

MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

**ESTUDIO DE LA POSIBILIDAD DE OCURRENCIA DEL FENOMENO
DE LICUEFACCIÓN EN LA CUENCA DE SANTIAGO DE CUBA.**

**TEMA PRESENTADO EN OPCIÓN AL TITULO ACADÉMICO DE MASTER EN
GEOLOGÍA.**

MENCIÓN : “ *Geotécnia*”.

**AUTOR: Ing. Bárbara
Fernández Melian**

TUTOR(S): Dr. Rafael Guardado Lacava

Dr. José A. Zapata Balanqué

Moa, 1999
“Año del 40 Aniversario del Triunfo de la Revolución”

“A MIS HIJOS”.

*... Lo que hace crecer el mundo
no es el descubrir como esta
hecho,
sino el esfuerzo de cada uno para
descubrirlo...*

José Martí

Agradecimientos.

- A mis padres, por todo el apoyo brindado durante la realización de mis estudios y en la parte final de la tesis.
- A mi esposo y compañero Angel, por su amor y comprensión.
- A los Doctores José A. Zapata y Rafael Guardado, tutores del trabajo por sus orientaciones, críticas y sugerencias sobre el trabajo y la confianza demostrada en todo momento por los resultados obtenidos.
- A mis compañeras, Zulima, Griselda, y Carmen las cuales compartí siempre todos los momentos difíciles y alegres.
- A todos los que me ayudaron en la realización de mi trabajo y siempre confiaron en mi y para aquellos que no tienen y nunca han tenido fe en los hombres.

Indice

RESUMEN.

INTRODUCCION.

CAPITULO I: Trabajos anteriores.

- 1.1. Antecedentes.
- 1.2. Justificación.
- 1.3. Objetivos.

CAPITULO II: Características geológico tectónico y sismológicas del área.

- 2.1 Características físico geográfica.
- 2.2 Características geológicas y tectónica del área de estudio.
 - 2.2.1. Estratigrafía.
 - 2.2.2. Tectónica.
- 2.3 Sismicidad de Cuba.
 - 2.3.1. Movimientos fuertes en Santiago de Cuba.
- 2.4. Análisis de la sismicidad de fondo.

CAPITULO III: Metodología de ejecución y procesamiento.

- 3.1 Metodología de procesamiento.
- 3.2. Niveles de estudio.
- 3.3. Variables utilizadas.
- 3.4 Características morfométricas.
- 3.5. Características ingeniero-geológicas.

CAPITULO IV: Posibilidad de ocurrencia del fenómeno de licuefacción inducido por terremotos fuertes en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.

- 4.1. Descripción del fenómeno estudiado.
- 4.2. Potencial de licuefacción.
- 4.3. Categorización de la amenaza geológica.
- 4.4. Pronostico de la amenaza geológica en Santiago de Cuba
- 4.5. Categorización de la respuesta de los suelos
- 4.6. Caracterización de susceptibilidad a licuefacción.
- 4.7. Con correlación geológica.
- 4.8. Criterio magnitud distancia.
- 4.9. Criterio Intensidad.

CONCLUSIONES.

RECOMENDACIONES.

Resumen

La necesidad de evaluación de fenómenos físico-geológicos en la ciudad parte de un estudio profundo de la respuesta de los suelos en caso de sismos moderados y fuertes, la misma esta sometida a un alto nivel de peligrosidad sísmica por su cercanía a la zona sismogenica de Bartlett-Caiman, en particular el sector conocido como Oriente 1.

Las características de los diferentes tipos constructivos de Santiago de Cuba la hacen una ciudad vulnerable, por lo que es la zona urbana de mayor riesgo sísmico de Cuba. Eso obliga a profundizar en la evaluación de los posibles desastres y trabajar en la mitigación de los mismos.

Los efectos de estos terremotos fuertes, en el área donde se encuentra ubicada la ciudad, desde el punto de vista de la intensidad sísmica, no han sido homogéneos y en gran medida han dependido de los siguientes factores: tipos constructivos, estado técnico en que se encuentran y las condiciones ingeniero-geológicas donde se asientan las construcciones.

Para esto se han realizado gran número de estudios con vistas a evaluar la respuesta dinámica de los suelos, entre ellos están los de efecto, microzonación y vulnerabilidad sísmica, validación de los resultados por efectos de terremotos fuertes, realización de mediciones de las oscilaciones libres de los edificios y evaluación del peligro y amenaza geológica.

En este trabajo se utilizan métodos geológicos, sismológicos y geomorfológicos, los cuales permiten dar como resultado un mapa de posibilidad de ocurrencia del fenómeno de licuefacción en la ciudad y sus alrededores así como evaluar la extensión de las áreas susceptibles a licuar y valorar los posibles daños y efectos provocados por este fenómeno lo cual permite lograr una mejor ubicación y planificación de las obras y valorar los posibles efectos y daños que serán provocados por este fenómeno.

Introducción.

Los trabajos investigativos realizados en estos años ha permitido profundizar en el conocimiento de las causas que provoca el fenómeno a estudiar el cual puede afectar la ciudad de Santiago de Cuba, así como trabajar en el conocimiento del efecto sísmico 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 en la región de estudio.

Para la realización de nuestro trabajo fue necesaria la utilización de un complejo de métodos que permitan investigar la esencia y dinámica del fenómeno estudiado, así como las causas y los parámetros cualitativos y/o cuantitativos que le dan lugar y lo condicionan.

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, 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 tales como espesor y profundidad de las capas litosféricas, la extensión y la tipología de los estratos; mientras que la sismológica nos informa sobre las coordenadas, distancia y magnitud de los eventos.

Es necesario reconocer la necesidad de estas investigaciones porque la ocurrencia de un sismo es impredecible y poderlo 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. Para ello interactúan un conjunto de ciencias, las cuales permiten dar soluciones prácticas así como profundizar en el conocimiento 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 esta ciudad así como tomar medidas que se deben tener en cuenta para mejorar las obras construidas afectadas y con posibilidad de afectaciones.

Como hipótesis de trabajo partimos del conocimiento de la ocurrencia de terremotos fuertes en el área de estudio y del reporte de posible ocurrencia del fenómeno a estudiar durante el terremoto del 3 de Febrero de 1932. El conocimiento de las características de los suelos, su análisis conjunto, profundidad de las aguas subterráneas, características geomorfológicas y el uso de sistemas avanzados de medios de computo (SURFER) que nos permita predecir el comportamiento del suelo ante eventos sísmicos fuertes y catastróficos.

Los resultados darán respuesta a:

Etapa de investigaciones de la respuesta del suelo dentro del proyecto de evaluación del riesgo sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba.

Necesidades del gobierno y organismos planificadores para la proyección del uso de suelos;

Capítulo 1: Trabajos anteriores.

1.1 Antecedentes.

Nuestra intención principal 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 sobre riesgo geológico.

Para cumplir con los objetivos planteados se propone una caracterización de los suelos para sismos mayores de VII grados en la escala M.S.K. teniendo en cuenta la ocurrencia del fenómeno físico de licuefacción en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores.

Para la ciudad de Santiago de Cuba se presenta un proyecto de investigaciones complejas fundamentadas en trabajos geológicos, tectónicos, ingeniero geológicos y geotectónicos y de fenómenos físico-geológicos inducidos; Heredia et al. (1982) publica un esquema a escala 1: 25 000 con cinco categorías de variaciones de la intensidad, en función de las propiedades ingeniero geológico de las rocas y nivel de las aguas subterráneas, además propone como suelo patrón las rocas de la formación La Cruz, consideramos que los valores de intensidad que propone están sobrestimadas porque los valores que utiliza tiene en cuenta como suelo patrón al granito

Chuy et al. (1982a) presentan un esquema a escala 1:25 000 de zonación de los niveles freáticos de la cuenca de Santiago de Cuba; González et al. (1984) presentan el esquema fotogeológico a escala 1:37000 esquemas a escala 1:25 000 de tipos básicos de suelos, potencia de sedimentos superficiales, variaciones de intensidad, similaridad de los espectros CHISS y velocidades de los microsismos.

