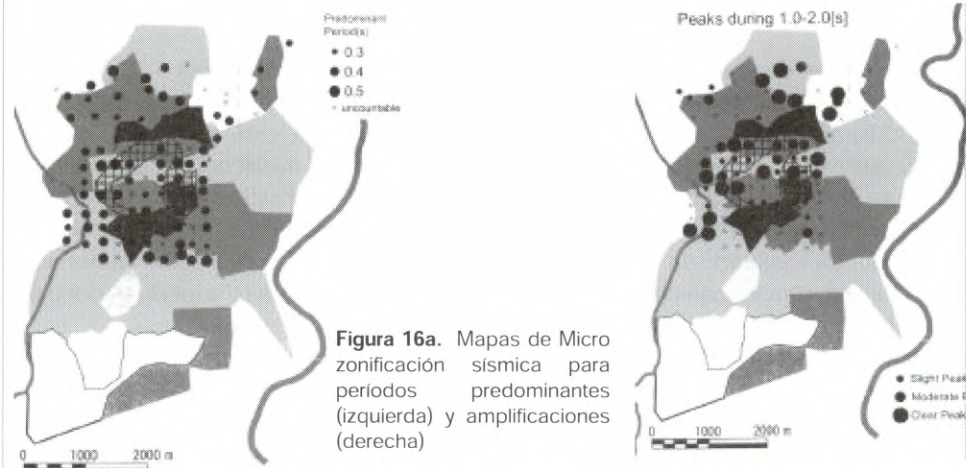


Figura 16b. El terremoto de Kocaeli en Turquía de 1999.

2.6 Ejemplo de un edificio con estructura vulnerable

Entre muchos países que han tenido desastres por terremoto, uno de los peores ejemplos es Marruecos (Figura 17). Los fundamentos de una estructura de concreto armado se basan en como combinar los marcos con las paredes ubicadas entre estos. No es imaginable la brecha entre lo que es visible durante la construcción y después de finalizarla.



Edificio en construcción a base de concreto armado



Fig. 44. Saida Hotel from the Northeast, Before Earthquake

Antes del terremoto



Fig. 45. Saida Hotel from the Northeast, After the Earthquake

Después del terremoto

Figura 17. Ejemplo de edificio con estructura vulnerable, en Marruecos.

2.7 Actividades de investigación sobre Ingeniería Sísmica en Armenia

El propósito de esta investigación era estudiar la reparación y preservación de templos tradicionales armenios como herencia cultural de esta nación. Al mismo tiempo, se estudió el terremoto de Spitak en 1988 y sus implicaciones sociales y técnicas. Se visitaron muchos templos tradicionales distribuidos en todo el país, encontrando algunos de ellos todavía funcionando y otros en estado de colapso inminente. La calidad de estas construcciones luce muy fina con materiales rocosos de origen volcánico. Esa tradición permanece porque la superficie del país está llena de rocas volcánicas.

Al mismo tiempo, se entrevistaron sismólogos e ingenieros sísmicos para aprender acerca del terremoto de Spitak. Las inspecciones después del terremoto han sido completadas y ya se han realizado reconstrucciones cuidadosamente. Pero existen serios problemas todavía en la ciudad de Yerevan, donde muchos edificios no han sido reforzados. Por tanto se concluye que el reforzamiento de residencias modernas en edificios requiere una atención urgente más que las iglesias tradicionales, ya que mucha gente todavía reside en estas edificaciones vulnerables. Además las iglesias tradicionales poseen dos ventajas, la primera es que la calidad de la construcción es muy buena debido a la tradición transmitida de generación en generación, y la segunda es que están cimentadas sobre suelo firme.

2.8 Los terremotos de El Salvador en 2001

El primer terremoto tuvo lugar el 13 de enero de 2001 con una magnitud de 7.8 con su epicentro en el Océano Pacífico. Este evento *intra-placa* provocó muchos deslizamientos en todo el país, ya que en su mayoría está cubierto por cenizas volcánicas ó "Tierra Blanca" (Figura 18a y b). Casas construidas de materiales tradicionales como el adobe y el bahareque fueron fuertemente dañadas, sin embargo, el bahareque tuvo un mejor comportamiento ante la sacudida fuerte que el adobe. Un segundo sismo ocurrió el 13 de febrero en la cadena volcánica dañando las mismas casas tradicionales.

Se concluyen tres aspectos importantes para el país: a) Alta sismicidad de la placa de Coco y la Cadena Volcánica, b) Condiciones especiales de suelo (Tierra Blanca) debido a actividad volcánica, c) Casas tradicionales de adobe y bahareque. Se recomienda realizar mapas de micro-zonificación en términos de amplificación, reforzar las casas vulnerables, una evaluación de riesgo, y preparación y educación de carácter general en el campo de los desastres naturales.

Figura 18a. Las Colinas, Santa Tecla, El Salvador.



Figura 18b. Carretera Panamericana curva La Leona, El Salvador



3. Aspectos de ingeniería concernientes a la mitigación del desastre por terremoto

3.1 Una revisión de cómo preparar movimientos del terreno para sitios específicos

Se ha realizado una evaluación de cómo analizar movimientos sísmicos para el diseño de estructuras a través del comité técnico en la Sociedad Japonesa para el Aislamiento Sísmico de Edificios (JSSI). El propósito es identificar insertazas e irregularidades en el proceso de obtener movimientos sísmicos. Para ello, se utiliza una base común de datos para la localización de la fuente sísmica suponiendo la ocurrencia del terremoto de Kanto de 1923, sitio de construcción en el área de la Bahía de Tokio (Figura 19b) y parámetros del suelo para el mismo sitio. Los seis miembros del comité, estimaron el movimiento del suelo utilizando sus propias herramientas y predecir movimientos del terreno en el lecho rocoso y en la superficie del terreno. La razón de la dispersión, se debe a que se utilizan diferentes modelos de la fuente y se introducen efectos no-lineales en los suelos blandos (Figura 19a).

Se realizó otra evaluación para confirmar las características de fase, ya que el código japonés solamente incluye un espectro de respuesta de amplitud.

En este caso, se confirma que es inevitable obtener irregularidades en la respuesta del modelo estructural utilizado, a pesar de que se ha proporcionado el espectro de diseño. (Figura 20).

En la mayoría de grandes ciudades localizadas en sitios con un gran espesor de sedimentos, se debe prestar especial atención a los movimientos de largo periodo.

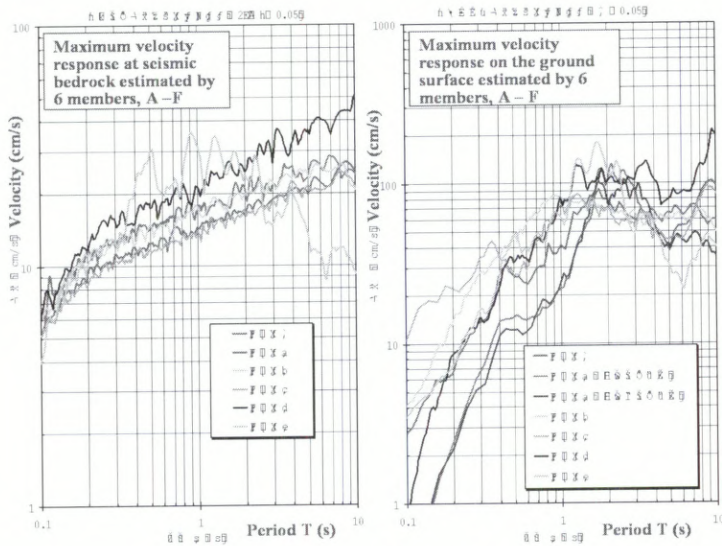


Figura 19a. Estimación del espectro de velocidad en la roca (izquierda) considerando el efecto de sitio (derecha) para el terreno de Kanto 1923. Como modelo de la fuente sísmica.

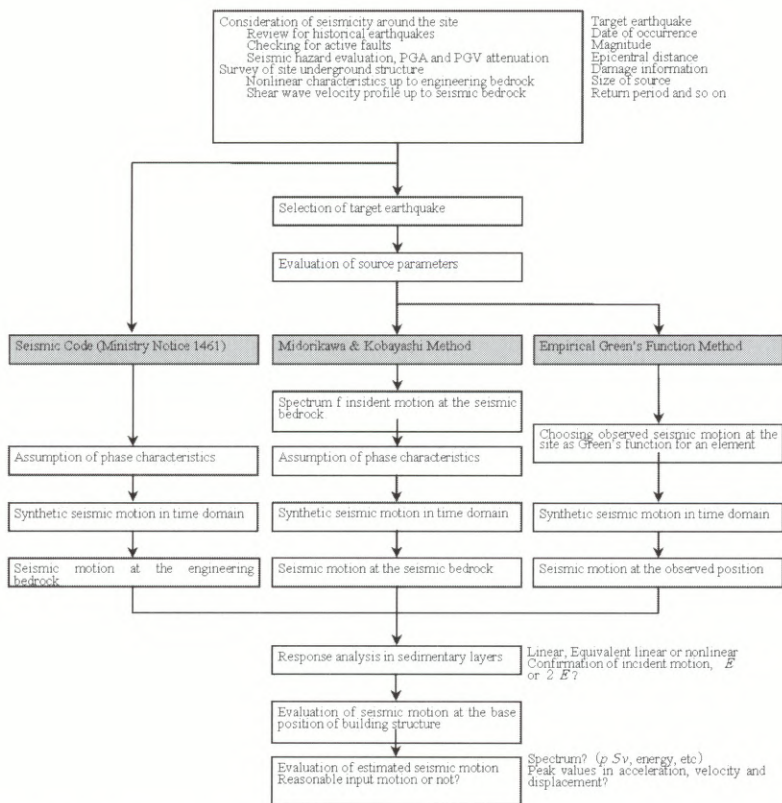


Figura 19b. Flujiograma que muestra el proceso para obtener movimientos del terreno durante terremotos para edificios a base aisladores sísmicos, tomando en cuenta efectos de sitio en el lugar de construcción.

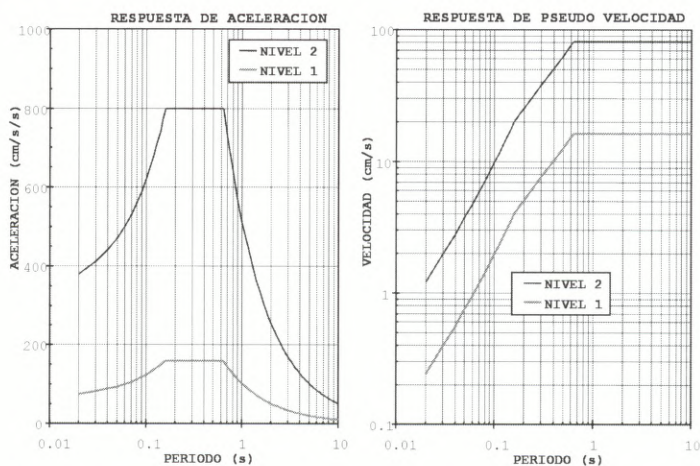


Figura 20. Espectros de respuesta definidos por el Código Sísmico de Japón.

3.2 Lecciones aprendidas sobre movimientos sísmicos observados y exploraciones sísmicas.

Desde el terremoto de Kanto de 1923 se han observado los movimientos del terreno. En aquel entonces se utilizaban sismómetros mecánicos diseñados por el Dr. Imamura, sin embargo, éstos no eran capaces de registrar el movimiento sísmico completo. Lo importante es que los períodos predominantes y la duración de la sacudida podían evaluarse muy bien. Después de comparar estos registros clásicos con los obtenidos mediante instrumentos modernos, se asegura que el área de Tokio posee un período natural de vibración de 7 segundos en todos los movimientos del terreno (Figura 21).

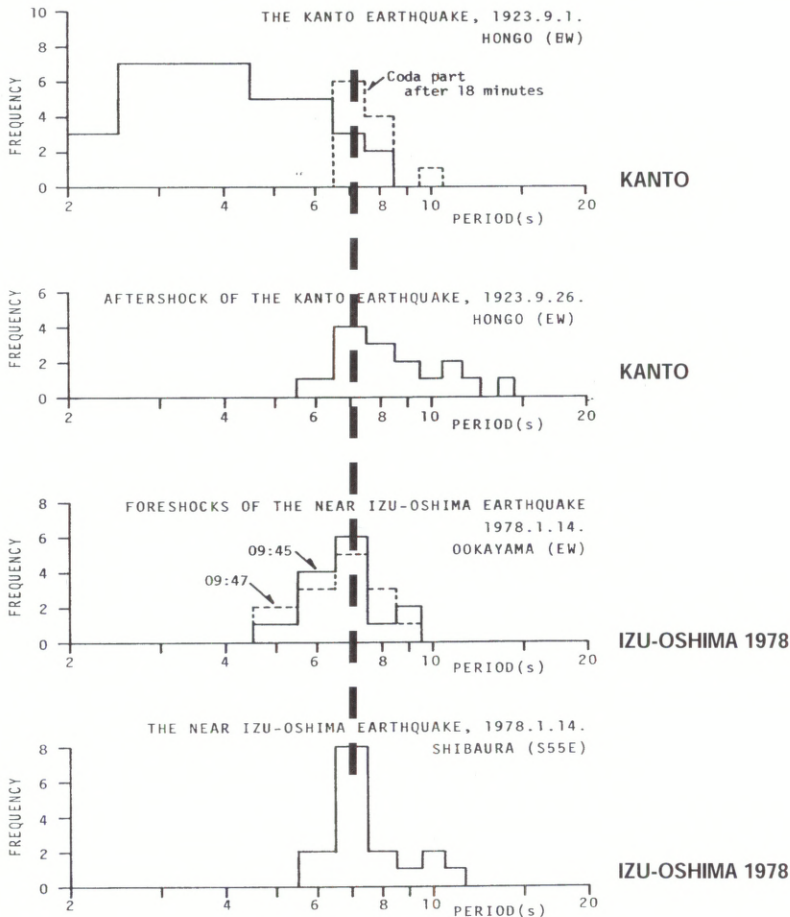


Figura 21. Períodos de vibración para el movimiento del suelo en el área de Tokio.

Se han realizado muchas exploraciones para detectar la estructura del suelo a grandes profundidades y para poder explicar el período de 7 segundos en el movimiento del suelo. La Figura 22 muestra los epicentros de las explosiones y las estaciones temporales de observación para este propósito. Estas explosiones son utilizadas para aplicar un método de refracción, el cual ha sido muy exitoso, ya que realizar estas explosiones resulta muy difícil en ciudades densamente pobladas. Hoy en día pruebas de reflexión con vibradores son muy populares también, por tanto se espera en detalle el perfil del subsuelo. Otro método simple es el arreglo de mediciones de micro-trepidación para estimar el perfil de las ondas S con un análisis de inversión de las ondas dispersas Rayleigh en las micro-trepidaciones.

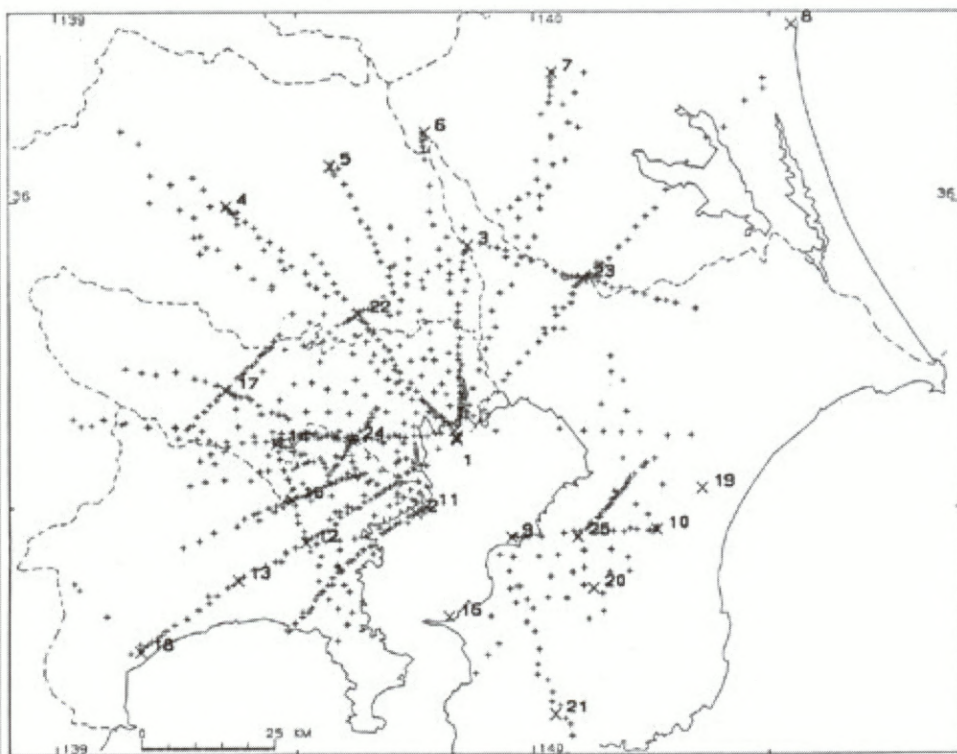


Figura 22. Epicentros de explosiones en el área de Tokio para conocer las características dinámicas del suelo en la región.

3.3 Movimientos de largo periodo recientemente observados en sitios de sedimentos.

Durante el terremoto de Tokachi-oki en 2003 con magnitud de 8.0 en el distrito de Hokkaido, la estación de Tomakomai registró movimientos de largo periodo entre 6s y 8s. Esta componente aparece tanto en la sacudida principal como en las réplicas, lo que afirma que se debe al efecto de sitio alrededor de la estación de Tomakomai. Esta estación está localizada sobre un sedimento de 2km de profundidad. En el área de Kanto se han observado similares componentes de largo periodo pero no ha sido registrado un terremoto de magnitud 8.0 después del evento de 1923 (Figura 23).

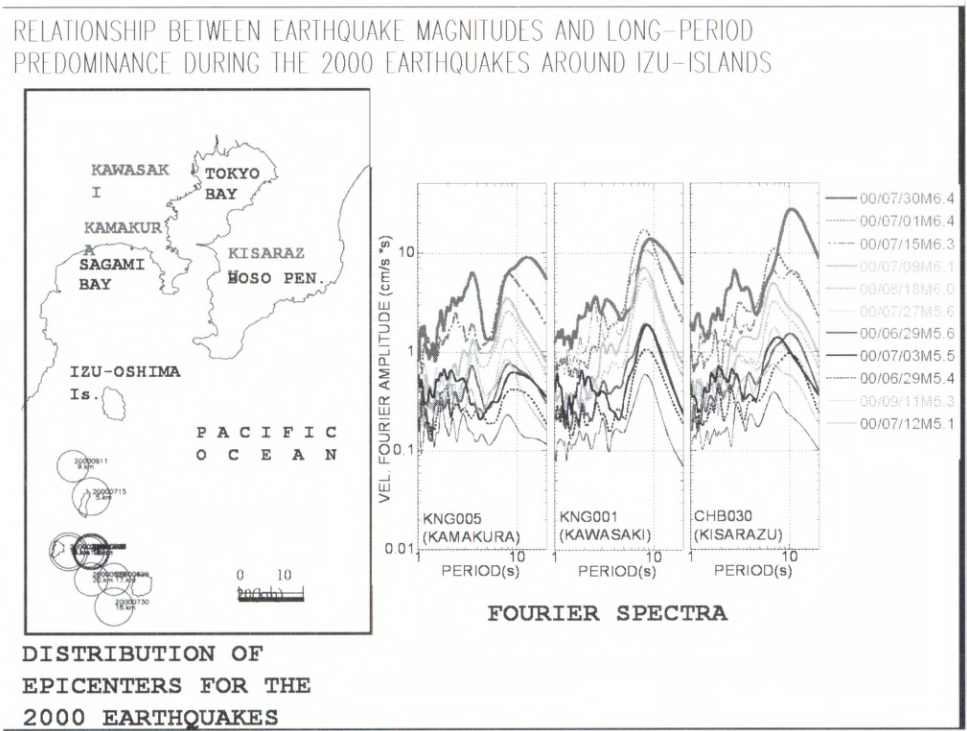


Figura 23. Relación entre magnitud de terremotos y periodos largos predominantes durante los terremotos del año 2000 alrededor de Islas Izu.

Si se toma como experiencia lo ocurrido en Tomakomai para la zona de Kanto incluyendo Tokio, Kanagawa y los distritos de Chiba, se podría estimar las amplitudes para un terremoto de magnitud 8.0. La amplificación sería del orden de 10 veces para un terremoto de magnitud 7.0 o magnitud 8.0. En el 2004, hubo un terremoto de magnitud 7.4 y se encontraron diferentes características en los periodos predominantes en el área de Kanto.

Tales movimientos de largo período pueden ser muy importantes para las medidas que se deben tomar en el caso de la ocurrencia de un terremoto de magnitud 8.0, ya que existen muchos rascacielos y enormes tanques de aceite en el área de Tokio, los cuales son muy sensitivos a movimientos del suelo con largo período.

3.3 Prospectos (Alternativas/Perspectivas) para la predicción del movimiento fuerte del terreno

En esta sección se hace énfasis en factores que deben ser investigados para poder predecir movimientos fuertes del terreno. A continuación se destacan algunos temas importantes que deben ser resueltos en un futuro cercano:

- a. Estudiar los componentes de largo período debido a las ondas superficiales y ondas de cuerpo originadas por sedimentos de gran espesor.
- b. Se necesita entender las características de fase del movimiento sísmico del terreno.
- c. Se necesita una evaluación más precisa sobre la componente vertical del movimiento sísmico del terreno.
- d. Hoy en día la sismología esta siendo más aplicable al campo de la ingeniería. Entonces el mecanismo de la fuente debe ser tomado en cuenta para considerarlo en el proceso de diseño estructural. En este proceso se necesita estar seguro de las características de las asperezas en los modelos de la fuente sísmica.

Agradecimientos

El autor desea expresar su agradecimiento por tener la buena oportunidad de discutir los tópicos antes mencionados con los expertos de la Universidad Centroamericana UCA. Desea dar las gracias al Dr. Walter Salazar por su excelente arreglo para estas ponencias. Finalmente, desea expresar su simpatía por el Prof. Jon de Cortina, fallecido recientemente, de quien reconoce que ha estado liderando y promoviendo continuamente la capacitación de investigadores y educadores para el concepto de micro-zonificación sísmica, para mitigar el riesgo sísmico y realizar las gestiones correspondientes en El Salvador.

Walter Salazar

Salvadoreño, Ingeniero Civil, Doctor en Ingeniería Sísmica. Catedrático, Investigador y Coordinador en la Carrera de Ingeniería Civil en la UCA (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas). Áreas de investigación: Estimación del Movimiento Fuerte, Efectos de Sitio, Peligrosidad Sísmica.

Víctor Sardiña

Cubano-americano, Ingeniero Geólogo. Maestría en Ingeniería, Doctor en Ingeniería, labora como geofísico en el Centro de Alertas de Tsunamis del Pacífico en Hawaii, Estados Unidos. Áreas de investigación: zonación y microzonación sísmica, ingeniería geológica, efectos de sitio durante terremotos, peligrosidad sísmica, sistemas de alerta de tsunamis.

Kazuoh Seo

Japonés, Ingeniería Civil e Ingeniería Sismológica, Doctor en Ingeniería, Profesor del Instituto Tecnológico de Tokio. Investigador y educador en los campos de Ciencias en Desastres Naturales, Predicción de Movimiento Fuerte, Mitigación de desastres por terremoto y Sismología Social. Miembro del comité de prevención de desastres naturales del AIJ (Instituto de Arquitectura del Japón) y para aisladores sísmicos del JSSI (Sociedad Japonesa de Aisladores sísmicos).