

**MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES SISMOLOGICAS**

RESUMEN AMPLIADO

**UTILIZACION DE VARIANTES METODOLOGICAS DE MICROZONIFICACION SISMICA
EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CUBA**

**TESIS DE OPCION AL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS GEOFISICAS**

AUTOR: JOSE ALEJANDRO ZAPATA BALANQUE

TUTOR: DR. MARIO FRANCISCO RUBIO SAUVALLE

1996

RESUMEN

Se expone una nueva metodología -sismotelemétrica digital- de medición y procesamiento de parámetros usados en métodos de microzonación sísmica, amenaza y riesgo geológico que permiten mayor calidad del registro, mayor potencialidad de procesamiento y análisis de la información, una evaluación por métodos de estadística multivariada de los resultados con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se presentan las categorizaciones que permitieron la confección de los mapas-esquemáticos de amenaza geológica y de microzonación sísmica utilizando la información existente.

Se presentan diferentes resultados para la ciudad de Santiago de Cuba, producto de investigaciones sismológicas de microzonación y evaluación de la amenaza geológica que incluyen la presentación de esquemas pronósticos de la amenaza geológica para terremotos con aceleraciones mayores que 0,1 g complementado por la evaluación de la potencialidad de aparición de fenómenos físico-geológicos; el nuevo esquema de microzonación a partir de la litología, los niveles de las aguas freáticas, la tectónica, los resultados de las mediciones de microsismos de banda ancha (con mediciones del desplazamiento de las oscilaciones libres de las partículas en las tres componentes en el rango de 0,1 a 1 segundo) y la influencia de los fenómenos físico-geológicos en caso de terremotos (amenaza geológica).

Se validan los resultados obtenidos evaluando los efectos sísmicos en valores (picos y efectivos) de aceleración, velocidad e intensidad, para los terremotos máximo de cálculo y de proyecto, los espectros de respuesta y dinámicos de proyectos y sus curvas representativas, los cuales validan los resultados al demostrar la potencialidad real de ocurrencia de los fenómenos descritos.

INTRODUCCION

A partir del triunfo de la Revolución, siendo la educación del pueblo una de las premisas del ideario revolucionario planteado por Fidel en el Moncada y corroborado posteriormente al expresar que "el futuro de la Patria era de hombres de ciencias", se desarrollaron un sinnúmero de líneas de investigación entre las que se encontraba la Sismología. Hoy al decursar de los años, sin temor a errores, podemos plantear que el volumen de investigaciones realizadas en las diversas temáticas es elevado, que se cuenta con personal especializado como una reserva potencial, con visión segura de los errores cometidos, conocimiento de los problemas a resolver, las líneas a desarrollar y sus potencialidades de colaboración y comercialización.

El trabajo desplegado en estos años ha permitido ahondar en el conocimiento de las causales que provocan los fenómenos que afectan nuestra región, así como trabajar en el conocimiento de los efectos sísmicos para su utilización en decisiones de localización, proyectos, confección y actualización de planes contra sismos de gran intensidad en sitios de interés económico y social, tales como las ciudades de Santiago de Cuba, Guantánamo, Bayamo, los poblados de Palma Soriano, San Luis y las industrias de refinar petróleo en Cienfuegos, generación eléctrica por fuentes hidráulicas en el Toa-Duaba (Guantánamo) y nucleares en Cienfuegos y Holguín, las presas de Avispero (Santiago de Cuba) y Silantro (Granma) y trabajos en el exterior como el realizado para el Central Azucarero de Tipitapa-Malacatoya en Nicaragua (1981).

Los mapas de microzonificación (indistintamente según la etapa se utilizan también los términos: microzonación o microrregionalización) sísmica tienen como objetivo evaluar el grado de influencia de diferentes parámetros en la variación de los efectos sísmicos, en caso de un terremoto de moderada o gran magnitud. Estos se definen por estudios geológicos, geomorfológicos, tectónicos, geofísicos ingeniero-geológicos, sismotectónicos, e hidrogeológicos, en los que tienen mayor peso las características litológicas, el relieve, el nivel freático, la tectónica local y el régimen sísmico de las zonas sismogeneradoras cercanas a los sitios de estudio.

Para cumplimentar los objetivos deben tenerse criterios en el proyecto de las áreas más o menos favorables para tipos de construcciones específicas desde el punto de vista sismológico, que permitan: hacer valoraciones de la intensidad sísmica a esperar, calcular de forma teórica y experimental la respuesta dinámica de los paquetes litológicos que subyacen la zona, aportar información sobre las características espectrales estáticas y dinámicas de los estremecimientos producidos por los terremotos (efectos) y analizar las oscilaciones propias del suelo (microsismos), la propagación de las ondas en el medio (rigidez acústica) y la respuesta ante terremotos de baja energía.

Para dar respuesta a todas muchas interrogantes en el campo de la Sismología, así como a otros problemas que resuelve la Geofísica, es necesario la utilización de un complejo de metodologías que traten de investigar la esencia y la dinámica del fenómeno, así como la causa y los parámetros que dan lugar y condicionan los efectos. Para ello trataremos de

dar solución a lo que llamamos **TAREA INVERSA**, que no es más que el análisis de los efectos y parámetros cualitativos y/o cuantitativos aportados por el fenómeno, que nos permiten evaluar las posibles causas que dieron origen a dichos efectos.

Es importante resaltar que la solución de esta problemática es sumamente engorrosa debido a su ambigüedad, producto de ello encontramos infinidad de causas que provocan efectos idénticos, innumerables efectos diferentes debido a la misma causa o producirse una concatenación de relaciones **EFECTO-CAUSA**, que al estudiarse permite resolver y llegar a conocer o tener criterios sobre la esencia del fenómeno.

Esto se aprecia claramente en las investigaciones de microzonación sísmica, en las que la concatenación de fenómenos es tal que se van condicionando uno a otro, los que son a la vez analizados y/o resueltos por metodologías totalmente diferentes.

Para ello en los análisis de los estimados de peligrosidad sísmica se parte de los catálogos de sismos históricos donde aparecen los terremotos de épocas pasadas evaluados por la intensidad de sus efectos principales, las áreas de afectaciones, la fecha y hora de ocurrencia del fenómeno, lo que permite valorar determinística y probabilísticamente la periodicidad de ocurrencia de eventos destructores en un área cercana a una zona de origen de terremotos determinada.

La información geológica permite conocer los parámetros de la falla tales como espesor y profundidad de la capas litosféricas, la extensión y la tipología de los estratos; la geofísica, las propiedades físico-mecánicas de las rocas y su respuesta dinámica; mientras que la sismológica nos informa sobre las coordenadas, la profundidad, la velocidad de las ondas y otras. De esta forma se puede valorar las características del evento sísmico máximo probable.

Cabe reconocer la necesidad de estas investigaciones porque la estructura tectónica que ha acumulado energía tiene que liberarla, el momento de esta acción impredecible es **CASUAL** y de poderse predecir con certeza permitiría salvar vidas humanas y medios materiales, reduciendo las pérdidas. Este es el principal problema de la Sismología en la actualidad, por lo cual los más importantes esfuerzos están dedicados a los trabajos de prevención y mitigación de los efectos de los terremotos, conjuntamente con los del conocimiento claro de las posibles respuestas de los suelos ante la ocurrencia de un fenómeno y la proyección, diseño y construcción de edificaciones que sean capaces de soportar daños severos ante la ocurrencia de sismos destructores sin colapsar. Para ello interactúan un conjunto de ciencias afines, que permite dar soluciones prácticas y ahondar en el conocimiento y aproximación de las posibles respuestas de los suelos.

Intentamos en este trabajo exponer resultados utilizables por ingenieros, proyectistas, planificadores y organismos de gobierno de la ciudad de Santiago de Cuba, para la toma de decisiones en el planeamiento urbanístico e industrial de estas ciudades, que incluyen presentar una metodología de medición y procesamiento para trabajos de microzonación, una categorización de las amenazas geológicas y otra de la respuesta dinámica de los suelos, un mapa-esquemático pronóstico de amenaza geológica inducida por sismos; proponer y probar una variante tecnológica de medición y procesamiento que permita a los sismólogos cubanos enfrentar estudios de este tipo en nuestras condiciones actuales. Ese es, a nuestro criterio, el **APORTE CIENTIFICO** de esta obra que, sin intención de ser

abarcadora, trata de resolver las dificultades que aparecen en los trabajos precedentes y poner estas investigaciones al nivel del conocimiento actual en el mundo.

HIPOTESIS

Partimos de que el conocimiento de las propiedades de los suelos, su análisis conjunto en una y dos dimensiones, la evaluación con técnicas de estadística multivariada, sistema de información geográfica y el uso de sistemas avanzados de cómputo, nos permiten predecir el comportamiento del suelo ante eventos sísmicos fuertes y catastróficos, con menor uso de recursos, costo, personal y tiempo.

OBJETIVOS

Los objetivos trazados fueron:

1. Propuesta de variante tecnológica de medición, procesamiento y análisis de trabajos de microzonación sísmica, que incluye preparar un sistema automatizado para el procesamiento y preparación inicial de los datos para su uso con otros sistemas;
2. Determinación de la amenaza de fenómenos físico-geológicos inducidos por sismos fuertes en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores;
3. Reevaluación de la información existente con el empleo de nuevas concepciones en la microzonación sísmica y la introducción de parámetros e hipótesis de uso actual;
4. Presentación de una categorización sísmica de los suelos, que incluye la evaluación de las amenazas por la ocurrencia de fenómenos físico-geológicos inducidos por terremotos fuertes;
5. Propuesta de nuevo esquema de microzonación sísmica para la ciudad de Santiago de Cuba;
6. Validación teórica de los resultados a partir del cálculo de los efectos sísmicos y las características dinámicas de sus efectos para los terremotos máximo de cálculo (TMC) y de proyecto (TP), que pueden ser utilizadas para proyecto de obras de interés.

Los resultados dan respuesta a:

1. Necesidades de los organismos planificadores para la proyección del uso de suelos;
2. Etapa inicial de la evaluación del riesgo geológico de Santiago de Cuba y sus alrededores;

3. Etapa de las investigaciones de la respuesta del suelo dentro del programa de evaluación del riesgo sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba.

APORTE CIENTIFICO-TECNICO

Como aportes del trabajo tenemos:

1. la preparación y prueba de un sistema de medición y procesamiento para trabajos de microzonación sísmica, con tecnología cubana, de bajo costo, con resultados de calidad al nivel de este tipo de investigaciones en el mundo.
2. la categorización de las amenazas geológicas establecida en este trabajo puede generalizarse para trabajos posteriores de este tipo en el país.
3. el mapa-esquemático del pronóstico de amenaza geológica inducida o catalizada por terremotos de aceleraciones mayores de 0,1 g e intensidades mayores de VII grados en la escala MSK puede evaluar se para la planificación del desarrollo industrial y urbanístico prospectivo de la ciudad de Santiago de Cuba que redundaría en la mitigación de las pérdidas materiales y humanas.
4. los mapas-esquemáticos presentados son básicos para el desarrollo de estudios de microzonación, vulnerabilidad y riesgo sísmico de la ciudad.
5. el trabajo permite presentar un mapa-esquemático del pronóstico de amenaza geológica de Santiago de Cuba, estudio no realizado hasta el momento para la ciudad aplicando un sistema de información geográfica, lo cual potencializa el resultado como actualidad.
6. se utilizan por primera vez en el país para investigaciones sismológicas de Sistemas de Información Geográfica, metodología de amplio uso en el mundo dentro de trabajos de microzonación sísmica;
7. se presenta por primera vez para Santiago de Cuba esquemas de amenaza geológica y de probabilidad de ocurrencia de fenómenos físico-geológicos inducidos por terremotos;
8. se presenta una categorización para el análisis de la respuesta dinámica de los suelos;
9. se presenta un nuevo mapa-esquemático de microzonación sísmica para Santiago de Cuba, que resuelve las limitaciones de los anteriores y aporta mayor información que los precedentes.

TRABAJOS EN EVENTOS CIENTIFICOS

Como autor principal:

- Zapata, J.A., Rubio, M., Chuy, T. y Sierra, L.O. (1989a): El Megasismo del 20 de Agosto de 1852; Resúmenes II Congreso Internacional sobre Desastres, Ciudad de la Habana;
- Zapata, J.A., González, B.E., Pérez, L.D. y Fernández, A.I. (1989c): Microzonificación sísmica de la ciudad de Guantánamo. V Jornada Científica del IGA-ACC. C. de la Habana.
- Zapata, J.A., González, B.E., Pérez, L.D., Fernández, A.I. y Fernández, B. (1991): Determinación de las variaciones de la intensidad sísmica de base en los territorios urbanos. II Encuentro Nacional de Ingenieros Geofísicos, ISPJAE, C. de la Habana
- Zapata, J.A., Fernández, A.I. y Chuy, T. (1992a): Características de los efectos sísmicos en la ciudad de Guantánamo. GEOCIENCIAS-92 Sociedad Cubana de Geología, Santiago de Cuba.
- Zapata, J.A., et al. (1992b): Particularidades de la microzonificación sísmica para obras hidrotécnicas. GEOCIENCIAS-92 Sociedad Cubana de Geología, Santiago de Cuba.
- Zapata, J.A., Fernández, A.I., Fernández, B., Marisy, J. (1993b): Estado actual y perspectivas de la reevaluación de la microzonificación sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba; II Evento de Investigaciones Sismológicas Aplicadas, Santiago de Cuba, CENAI - ACC;
- Zapata, J.A. (1994): Metodología de procesamiento automatizado en la microzonificación sísmica. III Encuentro Nacional de Investigaciones Sismológicas Aplicadas, CENAI, Santiago de Cuba.
- Zapata, J.A. y Fernández, A.I. (1994) Cálculo de la rigidez sísmica para la ciudad de Guantánamo. III Encuentro Nac. de Investigaciones Sismológicas Aplicadas, CENAI, Santiago de Cuba.
- Zapata, J.A. y Fernández, B. (1994): Análisis de la posible ocurrencia de fenómenos físico-geológicos en Santiago de Cuba. III Encuentro Nac. de Investigaciones Sismológicas Aplicadas, CENAI, Santiago de Cuba.
- Zapata, J.A., y Rivera, Z. (1994): Efectos Sísmicos en la zona de Moa. II Congreso Internacional de Geología. Santiago de Cuba.