Este trabajo al igual que Heredia et al. (1982) tiene como limitante la poca información sismológica y los valores de variación de la intensidad sísmica que se tienen en cuenta no se ajusta con la información sismológica existente y publicada en esa época (Alvarez y Menéndez, 1969; Alvarez, 1970; Alvarez, et al., 1970 y Chuy, 1980) que proponían VIII grados de intensidad para Santiago de Cuba.

González et al. (1984) presenta un esquema de analogías ingeniero-geológicas para Santiago de Cuba, donde define cuatro zonas de variación de intensidades: disminución de más de un grado (basaltos, andesitas, aglomerados volcánicos poco agrietados y alterados, tobas de composición media y básica, calizas duras, porfiritas basálticas y andesíticas y areniscas tobáceas sin variación de intensidad), disminución de un grado (tufitas, margas, calizas alteradas y agrietadas blandas), aumento de un grado (depósitos cuaternarios consolidados compuestos por arenas, arcillas y suelos gravoso) y aumento de más de un grado (depósitos cuaternarios no consolidados, terrenos de deposición y rellenos artificiales). Las características ingeniero-geológicas de Santiago de Cuba están presentadas en los trabajos precedentes. Además se tuvo en cuenta el nivel de las aguas freáticas, el grado base de partida considerado es de VIII grados, las rocas que aparasen en cada zona se describen a continuación:

En 1988 R. Guardado realizó un estudio titulado “Clasificación de los procesos y fenómenos geológicos que tienen lugar en la Ciudad de Santiago de Cuba“, donde el autor relaciona estrechamente los procesos y fenómenos geológicos con las condiciones tectónicas generales,

los movimientos actuales de la corteza terrestre que traen como consecuencia el desarrollo de variados procesos geológicos, señalando en gran medida los fenómenos sísmicos.

González (1991) presenta una zonación empleando los cortes típicos cuyas áreas no difieren en gran medida de la obtenida en 1984 por el método de las analogías ingeniero-geológicas. En el caso de la microzonación sísmica, González (1991) presentó los resultados de los efectos sísmicos en Santiago de Cuba a partir de la misma información instrumental obtenida en 1984. Dentro del trabajo realizó la evaluación del esquema de analogías con el método de las condiciones ingeniero-geológicas típicas, donde obtuvo ocho tipos de perfiles típicos que son comparables con las cuatro zonas obtenidas anteriormente. El esquema corrobora el anterior presentado en 1984.

Orbera y Ramírez (1994) presentan y confirman por evaluaciones de neotectónica reciente a escala 1:50000 la posibilidad de ocurrencia de fenómenos físico-geológicos en la cuenca en caso de sismos fuertes. Rueda et al. (1994) categorizan por mediciones geodésicas de alta precisión el nivel de actividad de las diferentes estructuras tectónicas. Arango et al. (1994) condicionan la confección del esquema de riesgo geológico a escala 1:25 000 a la actividad geodinámica reciente de las estructuras locales la cual puede ser determinada por mediciones geodésicas de alta precisión y evaluaciones geomorfológicas. Consideramos que contra ello conspira la imposibilidad de mediciones absolutas en la cuenca por falta de amarre mareográfico.

Fernández B., Reyes C., Rivera Z. (1995) presentan un Esquema ingeniero geológico de la cuenca de Santiago de Cuba donde proponen la posibilidad de ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y licuefacción en varios sectores teniendo en cuenta los tipos de suelo profundidad de las aguas subterráneas y topografía.

En el año 1996 el Arango E. "Geodinámica de la región de Santiago de Cuba en el límite de las placas Caribeña y Norteamericana" donde se hace énfasis en las principales etapas de la evolución tectónica y en la sismicidad asociada al sistema de fallas transformantes Bartlett-Caimán. También se hace una caracterización geodinámica de la Cuenca Santiago de Cuba.

Rafael Lorente (Comunicación Personal) Hace un estudio bibliográfico sobre la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores, donde presenta varios esquemas del área que datan desde el año 1751 donde aparecen representadas lagunas (Laguna Espanta Sueño, Laguna de Don Pepe, Laguna de San Juan) y zonas de relleno (carretera del morro y calle 9, zona de portuaria, La playita) que existían en la ciudad los que servirán de mucha importancia en el trabajo.

Zapata (1997) en su Tesis proponen un esquema pronóstico de fenómenos físico-geológicos para sismos con intensidades mayores de VII y VIII grados utilizan como herramienta de procesamiento un sistema de información geográfica con cuadrículas de 200 * 200 metros cuadrados y evalúan parámetros de relieve, ingeniero-geológicos, tectónicos y de microzonación sísmica a escalas 1:10 000 y 1:25 000. El procesamiento es realizado con el sistema PC-GEO (Viña et al., 1994), lo que permitió realizar las categorizaciones, clasificaciones y la confección de mapas para diferentes variables, al unísono, con apoyo de los programas CLUSTER y COMPRIN (Coyula, 1991) en el análisis estadístico multivariado (Linares 1986 y 1990). Este es el trabajo más reciente donde el autor propone zonas con posibilidad de ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y licuefacción. La limitante de este trabajo con respecto al nuestro está en que aquí se utilizan las características

geológicas, profundidad de las aguas subterráneas y grados de pendientes para dar las categorías y nosotros tenemos en cuenta estos parámetros y sumamos las características ingeniero geológicas de la cuenca de Santiago de Cuba las cuales se encuentran resumidas en una base de datos creada (en dbf) las cuales se encuentran distribuidas en todo el área de trabajo. (Figura 1).

1.2.- Justificación.

“.....La vulnerabilidad a los desastres naturales va en aumento debido al crecimiento acelerado de la población, la urbanización y la concentración de las industrias e infraestructuras en zonas expuestas a desastres. El fatalismo no puede ser aceptado, es hora de aprovechar en todo su rigor el progreso científico y tecnológico para reducir la tragedia humana y las pérdidas económicas de estos desastres naturales...” (Giesecke, 1989).

Como consecuencia de esta situación, las Naciones Unidas el 11 de Diciembre de 1987, en su Resolución 42/169, declara el decenio de 1990 al 2000 como un “Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales” (DIRDN), cuyo objetivo fundamental está dado en reducir, especialmente en los países en desarrollo, la pérdida de vidas, los daños materiales y las perturbaciones sociales y económicas causadas por desastres naturales como terremotos, deslizamientos, etc.

En el Segundo período Ordinario de Sesiones de las Naciones Unidas de 1989, en el informe presentado por el Secretario General de la ONU, sobre el DIRDN, se establecen como meta a lograr, la elaboración de medidas para la evaluación, predicción, prevención y mitigación de los desastres naturales mediante programas de asistencia técnica y transferencia tecnológica, proyectos de ensayo y actividades de educación y formación, adaptadas al tipo de riesgo y al lugar que se trate.

Por su parte el grupo de expertos creado para el DIRDN, propone la creación de programas nacionales, dirigidos a la determinación de las zonas expuestas a riesgos y la evaluación de los mismos sobre la base de estudios científicos de los fenómenos naturales potencialmente destructivos, de manera que permitan conocer su causa para minimizar sus consecuencias.

Cuba, país que se encuentra en vías de desarrollo, no está ajeno a los efectos de los fenómenos naturales como es el caso de los sísmico y los meteorológico, catalizadores a su vez de fenómenos secundarios. Como parte del DIRDN, el gobierno, por medio de la Defensa Civil y el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENSAIS), desarrolla un programa integral, dirigido a la reducción y mitigación de los desastres ocasionados por los terremotos en las zonas de alto riesgo sísmico.

La sismicidad histórica demuestra que la actividad sísmica se reporta en todo el territorio cubano, sin embargo la mayor peligrosidad se concentra en la región sur oriental, por su ubicación en las proximidades del contacto entre las placas de Norteamérica y del Caribe, que genera todo un movimiento diferencial que convierte a este sistema de fallas transformante en la principal zona Sismogeneradora del país.

La ciudad de Santiago de Cuba ha sido sacudida por más de 1000 sismos desde el año 1530, entre los que se encuentran 7 de intensidad VIII y IX grados, y 26 de intensidad VI y VII grados (Escala Mercalli), lo que hace de esta ciudad la de más alto peligro sísmico del territorio cubano.

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 ciudad de Santiago de Cuba han sido reportados varios fenómenos inducidos por terremotos fuertes, entre los más representativos son los ocurridos durante los terremotos del 20 de agosto de 1852 (Zapata, Rubio, Chuy y Sierra, 1989a) y del 3 de febrero de 1932 (Chuy, 1980, 1988) los cuales cuentan con una extensa crónica la que describe de forma detallada los efectos en las edificaciones de la ciudad; además se 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.

En el catálogo de sismos históricos cubano aparecen ubicados y descritos los fenómenos físico-geológicos inducidos descritos anteriormente, los mismos están asociados a los sismos moderados y fuertes ocurridos en la zona oriental del país (Chuy, 1980; Chuy y Alvarez, 1984; Chuy, Rubio y Zapata, 1990; y Chuy, Alvarez, Zapata y González, 1992). Encontramos que para el sismo del 20 de agosto de 1852 (Zapata, Rubio, Chuy y Sierra, 1989b; Chuy, Rubio y Zapata, 1990) se describieron derrumbes y desprendimientos en zonas aledañas a Santiago de Cuba ubicadas en las estribaciones del poblado del Caney y los cafetales de la Sierra de la Gran Piedra. Para el sismo del 3 de febrero de 1932 se reportó y existen fotografías de grietas moderadas del pavimento, así como pérdida de sustentación de edificaciones en la zona del puerto, lo cual podría ser un reflejo del fenómeno de licuefacción por ser potencialmente licuables los suelos de esa área: arenas, cieno, sedimentos antropogénicos y relleno, ubicados en una zona de freáticos muy cercanos a la superficie.

Teniendo en cuenta que el peligro sísmico está latente en esta ciudad se hace necesario profundizar en su estudio, dirigido fundamentalmente en el comportamiento ingeniero geológico de los suelos de manera que podamos obtener un mejor conocimiento de los fenómenos causantes de la actividad sísmica, a los fenómenos secundarios asociados, caracterizando su potencialidad y magnitud, con el objetivo de minimizar sus efectos.

1.3.- Objetivos.

Sobre la base de lo antes expuesto, nos proponemos los siguientes objetivos:

- 1.- Se realiza la valoración de posibilidad de ocurrencia del fenómeno de licuefacción en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores; se valoran las características ingeniero-geológicas y geomorfológicas de la cuenca, profundidad de las aguas subterráneas, así como un estudio de la actividad sísmica del área.
- 2.- Dar como resultado un esquema de Probabilidad de ocurrencia de licuefacción en la región de estudio.

Capitulo 2: Características geológico tectónico y sismológicas del área de estudio.

2.1 Características físico geográfica.

La ciudad de Santiago de Cuba se encuentra ubicada en la costa sur-oriental de la isla de Cuba, limita al sur por las aguas del mar Caribe, al norte por las elevaciones de la sierra de Puerto Pelado y Boniato, al este por el macizo montañoso de la Gran Piedra, al oeste con la parte centro occidental de la sierra maestra. Las coordenadas geográficas del área de estudio correspondiente en el sistema Lambert son:

X: 598031 - 611189

Y: 145426 - 160100

El relieve es variado siendo hacia el norte semimontañoso y accidentado constituido por elevaciones jóvenes y alargadas, las cuales forman un arco bordeando la cuenca de pendientes medianamente abruptas y cimas en forma de crestas separadas por pequeños valles, al sur el relieve es llano ondulado constituido por escasas elevaciones de pendientes suaves predominando las costeras en forma de mesetas alargadas formando hacia la cercanía de las costas las terrazas escalonadas. En la bahía la costa es escarpada y se desarrollan elevaciones de aspecto terraciforme.

En las zonas lejanas de las costas el relieve es mucho más bajo y a lo largo del curso de los ríos se pueden observar extensas llanuras aluviales.

En el área no existe una red hidrográfica desarrollada, escasas corrientes fluviales la atraviesan y por lo general son de carácter intermitente, desapareciendo casi totalmente durante los periodos secos. Entre los ríos más importantes se citan los ríos San Juan, Sardinero entre otros que corren al este de la ciudad de Santiago de Cuba y desembocan en la costa sur, los ríos Los Guaos, Yarayó y Paradas (Cobre), que corren al oeste de Santiago de Cuba y vierten sus aguas en la bahía.

2.2 Características geológicas y tectónica del área de estudio.

2.2.1. Estratigrafía.

El vulcanismo paleogénico es el último gran evento magmático de las Grandes Antillas, donde se encuentra el mayor volumen de vulcanitas del Paleoceno - Eoceno que se registra en Cuba Oriental, el cual se estructuró en un sistema formado por las siguientes unidades, según Cobiella (1987); a- Arco volcánico en el sur al cual denominan Turquino. b- Cuenca Marginal ó Interarco inmediatamente al norte en la que sólo la porción occidental de la Cuenca de Yucatán alcanzó el estadio de formación de corteza oceánica. c- Arco Remanente constituido por gran parte del territorio cubano al norte de las depresiones Paleoceno - Eocénica. d- La estructura más norteña la forma una extensa Cuenca extendida entre el Arco Remanente y la Plataforma de Bahamas. A dicha unidad se propone llamarla Depresión Septentrional Cubana.

El Arco volcánico Turquino comprende gran parte de la Sierra Maestra se extendió en forma de una estrecha franja, sobre la cual se desarrolló la Cuenca Santiago de Cuba representada esta última por las A.E.F Arco volcánico del paleógeno, de las Cuencas Superpuestas de la Segunda Generación y del desarrollo Neoplatafórmico.

La región oriental de Cuba posee una estratigrafía muy compleja debido a su variedad litológica, en este sentido se han realizado numerosos trabajos con diferentes criterios, de los cuales utilizamos los empleados por M.Campos y F.Quintas y la comisión nacional del Léxico estratigráfico de la A.C.C, a continuación daremos una breve descripción acerca de las formaciones presentes en el área de estudio.

A.E.F. Arco Insular Volcánico del Paleógeno.

A finales del Daniano se desarrolla otro régimen geodinámico de arco de islas; esta actividad volcánica estuvo restringida fundamentalmente a la parte oriental de Cuba y está representada por más de 6 000 m de espesor de vulcanitas así como cuerpos plutónicos asociados, ocupando sobre todo la parte sur del Oriente cubano representando al grupo El Cobre (parte axial del arco) y compuesto por andesitas, aglomerados, holoclastitas, tobas, tufitas de composición media y también andesita-basalto.

En su conjunto es una típica asociación vulcano-plutónica con un amplio desarrollo de cuerpos subvolcánicos de diabasas y pórfidos-dioríticos, pórfidos graníticos, pórfidos sieníticos y macizos intrusivos de rocas cristalinas tales como dioritas cuarcíferas, tonalitas y plagiogranitos. Estructuralmente estas secuencias forman el flanco norte de una gran estructura monoclinial con buzamiento noreste. Este grupo fue dividido en cuatro formaciones; donde sólo afloran en el área tres de ellas.

Formación El Cobre(Cob).

Según (Taber 1934) está constituida fundamentalmente por rocas piroclásticas de composición andesítica y basáltica aunque se presentan variedades más ácidas. En las cercanías de los paleofocos volcánicos hay importantes acumulaciones de andesitas basaltos cortadas por diques y stocks, en toda la formación aparecen materiales tobaceos redepositados, calizas a menudo tobaceas, cuya importancia aumenta hacia las partes altas de la formación. La mayor potencia de esta formación aparece en la Sierra Maestra donde evidentemente se hallaron los principales focos volcánicos.

La Edad de esta formación es Paleoceno inferior-Eoceno medio. Es cubierta concordantemente en gran parte de su área de distribución por los sedimentos calcáreos de la formación Charco Redondo.

Los efusivos de esta formación pertenecen a las series calcoalcalinas y toleíticas ya que no existe evidencia alguna de las rocas alcalinas en el corte del arco. El vulcanismo para esta formación fue de tipo central (estratovolcane). El vulcanismo paleogénico es un evento transcendental en el contexto de la geología de Cuba, al mismo se asocian importantes yacimientos como por ejemplo: magmáticos, hidrotermales, vulcanógeno - sedimentarios.

Formación Hongolosongo (Hg).

Predominan las tobas ácidas (dacíticas, riódacíticas, riolíticas) que no tienen estratificación definida, el color es gris claro a veces blancuzco. Son frecuentes los aglomerados finos ó

lapillitas, en cantidades menores también aparecen efusivos de color gris y granulación fina, dentro de los límites de esta formación se encuentran diques pórfidodioríticos y basaltos, también afloran aglomerados, areniscas tobaceas.

La Edad es Eoceno inferior-medio. Se extiende hacia la parte norte de el área de estudio.

Formación Caney (Cy).

Esta constituida por rocas tufógenas (tobas cineríticas y otras, tufitas a veces tobas calcáreas) bien estratificadas que forman ritmos o ciclos de sedimentación. La composición de estas rocas es más ácida que las andesíticas que es la que caracteriza a la formación El Cobre en su conjunto. Muchos de los yacimientos de manganeso se encuentran asociados a la formación El Caney. La Edad es Paleoceno superior - Eoceno medio.

A.E.F de las Cuencas Superpuestas de Segunda Generación.

Esta asociación se encuentra ampliamente distribuida en el área de estudio representada por la Formación Charco Redondo.

Formación Charco Redondo (Chr).

Según (Woodring y Davies) esta formación esta compuesta por facies litorales y sublitorales compuesta por calizas conglomeráticas, calizas densas, calizas organodetríticas, fosilíferas de color variable como blanco, pardo amarillento y rosado; en la parte inferior se observan algunas capas de materiales redepositados de la Formación El Cobre. Las rocas que componen esta Formación se caracterizan por su gran resistencia a la erosión presentándose en la superficie con la típica topografía cársicas en forma de mogotes de calizas rugosas.

Esta unidad yace concordantemente sobre las Formaciones del grupo El Cobre la potencia varia entre 50 a 200 mts. La Edad es Eoceno medio.

A.E.F de Neoplatформа.

Secuencias rocosas pertenecientes a esta A.E.F responden a un régimen geodinámico caracterizado por el cese de los desplazamientos de mantos horizontales, la ausencia de la actividad volcánica, predominio de movimientos tectónicos de reajustes isostáticos de la corteza (movimientos verticales, epirogenéticos) y una tendencia generalizada a la neritificación. La edad atribuible en sentido general va desde el Eoceno superior hasta el Cuaternario. Los minerales asociados son para la construcción.

Formación La Cruz (Cru).

Según T.W.Vaughan. 1919. Se distribuye alrededor de la bahía de Santiago de Cuba, extendiéndose al oeste en la zona de la Socapa y Ensenada de Cabañas, hasta las proximidades de Mar Verde formando una franja estrecha y sinuosa. Estos sedimentos parecen haberse depositado en una Cuenca muy local formada por la subsidencia de un bloque durante un intervalo que se inicia en algún momento del Mioceno que dio lugar a la Bahía de Santiago de Cuba aquí en esta Formación afloran las calizas biógenas y aleurolitas calcáreas y se caracteriza por una alternancia de calcarenitas fosilíferas de matriz arcillosa de color crema claro con calizas areno - arcillosas también fosilíferas de color amarillento, aleurolitas y areniscas polimícticas con cemento calcáreo arcilloso ambos de color

amarillento. Son comunes las intercalaciones de conglomerados finos en forma de capas lenticulares, paleontológicamente la secuencia es rica en restos de bivalvos.

Yace discordantemente sobre el grupo El Cobre. Es cubierta discordantemente por las formaciones Maya y Jaimanitas.

La edad atribuible es Mioceno superior - Plioceno superior. Esta formación es dividida en dos miembro: Quintero y Tejar.

Miembro Quintero: (M. Campos, 1972). Se desarrolla solamente en los alrededores de la ciudad de Santiago de Cuba. Compuesta por conglomerados polimícticos de vulcanitas y calizas con matriz margosa o arenosa, con cemento calcáreo más o menos desarrollada. Coloración oscura abigarrada.

Sus relaciones estratigráficas son: yace discordantemente sobre el grupo El Cobre y es cubierta concordantemente por el miembro Tejar. Fósiles índices no se han reportado. Su edad es de Mioceno medio parte alta.

Formación Santiago(Stg)E. Nagy et al; 1976).

Aparece en zonas cercanas a la Bahía de Santiago de Cuba, aflorando en el área septentrional de la misma entre la ciudad y la loma de Quintero. Probablemente aparezca en parches de la Cuenca de río San Juan. Está compuesta por arcillas arenáceas - limosa - calcáreas, friables, finamente estratificadas con concreciones de carbonato, alterna con conglomerados polimícticos de facies deluvial. Cubre discordantemente las formaciones el Cobre y la Cruz. Edad: Plioceno superior.

Formación Maya (My): (E. Nagy et al; 1976).

Se encuentra fundamentalmente en la franja costera en todo el litoral sur - oriental en forma de parches intermitentes, está constituida por calizas coralinas, macizas, duras, recristalizadas intensamente carsificadas, la fauna en general es pobre.

Cubre discordantemente al grupo El Cobre y la formación La Cruz. Se encuentra cubierta discordantemente por la formación Jaimanitas, según su fauna se considera que sea del Plio - Pleistoceno.

Formación Jaimanitas(Jai) (E. Nagy et al; 1976).

La formación bordea todo el territorio insular Cubano, está formada por calizas órgano - detríticas, masivas, algo cavernosas, duras de color amarillento, a veces con índices pocos marcados de estratificación, contiene intercalaciones de calcarenitas de granos finos bien preservados con especies actuales de moluscos y corales. El espesor medio de esta formación parece ser de 8 a 10 mts aunque es probable que sea mayor. Su posición estratigráfica sobre sedimentos pliocénicos o pleistocénicos y el alto grado de preservación de su fauna equivalente a la actual apoyan una edad Pleistoceno superior, presenta marcadas formas de carso superficial de tipo lapiés. Sobreyace discordantemente a la formación Maya y la Cruz es sobre yacida discordantemente por la formación Camaroncito en la zona de Aguadores.

Formación Jutía (Jut) (E. Nagy et al. 1976).

Se extiende en la Bahía y otras partes de la costa donde predominan manglares y las zonas pantanosas, en el territorio del polígono geodinámico se encuentra en la Bahía de Santiago, son sedimentos suaves y fragmentarios, aleurolitas calcáreas y organodetríticas, arena margosa y arcillosas con gravas pequeñas de color carmelitoso grisáceo. El espesor es de 5 mts. La formación posee una fauna marina especial (lagunar e hipersalina) y su edad ha sido asignada según (D. A. Lilienberg; 1993) al Holoceno sobre la base de su posición estratigráfica, los sedimentos que componen esta formación principalmente son de origen marino.

Formación Río Macío (Río).

Aparece en forma de terraza fluviales en los cauces de los ríos Gascón, Los Guaos y Yarayó que desembocan en la parte norte y noreste de la bahía de Santiago de Cuba. Está constituida por bloques de cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas. Se caracteriza por presentar distintos tipos de yacencia y redondeo de los fragmentos. En la secuencia de la formación se distinguen los sedimentos de períodos relativamente secos hasta los sedimentos de las perturbaciones ciclónicas. La estratificación es generalmente cruzada y lenticular, típica de terrazas y acarreos fluviales.

La potencia es 1-2 mts y a veces alcanza de 10-20 mts. Yace discordantemente sobre numerosas formaciones que abarcan desde la formación más antigua hasta las formaciones cuaternarias. Su edad corresponde al Holoceno.

2.2.2. Tectónica.

El área de estudio forma parte del ala norte del Anticlinorium Sierra Maestra, cuyo flanco sur se encuentra hundido bajo el mar. La zona se encuentra situada dentro de la influencia que ejerce el sistema de fallas transformantes Bartlett - Caimán el cual constituye la frontera de contacto entre la placa del Caribe y la microplaca Cubana donde se registran los principales sismos de la región. Relevante importancia cobran las estructuras plicativas y disyuntivas donde se pueden observar un gran número de fallas y pliegues que son detectados en el campo y nítidamente en las fotos aéreas gracias a su reflejo en el relieve actual, lo que afirma que esta zona es tectónica y sísmicamente activa.

Según algunos autores la Bahía de Santiago de Cuba se inicia en algún intervalo del Eoceno medio producto a la subsidencia de un bloque, probablemente a fines del Plioceno ó durante el Pleistoceno, una falla submeridional cortó la depresión o graben de Santiago, elevando su borde izquierdo y rotándolo unos 45grados hacía el sur, a juzgar por el corte existente en el margen occidental de la Bahía frente a la ensenada de Cabañitas.

Voughan (1919) observó certeramente los estrechos escalones abrasionales y la juventud de sus planos de fallas, lo cual subraya la idea de que el fallamiento latitudinal está asociado a los movimientos neotectónicos que demarcaron la Cuenca de Santiago de Cuba. Esta actividad se refleja igualmente en las terrazas marinas emergidas, de las cuales Kimball(1884) describe tres (165 mts, 175 mts y 350mts).

La meseta de Siboney está limitada por una zona de fallas sismoactivas de dirección noreste, que corta a Cuba por la Bahía de Santiago de Cuba y controla el extremo noroccidental del macizo montañoso de la Gran Piedra para determinar la fracturación de la depresión - grabens central.

En el relieve de tierra firme de Cuba oriental el sistema de fallamiento neotectónico de dirección noreste se refleja en la configuración de la costa, los escarpes tectónicos, el diseño de la red fluvial, alineación de cadenas de alturas, orientación de terrazas fluvio - marinas y distribución de las formas cársticas.

2.3 Sismicidad de la región de Santiago de Cuba.

La ocurrencia de terremotos en Cuba data del siglo XIV, pero no es hasta 1885 que Andrés Poey demuestra con su Catálogo de sismos históricos que el archipiélago Cubano está sometido a un Peligro Sísmico Potencial. A partir de este momento son muchas las investigaciones sismológicas que se realizan hasta la fecha, teniendo como principal objetivo el establecer los diferentes niveles de peligro sísmico en el país.

Toda la información sismológica tiene gran importancia para el análisis del comportamiento sísmico de un territorio dado, aunque debe ser utilizada teniendo en cuenta las características específicas del sitio en el momento de ocurrir el terremoto (infraestructura económica social).

El Peligro Sísmico de Cuba está determinado por dos formas de origen: de interior de placa y de entre placas, lo que hace que su estudio sea muy complejo en algunas áreas, en el primer tipo se destaca la Región Suroriental por la frecuencia con que históricamente ocurren terremotos de alta magnitud e intensidad, lo que implica que sea considerada como la de mayor peligrosidad sísmica del país y se corresponde con la Zona Sismogénica de Bartlett-Caimán, donde se han reportado 22 terremotos fuertes, de ellos 20 en la provincia de Santiago de Cuba y 2, los más recientes del país en la provincia de Granma.

Nos referiremos específicamente a la sismicidad de la región de Santiago de Cuba por ser el área de estudio. De los 961 sismos perceptibles del país, 537 fueron perceptible en la provincia de Santiago de Cuba; esta ciudad desde su fundación en 1514 hasta nuestros días ha sido total o parcialmente afectada por terremotos fuertes (Chuy, 1999).

Es bueno significar que de estos sismos fuertes con origen en la estructura señalada, cercanos a la ciudad de Santiago, 2 de ellos produjeron intensidad (I) de 9.0 MSK en 1766 con magnitud (Ms) Richter de 7.6 y en 1852 con magnitud (Ms) Richter de 7.3 respectivamente, reportándose daños considerables en toda la región oriental y en el caso de la ciudad de Santiago se produjeron varias afectaciones; por ejemplo en el terremoto del 20 de Agosto de 1852 es considerado el más fuerte reportado durante el siglo XIX en nuestro país, provocó el deslizamiento general de grandes piedras en la zona de la Sierra Maestra, el secado de arroyos y manantiales, así como largas y anchas grietas en terrenos secos y húmedos; cabe señalar que las mayores destrucciones de edificaciones descritas en ese entonces fueron ubicadas en la ciudad de Santiago de Cuba, principalmente en las iglesias y locales de la administración pública.

Otros terremotos que recientemente han afectado a esta ciudad, pero con menor fuerza se reportan en 1932 ($M_s=6.75$; $I=8.0$) y en 1947 ($M_s=6.75$; $I=7.0$), donde fueron afectadas el 80 % de las edificaciones de la ciudad y sus alrededores además se reportaron alteraciones batimétricas frente a la costa, tanto de emersión (al este de la bahía de Santiago de Cuba) como de inmersión (oeste de la bahía).

Además de estos sismos fuertes ocurridos en la estructura señalada, cercanos a la ciudad de Santiago de Cuba son de considerar otros sismos fuertes con epicentro en la prolongación de

esta Zona Sismogénica de Bartlett-Caimán, localizados en zonas activas al Norte y Sur de La Española, donde históricamente también se reportan sismos de magnitudes grandes, incluyendo uno de magnitud $M=8.2$ en 1842, cuya área de perceptibilidad cubrió toda nuestra región oriental, señalándose incluso en el área de esta provincia reportes de 6.0 grados de intensidad MSK. Otros sismos que podemos mencionar son los ocurridos en 1770 ($M_s=7.9$), en 1887 ($M_s=7.9$) y en 1946 ($M_s = 8.1$).

De lo anterior expuesto podemos inferir que el valor estimado de la intensidad a esperar en la región de estudio depende de la ubicación del epicentro, por tanto la influencia de Zonas Sismogénicas regionales como las señaladas anteriormente es de obligatoria observación, porque en muchas ocasiones el mayor peligro sísmico a que una región está sometida no proviene de Zonas Sismogénicas localizadas en ella, sino de zonas vecinas en las que sus condiciones sismotectónicas le imponen una marcada peligrosidad. Como vimos en epígrafe anterior estas estructuras forman parte de la frontera entre las placas Norteamericana y del Caribe, lo que precisamente ha determinado la ocurrencia en ellas de los terremotos fuertes señalados.

Sin embargo, a pesar de presentar una menor frecuencia la ocurrencia de terremotos en las zonas con sismicidad de interior de placa, su ubicación cercana a las costas en los casos de que se localicen en las acuatorias o bien en el interior del territorio, así como la poca profundidad de los hipocentros de los sismos que se generan en ellas, hacen que en ocasiones los efectos de sismos de menor magnitud reporten afectaciones significativas.

Los ejemplos más significativos de esta actividad sísmica de interior de placa, son los terremotos ocurridos en octubre de 1905 con centro en Songo, el 27 de Octubre de 1922 y el del 5 de marzo de 1927.

En la Figura 1 se presentan las 4 principales Zonas Sismogénicas que afectan directamente a la provincia Santiago de Cuba, esto es, al Sur con Categoría 1 se cartografía la Bartlett-Caimán; con rumbo Noreste-Suroeste y Categoría 2, y Categoría 3, y Categoría 3; aunque además se señalan otras dentro del territorio.

Los niveles de actividad sísmica de estas Zonas Sismogénicas en la provincia se representan en las Figuras 2 donde se observan todos los terremotos ocurridos en la Provincia de Santiago de Cuba en el período de 1968 -1999 (Long. 75.20-77.20 y Lat. 19.50-20.50) con magnitud $M \geq 2$, es importante conocer que se toman los terremotos de $M \geq 2$ porque a partir de esos valores es que se consideran perceptibles; en las siguientes Figuras 3 se representan los terremotos con $M \geq 2$ en la Figura 4 los de $M \geq 3$ y en la Figura 5 aparecen cartografiados los epicentros de los terremotos con $M \geq 4$ más importantes. Se evidencia en estos mapas que la mayor actividad se concentra en los alrededores de Cabo Cruz y de Chivirico, aunque no deja de manifestarse la sismicidad en las demás zonas activas.

En la Figuras 6 podemos ver que la distribución de los terremotos en Cuba Oriental con magnitudes $M \geq 2$ por año y considerando el modelo de relajación de esfuerzos en la generación de los terremotos, es lógico pensar que para cierta región y durante un periodo determinado de tiempo, el número de terremotos pequeños es mucho mayor que el de los grandes cosa esta que se cumple para Cuba. En ellos se significa que los años con mayor actividad de sismos con perceptibilidad corresponden a 1975- 1980 y de 1987-1993, debido en el primer caso a la gran cantidad de réplicas que acompañó al terremoto de Cabo Cruz del 25 de mayo ($M_s=7.0$) y en el segundo a la puesta en explotación de nuevas tecnologías en las estaciones del Servicio Sismológico Nacional.

Para definir la Peligrosidad Sísmica de una región determinada se toman en cuenta tres aspectos fundamentales: el modelo estadístico de la ocurrencia de terremotos y sus efectos,

las Zonas Sismogénicas localizadas en la región y sus zonas cercanas con sus correspondientes parámetros del Régimen Sísmico y la Ley de Atenuación de la intensidad sísmica, para cuantificar los efectos y afectaciones de los terremotos con sus características regionales, transformando luego sus valores en términos de la intensidad sísmica y de la aceleración horizontal.

Con relación a las características del proceso de ocurrencia de los terremotos fuertes en el tiempo, puede decirse que en esta región se observan períodos de actividad y períodos de prolongada calma sísmica; que en el caso de los sismos perceptibles, esto puede estar relacionado con falta de información macrosísmica, ya sea debido a la poca importancia prestada a estos sismos o por no estar muy pobladas las regiones donde estos terremotos se reportaron.

Para obtener los mapas de intensidad sísmica (I) y aceleración horizontal máxima (Ah-e) de la provincia de Santiago de Cuba, se procesó la información macrosísmica e instrumental; considerando suelos medios del tipo de perfiles de suelo S2 (depósitos estables de suelos no cohesivos o arcillas duras cuando su profundidad hasta la base rocosa excede los 60 m) y una probabilidad de ocurrencia del parámetro de amenaza sísmica del 15 % con tiempos de vida útil de las instalaciones de 50 años. En estos mapas, que se presentan en las Figuras 7 y 8, *se evidencia que las zonas de mayor peligrosidad en la región de estudio se localizan al Sur de la misma.*

En los mapas de peligrosidad, los valores obtenidos para cada franja o zona pueden sufrir modificaciones (incrementos o decrementos) en dependencia del punto particular en que se localice, así como de las condiciones ingeniero-geológicas y tipos de los suelos en que estos se localicen.

Teniendo en cuenta la posibilidad de ocurrencia de vibraciones tales que produzcan el fenómeno objeto de nuestro estudio hace que tenga mayor peso la necesidad de esta investigación, 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 los posibles daños.

Evaluación de los efectos sísmicos: Para determinar los valores de aceleración máxima de la zona de mayor influencia sobre los puntos de mayor peligro de ocurrencia del fenómeno de licuefacción, debe determinarse las zonas más influyente dentro de las cercanas, sin olvidar evaluar las importantes, aunque estén algo alejadas. Luego del calculo por relaciones empíricas de sus efectos para estos terremotos se aprecio que la de mayores valores era la zona sismogeneradora ORIENTE 1 que tiene una magnitud de 8.0. En la Figura 9 aparecen los valores calculados para suelos S3 y S4 de aceleración efectiva de las áreas de mayor peligro según los valores de la norma sísmica cubana. El conocimiento y utilización de estos valores son fundamentales para la prevención de daños, al poder diseñar los edificios y estructuras de acuerdo con las intensidades máximas que se espera alcanzar en ellas; para obras de menor importancia sin requerimientos sismorresistentes pueden utilizarse los valores propuestos en la nueva Norma Sísmica Cubana que para Santiago de Cuba propone un valor de aceleración de 0,3 g que coincide con los valores de VIII grados de intensidad de la norma vigente.

Conociendo las características ingeniero-geológicas del área podemos decir que el valor de aceleración critica en la ciudad de Santiago de Cuba para que se produzca el fenómeno de

licuefacción esta en el orden de 0.3g debido a que los suelos no son típicamente arenosos ni están saturados de agua.

2.2.1 Análisis de la sismicidad de fondo

En zonas como la estudiada donde está demostrado la existencia de fallas activas de menor orden (Ruedas et al., 1994) es importante analizar la sismicidad de fondo, la cual es utilizada en el análisis estructural y la evaluación de los posibles efectos causados por sismos de baja energía, asociados a zonas tectónicas cercanas, por ello se determinaron los efectos máximos para magnitudes de 3,0, 3,5 y 4,0 grados a una distancia hipocentral de 10 Kms. Vemos que los efectos (Tablas 1) para sismos de baja energía tienen rangos de periodos similares a los planteados para los espectros dinámicos de los sismos fuertes, con amplitudes de menor orden en aceleraciones, velocidades, desplazamientos e intensidades generalmente en el orden de IV a V grados lo cual garantiza las estructuras. Los cálculos de estos sismos tienen la misma influencia para toda la cuenca y consideramos puede ser generado por cualquiera de las estructuras locales existentes en el área.

Tabla 1 Aceleraciones e intensidades máximas de los estremecimientos principales para terremotos de baja energía

Tipo de Suelo	M	Amax. (cm/s ²)	t max. (s)	I MS K
S3 y S4	3.0	1.8	3.8	< V
	3.5	5.8	4.4	< V
	4.0	18.4	4.4	V

Como amenazas geológicas se corrobora que puede aparecer el fenómeno de licuefacción en la zona de la Bahía (zona industrial y portuaria), cuenca del río Gascón, Yarayo y San Juan para $I \geq IX$. A medida que aumenta la fuerza del terremoto aumenta la posibilidad de ocurrencia del fenómeno que se estudia.

En conclusión confirmamos que por los valores obtenidos de aceleraciones para suelos S3 y S4 en las zonas propuestas como posibles a que ocurra el fenómeno de licuefacción existe el peligro real de ocurrencia del fenómeno en caso de ocurrir sismos con magnitudes $M \geq 6$.

Capítulo 3: Metodología de ejecución y procesamiento.

3.1 Metodología de procesamiento.

La ciudad de Santiago de Cuba cercana a la zona sísmica más activa del país, esta ubicada en una cuenca pequeña de 400 km², es cruzada por incontables estructuras tectónicas activas y en ella convive una población de mas 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 (Ivonet, et al.,1995 y Mas,1995). Por ello se hace mas critica la evaluación de los efectos que puedan aparecer durante la ocurrencia de un terremoto moderado o fuerte y mucho mas necesarios los estudios que apoyen al planeamiento urbanístico.

La ocurrencia de un sismo es un catalizador importante y son famosos los casos de fenómenos fisico-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 mas representativos se tienen los ocurridos durante los terremotos del 20 de agosto de 1852 (Zapata, Rubio, Chuy y Sierra, 1989a) y del 3 de febrero de 1932 (Chuy,1980,1988) 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 las 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.

La ocurrencia de licuefacción proviene de la combinación de dos factores:

Uno interno caracterizado por la tendencia de un suelo dado o sitio a licuar, el cual es llamado susceptibilidad de licuefacción.

Otro externo el cual esta caracterizado por la acción de carga en relación con la tierra en movimiento, esto es frecuentemente referido como oportunidad de licuefacción el cual representa la capacidad del terreno a causar la licuefacción a una distancia dada de la fuente.

La combinación de estos factores dan el sitio actual de riesgo de licuefacción, lo cual es frecuentemente llamado potencial de licuefacción.

3.2. Niveles de estudio.

Las investigaciones de posibilidad de ocurrencia del fenómeno de licuefacción aparece recogida en los códigos constructivos (Japan Working Group, 1992 y AFPS, 1993) 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 0,5 g (Ishihara, 1985). Durante mucho tiempo estas investigaciones vieron su importancia limitada, pero en la actualidad se revitalizo su empleo con regulaciones para el uso y explotación de los terrenos. La seguridad de los sitios ante los terremotos esta determinada por las características del peligro geológico.

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 valorar 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 amenaza potencial con zonas de diferentes niveles o potencialidad de afectación, que se nombran comúnmente mapas de zonificación, peligro, amenaza e impacto. Estos mapas son usados de diversas formas para la evaluación de la mitigación de desastres, de acuerdo con:

- la planificación y uso del suelo;
- la implementación de medidas para la mitigación;
- los códigos o regulaciones constructivas.

El detallamiento de los mapas y el análisis de su nivel de confiabilidad que incluye objetivos de diversa índole, rigurosidad y escala (Japan Working Group, 1992) 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 más general de zonación (Grado 1): se utiliza para trabajos de zonación en grandes cuencas, zonas montañosas y áreas extensas.

Se valora:

- la estimación de máxima extensión de un área susceptible a licuar.
- la compilación e interpretación de la información existente en documentos antiguos, reportes u otras fuentes;
- los mapas geológicos y geomorfológicos como fuente de información para la investigación de las potencialidades de los suelos;

Todo lo anteriormente expuesto se resuelve con investigaciones de:

- Sismicidad;
- Régimen de lluvias.
- Características geológicas y geomorfológicas.

Nivel confiable de zonación (Grado 2): se usa en áreas urbanizadas, sus alrededores y donde se prevé cierto desarrollo urbanístico. Tiene en cuenta además:

- la revisión de mapas geológicos antiguos, como apoyo al mejor conocimiento de la historia del desarrollo geológico y geomorfológicos;

- los estudios locales con investigaciones ingeniero-geológicas detalladas, para mapear con mayor claridad las unidades geológicas locales que influyen en la amplificación de los movimientos del subsuelo, en la susceptibilidad de liquefacción;
- las encuestas a residentes locales para obtener información histórica sobre fenómenos físico-geológicos;

Lo antes señalado se resuelve con investigaciones de:

- Investigaciones geológicas y geomorfológicas;
- Clasificación de los suelos;
- Análisis de la respuesta del suelo.

Nivel más confiable de zonación (Grado 3): solo para obras especiales como grandes embalses y centrales atómicas. En el se trabaja además en:

- las investigaciones especiales con un muy alto nivel de detallamiento donde son necesarias perforaciones y toma de muestras testigos para las unidades de suelos;
- la reevaluación de daños de terremotos antiguos;
- la mayor cantidad posible de datos recopilados que permitan tener un conocimiento muy elevado de las características del medio;
- que las investigaciones se ejecutan para obras de especial importancia, son muy costosas y se presentan a escalas desde 25 000 a 5 000.

Inicialmente, se analizan la posibilidad de realización de investigaciones de este tipo en Santiago de Cuba y sus alrededores, 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. Para la cuenca existen estudios fotogeológicos de las estructuras tectónicas y de las unidades geológicas (Monje, 1976; Heredia et al., 1973 y 1982; Barcelo et al., 1984; Gonzalez et al., 1984 y Rueda et al., 1994), de la historia del desarrollo geológico y geomorfológico (Orbera y Ramirez, 1994), de las estructuras locales con investigaciones ingeniero-geológicas, geofísicas y sismológicas para el análisis del comportamiento de los suelos (Puyada y Díaz, 1973; García, 1981; Heredia et al., 1973 y 1982 y González et al., 1984,1991). Por el nivel de estudio y de conocimientos alcanzados en las investigaciones de la cuenca de Santiago de Cuba, 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.

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, intensidad, magnitud y distancias de los terremotos.

Las variables de mayor peso en el pronóstico de las zonas son:

- 1.- Tipología y propiedades de los suelos;
- 2.- Profundidad de los niveles freáticos;
- 3.- Topografía del terreno;
4. - Edad de los suelos;
- 5.- Magnitud y distancia de los terremotos.

3.3. Variables utilizadas.

En la realización de estos trabajos de por sí engorrosos por el uso de múltiples variables y datos procesados es importante conocer de forma detallada las variables empleadas en cada caso. Las variables se dividieron en morfométricas e ingeniero-geológicas.

3.4 Características morfométricas

Para la valoración de la información morfométricas nos apoyamos en los criterios planteados por Lamadrid y Horta (1977) para este tipo de trabajos.

En el comportamiento de las características morfométricas del relieve evaluamos las alturas máximas y mínimas, teniendo en cuenta para nuestro estudio las alturas mínimas (0 a 10). En sentido general se puede caracterizar el relieve como premontañoso. Las elevaciones máximas tienen entre 50 y 150 metros y las mínimas están entre 0 y 50 metros.

En nuestra opinión las pendientes son un factor importante de riesgo junto a la tipología de los suelos. Observamos que para pendientes entre 0 y 10 grados en suelos arcillosos y arenosos anegados pueden producirse licuefacción hinchamiento.

3.5. Características ingeniero-geológicas

Dentro de estas evaluaremos las formaciones geológicas, los niveles freáticos y la presencia de estructuras tectónicas. Tenemos que:

Formaciones geológicas y niveles freáticos: En este trabajo utilizamos los esquemas geológico y tectónico presentados por Heredia et al. (1982), así como el de niveles de las aguas subterráneas de Chuy, et al. (1982a) y los determinados por la información ingeniero geológica existente en base de datos donde se dividen por estratos y tipos de roca y suelo así como la profundidad a que se encuentra el nivel de las aguas. Del mapa esquemático de Heredia et al. (1982) los suelos se presentan agrupados por las formaciones litológicas principales representadas en la cuenca y ellas son las formaciones Cobre (S1), La Cruz (S2), Santiago (S3) y las Cuaternarias (S4). Estas últimas por la similitud de su respuesta dinámica y por las dimensiones del área que ocupa, consideramos factible analizarlas en conjunto.

En la cuenca, de manera general, aparecen los litotipos siguientes: arenas, arcillas, limos, areniscas, aleurolitas, margas, calizas, conglomerados y rocas volcánicas.

En el análisis observamos que la mayor parte del área se corresponde con los niveles freáticos mayores de 10 m. coincidentes con suelos de las formaciones Cobre y La Cruz, el área de niveles entre 0 y 4 m. coincide con la zona de las formaciones Cuaternarias y los valores de pendientes más bajos, condiciones estas que posibilitan en caso de sismos fuertes la aparición de los fenómenos de licuefacción (arenas) e hinchamiento (arcillas). La categorización que se presenta a continuación permite el uso de la información presentada para la evaluación y el pronóstico de las amenazas geológicas.

Capítulo 4: Posibilidad de ocurrencia del fenómeno de licuefacción inducido por terremotos fuertes.

Para el sismo del 3 de febrero de 1932 se reportó y existen fotografías de grietas moderadas del pavimento, así como pérdida de sustentación de edificaciones en la zona del puerto, lo cual podría ser un reflejo del fenómeno de licuefacción por ser potencialmente licuables los suelos de esa área: arenas, cieno, sedimentos antropogénicos y relleno, ubicados en una zona de freáticos muy cercanos a la superficie. En el terremoto de 1947, por referencias personales se plantea que ocurrieron pequeños deslizamientos en la zona de la Loma del Cake en Santiago de Cuba.

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 que suelen ocurrir por inestabilidad de los estratos rocosos y cambios bruscos que se catalizan por la ocurrencia de terremotos.

4.1 Descripción del fenómeno estudiado.

Los fenómenos físico-geológicos inducidos que 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, por lo que los definiremos conceptualmente de acuerdo a los estudios de Soloviev (1980) y Lomtadze (1986).

Soloviev plantea que la evaluación del potencial de licuación en las arenas saturadas implica la estimación de la densidad relativa en el campo, los ensayos de muestras en laboratorio para determinar las densidades apropiadas en las pruebas cíclicas de cargas. El empleo de datos de campo y de laboratorio permite pronosticar su comportamiento en el terreno. A fin de evaluar la susceptibilidad de licuefacción en los suelos es necesario estimar la posible aceleración y la profundidad a la cual se encuentra la capa concreta del suelo cuyas propiedades dinámicas se determinan en las pruebas de laboratorio. La exactitud con que se delimite el área de licuefacción potencial dependerá en gran parte de la cantidad de datos de superficie y de la fiabilidad de los mismos.

También, Soloviev expone que las estructuras ubicadas encima de la masa deslizante generalmente no sufren daños de importancia, pero las ubicadas en la zona deprimida están sujetas a tan grandes presiones diferenciales que a menudo quedan totalmente destruidas; así mismo aquellas estructuras ubicadas en las inmediaciones de la base del área deslizada pueden ser levantadas o sobreempujadas por el corrimiento lateral.

La licuefacción de los suelos es un fenómeno físico caracterizado por la completa pérdida de resistencia de corte. Esto es básicamente el resultado del aumento de la presión de poros causado por una deformación cíclica: cuando un material granular de suelo tales como las arenas son sacudidas esta son sometidas a una rápida compactación del suelo cuando este material esta saturado, el resultado de compactación da un rápido levantamiento de la presión de poros u , desde la resistencia de corte S es directa y simplemente relacionada a la fuerza efectiva $\sigma' = \sigma - u$, especialmente material menos cohesionados tales como las arenas la

licuefacción puede ocurrir cuando el aumento de la presión de poros conduce a desaparecer la fuerza efectiva.

Como consecuencia de este fenómeno físico la estructura geológica principal con riesgo son las estructuras jóvenes, como son los depósitos pobremente consolidados tales como formaciones aluviales y litorales, también tierras de relleno construidas por el hombre. La deformación asociada a la licuefacción comprende un ancho rango de valores, desde el más insignificante grupo donde la licuefacción esta limitada a mayor profundidad así como lentes de arenas discontinuas teniendo una pequeña extensión lateral a grandes desplazamientos laterales y ruptura vertical cuando el movimiento es fuerte y/o mayor espesor.

Las principales consecuencias causadas por la licuefacción son dos: la perdida de la capacidad de presión de los suelos bajo las cimentaciones (como es el caso de Niigata, Japón 1964) y el desplazamiento subhorizontal ocurrido sobre la superficie del plano (bancos de ríos por ejemplo como fue en 1960 (Chile) (Figura 10). Un efecto adicional el cual puede causar daños significantes en algunas estructuras particulares.

Tales fenómenos pueden ser reproducidos en condiciones de laboratorio usando un aparato cíclico triaxial y ejemplo cíclico de suelos: para una determinada presión limitada y una determinada presión inicial de poro, la cual está sometida a una compresión vertical cíclica y extensión con una amplitud dada, mientras ambas deformaciones axiales y presión de poros son monitoreados. Después de algunos períodos (el número N el cual depende de las características de los suelos, presión de poros inicial, la fuerza cíclica) un simultaneo aumento de la presión de poros deformación axial es observado conduce a la licuefacción. La licuefacción ocurre cuando esta deformación axial alcanza valores de 2.5 a 5 % caracterizado por 2 parámetros N (número de ciclos antes la licuefacción) y el radio de la fuerza de corte cíclica τ a la fuerza inicial efectiva σ' y. Repitiendo similar experimento con otras condiciones iniciales y diferente amplitud de la fuerza cíclica permite caracterizar completamente la susceptibilidad de licuefacción de los suelos. Este experimento es muy costoso (aparato cíclico triaxial el cual es un instrumento muy sofisticado) e incomodo (esto es muy difícil obtener especialmente en un ejemplo no distribuido en materiales de poca cohesión mientras para ejemplo homogéneo reconstruidos dan condiciones iniciales que requieren mucho tiempo y cuidado como consecuencia de esto es necesario encontrar algunos otros caminos para caracterizar la susceptibilidad de los suelos a licuar especialmente para sitios donde se realizan grandes trabajos de investigación.

4.2. Potencial de licuefacción.

La estimación del potencial de licuefacción se da generalmente por medio de la comparación de la fuerza inducida por la acción de carga y la resistencia del suelo a licuar.

La acción de carga se puede especificar de diferentes formas intensidad, aceleración máxima del espectro del acelerograma real o artificial; para simplificar nosotros podemos utilizar simplemente un grupo de movimientos caracterizados: intensidad, aceleración máxima, “duración equivalente”

Lo anterior permite evaluar la posibilidad real ocurrencia de fenómenos semejantes en una ciudad de alta densidad poblacional y gran volumen de industrias trayendo consigo afectaciones económico-sociales incalculables.

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; Blazquez, 1992b; AFPS, 1993). 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 tiene los trabajos realizados por Youd et al. (1975) en San Francisco, Estados Unidos de Norteamérica, por datos geológicos, geomorfológicos, geotécnicos y niveles freáticos presentan una clasificación en: generalmente moderado y moderado donde separan dos subzonas con menos y más de tres metros de profundidad de yacencia de las aguas. Ishihara y Ogawa (1978) en Tokio, Japón, utilizando la misma información presentan una gradación de la posibilidad de ocurrencia en tres categorías: puede ocurrir licuefacción, puede o no ocurrir licuefacción y no ocurre licuefacción.

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-geológicas (calas y sus propiedades) se encuentra que la profundidad del 80 % de las perforaciones están entre 5 y 10 metros y son realizadas para investigaciones de suelos de proyectos constructivos, pero no cubren uniformemente toda la ciudad por lo cual para estos trabajos 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.

4.3. Categorización de la amenaza geológica.

El pronóstico de los fenómenos físico-geológicos inducidos en función de las etapas de investigaciones ingeniero-geológicas puede ser cualitativa y cuantitativa (Lomtadze, 1986): la cualitativa se basa en el estudio, descripción y análisis de las condiciones ingeniero-geológicas de las vertientes, su escarpadura y altura, particularidades del relieve, condiciones de estratificación de las rocas, su composición, estado físico, propiedades y grado de irrigación, procesos y fenómenos geológicos acompañantes; esta evaluación como regla general se puede utilizar para la planificación, pero no para el diseño. En la cuantitativa se aplican métodos como los de simulación y de cálculos numéricos de la estabilidad de las pendientes.

Los resultados obtenidos del nivel de grado de estudio nos obligan a categorizar y clasificar las áreas a partir de los parámetros de mayor peso informacional, es por ello, 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.

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 0,3 % de g. A medida que aumenta la fuerza del terremoto los efectos se incrementarían en las zonas de efectos a menores aceleraciones.

4.4. Pronóstico de la amenaza geológica en Santiago de Cuba

En la actualidad, se brinda especial atención tanto al diseño estructural como a la elección y conocimiento del sitio de construcción para la delimitación correcta de la relación suelo-estructura y el análisis de la respuesta dinámica de la edificación. Se trata que las edificaciones sean capaces de soportar grandes sollicitaciones. En este sentido tiene primordial importancia el conocimiento detallado de las condiciones geotécnicas del asentamiento y de las estructuras tectónicas locales, las cuales se valoran en los mapas de pronóstico de riesgo para las ciudades de alta densidad poblacional. