LA MICROZONACION SISMICA Y SU ROL EN LA PREVENCION DE LOS DESASTRES SISMICOS EN CUBA

Bertha E. González Raynal

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, CITMA.

Entre las catástrofes naturales que producen mayores pérdidas de vidas humanas y danos materiales se encuentran los terremotos. En la actualidad, la posibilidad de predecir con exactitud el tiempo de ocurrencia de un terremoto es aun escasa. Sin embargo, sus efectos pueden ser reducidos al mínimo, utilizando las medidas antisísmicas más viables y racionales desde el punto de vista económico.

Las medidas antisísmicas pueden ser clasificadas en dos tipos pasivas y activas. Las medidas pasivas consisten en evitar el peligro o amenaza, seleccionando los sitios de construcción alejados de las estructuras sismogénicas y con condiciones de suelo favorables. Las medidas activas, que constituyen el objeto de estudio de la sismología ingenieril, se basan en los resultados de las investigaciones sobre la fuente sísmica, la trayectoria y los efectos de sitio, que permiten, en última instancia, predecir el carácter de los movimientos fuertes del terreno causados por un terremoto.

Esta última información posibilita la toma de diferentes medidas en el diseño y la construcción de las edificaciones, en las zonas de elevado peligro sísmico.

El peligro o la amenaza sísmica de una zona queda completamente determinada con la realización de estudios en tres etapas y a tres escalas diferentes (Aptikaev, 1986; Hays, 1989).

- zonación sísmica general (1:5 000 000 - 1:1 000 000)
- zonación sísmica detallada (1:1 000 000 - 1:100 000)
- microzonación sísmica (1:25 000 - 1:5 000)

El objeto del análisis que se presenta a continuación lo constituye la microzonación sísmica. La misma consiste en la delimitación, dentro de un territorio, de microzonas geográficas donde se pronostican respuestas diferentes ante la ocurrencia de un sismo fuerte, producto de contrastes laterales y en profundidad de las características geológicas, hidrogeológicas y geomorfológicas locales y su transcripción en regulaciones o documentos normativos que rijan la planificación del desarrollo constructivo de un territorio. Esto último resulta posible dado el hecho de que en las microzonas definidas en estos mapas, los requisitos para el diseño antisísmico de las estructuras son unitarios.

Específicamente, en el planeamiento urbano, los mapas de microzonación sísmica posibilitan reducir los costos por concepto

de protecciones antisísmicas. La información contenida en los mismos, con ligeras modificaciones, puede ser incorporada directamente al cálculo de los coeficientes sísmicos y la fuerza sísmica. Además, estos mapas generan recomendaciones que pueden ser introducidas en los planes para la reducción del riesgo sísmico como la necesidad de realizar investigaciones ingeniero geológicas detalladas, que permitan tomar decisiones sobre la factibilidad de emplazamiento de una estructura u objeto de obra en particular, sobre el reforzamiento de determinadas estructuras con interés económico social, sobre la prohibición de emplazamiento de estructuras críticas en zonas inestables etc.

Ya en 1906, después de investigar cuidadosamente los efectos del terremoto de San Francisco, California, el eminente geólogo norteamericano Branner, catedrático de la Universidad de Stanford expresó que en dicha ciudad nada resultaba tan evidente como la dependencia entre la distribución de las intensidades sísmicas y las características del terreno. En efecto, los daños en las estructuras construidas sobre suelos blandos con respecto a los daños en estructuras similares construidas sobre terrenos rocosos se encontraban en una proporción de 10:1 (Freeman J.R, 1932). Como consecuencia de estas observaciones a las que se sumaron otras de sismólogos de Japón y la antigua Unión Soviética, se formalizaron y pusieron en práctica los métodos de microzonación sísmica pertenecientes a la primera generación, basados en la correlación entre la estructura geológica superficial y los efectos de los terremotos. A partir de estos métodos, se elaboraron otros instrumentales y numéricos, que permiten, también obtener las características cuantitativas de los movimientos del terreno, así como mapas pronóstico para diferentes terremotos hipotéticos.

La escala y categoría (clase) de los mapas de microzonación sísmica van a depender de una serie de factores entre los que se destacan la importancia económicosocial del territorio, el objetivo al que están dirigidos, el volumen, calidad y representatividad de la información de base y otros.

Los mapas de microzonación sísmica de los asentamientos humanos (ciudades y poblados) están destinados a la planificación regional. Las escalas de los mismos oscilan por lo general entre 1:10 000 - 1:25 000. Para la confección de estos mapas es necesario realizar previamente un estudio de factibilidad que permita evaluar la información inicial disponible y formular recomendaciones sobre trabajos adicionales para el completamiento de la misma, el diseño de la red de observaciones instrumentales para el registro de microsismos, terremotos débiles y (o) explosiones en puntos geológicamente significativos etc.

En la microzonación sísmica de los sitios de construcción de objetivos económicos importantes se debe contar con volúmenes grandes de datos geotécnicos e hidrogeológicos, así como diseñar redes densas, de preferencia regulares, para el registro instrumental de microsismos, terremotos, etc. Estos trabajos deben también estar apoyados por métodos numéricos de modelación

de la estructura geológica superficial. Los mapas de microzonación sísmica que se obtienen son muy detallados (escalas 1:10 000 - 1:1000), permitiendo tomar decisiones, sobre la ubicación más adecuada y segura de los diferentes objetos de obra de la planta, complejo o central de que se trate, en dependencia de su importancia y del nivel de riesgo que represente para el medio circundante.

En Cuba se han realizado numerosos trabajos de microzonación sísmica, tanto en áreas de asentamientos humanos, como de construcción de objetivos económicos importantes. A continuación se describen brevemente algunos de los de mayor relevancia.

Microzonación Sísmica de la Ciudad de Santiago de Cuba.

En la primera versión de la microzonación sísmica de la Ciudad de Santiago de Cuba, (González B. E et al, 1985) ubicada en la zona de mayor amenaza sísmica de País, se utilizó una variante metodológica del método de los microsismos, basada en el registro de estas señales por medio de estaciones selectoras por frecuencias de ocho bandas que cubren el intervalo de 0,1 - 30 Hz en zonas con diferentes condiciones ingenierogeológicas.

Con ese fin se obtuvo, sobre la base de datos de la constitución litológica y propiedades físico mecánicas de los suelos, un esquema de regionalización ingenierogeológica (esquema de los tipos básicos de suelos) del territorio de la ciudad. Con ayuda de dicho esquema y el de los niveles de yacencia de las aguas subterráneas, se confeccionó el esquema de microzonación sísmica por el método de las analogías ingenierogeológicas (Fig. 1) donde se muestra una división del territorio en zonas más o menos favorables desde el punto de vista constructivo y se da un pronóstico de los incrementos y decrementos del grado sísmico de base.

Utilizando dos estaciones selectoras por frecuencias portátiles, con idénticas características, se realizaron mediciones en las zonas delimitadas en el mapa anterior, paralelamente con mediciones en rocas (punto patrón).

Se analizó tanto la variación en la composición espectral como el nivel de los microsismos en relación con el punto patrón y se delimitaron zonas con espectros análogos estableciéndose una correlación de los mismos con las condiciones ingenierogeológicas. Adicionalmente se calcularon las funciones de transferencia empíricas para cada punto de medición y se confeccionaron esquemas de isolneas del factor de amplificación del terreno y de isofrecuencias. La información contenida en los esquemas anteriores, fue introducida en los documentos normativos para la construcción en dicho territorio, y constituyó un material básico para la confección del esquema de vulnerabilidad sísmica de la Ciudad de Santiago de Cuba.

En la actualidad se construye una nueva versión del mapa de microzonación sísmica de esta ciudad, basada en mediciones de

microsismos en tres componentes, con estaciones de banda ancha, e información actualizada de carácter ingenierogeológica. Además, se elaboran mapas de susceptibilidad de fenómenos geológicos inducidos (deslizamientos, licuefacción y asentamientos) basados en información de carácter litológico, hidrogeológico, geomorfológico e ingeniero geológico con la utilización de un sistema de información geográfica (Zapata 1994).

Se debe mencionar que trabajos similares para la obtención de los esquemas de microzonación sísmica de otras ciudades del territorio de Cuba Oriental, se encuentran en diferentes fases de terminación. Tal es el caso de las ciudades de Guantánamo, Bayamo, Manzanillo, Moa, etc.

Un trabajo interesante fue llevado a cabo recientemente en el municipio de Pílon provincia de Granma afectada en las últimas décadas por dos terremotos significativos en 1976 (M=5,7) y 1992 (M=6,8) y otros, 1994). Dichos terremotos produjeron intensidades de VIII y VII grados respectivamente en dicho territorio, ocasionando daños en las estructuras. Se observó una buena correlación entre el promedio de los daños producidos por ambos terremotos y la estructura geológica superficial pudiéndose delimitar tres zonas con diferente riesgo. Lo anterior permite realizar un pronóstico del comportamiento futuro de las estructuras que se asientan en las diferentes zonas y de esa forma reducir el riesgo realizando una planificación mas correcta del desarrollo constructivo del territorio investigado.

En áreas propuestas para la construcción de obras de importancia económica en el país se han realizado investigaciones de este tipo, con el fin de seleccionar los sitios mas favorables para el emplazamiento de los diferentes objetos de obra en dependencia de su importancia, complejidad, riesgo potencial de contaminación del medio ambiente etc. Estas investigaciones se caracterizan por ser rigurosas, por involucrar gran cantidad de datos y por la aplicación de un conjunto de métodos que permitan comprobar y validar los resultados. A continuación se examinan algunos ejemplos.

En el área de construcción de la refinería de Cienfuegos en Cuba Central (Chuy y González, 1982), se utilizaron el método de Analogías Ingeniero-Geológicas (Medvedev y Popov, 1962) y el método basado en la comparación de la rigidez sísmica de los suelos (Medvedev, 1962), debido a que existían mediciones de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas y estudios ingenierogeológicos detallados que incluían la determinación de propiedades físicomecánicas. El mapa de microzonación sísmica obtenido muestra incrementos de hasta un grado en el valor de la intensidad sísmica en la escala MSK. El área investigada era bastante homogénea desde el punto de vista geológolitológico, sin embargo, la presencia de zonas de fisuramiento y fenómenos cársicos, así como la profundidad de yacencia del manto freático, determinaron la delimitación de las zonas desfavorables desde el punto de vista constructivo.

En la microzonación sísmica del área de construcción del complejo Minero-Metalúrgico de Levisa, en Cuba Noreoriental (Chuy, Zapata y González, 1982), se utilizó un conjunto de métodos: Analogías Ingeniero-Geológicas, Rigidez Sísmica y Microsismos. Se obtuvo un mapa con variaciones de la intensidad sísmica I, en la escala MSK entre 0 y +1. Los períodos predominantes para las diferentes zonas fueron determinados con ayuda del método de los microsismos.

En el área del complejo industrial de Felton en Cuba Noreoriental, se utilizaron métodos numéricos de modelación para la determinación de la respuesta espectral de los cortes litoestratigráficos característicos del área (Rubio y Chuy, 1984). Dichos autores establecieron una correspondencia entre las variaciones del factor de amplificación teórica del medio y las variaciones de la intensidad sísmica en la escala MSK, teniendo en cuenta las propiedades fisicomecánicas del suelo promedio del área investigada.

El trabajo de microzonación sísmica más complejo de los realizados en áreas pequeñas, correspondió a los sitios propuestos para el emplazamiento de la Central Electronuclear de Holguín, en Cuba Noreoriental, (González y otros, 1990).

Los suelos de las áreas investigadas fueron clasificados en tres tipos básicos, en dependencia de los valores de los índices de consistencia, los coeficientes de poros, las densidades y otras propiedades fisicomecánicas. En las zonas delimitadas con diferentes categorías de suelos, fueron realizadas mediciones estadísticamente representativas de microsismos y terremotos débiles, en paralelo con mediciones de éstas señales sísmicas en una estación patrón ubicada en roca. Esto último permitió la obtención de funciones de transferencia empíricas, factores de amplificación del suelo y períodos predominantes característicos para dichos sitios.

También fue aplicado el método de la comparación de las rigideces sísmicas de los suelos y el cálculo numérico para modelos unidimensionales de la estructura geológica superficial.

La utilización de diferentes metodologías para la microzonificación sísmica permitió la obtención de mapas unificados y permitió definir la variante de construcción más favorable para la central electronuclear. Además, la microzonificación sísmica detallada de la variante seleccionada constituyó la base para la definición del bloque monolítico para el emplazamiento del reactor nuclear.

En los últimos años, los mapas de microzonación sísmica han cobrado especial interés, especialmente en los países del primer mundo para la industria del seguro, que requiere de una evaluación científica del potencial destructor de los sismos, especialmente en las zonas densamente pobladas. Sin embargo, el impacto mayor de estos mapas en la reducción del riesgo en Cuba, está dado por su aplicación directa en el mejoramiento de las

técnicas de construcción sismorresistentes, en la determinación de la capacidad del uso del suelo y la planificación urbana y en elaboración de los Planes de Medidas para casos de sismos de gran intensidad.

Referencias Bibliográficas

Aptikaev F.F. (1987): Detaile Hazard Assesment For Critical Structures Earthquake Prediction and Mitigation of Earthquake Losses. Proceedings of the UNORO/USSR/UNESCO/UNDP Training Seminar, USSR, United Nations.

Chuy T y González B.E (1982): Estimación de la Peligrosidad Sísmica del Area de Ubicación de la Refinería de Cienfuegos. Investigaciones Sismológicas en Cuba No. 2.

Chuy T, Zapata J y González B.E. (1982): Microzonacion Sísmica de la Zona de Levisa. Investigaciones Sismológicas en Cuba No 2.

Freeman J.R. (1932) Earthquake Damage and Earthquake Insurance MC Graw-Hill Book Company.

González B.E; Chuy T; Mirzoev K.M y otros (1985): Informe Final del Tema de Investigación "Estudio del Riesgo Sísmico y de las Variaciones de la Intensidad de los Terremotos en la Ciudad de Santiago de Cuba". Archivo Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Santiago de Cuba.

González B.E; Chuy T; Mirzoev K.M. y otros (1989): Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Santiago de Cuba. Comunicaciones Científica Sobre Geofísica y Astronomía No. 15. Habana, Cuba.

González B.E; Chuy T; Giller V.G; Golubiatnikov V.L y Pérez L.D.(1990): Mapas Unificados de Microzonacion Sísmica de las Areas propuestas para la construcción de la Central Electronuclear de Holguín. Informe Científico. Archivo CENAIS, Santiago de Cuba.

González B.E.(1993): Algunos Resultados Principales Sobre la Estimación de la Peligrosidad Sísmica y la Sismología Ingenieril en Cu-ba. Artículos Seleccionados de la II Conferencia Internacional Sobre Terremotos Continentales. Publicación Seriada de la IASPEI Volumen 3 Beijing, China.

Hays W (1989): Aspectos Fundamentales de la Geología y la Sismología para la Microzonacion Sísmica. Física de la Tierra. Dpto. de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica. Universidad Complutense de Madrid.

Medvedev S.V. (1977):Microzonacion Sísmica. Ed. Ciencia, Moscú.

Roth R (1993): Earthquake Insurance in the United States. Artículos Seleccionados de la II Conferencia Internacional Sobre Terremotos Continentales. Publicación Seriada de la IASPEI. Bol.3, Beijing, China.

Rubio M y Chuy T (1984): Microzonación Sísmica del Área del Complejo Industrial de Felton. Informe Científico Técnico. Archivo CENAIIS. Santiago de Cuba.

Zapata J. (1994): Metodología de Procesamiento Automatizado en Microzonación Sísmica. Resúmenes Segundo Congreso Cubano de Geología y Minería. Santiago de Cuba.