Como coautor:

- Chuy, T. y Zapata, J.A. (1989): Sobre la variación de la Intensidad Sísmica de los terremotos dentro de la ciudad de Guantánamo. V Jornada Científica del Instituto de Geofísica y Astronomía. C. de la Habana.
- González, B.E., Pérez, L.D., Zapata, J.A., Fernández, A.I. (1989b): Pronóstico de las variaciones de la intensidad sísmica asociadas a condiciones geológicas típicas en la ciudad de Santiago de Cuba. V Jornada Científica del Instituto de Geofísica y Astronomía, ACC.
- González, B.E., Pérez, L.D. y Zapata, J.A. (1989): Utilización de los datos ingeniero-geológicos e hidrogeológicos en la microzonificación sísmica de áreas industriales y de asentamientos humanos I Congreso Cubano de Geología. C. Habana.
- Oliva, R., Seisdedos, J., Zapata, J.A. y Pileta, J. (1989): Análisis ingeniero-geológico de la ciudad de Guantánamo con fines de microzonificación sísmica. I Congreso

- Cubano de Geología, C. de la Habana.
- Chuy,T., Zapata,J.A. Sierra,L.O. y Guasch,F.(1991): Microzonificación sísmica de la ciudad de Guantánamo por datos macrosísmicos IV Jornada Científico-Técnica de la Actividad Geológica Santiago de Cuba.
 - Fernández,B., Fernández,A.I., Zapata,J.A. y Almaguer,M. (1991): Esquemas de microzonificación sísmica de los poblados de Palma Soriano y San Luis. IV Jornada Científico-Técnica de la Actividad Geológica. Santiago de Cuba.
 - Fernández,A.I., Zapata,J.A y Leyte-Vidal,A (1991): Cálculo de los coeficientes para la determinación de la variación de la intensidad sísmica en la ciudad de Santiago de Cuba; Resúmenes IV Jornada Científica de la Sociedad Cubana de Geología Santiago de Cuba.
 - González,B.E., Zapata,J.A. y Pérez,L.D.(1991): Particularidades de la microzonación sísmica de objetos de obra de importancia capital. II Encuentro Nacional de Ingenieros Geofísicos, CUJAE, C. Habana.
 - Fernández,A.I., Fernández,B., Zapata,J.A., Marisy,J. y Chuy,T. (1992a): Microzonificación sísmica del poblado de Baracoa, GEOCIENCIAS 92 Santiago de Cuba.
 - Fernández,B., et al. (1992b): Caracterización de los efectos sísmicos de la ciudad de Guantánamo. GEOCIENCIAS-92 Sociedad Cubana de Geología Santiago de Cuba.
 - Rubio,M. y Zapata,J.A. (1992): INGESIS: Un sistema para Ingeniería Sísmica; GEOINFO-92; Fondos del Instituto de Geofísica y Astronomía, ACC.
 - Díez,E., Vázquez,L. y Zapata,J.A.(1994): Sistema telemétrico computarizado para las investigaciones sismológicas. III Encuentro Nacional de Investigaciones Sismológicas Aplicadas. CENAI, Santiago de Cuba.
 - Fernández,B., Rivera,Z., Reyes,C.R. y Zapata,J.A.(1995): Comprobación de áreas de posible aparición de fenómenos físico-geológicos de la ciudad de Santiago de Cuba. Su comportamiento en la construcción de obras de fortificación. X Forum de Ciencia y Técnica del Estado Mayor Provincial Santiago de Cuba y del Ejército Oriental. 15p.
 - B. Fernández, Rivera,Z., Reyes,C.R. y Zapata,J.A.(1995): Levantamiento ingeniero-geológico y comprobación de áreas de posible aparición de fenómenos físico-geológicos en la cuenca Santiago de Cuba. Escala 1:25 000. INVESCONS95. Segunda Conferencia Científico-Técnica de Investigaciones Aplicadas. C. Habana

INFORMES PRESENTADOS

Como autor:

- Zapata,J.A. y Fernández,A.I. (1989b): Microzonificación sísmica de la ciudad de Guantánamo por el método de las analogía ingeniero-geológicas. Fondos del CENAI-ACC, Santiago de Cuba.
- Zapata,J.A. y Leyte-Vidal,A. (1991): Programa SMU.
- Zapata,J.A. y Leyte-Vidal,A. (1992): Programa PROYECTO.
- Zapata,J.A., Fernández,A.I., Fernández,B. y Almaguer,M. (1992c): Microzonificación Sísmica de las áreas de ubicación de los objetos de obras de la CHE Toa-Duaba. En: Investigaciones Sismológicas Complejas para el CHE Toa-Duaba, Capítulo 6, 56 pp.
- Zapata,J.A., Fernández,B., Fernández,A.I. y Chuy,T.(1993a): Evaluación del Efecto

- Sísmico de las obras del Polo Científico de Santiago de Cuba, Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, 197 pp.
- Zapata, J.A. y Moreno, B. (1994): Programa SMU V2.0, CENAIS-ACC
 - Zapata, J.A., Rivera, Z., Arango, E., Díez, E. y Fernández, A.I. (1994): Microzonificación Sísmica de la Presa Silantro, Provincia Granma. Fondos del Centro Nac. de Investigaciones Sismológicas 35 pp.
 - Zapata, J.A., Rivera, Z., Fernández, A.I. y Reyes, C.R. (1994c): Efecto y microzonación sísmica de instalaciones económicas y sociales del complejo níquelífero en Moa. Fondos del Centro Nac. de Investigaciones Sismológicas, 115 pp

Como coautor:

- García, S.E. (1981): Criterios acerca de las características de amplitud-frecuencia de las oscilaciones de los suelos en el territorio de Santiago de Cuba (Tutores: CHUY, T.J. y J.A. ZAPATA) Tesis de opción al título de Licenciado en Física, Fac. de Física-Matemática, Universidad de Oriente 60 pp.
- González, B.E., Mirzoev, K., Chuy, T., Golubiatnikov, V., Lyskov, L., Zapata, J.A., Alvarez, H. (1984): Informe Final del tema 31002 "Estudio del Riesgo Sísmico y de la Variación de la Intensidad Sísmica de los Terremotos en el Territorio de la Ciudad de Santiago de Cuba. Archivo Departamento Sismología, IGA-ACC, 150 pp.
- Conjunto de Especialistas Sovieticos y Cubanos (1989): Informe de las Investigaciones Sismológicas Complejas para la CEN Norte de Oriente. Fondos del MINBAS y del CENAIS, ACC. 12 Tomos.
- Fernández, B., Zapata, J.A., Fernández, A.I. y Marisy, J. (1990): Microzonificación Sísmica del poblado Palma Soriano por el método de las Analogías Ingeniero-Geológicas. Fondos del CENAIS - ACC, 25 pp.
- Chuy, T., Alvarez, J.L.; Zapata, J.A. y González, B.E. (1992): Investigaciones complejas para el Complejo Hidroenergético Toa-Duaba. 5 Tomos. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.
- Guasch, F., Arango, E., Avich, B., Chuy, T. y Zapata, J.A. (1992): Investigaciones sismológicas complejas para las obras del Polo Turístico de Granma. Fondos del CENAIS. 65p.
- Fernández, A.I., Fernández, B., Marisy, J. y Zapata, J.A., (1993a): Microzonificación Sísmica del poblado de San Luis por el método de las Analogías Ingeniero-Geológicas. Fondos del CENAIS-ACC, 30 pp.
- Fernández, A.I., Fernández, B., Zapata, J.A., Marisy, J. y Chuy, T. (1993b): Efecto Sísmico de la ciudad de Baracoa, Fondos del CENAIS-ACC, 30 pp.
- Caballero, L.F. (1994): Microzonificación Sísmica del área de Moa. Tesis de opción del Título de Ingeniero Geofísico, ISPJAE-MES 60 pp. Tutor: ZAPATA, J.A. Facultad Civil. Dpto Geofísica.

PUBLICACIONES

Se publicaron los siguientes trabajos:

- Chuy, T., González, B.E., Zapata, J.A. y Milanes, B. (1982a): Criterios Sismohidrogeológicos sobre la cuenca de Santiago de Cuba. Investigaciones Sismológicas en Cuba No.2, pp 5-19

- Chuy,T., Zapata,J.A. y González,B. (1982b): Microrregionalización Sísmica de la zona de Levisa. Investigaciones Sismológicas en Cuba No.2, pp 157-169.
- Colectivo de Autores Cubanos y Nicaraguenses (1982): Estudio de factibilidad del Proyecto Azucarero Tipitapa-Malacatoya. Estudio Sismológico en el área de desarrollo del Ingenio Tipitapa-Malacatoya. Tecnoplan, S.A. Volumen VI. Managua, Nicaragua.
- Alvarez,H., Golubiatnikov,V., González,B.E., Lyskov,L., Mirzoev.K., Zapata,J.A., Chuy,T.(1986): Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Santiago de Cuba: Bases Metodológicas y Resultados Preliminares. Investigaciones Sismológicas No. 9, Moscú pp 88-89 (en ruso).
- González,B.E., Mirzoev,K. Chuy,T., Lyskov,L.A., Golubiatnikov,V.L., Kogan,L.A., Zapata,J.A., Alvarez,H.(1989a): Microzonificación sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba; Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía No. 15, 25 pp.
- Chuy,T., Rubio,M. y Zapata,J.A.(1990): Isosistas del terremoto del 20 de Agosto de 1852; Atlas Provincia de Santiago de Cuba/ACC.
- Chuy,T. y Zapata,J.A. (1990): Intensidad sísmica promedio puntual de la ciudad de Santiago de Cuba; Atlas Provincia de Santiago de Cuba/ACC.
- Zapata,J.A. y Chuy,T. (1992): Validación de la microzonificación de la ciudad de Santiago de Cuba por las observaciones macro-sísmicas de los terremotos, Reportes de Investigaciones de la ACC, 27 pp.
- Zapata,J.A., Fernández,A.I., Fernández,B y Marisy,J.(1994a): Evaluación de los efectos sísmicos en asentamientos humanos de la región suroriental de Cuba. Aspectos de Sismicidad de Cuba. CENAIACC. pp 104 - 115
- Zapata,J.A., Fernández,A.I., Fernández,B. y Marisy,J. (en prensa): Microzonificación sísmica de las ciudades de Bayamo y Guantánamo. Parámetros para proyectos. 8p.
- Zapata,J.A., Fernández,A.I., Fernández,B. y Marisy,J. (en prensa): Influencia de las tipologías de suelos en los efectos sísmicos de la ciudad de Santiago de Cuba. 8p.
- Zapata,J.A. y Fernández,B.(en prensa): Posible ocurrencia de fenómenos físico-geológicos en Santiago de Cuba. 7p.

ESTRUCTURA Y VOLUMEN DE LA TESIS

Este trabajo consta de resumen, introducción, cinco capítulos que conforman el cuerpo principal, figuras y bibliografía. Los capítulos de tesis se titulan:

1. Antecedentes.
2. Nueva metodología de medición y procesamiento en microzonación sísmica.
3. Amenaza de fenómenos físico-geológicos inducidos por terremotos fuertes.
4. Microzonación sísmica de Santiago de Cuba. Nuevos criterios.
5. Validación de los efectos de los movimientos fuertes del suelo.

Se utilizó la información de un gran volumen de trabajo, mediciones con diferente equipamiento, tecnología, procesamiento y análisis; los sitios de estudios resultaron extensos y se ajustó la metodología a la información existente tratando de compensar la misma. En este trabajo se brinda información para los constructores tales como acelerogramas sintéticos en las componentes horizontal y vertical, sus espectros de respuesta y dinámicos, las características de amplitud y frecuencia de los suelos, factores de amplificación experimentales, funciones de transferencia empíricas, homogeneidad de las respuestas dinámicas. Consideramos, en sentido general, que el trabajo emplea técnicas modernas de microzonación sísmica y resuelve problemas específicos para el planeamiento y la economía.

CONTENIDO FUNDAMENTAL DE LA TESIS

Dentro del **Capítulo 1: ANTECEDENTES** se plantea que nuestra intención principal sobre las temáticas abordadas en el trabajo es marcar el nivel de conocimiento actual en el país y las tendencias de mayor desarrollo en el mundo por lo que nos planteamos hacer una breve reseña sobre las nuevas técnicas en investigaciones de microzonación sísmica y amenaza geológica. Se marcan los saltos y las limitaciones en el conocimiento en la temática de microzonación sísmica dentro del país. Debemos resaltar que el polígono principal de prueba y aplicación de los métodos de microzonación sísmica ha sido la ciudad de Santiago de Cuba por lo que en un capítulo específico (Capítulo 4) se discuten los métodos empleados y sus resultados. Este capítulo se limita a esbozar los saltos metodológicos, las tendencias principales y las zonas del país donde se ejecutaron trabajos de estudio de los efectos sísmico y la respuesta dinámica de los cortes litoestratigráficos.

Internacionalmente las investigaciones de microzonación giran en dos vertientes las modelaciones matemáticas de la respuesta dinámica de los suelos y la evaluación combinada de investigaciones geotécnicas apoyadas en trabajos ingeniero-geológicos detallados, fotogeología, análisis de señales tomadas por sensores remotos para rangos de frecuencia diversos, mediciones instrumentales y encuestas macrosísmicas de terremotos moderados y fuertes. En los últimos se ha difundido el uso de Sistemas de Información Geográfica en el procesamiento y evaluación de la información anteriormente descrita, por lo cual en el trabajo se introduce como herramienta de primer orden.

En el **Capítulo 2: NUEVA METODOLOGIA DE EJECUCION Y PROCESAMIENTO EN MICROZONACION SISMICA** se discute una metodología más avanzada de medición, procesamiento, análisis y evaluación para la microzonación sísmica que puede emplearse en evaluaciones de amenaza y riesgo geológico. Se plantea que la limitante principal en los trabajos instrumentales realizados en Cuba está centrada en el procesamiento de la información debido a la forma de registro de la señal (visual o analógica fotográfica), el análisis manual empleado (amplitudes y períodos) y el procedimiento de análisis estadístico lo cual no permitía el empleo de técnicas avanzadas, más confiables de procesamiento automatizado.

En los últimos tiempos las investigaciones de microzonación al igual que otros métodos geofísicos, tienden aceleradamente al desarrollo de la sismoteleetría en redes de estaciones locales al procesamiento automatizado de registros digitales y al uso de computadoras portátiles para el análisis espectro-temporal en tiempo real de la respuesta dinámica de sitios de interés ubicados en zonas sísmicas. Esta variante es la más costosa. Sus resultados son más exactos, confiables y en Cuba se cumplen en obras de especial importancia como grandes hidroeléctricas, fábricas y plantas electronucleares y se ejecutan sólo en países desarrollados.

En los trabajos de microzonación sísmica realizados con mediciones de microsismos en la zona de Levisa (1980) y Santiago de Cuba (1980 y 1982-83), el objetivo era caracterizar la zonación realizada por métodos de analogías ingeniero-geológica, por ello se realizaban pocos puntos, lo cual no garantizaba la escala, así como se trazaban manualmente las isolíneas sin preocuparse por la regularidad de la red. Esto permitió analizar, valorar y caracterizar las insuficiencias en la medición, análisis, procesamiento y evaluación de la información utilizada, y buscar formas y métodos de mejorar la calidad y operatividad de los resultados y así poner esta temática al nivel actual del conocimiento en el mundo.

Como intento inicial de aumentar la velocidad de procesamiento empleamos en el programa SMU1 versión 2.0 en la variante de realización del método de rigidez acústica en áreas donde no existieran mediciones experimentales para ello nos auxiliábamos de las propiedades físico-mecánicas en los cortes litoestratigráficos para el cálculo de las rigideces, con el uso de relaciones que se presentan más adelante.

Como soluciones instrumentales se intentó, quedando sólo en prototipos, la construcción de equipos de registro en cinta magnética y en memoria en estado sólido, con la filosofía de poder medir las microoscilaciones del suelo y almacenar información suficiente con disminución del peso, aumento de la productividad y mayor calidad de la señal registrada. Como primer intento se probó el uso de un sensor triaxial con registro visual, captación automatizada de la señal primaria con scanners, con la automatización de la digitalización y la medición de las amplitudes y los períodos (Presa Silantro, 1993), pero la velocidad del registro conspiró contra los resultados.

Por necesidades del Servicio Sismológico Nacional se implementó el SISMOTEL200 que permitió una nueva tecnología de medición, métodos de procesamiento y análisis más complejos, con mayor potencialidad de evaluación de la información. La experiencia de la sismoteleetría dentro del SSN permitió trazar la estrategia de solución de la problemática existente, por lo que se plantearon las siguientes tareas:

1. Adecuar y probar un sistema que permitiese las mediciones instrumentales por sismotelemetría y la grabación en soporte magnético;
2. Enlazar, completar y probar un conjunto de sistemas que permita el procesamiento y análisis de la información;
3. Crear y probar una metodología que permita la obtención y evaluación de toda la información necesaria en estas investigaciones.

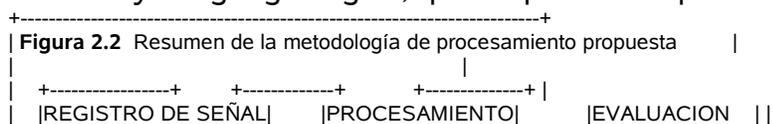
Para los trabajos se preparó una estación monocanal para mediciones en de microsismos y terremotos débiles, en ella se utilizaron el modulador, el demodulador, el transmisor, el receptor, las antenas, la computadora y los amplificadores. En la prueba tecnológica se comprobó la posibilidad de transmisión y registro múltiple de señales; registro magnético digital de la variable en tiempo real; alta frecuencia de muestreo que amplía las posibilidades de medición y análisis de amplitud y frecuencia; visualización permanente de la señal registrada que permite su discriminación inmediata; marcación de tiempo que permite situar los instantes precisos en las señales registradas y autonomía energética.

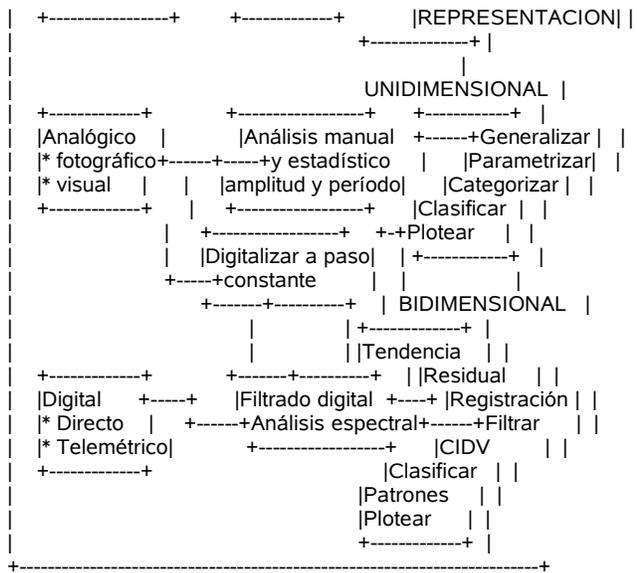
Valoramos como superiores las potencialidades del actual equipamiento, por: mayor velocidad de ejecución de las mediciones; mayor área de operatividad por el uso de la telemetrización de la señal de 20 a 30 kms del punto de registro; mayor calidad de la información obtenida; mayor velocidad de análisis de la información; mayor potencialidad de procesamiento; menor uso de personal; menor gasto de combustible; menor tiempo de ejecución de los trabajos; y menor tiempo de presentación de los resultados. Pero para su implementación definitiva son necesarias resolver problemas tecnológicos.

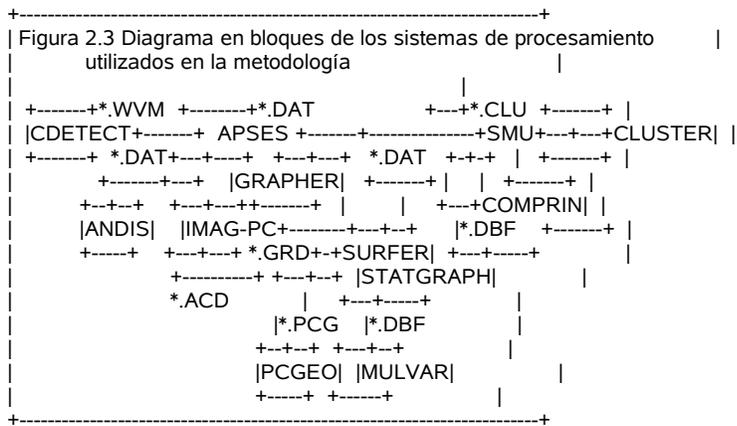
Evaluar la metodología de trabajo era otra de las limitantes porque el procesamiento de los registros de la señal (analógica fotográfica o visual), el análisis manual (mediciones de amplitudes y períodos por tramos) y el procesamiento estadístico realizado, no permitían la explotación de técnicas automatizadas complejas de cálculo, lo cual se resolvía realizando interpolaciones y generalizaciones manuales de toda la información.

Como concepto la nueva metodología de procesamiento da la posibilidad del uso de registros obtenidos en otras etapas. La misma está centrada en la utilización de programas desarrollados en el país, de amplio uso en investigaciones de nuestra rama que insertados en los estudios de microzonación sísmica con criterios flexibles y un orden lógico permiten la interrelación y la explotación adecuada de sus posibilidades de procesamiento con la obtención de resultados antes no obtenidos. Entre los que se encuentra la posibilidad de integración en un sólo mapa o esquema resultante de toda la información utilizada.

Se presentó una metodología (Figura 2.2) que permite el análisis, procesamiento, estudio y correlación de la información sísmológica, geofísica, geológica, geomorfológica, ingeniero-geológica, tectónica y geodésica en la realización de estudios de microzonación sísmica y riesgo geológico, que es posible emplear con el apoyo de un grupo de







El SMU1 es un utilitario que resuelve las necesidades de cálculo no existentes en otros sistemas por microsismos, funciones de transferencias y primeros máximos con sus frecuencias y suavizamiento de

Se diseña una fase experimental para probar en un polígono experimental las potencialidades del

CON EL EQUIPAMIENTO: mediciones de microsismos en un radio de 10 kms; en tiempo real se

CON LA METODOLOGIA DE PROCESAMIENTO: separar la señal útil y sus componentes; análisis funciones de transferencias; interpolación y mapeo; categorización y clasificación bidimensional de la

La preparación y presentación de esta metodología de medición y procesamiento para trabajos de Holguín.

A partir de la estrategia establecida se obtuvo: un análisis estadístico del espectro medio de los puntos euclídeana y correlación múltiple de los espectros suavizados para lo que analizó la relación entre los suavizados; los cuatro máximos principales y sus frecuencias; los espectros suavizados.

En la DISCUSION DE LOS RESULTADOS obtenidos vemos que al comparar el método presentado con el método tradicional, disminuir el tiempo de medición y de procesamiento, mejorar la calidad del análisis y las potencialidades que brinda el sistema de registro digital sismotelemétrico pudiéndose realizar una campaña

- puntos medidos: 295
- días trabajados: 12
- sesiones trabajadas: 15
- horas trabajadas: 40
- área investigada: 84 kms²
- personal necesario: 4
- salario medio: 310 pesos
- costos en salario: 620 pesos

Si comparamos cuantitativamente los costos en salarios con campañas de microsismos realizadas en otros lugares (en miles de pesos). Entre 1982-83 (CHISS, 118 puntos, ocho meses, patrón fuera del área, no simultáneo, cinco

Para la realizada en la Central Electronuclear del Norte de Oriente durante 1987-88 (CHISS, 2000 puntos, cinco meses, 2000 pesos).

Con la prueba de la metodología de medición y procesamiento pudimos demostrar:

- * la existencia de una tecnología de medición, sismotelemétrica digital con simultaneidad,
- * la conformación y prueba de una metodología de procesamiento para investigaciones de m
- * la demostración de la factibilidad económica de ejecución de investigaciones de campo
- * que por primera vez en Cuba se usan espectros de Fourier y de potencia en trabajos de
- * que se demuestra la posibilidad de uso de la metodología como eslabón independiente de geotécnica.

En cumplimiento de los objetivos planteados se propone una categorización de las amenazas geológicas inducidas y de la respuesta dinámica de los suelos que incluye el análisis de los fenómenos físico-geológicos. Se presenta el esquema pronóstico de la amenaza geológica para sismos con aceleraciones mayores de 0,1 g; en la microzonación sísmica se realiza el análisis y la reevaluación de toda la información existente; así como se evalúan las ventajas y limitaciones de los métodos empleados. Lo cual permite la confección de un esquema con factores geológicos, de amenaza geológica y de respuesta dinámica de los suelos con los resultados de las campañas instrumentales que incluye el uso de los períodos horizontales del desplazamiento y las amplitudes de las velocidades verticales de las mediciones de microsismos.

Dentro del **Capítulo 3: AMENAZA DE FENOMENOS FISICO-GEOLÓGICOS INDUCIDOS POR TERREMOTOS** se valora que la ciudad de Santiago de Cuba cercana a la zona sísmica más activa del país, está ubicada en una cuenca pequeña de 400 km², es cruzada por incontables estructuras tectónicas activas y en ella convive una población de más de 430 000 habitantes con una densidad poblacional de 280 a 300 personas por hectárea, en 86189 viviendas de las cuales 37061 están en estado de regular a malo. Por ello se hace más crítica la evaluación de los efectos que puedan aparecer durante la ocurrencia de un terremoto moderado o fuerte y mucho más necesarios los estudios que apoyen al planeamiento urbanístico.

La ocurrencia de un sismo es un catalizador importante y son famosos los casos de fenómenos físico-geológicos inducidos por terremotos con un gran volumen de pérdidas humanas y materiales. En la cuenca de Santiago de Cuba han sido reportados fenómenos de este tipo, entre los que como ejemplos más representativos se tienen los ocurridos durante los terremotos del 20 de agosto de 1852 y del 3 de febrero de 1932 que cuenta con una extensa crónica que describe de forma detallada los efectos en las edificaciones en la ciudad. Estas describen las afectaciones localizadas en áreas cercanas a las estructuras tectónicas que cruzan la ciudad y las grietas abiertas en la zona de la Avenida Lorraines y el de Villa detalla la afectaciones en las edificaciones producto del sismo. En 1852, los grandes desprendimientos y deslizamientos de tierra descritos en el área de los cafetales de la Sierra de la Gran Piedra fueron lo más representativo. Al tener estas experiencias históricas, es obvio la necesidad de evaluar la potencialidad de ocurrencia de fenómenos físico-geológicos inducidos por terremotos moderados y fuertes.

Estos fenómenos físico-geológicos inducidos pueden aparecer como consecuencia de intensas lluvias y/o sismos moderados y fuertes permiten ser evaluados con vistas a una zonación en caso de ocurrencia de sismos moderados y fuertes en Santiago de Cuba y sus alrededores.

En el mundo, los mayores núcleos poblacionales están ubicados en zonas sísmicamente activas o cercanas, por ello los países de mayor desarrollo enfrentan de maneras diversas estas investigaciones apoyándose en los métodos que mayor información aportan (Japan Working Group, 1992 y AFPS, 1993). Las investigaciones de susceptibilidad de amenazas o peligros aparecen recogidas estos códigos constructivos con la intención de resguardar las estructuras ante las sacudidas sísmicas, lo cual se soluciona con mapas de zonificación, de aquellas zonas donde pueden aparecer aceleraciones superiores a los 0,2 g.

En el pronóstico de los posibles riesgos inducidos por sismos fuertes presentado por Japan Working Group (1992) se analiza, generalmente, la seguridad contra la fuerza de los terremotos de dos aspectos:

- * las estructuras de las edificaciones;
- * los sitios escogidos para instalaciones industriales o sociales.

Ellos estudian parámetros para identificar, evaluar y valorizar los peligros geotécnicos, y representar las normas en forma de mapa o inventarios con mayor o menor grado de detalle por las escalas y necesidades de uso. Por lo general, los resultados son presentados como mapas de peligro potencial con zonas de diferentes niveles o potencialidad de afectación, que se nombran comúnmente MAPAS DE ZONIFICACION, PELIGRO, AMENAZA E IMPACTO. En años recientes estos trabajos alcanzan un alto reconocimiento de ingenieros, científicos y planificadores, debido a la ocurrencia de grandes desastres producto de efectos físico-geológicos inducidos a gran escala por la aparición reiterada de terremotos fuertes y catastróficos. Evaluaciones de este tipo se insertan en diversos países como documento rector de planificación y evaluación del desarrollo futuro de regiones perspectivas. Ejemplo de ello tenemos los trabajos realizados por Youd, et al. (1975) en San Francisco (Estados Unidos de Norteamérica), por Ishihara y Ogawa (1978) en Tokio (Japón), por Mora, et al. (1993) en el Valle Central (Costa Rica), por Pascual, et al. (1994) en la ciudad de Granada (España) y su entorno.

Estos trabajos se apoyan fuertemente en un conocimiento preciso de las propiedades físico-mecánicas de las rocas que les permite cuantificar verazmente la posible respuesta del suelo. Al analizar en Santiago de Cuba la información ingeniero-geológica se encuentra que la profundidad del 80 % de las perforaciones están entre 5 y 10 metros y no cubren uniformemente toda la ciudad por lo cual para este trabajo partimos de trabajos realizados con fines de ingeniería (Heredia et al., 1982). No obstante, las referencias presentadas corroboran que la estrategia presentada para la evaluación y pronóstico de las amenazas geológicas es correcta y las técnicas de procesamiento utilizadas las empleadas en la actualidad en el mundo para estos pronósticos de susceptibilidad de amenazas, lo cual denota la actualidad del trabajo.

Dentro de los niveles de zonación para el detallamiento de los mapas y el análisis de su nivel de confiabilidad que incluye objetivos de diversa índole, rigurosidad y escala permite clasificarlos en tres niveles, que presentamos a continuación, haciendo énfasis en cada grado de análisis y de detallamiento siendo esta de las normas consultadas la más exhaustiva, lo que nos hace coincidir con estos criterios. Las investigaciones propuestas son las realizadas en nuestro país en las temáticas de geología, tectónica, geofísica, geomorfología, ingeniería geológica y otras ciencias afines por lo cual su empleo es viable.

NIVEL MAS GENERAL DE ZONACION (Grado 1): se utiliza para trabajos de zonación en grandes cuencas, zonas montañosas y áreas extensas. NIVEL CONFIABLE DE ZONACION (Grado 2): se usa en áreas urbanizadas, sus alrededores y donde se prevé cierto desarrollo urbanístico. NIVEL MAS CONFIABLE DE ZONACION (Grado 3): sólo para obras especiales como grandes embalses y centrales atómicas.

En el nivel 2 se tiene en cuenta a parte de los estudios regionales:

- * el análisis fotogeológico o de imágenes cósmicas, para definir las estructuras tectónicas y unidades geológicas;
- * la revisión de mapas geológicos antiguos, como apoyo al mejor conocimiento de la historia del desarrollo geológico y geomorfológico;
- * los estudios locales con investigaciones ingeniero-geológicas y geofísicas detalladas (de campo y laboratorios), para mapear con mayor claridad las unidades geológicas locales que influyen en la amplificación de los movimientos del subsuelo, en la intensidad potencial de deslizamiento y en la susceptibilidad de liquefacción;
- * las encuestas a residentes locales para obtener información histórica sobre fenómenos físico-geológicos;
- * las mediciones de microsismos para detallar la información sobre la estratigrafía del subsuelo, las características de amplificación de los movimientos del suelo y su respuesta dinámica;
- * que las investigaciones se presentan a escalas desde 100 000 a 10 000.

Lo antes señalado se resuelve con investigaciones de:

- * Investigaciones geológicas, geomorfológicas, geotécnicas y geofísicas;
- * Clasificación de los suelos;
- * Mediciones de microsismos;
- * Medición de velocidad de las ondas S;
- * Análisis de la respuesta del suelo.

Inicialmente, se analizó la posibilidad de realización de investigaciones de este tipo en Santiago de Cuba y sus alrededores, nuestra área está comprendida en la cuenca de Santiago de Cuba entre las coordenadas X: 600 000 a 610 000 y Y: 145 000 a 160 000 (150 km²), el nivel básico de muestreo son cuadrículas de 4 hectáreas (200 * 200 m²) para un total de 25 puntos por km² que tienen asignadas sus variables y el total de cuadrículas analizadas es de 3358.

Para ello fue necesario definir dentro de la información existente la que permitía realizar evaluaciones más confiables, así como a partir de ellas determinar el nivel de estudio posible. Por el nivel de estudio y de conocimientos alcanzados, por la coincidencia del tipo de información con la presentada en la norma es posible realizar evaluaciones sobre las amenazas geológicas que se pueden categorizar como de grado 2. Dentro de la presentación de las variables se incluye un análisis estadístico de la cantidad de cuadrículas y el porcentaje del área que comprende cada una de las clases en que se dividen las

variables, esto se empleará luego en las categorizaciones realizadas. Esta es el área y los criterios en todo el trabajo.

De la información recopilada fue posible obtener las variables iniciales para análisis de este tipo dentro de las que tenemos tipología de los suelos, niveles freáticos, estructuras tectónicas, niveles de las aguas freáticas, períodos y amplitudes de los microsismos con registros de banda ancha y amplitudes y espectros de las oscilaciones de los microsismos con registros CHISS. Además como apoyo se determinaron las características morfométricas del terreno (alturas máxima y mínima, longitud de arroyos, ríos y cañadas) con las que se calcularon las disecciones horizontal y vertical, la hipsometría de las alturas máximas y las pendientes en grados, que permitieron comprobar las zonas donde podrían ocurrir los fenómenos estudiados. Las variables se dividieron en morfométricas e ingeniero-geológicas.

Para la categorización de las amenazas geológicas y el pronóstico de los fenómenos físico-geológicos inducidos se partió de criterios cualitativos. Los resultados obtenidos del nivel de grado de estudio obligaron a categorizar y clasificar las áreas a partir de los parámetros de mayor peso informacional, por lo que las variables las dividimos en factores geotécnicos y de amenaza. Dentro de los primeros valoramos los tipos de suelos y los niveles del manto freático, y dentro de los segundos los rangos de pendientes y los efectos físico-geológicos probables. Para los diferentes tipos se plantea una aceleración límite a partir de la cual puede aparecer el fenómeno descrito. La categorización presentada es cualitativa y utilizaremos la clasificación presentada en la Tabla 3.8.

En la categorización se incluye de forma diferenciada la influencia de la fuerza de los terremotos en los efectos físico-geológicos catalizados, los mismos pueden comenzar a aparecer con sismos que produzcan aceleraciones mayores de 0,1 % de g. A medida que aumenta la fuerza del terremoto los efectos se incrementarán en las zonas de efectos a menores aceleraciones.

Al enfrentar el pronóstico de la amenaza geológica para Santiago de Cuba poseemos la información necesaria para la conformación de los mapa-esquemáticos pronósticos de amenaza de fenómenos físico-geológicos inducidos por sismos de aceleraciones mayores de 0,1 g e intensidades mayores o iguales que VII grados MSK, para ello son factibles de ser analizados como riesgo geológico los fenómenos de: LICUEFACCION, DESLIZAMIENTO Y DERRUMBE. Esta categorización permite clasificar las áreas de amenaza en: MUY BAJA, BAJA, MEDIA, ALTA Y MUY ALTA, lo cual permite su uso inmediato por los planificadores urbanísticos.

La aplicación de la categorización para la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores permite la confección de mapa-esquemáticos resultantes de dos tipos que evalúan: LA MAYOR O MENOR POTENCIALIDAD DE AMENAZA GEOLOGICA Y LA APARICION DE FENOMENOS FISICO-GEOLOGICOS ESPECIFICOS. Las posibilidades del primero permite tomar las decisiones de planeamiento y el segundo posibilita, además, criterios específicos para proyecto de instalaciones.

Se presentan en la Tabla 3.9 y Figura 3.6 la potencialidad de amenaza geológica con el número de cuadrículas y sus porcentos de acuerdo a la clasificación establecida, notamos que la zona de amenaza muy alta y alta representa el 20,93 % y la de amenaza baja y muy baja el 66,56 % del área. En la Tabla 3.10 y Figura 3.7 se presentan los fenómenos con posibilidad de aparición en caso de terremotos con aceleraciones mayores de 0,1 % g e intensidades mayores de VII grados MSK, la zona en que no debe aparecer ningún tipo fenómeno representa el 69,39 %, lo cual es comparable con los resultados de las zonas de amenazas baja y muy baja que es el 66,56 % del área, por lo que los resultados son coincidentes.

Los resultados son coincidentes con los planteados por Heredia et al. (1973) en cuanto a la posibilidad de aparición de fenómenos de deslizamiento en las zonas con pendientes elevadas de la formación Cobre (S1). Dentro de la parte urbanizada (Figura 3.6) notamos que las mejores zonas (amenazas muy bajas) están hacia la zona norte del Distrito José Martí, zonas de Versalles, Cuabitas, Santa María, Boniato, reparto Sueño y Distrito Abel Santa María por lo que no deben esperarse fenómenos de este tipo y serían las zonas perspectivas para el desarrollo de urbanizaciones. Como zona de AMENAZA BAJA el Caney, área central de Distrito José Martí, zona MODERADA los sedimentos aluviales de la cuenca del río San Juan y como ALTA y MUY ALTA parte norte y oeste de la bahía, cuenca de los rios Gascón, Caimanes, Yarayó, sedimentos deluviales y proluviales de la cuenca de San Juan y zona de Trocha.

En la Figura 3.7 encontramos que hay potencialidad de: LICUEFACCION aparece en la zona de la Bahía (zona industrial y portuaria), las cuencas de los ríos San Juan, Gascón para VII y además para la de los antiguos rios que corrían por Yarayó y Trocha, para VIII; DESLIZAMIENTO aparece en la zona de las elevaciones al norte del Distrito José Martí, de Puertos Boniato y Pelado, alrededores del río San Juan, de la Bahía hacia la Carretera Turística y en la Autopista. y DERRUMBES aparece en Puerto Pelado al norte de la cuenca, hacia la desembocadura del río San Juan y cerca del sur del Aeropuerto para VIII grados.

Tabla 3.9 Distribución por cuadrículas de la categorización de la amenaza geológica para el área de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores

TIPOS	CANTIDAD	PORCIENTO
1	1829	54,47
2	406	12,09
3	420	12,51
4	27	0,80
5	676	20,13

donde:

- 1 -- Amenaza muy baja;
- 2 -- Amenaza baja;
- 3 -- Amenaza media;
- 4 -- Amenaza alta;
- 5 -- Amenaza muy alta

Tabla 3.10 Distribución por cuadrículas de los fenómenos físico- geológicos para intensidades mayores de VII grados

TIPOS	CANTIDAD	PORCIENTO
1	451	13.43
2	530	15.78
3	47	1.40
4	2330	69.39

donde:

- | | |
|--------------------|----------------------------|
| 1 -- Licuefacción; | 2 -- Deslizamientos; |
| 3 -- Derrumbes; | 4 -- No ocurren fenómenos. |

El **Capítulo 4** que trata sobre **EL CALCULO DE LA MICROZONACION SISMICA PARA SANTIAGO DE CUBA** se valora el conocimiento de cuál será la respuesta de los suelos de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores en caso de terremotos moderados y fuertes ha sido, es y será fuente de interés de investigadores, planificadores y constructores. Por esta razón con vistas a una mejor planificación del desarrollo urbanístico e industrial se solicita por organismos del estado realizar los mayores esfuerzos en el aumento del nivel de información sismológica que le permite la mejor explotación del suelo.

Los objetivos iniciales trazados en este programa de investigación concebían la medición y procesamiento de materiales que permitieran llegar a un nuevo esquema de microzonación que resolviera las limitaciones de los anteriormente realizados. Enfrentar este programa no fue posible por la situación del país durante el período especial, etapa en que se desarrolló el trabajo, ejecutar dicho programa porque implicaba realizar un gran volumen de trabajos geológicos y geotécnicos que incluían perforaciones para definir la profundidad real del contacto con el basamento rocoso en la cuenca; y mediciones instrumentales de terremotos débiles, sísmica somera (V_s) y microsismos capaces de aportar la información necesaria para presentar un mapa a escala 1:10 000, como base para el planeamiento y anexo a la nueva propuesta de Norma Sísmica en la ciudad.

Por la razón anteriormente expuesta fue necesario modificar el programa orientándolo hacia la evaluación de las limitaciones de los anteriores trabajos; la confección de una nueva metodología de medición y procesamiento; la confección de una categorización de los parámetros que influyen en la variación de la respuesta dinámica de los suelos y la reevaluación de los materiales existentes para Santiago de Cuba, que incluía valorar la información útil para la confección de un nuevo esquema con apoyo de la metodología y la categorización preestablecida con la inclusión de los resultados del pronóstico de las amenazas geológicas, criterios no empleados anteriormente en el país.

Los trabajos de microzonación sísmica, riesgos geológico y sísmico en áreas urbanas traen consigo un gran volumen de información, que con ordenadores automáticos

actualmente es posible agilizar y aumentar las potencialidades de procesamiento (Japan Working Group, 1992 y AFPS, 1993). Esto, unido al uso de técnicas de estadística multivariada, reconocimiento de patrones e información geográfica, permite realizar las clasificaciones y categorizaciones con una alta fiabilidad y eliminar las generalizaciones utilizadas en los análisis manuales. Todo esto, junto a la velocidad de procesamiento de la información y confiabilidad de los cálculos, hace de mayor utilidad y eficacia el uso de estos métodos. Trabajos con concepción similar son los presentados por Borchardt, et al. (1991) y Pascual, et al. (1994).

Para la confección del mapa de microzonación sísmica los datos ingeniero-geológicos y sismológicos fueron digitalizados en modo RASTER de mapas a escala 1:25000 bajo el criterio de tomar valores para cuadrículas de cuatro hectáreas garantizando la precisión y presentación de los resultados a esa escala. La información instrumental de los microsismos de banda ancha fue regularizada por interpolación a una retícula de 200 * 200 m² para garantizar la homogeneidad en la precisión de las variables, ya que las amenazas geológicas cumplen estas condiciones.

Para enfrentar estos trabajos se realizó la revisión y reevaluación de algunos de los trabajos realizados en la cuenca de Santiago de Cuba sobre geología, geomorfología, geodesía, ingeniería-geológica, tectónica, neotectónica, geodinámica, geofísica, macrosísmica y microzonación sísmica con el objetivo de utilizar la información de mayor valor, a criterio del autor, para los trabajos que se enfrentarían.

Como primer intento durante el trabajo de Tesis de aplicar otro método diferente al de analogías ingeniero-geológicas por las dificultades de no poder utilizar mediciones instrumentales, se preparó un programa que con el uso de propiedades de las rocas permitiera obtener de forma indirecta la velocidad de las ondas, esto se preparó a partir de la relación entre el número de golpes de la cuchara cubana (N_c) y la densidad de la roca en relación con la profundidad de yacencia de los diferentes estratos. En este programa por servir sólo para una evaluación tentativa no se tienen en cuenta los efectos de resonancia, ni se emplearon las relaciones de Kanai porque el nivel de precisión de las determinaciones no lo exige y la poca cantidad de datos no lo permitía, las relaciones de Kanai podrían emplearse con mediciones instrumentales realizadas en redes regulares. Este cálculo se realizó primero con el programa SMU (Zapata y Leyte-Vidal, 1991) y luego con una versión mejorada SMU1 (Zapata y Moreno, 1994) en los trabajos presentados por Zapata et al. (1992a,c, 1993a, 1994b).

Dentro de los métodos instrumentales las mayores dificultades confrontadas con el método de los microsismos en nuestro país están en: la dificultad de garantizar las condiciones estándar para la simultaneidad de las mediciones en los puntos patrón e investigado, debido en ocasiones a la carencia de equipos y en otras a la distancia entre los puntos patrón e investigado; la problemática del registro analógico fotográfico o visual (plumilla y tinta), que incide en la calidad del análisis por lo que necesita de analistas de gran experiencia; la garantía de la velocidad estable del equipamiento utilizado, por lo que es necesario realizar un gran número de correcciones que difieren para cada registro medido; el análisis manual de las señales (amplitudes y períodos de las oscilaciones más representativas) que aumenta mucho el tiempo de las investigaciones.

El trabajo de García (1981) como ventaja presenta la aplicación por primera vez para un

área urbanizada (X - 594 000 a 613 000 y Y - 145 000 a 160 000) del método de los microsismos de banda ancha (desplazamiento en el rango de 0,1 a 1,0 segundos (s), con tres componentes). Como limitaciones se puede plantear que: no se definió el punto patrón para el cálculo de las funciones de transferencia; no se evaluaron los períodos predominantes obtenidos; no se comparó con la litología; no se analizaron las amplitudes; no se calcularon las variaciones de intensidades; no se evaluó la componente más informativa y no se concluyó la investigación.

El trabajo de González et al. (1984) y Alvarez, et al. (1986) prueban primero y utilizan luego con buenos resultados esta metodología de microsismos CHISS (X - 594 000 a 613 000 y Y - 145 000 a 160 000), por primera vez en el mundo, donde emplean registros analógicos fotográficos y determinan las características espectrales de amplitudes de los suelos. Las limitaciones de este método confrontadas en el país están en: el registro analógico fotográfico, por la cantidad de papel importado que se utiliza; la garantía de la velocidad estable del equipamiento utilizado por la cantidad de correcciones necesarias; el análisis manual (amplitudes más representativas para los canales definidos por el espectro CHISS), son ocho canales de registro que se analizan de forma independiente; el espectro con poco puntos (ocho), no comparables con los espectros de amplitudes de Fourier que aportan mayor información y son empleados regularmente en la práctica sismológica; la metodología de procesamiento planteaba la clasificación manual de los espectros; el peso excesivo del equipamiento, que incidía en el tiempo empleado para cada punto; el gasto en recursos, por la necesidad de uso de equipos pesados como transporte; y el tiempo para la ejecución y procesamiento de los materiales, que demora la conclusión de las investigaciones.

En resumen del análisis de las ventajas y limitaciones de los trabajos discutidos, podemos plantear del trabajo de González et al. (1984) como aspecto positivo: que aplica por primera vez una variante espectral de mediciones de microsismos (velocidad) en la componente vertical y como limitaciones: que da tres esquemas resultantes independientes, presenta un esquema de fracturación que no utiliza; realiza una comparación, que no queda clara, de la respuesta en frecuencia con la litología; y calcula idénticos estadígrafos para agrupaciones de espectros de diferentes tamaños. El de González (1991) presenta como limitación principal que no resuelve los problemas del trabajo de 1984 en cuanto a la unificación de los resultados porque: presenta cinco esquemas nuevos con la misma información de base; clasifica numéricamente los espectros pero no mapea los resultados; y no compara los resultados entre sí, así como tampoco con la geología y en la evaluación de los esquemas de factores de amplificación presenta las mismas dificultades.

Se aplica por primera vez en el mundo para trabajos de microzonación sísmica en la ciudad de Santiago de Cuba de forma experimental. González et al. (1984) presentaron el resultado de un conjunto de investigaciones ingeniero-geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas y sismológicas, se presentaron como resultados: un esquema fotogeológico de la fracturación y los sedimentos no consolidados; un esquema de tipos básicos de suelos y potencias de los sedimentos friables; y un esquema de los niveles de las aguas freáticas con cuatro rangos.

En el trabajo de Chuy y Zapata (1992) se plantea para la ciudad de Santiago de Cuba la validación de la microzonación por observaciones macrosísmicas de los terremotos y se dan zonas anómalas para el trabajo de González et al. (1984), estas son: en el Caney (611

000 - 156 375) en zona de cero aparece con incremento de un grado; parte norte del río San Juan (607 750 - 152 625) en zona de cero aparece con incremento de medio grado; alrededores de la bahía (600 750 - 147 250) en zona de más de un grado aparece con decremento de un grado; en el Distrito José Martí en los Micros 4 y 7 (603 750 - 154 780) en zonas de incremento de uno y sin variación respectivamente, aparecen con decremento de un grado; en los repartos Vista Alegre (SE) y Terrazas (607 250 - 152 450) en zonas de incremento de un grado aparecen con decremento de un grado; en las calles Trinidad y Habana (605 000 - 153 000) en zonas de incremento de un grado aparecen con decremento de un grado.

La variante de registro magnético-telemétrico-digital (Díez, et al., 1994 y Zapata et al., 1994c) presentada en el Capítulo 2 a partir de la instalación SISMOTEL200 (Serrano et al., 1989) es una posibilidad tecnológica superior que soluciona en gran medida las limitaciones instrumentales, de procesamiento y posibilita mayor alcance de los resultados.

El nivel de conocimiento aportado hasta la fecha por la información ingeniero-geológica y los resultados de mediciones instrumentales de microsismos realizadas en 1981 (de banda ancha) y 1982-83 (CHISS) permitió definir los períodos predominantes, las amplitudes máximas y los espectros CHISS puntuales como los únicos parámetros instrumentales confiables de la respuesta dinámica del suelo que se tienen de Santiago de Cuba para caso de sismos fuertes.

La problemática del período especial obligó a variar el programa de de investigación y trabajar en la búsqueda de variantes para el cumplimiento de los objetivos, ello llevó a valorar la posibilidad de resolver la tarea planteada evaluando la información ingeniero-geológica e instrumental existente. En este sentido enfrentamos tres vertientes de trabajo:

- * unificar la información resultante por el método de microsismos CHISS;
- * culminar el procesamiento y evaluar los resultados de las mediciones de microsismos de banda ancha;
- * preparar una categorización de la respuesta dinámica de los suelos y confeccionar el nuevo mapa-esquemático de microzonación sísmica.

Para lograr la unificación enfrentamos la reevaluación de la información existente analizando los tres esquemas presentados en 1984 y los seis de 1991, en los que los esquemas de analogías ingeniero-geológicas presentes en ambos son idénticos. De ellos notamos que la frecuencia de resonancia mapeada no refleja realmente la frecuencia predominante de las oscilaciones de los suelos sino el rango en que se encuentra la misma y los factores de amplificación están influidos por las amplitudes medidas en la estación de referencia, Río Carpintero, situada a 20 kilómetros de distancia y asentada sobre un tipo litológico del que sólo aparecen relictos alterados en la cuenca, y que no está demostrado sea el basamento rocoso de la misma. Por todo lo anterior consideramos como más valiosos los valores de amplitudes puntuales agrupadas en tres rangos que comparados con la litología concuerdan en gran medida con la distribución de los suelos existentes en el área.

Dentro de las posibilidades de uso de información instrumental estaban las mediciones realizadas durante el año 1980 que tenían la característica de ser de banda ancha. El análisis de los períodos de los desplazamientos en los microsismos en banda ancha, su clara correlación con los elementos ingeniero-geológicos y tectónicos existentes en la cuenca, permiten la posibilidad de aplicación de otro método muy difundido planteado por Kanai (1961 y 1968).

Al realizar un análisis de los períodos y las amplitudes obtenidos luego de regularizados por interpolación en una matriz de 200*200 m². Los períodos se agrupan en tipo 1 de 0,10 a 0,29 segundos; tipo 2 de 0,3 a 0,49 segundos; tipo 3 de 0,50 a 0,74 segundos; tipo 4 de 0,80 a 0,99 segundos y tipo 5 de 1,00 a 1,20 segundos. Al compararse su distribución areal tenemos que para las componentes horizontales ESTE-OESTE y NORTE-SUR las amplitudes más representativas son las T2 de 0,30 a 0,49 segundos (33 y 32 % de área respectivamente) y T3 de 0,50 a 0,74 segundos (31 y 33 % del área respectivamente) y para la componente vertical la T1 de 0,10 a 0,29 segundos (31 % del área) y la T2 (33 % del área). Al mapear los resultados de las zonas con períodos T2 las componentes horizontales se ajustan espacialmente a la zona 4 con decrementos de un grado en el esquema de analogías ingeniero-geológicas (46,16 % del área) y la T3 a la zona 3 sin variaciones de intensidad (29,30 % del área) del mismo esquema. Para la componente vertical el ajuste es con T1 y T2 respectivamente. Los otros rangos de T coinciden con las zonas 1 y 2 de incrementos de intensidad (24,54 % del área).

Como resumen del análisis en amplitudes, los mínimos para las componentes N-S y E-W aparecen en zonas de los repartos Sueño, Vista Alegre y el poblado del Caney; los máximos hacia la cuenca de los ríos San Juan y Gascón, así como hacia las estribaciones de Puerto Pelado y Boniato que pueden estar influidos por la pendiente. Para la componente vertical, hacia la zona industrial, Distrito José Martí, Quintero y Cuabitas. Los mínimos de las componentes N-S y vertical aparecen hacia las zonas de la formación Cobre.

Los resultados obtenidos con los microsismos de banda ancha confirman la posibilidad de uso de estos en investigaciones sismológicas como método principal y vemos que es capaz de resolver problemas de las ingeniero-geológicas lo cual traería un ahorro considerable de recursos en la confección de los mapas o mapas-esquemáticos con vistas al uso de los suelos para el planeamiento de zonas urbanas. Observamos que la

información instrumental utilizada no permite separar la respuesta dinámica de los suelos que conforman las formaciones La Cruz y Santiago, cuestión ésta que causada por la semejanza de las propiedades físico-mecánicas de las litologías que componen dichas formaciones.

Conjuntamente con la información instrumental emplearemos parámetros ingeniero-geológicos para la confección del nuevo esquema de microzonación, cuyos criterios para la categorización se presentan a continuación.

Tabla 4.7 Distribución por cuadrículas de los resultados de la unificación de los esquemas obtenidos en 1984.

TIPO	CANTIDAD	PORCIENTO
1	1136	33,83
2	1001	29,81
3	1221	36,36

donde:

1. zonas de $> +1$ y $+1$ de las analogías de la Tabla 4.1; zona de $0,13$ a $0,18 \mu/s$ de la Tabla 4.4; y zona con amplio diapasón y alta frecuencia espectral entre $2,5$ y $27,0$ Hz y máximos en $1,25$ Hz de la Tabla 4.6;
2. zona de 0 de las analogías de la Tabla 4.1; zona de $0,07$ a $0,12 \mu/s$ de la Tabla 4.4; y zona con máximos en $2,5$ y $5,0$ Hz de la Tabla 4.6;
3. zona de -1 de las analogías de la Tabla 4.1; zona de $0,01$ a $0,06 \mu/s$ de la Tabla 4.4; y zona con máximos en $0,31$ Hz y las mayores amplitudes en las bajas frecuencias de la Tabla 4.6.

Se plantea una CATEGORIZACION DE LA RESPUESTA DINAMICA DE LOS SUELOS donde utilizan como FACTORES GEOLOGICOS: el tipo de suelo y el nivel de las aguas freáticas; como FACTORES DE AMENAZA: la pendiente del relieve y los efectos físico-geológicos posibles de ocurrir como consecuencia de los sismos y como respuesta dinámica de los suelos: los períodos medios y largos de los microsismos registrados con equipos de banda ancha, las amplitudes de los microsismos medidos con el velocímetro CHISS y la variación de la intensidad sísmica probable de ocurrir en caso de terremotos. Se establecen para su mejor comprensión una gradación de categorías condicionadas a la calidad de la respuesta de los suelos y a la potencialidad de su uso en planeamiento de zonas urbanas.

Como cuestión de interés a resaltar en esta categorización para trabajos de microzonación sísmica está la evaluación por primera vez de efectos físico-geológicos (amenaza geológica) y parámetros instrumentales obtenidos por métodos diferentes, lo cual potencializa los resultados a obtener y se ajusta en gran medida a la respuesta real de los suelos en caso de terremotos.

Tabla 4.11 Distribución por cuadrículas del nuevo mapa-esquemático de microzonación sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba aplicando la categorización de la respuesta dinámica de los suelos

TIPOS	CATEGORIAS	CANTIDAD	PORCIENTO
1	Muy favorable	746	22,22
2	Favorable	679	20,22
3	Moderado	1230	36,63
4	Desfavorable	27	0,80
5	Muy desfavorable	676	20,13

Para la confección del nuevo esquema de microzonación sísmica de Santiago de Cuba utilizamos en la categorización planteada y para ello empleamos la información instrumental de banda ancha, la geológica (Heredia et al., 1982), la de niveles de las aguas freáticas (Chuy et al., 1982a) y los resultados de las amenazas geológicas auxiliados de SIG. Por un análisis previo se puede inferir por la evaluación de los areales de mejor comportamiento de estas características que la mayor parte del área debe presentar una respuesta dinámica adecuada ante las sacudidas sísmicas.

Los resultados se presentan en la Tabla y Figura 4.11 donde apreciamos la coincidencia entre las zonas DESFAVORABLE y MUY DESFAVORABLE con las zonas de amenaza muy alta y alta del esquema de amenaza geológica (Figura 3.6) con ocurrencia posible de fenómenos físico-geológicos de licuación y variaciones de intensidades de uno a dos grados está tiene menor extensión que la planteada por el trabajo González et al. (1984) para las zonas de incremento de un grado o mayores.

Dentro del área considerada como MUY FAVORABLE con posibilidades de uso para planeamiento tenemos ocho zonas centradas en las coordenadas: en el N alrededor de 159 000 y 604 000; en el W alrededor de 158 500 y 600 500; en el NE entre 607 500 - 610 000 y 151 500 - 154 000; en el centro en la zona del reparto Sueño entre 604 500 - 607 000 y 151 500 - 154 000; en el SE en la zona de la EIDE entre 150 000 y 609 000; en el N de la bahía en la parte alta del Distrito José Martí en los Micro 7, 9 y 10; en el E de la bahía hacia la carretera Turística, Ciudadamar y al W hacia la Socapa; y en las elevaciones al W del río San Juan.

La zona considerada como FAVORABLE se ubican rodeando las áreas muy favorables. Dentro de la parte urbanizada: el Distrito Antonio Maceo en la zona moderada; el Distrito José Martí hacia el S muy desfavorable y hacia el N muy favorable, siendo hacia la parte central una gradación de las intermedias; el distrito Abel Santamaría en la zona moderada; los reparto Versalles y Vista Alegre en la zona moderada; el reparto Sueño en la zona muy favorable; y el Casco Histórico tiene zonas moderada, desfavorable y muy desfavorable.

La diferencia de este resultado con el existente anteriormente (González et al. (1984)

difiere en que el Distrito Abel Santamaría y el reparto Versalles estaban en zona de decremento de un grado, el Distrito Antonio Maceo tenía sectores de decremento de un grado y en el reparto Sueño no se pronosticaban variaciones de intensidad. Son coincidentes los resultados en el Distrito José Martí, el reparto Vista Alegre y el Casco Histórico de la ciudad.

Con relación a la validación por datos macrosísmicos (Zapata y Chuy, 1992) coincide con la zona del Caney, del río San Juan (al N), la zona E de la Bahía y la zona de Micro 7 en el Distrito José Martí. Las demás zonas presentan diferencias con estos resultados. A pesar de estas diferencias, consideramos que existe correlación entre ellas, aunque al realizar la evaluación general de los esquemas para la confección de la Figura 3.4, ampliamente utilizada en Santiago de Cuba, no se utilizó información instrumental.

Por esta razón, al comparar el resultado de la unificación de la información presentada en 1984 (Figura 4.3) con 118 puntos de medición de la velocidad de las oscilaciones en la componente vertical, los espectros de amplitudes y las analogías con el mapa-esquemático (Figura 4.11) obtenido donde se utilizan un esquema ingeniero-geológico, los períodos de las mediciones de microsismos de banda ancha (113 puntos de medición del desplazamiento de las oscilaciones en tres componentes), las amplitudes de los microsismos CHISS (con 118 puntos de medición) y la amenaza de procesos físico-geológicos llegamos a la conclusión de que este último aporta mayor fiabilidad y una información más completa de la respuesta dinámica.

En el **Capítulo 5** que trata sobre la **VALIDACION DE LOS EFECTOS DE LOS MOVIMIENTOS FUERTES DEL SUELO** se determinan los parámetros de los terremotos Máximo de Cálculo (TMC) y de Proyecto (TP). Estos parámetros de los TMC y TP permiten realizar la validación de los efectos esperados al ocurrir sismos de moderada y gran magnitud y se realiza por generación de acelerogramas sintéticos. El OBJETIVO PRINCIPAL en este Capítulo es validar los resultados obtenidos en la confección de los esquemas de amenazas geológicas y microzonación sísmica para terremotos considerados como el TMC y TP con la intención de comprobar la potencialidad de ocurrencia de los efectos pronosticados.

Se selecciona para Santiago de Cuba, las ZOT cercanas que podrían provocar efectos, se toman los valores de M para TMC y TP y R a la ciudad, además se calculan los efectos por relaciones empíricas que permite seleccionar la ZOT de mayores efectos y posibilita disminuir el tiempo y costo en la generación de acelerogramas, las zonas cercanas seleccionadas son: ORIENTE 1 Y 3, BACONAO 1, SANTIAGO-MOA y SANTIAGO-BAYAMO. Luego para la zona seleccionada se generan los acelerogramas y calculan los espectros de respuesta y proyectos.

En la validación de los efectos en la ciudad de Santiago de Cuba presentamos los valores picos de las aceleraciones obtenidas de los acelerogramas sintéticos para los TMC y los valores efectivos (70 % del valor pico máximo para los TP por la influencia de estos valores en el consumo de materiales dentro de los proyectos constructivos. La secuencia de cálculo responde al sistema INGESIS (Rubio y Zapata, 1992).

El conocimiento histórico de terremotos como los del 11 de junio de 1766 y el 20 de agosto de 1852, ambos de IX grados y de ocho con intensidades de VIII grados como el

del 3 de febrero de 1932 del cual se tienen amplias muestras gráficas. Para que los estudios presentados en los Capítulos anteriores tengan mayor peso se hace necesario demostrar la posibilidad en la ciudad de ocurrencia de vibraciones tales que produzcan los fenómenos descritos, todo ello permite presentar y evaluar las características de la respuesta de los suelos ante sismos en esta ciudad y sus alrededores, con el objetivo validar sus posibles efectos.

Las zonas OT cercanas seleccionadas fueron cinco: ORIENTE 1 Y 3, BACONAO 1, SANTIAGO-MOA y SANTIAGO-BAYAMO en las que se determinaron los parámetros de cálculo para el TMC y el TP de las mismas, se utilizó en el TMC un período de recurrencia (T_r) de 1000 años, tiempo de vida útil (T_u) de 50 años y probabilidad de no excedencia (p) del 95 % y en el TP un T_r de 100 años, T_u de 50 años y una p del 61 %. Las magnitudes de las diferentes zonas se toman de las determinaciones de peligrosidad sísmica realizadas en las investigaciones del Toa-Duaba (Chuy, et al., 1992).

Para la ZOT se generan los acelerogramas sintéticos para los suelos rocosos (S1), semirrocosos (S2) y friables (S3-S4) y las componentes horizontal (H) y vertical (V). Se presentan los valores picos de las aceleraciones y los tiempos a que aparecen estos valores ($t_{máx}$), así como la duración de los estremecimientos principales para valores de 1/2 y 2/3 amplitud máxima ($A_{máx}$). Se presentan los valores máximos de los espectros de respuesta con amortiguación de 2, 5 y 10 % del TMC y los valores del espectro dinámico de aceleraciones y velocidades para el TMC en la zona sismogeneradora ORIENTE 1 (aceleraciones en g y velocidades en cm/s).

La zona de estudio dentro de la cuenca de Santiago de Cuba tiene un área de 10 kilómetros de ancho (X) y 15 kilómetros de largo (Y) para el TP presentamos cuatro zonas de tres y medio kilómetros de largo que permite diferenciar los estremecimientos a esperar que traería para los proyectistas disminución de los costos y mejor ubicación de obras en sectores con menores aceleraciones. Se presenta además un análisis de la sismicidad de fondo.

Al hacer LA VALIDACION DE LOS EFECTOS POTENCIALES POR LA OCURRENCIA DE SISMOS FUERTES en la zona ORIENTE 1 aparecen tres zonas de concentración de gran importancia causantes de los principales terremotos en Santiago de Cuba, estas tres zonas se ubican la primera entre las playas Mar Verde y Siboney (entre 15 y 25 kms) y las otras dos al este y oeste entre Baconao y Siboney, y entre Mar Verde y Chivirico (entre 30 y 55 kms). La profundidad es de 35 Kms.

Para evaluar la potencialidad de aparición de determinados efectos en las zonas A, B, C, y D estudiadas para los TP presentamos la Tabla 5.10 en que se evalúan, los parámetros de los efectos sísmicos potenciales que pueden tener valores para los diferentes tipos de suelos en intensidad iguales o mayores de VII grados de intensidad y en aceleración entre 60 y 350 cm/s^2 , a partir del cual comienzan a aparecer efectos físico-geológicos en el terreno y destructivos de importancia en las edificaciones.

Se hace énfasis sobre los parámetros de los terremotos, a partir de los acelerogramas sintéticos y sus espectros, para el conocimiento de la respuesta dinámica de los suelos y su contribución en el cálculo de la relación suelo-estructura. Los resultados presentados corroboran obtenidos en los anteriores capítulos y son comparados con trabajos anteriores

que presentan resultados comparables como los de González et al. (1984), González (1991) y Mirzoev et al. (1990). En conclusión consideramos como superiores los resultados presentados porque se evalúa un mayor número de ZOT, se realiza el análisis dinámico de la respuesta de los suelos y valoran los efectos probables para sismos fuertes. Estos resultados sólo serían superables por registros reales.

Como amenazas geológicas se corrobora pueden aparecer los fenómenos de LICUEFACCION en la zona de la Bahía (zona industrial y portuaria), las cuencas de los ríos San Juan, Gascón para VII y además para la de los antiguos ríos que corrían por Yarayó y Trocha, para I - VIII; de DESLIZAMIENTO en la zona de las elevaciones al norte del Distrito José Martí, de Puertos Boniato y Pelado, alrededores del río San Juan, de la Bahía hacia la Carretera Turística y en la Autopista y de DERRUMBE en Puerto Pelado al norte de la cuenca, hacia la desembocadura del río San Juan y cerca del sur del Aeropuerto para de VIII grados.

A medida que la aumenta fuerza del terremoto aumentan los fenómenos físico-geológicos en las zonas de AMENAZA MUY ALTA y ALTA predominando en estas la LICUEFACCION y los DESLIZAMIENTOS, luego sucederían DESLIZAMIENTOS en la zona de AMENAZA MEDIA y en las zonas de AMENAZA BAJA y MUY BAJA aparecerían DERRUMBES. Dentro de la microzonación pueden darse incrementos de uno, dos grados y mayores en las zonas descritas como DESFAVORABLES y MUY DESFAVORABLES, así como incremento de un grado en la zona MODERADA.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como conclusiones tenemos:

- Los SIG se convierten en una herramienta indispensable para los trabajos de amenaza geológica y microzonación sísmica, por su flexibilidad y posibilidades en el manejo de los datos;
- Se caracterizó la amenaza geológica por sismos en la ciudad de Santiago de Cuba a través de un mapa esquemático pronóstico con cinco zonas de amenazas: muy baja, baja, media, alta y muy alta. Y otro del pronóstico de fenómenos físico-geológicos inducidos donde se mapean la licuefacción, los derrumbes y los deslizamientos;
- Se obtuvo un nuevo mapa esquemático de microzonación sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba, sobre bases cualitativamente diferentes a los métodos tradicionales empleados en Cuba, en el aparece clasificada la respuesta dinámica de los suelos en cinco zonas: muy favorable, favorable, moderada, desfavorable y muy desfavorable.

Como recomendaciones proponemos:

- Empleo de los resultados por los Organismos del Estado que planifican, deciden, proyectan y construyen como apoyo para el buen uso del suelo y la mitigación de los efectos de los terremotos en la ciudad de Santiago de Cuba;

- Generalización de los mapas esquemáticos obtenidos para toda el área de la cuenca de Santiago de Cuba;
- Generalización de la metodología propuesta en próximos trabajos de microzonación sísmica;
- Culminación de los trabajos para el mapa ingeniero-geológico de la cuenca de Santiago de Cuba;
- Montaje de estaciones para la medición de la respuesta dinámica real en los suelos de la cuenca de Santiago de Cuba, instalar acelerógrafos y realizar campañas de mediciones de microsismos en redes regulares para el detallamiento de los resultados.

BIBLIOGRAFIA:

- **AFPS (1993)**: Guide Methodologique pour la realisation d'etudes de microzonage sismique. French Association for earthquake engineering.
- **Bard,P-I. (1988)**: Understanding effects of local condition on ground motion and accounting for them in earthquake hazard studies. Seminar on the Predicction of Earthquake, Lisboa, 35 pp.
- **Benito,B. (1992)**: Propagación de ondas Sísmicas. Caracterización del movimiento fuerte del suelo. Cursos de Especialización en Ingeniería Sísmica, XIV Input Sísmico, Dinámica de Suelos Insti tuto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja Madrid 15 pp.
- **Bernal,A. (1992)**: Respuesta Sísmica de estratos, fenómenos de amplificación. Cursos de Especialización en Ingeniería Sísmica, XIV Input Sísmico, Dinámica de Suelos Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja Madrid 19 pp.
- **BIOECO (1992)**: Fondo de datos morfométricos de la zona de Oriental de Cuba. Grupo de Biogeografía.
- **Blázquez,R. (1992a)**: Acciones sísmicas. Análisis espectral de acele rogramas. Espectros tipos. Cursos de Especialización en Ingeniería Sísmica, XIV Input Sísmico, Dinámica de Suelos Insti tuto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja Madrid 36 pp.
- **----- (1992b)**: Densificación y liquefacción de arenas. Cursos de Especialización en Ingeniería Sísmica, XIV Input Sísmico, Dinámica de Suelos Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja Madrid 44 pp.
- **Borcherdt,R.D., Wentworth,C.M., Janssen,A., Fumal,T. y Gibbs,J. (1991)**: Methodology for predictive GIS mapping of special study for strong ground shaking in the San Francisco Bay region. Proc. 4th Intern. Conf. on Seismic Zonation, Vol. 3. pp 545-552.
- **Boshi,E. y Ferrari,G. (1992)**: PERSEUS, the first GIS for historical seismology organization and first results. XXIII General As sembly of European Seismological Commission, Prague. pp SC- A4/1.
- **Caballero,L.F. (1994)**: Microzonificación Sísmica del área de Moa. Tesis de opción del Título de Ingeniero Geofísico, ISPJAE- MES 60 pp. Tutor:

Zapata, J.A., Facultad Civil. Dpto Geofísica.

- **Cardona, O.M. (1990)**: Proyecto Integral de mitigación de riesgo sísmico urbano. VI Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente, Ciudad Mexico 36 pp.
- **Chuy, T. (1980)**: La actividad sísmica de Cuba basada en datos históricos. Investigaciones Sismológicas en Cuba No. 1 pp 5-17.
- -----, **González, B.E., Zapata, J.A. y Milanes, B. (1982a)**: Criterios Sismohidrogeológicos sobre la cuenca de Santiago de Cuba. Investigaciones Sismológicas en Cuba No.2, pp 5-19
- ----- **(1988)**: Influencia de las condiciones geológicas en la intensidad sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba. Movimientos Tectónicos Recientes de Cuba No. 2 pp 46-63.
- ----- **y Zapata, J.A. (1989)**: Sobre la variación de la Intensidad Sísmica de los terremotos dentro de la ciudad de Guantánamo. V Jornada Científica del Instituto de Geofísica y Astronomía. C. de la Habana.
- -----, **Rubio, M. y Zapata, J.A. (1990)**: Isosistas del terremoto del 20 de Agosto de 1852; Atlas Provincia de Santiago de Cuba/ACC.
- ----- **y Zapata, J.A. (1990)**: Intensidad sísmica promedio puntual de la ciudad de Santiago de Cuba; Atlas Provincia de Santiago de Cuba/ACC.
- -----, **Alvarez, J.L.; Zapata, J.A. y González, B.E. (1992)**: Investigaciones complejas para el Complejo Hidroenergético Toa-Duaba. 5 Tomos. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.
- **Cuellar, V. (1992)**: Ensayos dinámicos de suelos. Parámetros característicos. Cursos de Especialización en Ingeniería Sísmica, XIV Input Sísmico, Dinámica de Suelos Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Madrid, 26 pp.
- **Díez, E., Vázquez, L. y Zapata, J.A. (1994)**: Sistema telemétrico computarizado para las investigaciones sismológicas. III Encuentro Nacional de Investigaciones Sismológicas Aplicadas. CENAI, Santiago de Cuba.
- **Donovan, N.C. (1973)**: A statistical evaluation of strong motion data including the February 9, 1971 San Fernando earthquake. Proc. 5th World Conference Earthquake. Rome Vol. 2, paper 155, 10pp.
- **Ershov, I.A. (1965)**: Comparison of experimental data on wave distribution velocities, amplitudes and periods used for seismic microzonation. Works of IFE: IFS No. 36(203). pp 18-26.
- **Ershov, I.A. (1970)**: Sobre la utilización de los microsismos para la determinación de las características de frecuencia de los suelos. Movimientos sísmicos del suelo. Ed. Nauka (en ruso).
- ----- **(1973)**: Sobre la utilización de los microsismos de período corto en la microzonificación sísmica. Microzonificación Sísmica Vol. 1, Dushamb'e pp 14-26, (en ruso).
- ----- **(1977)**: Ejemplo de interpretación de los registros de microsismos, Serie Microzonificación Sísmica. Edit. Nauka (en ruso) pp 14-26.
- **Ershov, I.A.; Popova, E.V., Rubio, M. y Chuy, T. (1983)**: Seismic micro zoning of the nuclear power plant construction site in the Sienfuegos area. Research of seismicity in seismic zones of less activity (Central Cuba) Moscú, Nauka. pp 105-112.
- **Fernández, B., Fernández, A.I., Zapata, J.A. y Almaguer, M. (1991)**: Esquemas de microzonificación sísmica de los poblados de Palma Soriano y San Luis. IV Jornada Científico-Técnica de la Actividad Geológica. Santiago de Cuba.

- -----, **Rivera,Z., Reyes,C.R. y Zapata,J.A. (1995)**: Comprobación de áreas de posible aparición de fenómenos físico-geológicos de la ciudad de Santiago de Cuba. Su comportamiento en la construcción de obras de fortificación. X Forum de Ciencia y Técnica del Estado Mayor Provincial Santiago de Cuba y del Ejército Oriental. 15p.
- -----, **Zapata,J.A. y Rivera,Z. (1995)**: Mapas esquemáticos de amenaza geológica y de pronóstico de fenómenos físico-geológicos inducidos por terremotos: su empleo en los planes contra sismos de la ciudad de Santiago de Cuba. X Forum de Ciencia y Técnica de la Defensa Civil Nacional. 7p.
- **García,S.E. (1981)**: Criterios acerca de las características de amplitud-frecuencia de las oscilaciones de los suelos en el territorio de Santiago de Cuba (Tutores: Chuy, T.J. y J.A. Zapata) Tesis de opción al título de Licenciado en Física, Fac. de Física-Matemática, Universidad de Oriente 60 pp.
- **González,B.E., Mirzoev,K., Chuy,T., Golubiatnikov,V., Lyskov,L., Zapata,J.A., Alvarez,H. (1984)**: Informe Final del tema 31002 "Estudio del Riesgo Sísmico y de la Variación de la Intensidad Sísmica de los Terremotos en el Territorio de la Ciudad de Santiago de Cuba. Archivo Departamento Sismología, IGA-ACC, 150 pp.
- -----, **Mirzoev,K., Chuy,T., Lyskov,L.A., Golubiatnikov,K., Kogan,L.A., Zapata,J.A., Alvarez,H. (1989a)**: Microzonificación sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba; Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía No. 15, 25 pp.
- -----, **Pérez.L.D., Zapata,J.A., Fernández,A.I.(1989b)**: Pronóstico de las variaciones de la intensidad sísmica asociadas a condiciones geológicas típicas en la ciudad de Santiago de Cuba. V Jornada Científica del Instituto de Geofísica y Astrofísica, ACC.
- ----- **(1991)**: Estimación del efecto sísmico en la ciudad de Santiago de Cuba; Tesis de opción al grado de Candidato a Doctor en Ciencias Físicas, Instituto de Geofísica y Astronomía, ACC, 115 pp.
- **Guiller,V.G. y Kogan,L.A. (1973)**: Seismic microzonation on the basis of weak area earthquake records. Seismic Zonation. Dushanbe, Donish. Vol. 1, pp 57-73
- **Heredia,N. Romero,J. y Guardado,R. (1973)**: Valoración de las condiciones ingeniero-geológicas de Santiago de Cuba con fines de Microrregionalización Sísmica (reprint) pp 211-227.
- -----, **Seisededos,G. y Oliva,R. (1982)**: Regionalización ingeniero-geológica de la cuenca de Santiago de Cuba a escala 1:25 000, ISPJAM-MES.
- **Ishihara,K. y Ogawa,K. (1978)**: Liquefaction susceptibility map downtown Tokyo. Proc. 2nd. Int.Conf. on Microzonation, Vol. 2. pp 897-910.
- **Iwasaki,T., Tatsuoka,F., Tokida,K. y Yasuda,S. (1982)**: Microzonation for Soil liquefaction potencial using simplified methods. Proc. 3rd. Int. Conf. on Microzonation. Seattle. Vol. 3. pp 1319-1330.
- **Japan Working Group for TC-4 Committee (1992)**: Seismic Zoning on Geotechnical Hazards (draft) 114 pp.
- **Kanai,K. (1957a)**: Semi-empirical formula the seismic characteristic of the ground. BERI Vol. 35 pp 309-325.
- ----- **(1957b)**: The requisite conditions for the predominant variation of ground; BERI Vol 35, pp 457-472.
- ----- **(1961)**: An empirical formula for the spectrum of strong earthquake motions.

BERI, Univ. of Tokyo 39, pp 85-95.

- ----- **y Tanaka,T. (1961)**: On Microtremors VIII; BERI Vol 39, pp 97-114.

- -----, et al. (1966): On Microtremors X, BERI Vol. 44 pp 645-696.
- **Kogan,L.A., Neshaev,V.A. y Romanov,O.A. (1974)**: Microrregionalización Sísmica de Tadshikistan; Edit. Donish, Dushanbe URSS (en ruso), 379 pp.
- **Medvedev,S.V. (1962)**: Ingeniería Sísmica (en ruso). Nauka, Moscú.
- ----- (1973): Recomendaciones para la Microregionalización Sísmica RSM-73, Serie "Cuestiones de Ingeniería Sísmica" Vol 15, Moscú
- ----- (1977): Complex method of seismic microzonig. 6th World Conf. on Earthq. Engineering Vol 2. New Delhi pp 504-506.
- -----, **Sponhuever, Karník,V. (1978)**: Escala de Intensidades Sísmicas MSK-78 (Modificada).
- **Meriño,P.A. y Abad,L. (1991)**: La publicación de un mapa. Subproducto de un sistema de información geográfico o una línea de producción independiente. Topografía y Cartografía Vol. III. No. 46. Sept-Oct. pp 49-56.
- **Mirzoev,K.M. et al. (1990a)**: Mapas de aceleraciones Máximas A(g) y Velocidades de oscilaciones V (cm/s) de terremotos de Cuba Oriental para magnitudes de 8.0, 7.5, 7.0, 6.5, 6.0 y 5.5 a escala 1:500 000. Fondos del MINBAS.
- ----- et al. (1990b): Informe General. Sobre la estimación de la Peligrosidad sísmica de los puntos y variantes de emplazamiento de la CEN No. 2 y No. 10. Tomo 1 Trabajos Sismológicos. Libro 11 Parte 1 450 pp.
- **Mora,S., Vahrson,G. y Mora,R. (1993)**: Mapa de amenaza de deslizamientos. Valle Central Costa Rica CEPREDENAC.
- **Opadeyi,J. (1994)**: The use of G.I.S. as Disaster Preparedness and response Tool. Proc. of the Carribean Conf. on Natural Hazards. St Anns, Trinidad and Tobago. pp 389-394.
- **Osaki,Y. (1972)**: Japanese microzonation methods. Proc Microzonation Conf. Seattle, Washington Vol. I pp 161-182.
- **Otsuka,M. y Nakajima,N. (1978)**: Physical Understanding of Microtremors Part II. Modelling. Boletín del Inst. Int. de Sismología e Ingeniería Sísmica Vol 16 pp 17-23.
- **Pascual,G., Careño,E. y Martín,A.J. (1994)**: Microzonación sísmica basada en un Sistema de Información Geográfica. Zona de estudio ciudad de Granada y su entorno. Licuefacción. Instituto Geográfico Nacional, Publicación Técnica No. 28. Madrid. 35pp.
- **Popov,V.V. (1959)**: Criterios Ingeniero-Geológicos de la Regionalización Sísmica Detallada (en ruso). Trabajo IFZ, No 5 (172).
- **Riastinko,T.G. (1976)**: Fundamento ingeniero-geológico de la microrregionalización sísmica (en ruso). Geología Soviética No. 1 pp 85-93.
- **Rovelli,A., Amato,A., Cocco,M. y Malagnini,L. (1989)**: On the use of microtremors to predict local ground response during earthquake: some test case in Italy. Procc. 4th Intern. Symp. Analysis of Seismicity and Seismic Risk. Part 2 Castle of Bechyne, Geophysical Institute. Czechoslovak Academy of Sciences. pp 361-367.
- **Rubio,M. (1985)**: The assessment of seismic hazard for the Republic of Cuba. Procc. 3rd Intern. Symp. on the Analysis of Seismicity and on Seismic Risk. Part 2 Liblice Castle. Geophysical Institute. Czechoslovak Academy of Sciences. pp 424-431.
- **Rubio,M., González,B.E. y Pérez,L.D. (1989)**: Utilización de métodos de clasificación numérica en la microzonificación sísmica. V Jornada Científica

del IGA. C. Habana.

- ----- **y Zapata, J.A. (1992)**: INGESIS: Un sistema para Ingeniería Sísmica; GEOINFO-92; Fondos del Instituto de Geofísica y Astronomía, ACC.
- **Scharfhausen, M. (1991)**: Sistema de información geográfica. Ayuda a la investigación. Topografía y Cartografía Vol.III. No. 46. Sept-Oct. pp 37-48.
- **Seed, H.B. e Idriss, I.M. (1969)**: Influence of soil conditions on ground motion during earthquakes. J. Soil Mech. Found. Div., Procc. ASCE, 95 (SM1): pp 99-137.
- ----- **(1988)**: Earthquake effects on soil-foundations systems. Foundation Engineering Handbook pp 700-732.
- **Serrano, M., Vázquez, L., López, G. y Ruiz, F. (1989)**: SISMOTEL200: Un sistema cubano de estaciones sismotelemétricas. V Jornada Científica del IGA-ACC, C. de la Habana.
- **Tanaka, A. (1983)**: Development for classification method of surface ground conditions by dynamic properties from Kanai's microtremors observation, 26 pp.
- **Viña B., N., Viña D., N. y Pons, A. (1994)**: Programa PC-GEO. BIOE CO-ACC. Santiago de Cuba
- **Youd, T.L., Nichols, D.R., Helley, E.J. y Lajoie, K.R. (1975)**: Liquefaction potencial studies for seismic zonation of San Francisco Bay region. Geological Survey Professional Paper 941-A, pp A68- A74.
- **Zapata, J.A., Rubio, M., Chuy, T. y Sierra, L.O. (1989a)**: El Megasismo del 20 de Agosto de 1852; Resúmenes II Congreso Internacional sobre Desastres, Ciudad de la Habana;
- ----- **y Fernández, A.I. (1989b)**: Microzonificación sísmica de la ciudad de Guantánamo por el método de las analogía ingeniero-geológicas. Fondos del CENAI-ACC, Santiago de Cuba.
- -----, **González, B.E., Pérez, L.D., Fernández, A.I. y Fernández, B. (1991)**: Determinación de las variaciones de la intensidad sísmica de base en los territorios urbanos. II Encuentro Nacional de Ingenieros Geofísicos, ISPJAE, C. de la Habana
- ----- **y Leyte-Vidal, A. (1991)**: Programa SMU.
- ----- **y Leyte-Vidal, A. (1992)**: Programa PROYECTO.
- ----- **y Chuy, T. (1992)**: Validación de la microzonificación de la ciudad de Santiago de Cuba por las observaciones macrosísmicas de los terremotos, Reportes de Investigaciones de la ACC, 27 pp.
- -----, **Fernández, A.I., Fernández, B. Almaguer, M. (1992c)**: Microzonificación Sísmica de las áreas de ubicación de los objetos de obras de la CHE Toa-Duaba. En: Investigaciones Sismológicas Complejas para el CHE Toa-Duaba, Capítulo 6, 56 pp.
- -----, **Fernández, B., Fernández, A.I. y Chuy, T. (1993a)**: Evaluación del Efecto Sísmico de las obras del Polo Científico de Santiago de Cuba, Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, 197 pp.
- -----, **Fernández, A.I., Fernández, B., Marisy, J. (1993b)**: Estado actual y perspectivas de la reevaluación de la microzonificación sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba; II Evento de Investigaciones Sismológicas Aplicadas, Santiago de Cuba, CENAI-ACC;
- ----- **(1994)**: Metodología de procesamiento automatizado en la microzonificación sísmica. III Encuentro Nac. de Investigaciones Sismológicas Aplicadas, CENAI, Santiago de Cuba.
- ----- **y Moreno, B. (1994)**: Programa SMU V2.0, CENAI-ACC

- ----- **y Fernández,B. (1994)**: Análisis de la posible ocurrencia de fenómenos físico-geológicos en Santiago de Cuba. III Encuentro Nac. de Investigaciones Sismológicas Aplicadas, CENNAIS, Santiago de Cuba.
- -----, **y Rivera,Z. (1994)**: Efectos Sísmicos de las Plantas de Niquel de Moa. II Congreso Internacional de Geología. Santiago de Cuba
- -----, **Fernández,A.I., Fernández,B. y Marisy,J. (1994a)**: Evaluación de los efectos sísmicos en asentamientos humanos de la región suroriental de Cuba. Aspectos de Sismicidad de Cuba. CENNAIS-ACC. pp 104-115
- -----, **Rivera,Z., Fernández,A.I. y Reyes,C.R. (1994c)**: Efecto y Microzonación Sísmica de instalaciones económicas y sociales del Complejo Niquelífero en Moa. Fondos del Centro Nac. de Investigaciones Sismológicas, 115 pp
- **Zapata,J.A., Fernández,A.I., Fernández,B. y Marisy,J. (en prensa)**: Influencia de las tipologías de suelos en los efectos sísmicos de la ciudad de Santiago de Cuba. 8p.
- **Zapata,J.A. y Fernández,B. (en prensa)**: Posible ocurrencia de fenómenos físico-geológicos en Santiago de Cuba. 7p.
- **Zapata,J.A. (en prensa)**: Mapa-esquemático de microzonación sísmica de Santiago de Cuba con técnicas de Sistemas de Información Geográfica. 14p.

Tabla 3.8 Categorización de las amenazas geológicas para diferentes valores de aceleración (% g) producidas por terremotos

T	FACTORES GEOTECNICOS	FACTORES DINAMICOS	FACTORES DE AMENAZA	FACTORES DE EFECTOS	
P	TIPO DE SUELO	NIVELES DEL MANTO FREATICO	ACELERACION % DE G	PENDIENTES	
1	S1	mayor de 10 m	< 0,3	< 30°	Ninguno
			> 30°		
	S2		< 30°		
	S3-S4		0 a 10°		
2	S1	mayor de 10 m	0,2	> 50°	Derrumbes
		entre 0 y 10 m		< 30°	Deslizamientos
		entre 4 y 10 m		> 30°	
			> 50°		Derrumbes
3	S1	entre 0 y 4 m		> 30°	Deslizamientos
	S2	mayor de 10 m		> 50°	
		entre 0 y 10 m		< 30°	
		entre 0 y 4 m		> 30°	
		entre 4 y 10 m		> 30°	
	S3-S4	entre 0 y 10 m		> 30°	
4	S3-S4	mayor de 10 m	0,1	10 a 30°	No licuable posible desliza- lizamiento
		entre 4 y 10 m			Posiblemente licuable y deslizamiento
5	S3-S4	entre 0 y 10 m		< 30°	Posiblemente licuable
		entre 2 y 4 m		0 a 10°	Licuable y deslizamiento
		entre 0 y 2 m		0 a 5°	Muy licuable y deslizamiento

donde:

- 1 -- Amenaza muy baja;
 - 2 -- Amenaza baja;
 - 3 -- Amenaza media;
 - 4 -- Amenaza alta;
 - 5 -- Amenaza muy alta;
- S1 -- Suelos rocosos;
 - S2 -- Suelos semirricosos;
 - S3-S4 -- Suelos friables.

Tabla 4.10 Categorización de la respuesta dinámica de los suelos

T	FACTORES GEOTECNICOS	FACTORES DE AMENAZA	RESPUESTA DINAMICA DE LOS SUELOS					
P	TIPO DE SUELO	NIVELES DEL MANTO FREATICO	PENDIENTES GEOLOGICOS	EFFECTOS FISICO-DIAS DE SEDS.	PERIODOS EN DE SEDS.	PERIODOS EN CHISS	AMPLITUDES DE DELTA I	PROBABLE
1	S1	mayor de 10 m > 30°	< 30°	Ninguno	0,05 - 0,25 s 0,20 - 0,72 s	0,01 - 0,06 μ/s	disminuye	
2	S1	mayor de 10 m entre 0 y 10 m entre 4 y 10 m	> 30° < 30° > 30°	Derrumbes Deslizamientos	0,05 - 0,25 s 0,15 - 0,45 s 0,35 - 1,05 s	0,20 - 0,72 s 0,01 - 0,12 μ/s		
	S2	> 50° < 30°		Derrumbes Ninguno				
3	S1	entre 0 y 4 m	> 30°	Deslizamientos	0,15 - 0,45 s 0,35 - 1,05 s	0,01 - 0,12 μ/s	no varía o	
	S2	mayor de 10 m	> 50°			0,07 - 0,12 μ/s	aumenta hasta	
		entre 0 y 10 m entre 4 y 10 m	< 30° > 30°		0,35 - 0,72 s 0,95 - 1,35 s 0,35 - 0,72 s 0,95 - 1,35 s		1°	
	S3-S4	entre 0 y 10 m mayor de 10 m	> 30° 0 a 10°		mayor de 0,8s Ninguno	mayor de 1,7s	0,07 - 0,18 μ/s	
4	S2	entre 0 y 4 m	> 30°	Deslizamientos	0,54 - 0,80 s	1,20 - 1,70 s	0,07 - 0,18 μ/s	aumenta desde
	S3-S4	mayor de 10 m	10 a 30°	No licuable			1 hasta 2° en	
				posible desli- zamiento			algunos casos un poco más	
		entre 4 y 10 m		Posiblemente	mayor de 0,8s mayor de 1,7s			
				licuable y deslizamiento				
5	S3-S4	entre 0 y 10 m	< 30°	Posiblemente	mayor de 0,8s mayor de 1,7s		0,13 - 0,18 μ/s	
		entre 2 y 4 m	0 a 10°	Licuable y deslizamiento				
		entre 0 y 2 m	0 a 5°	Muy licuable y deslizamiento				

donde:

- 1 -- Muy favorable; S1 -- Suelos rocosos;
- 2 -- Favorable; S2 -- Suelos semirricosos;
- 3 -- Moderado; S3-S4 -- Suelos friables;
- 4 -- Desfavorable; DELTA I -- Variación de la intensidad
- 5 -- Muy desfavorable;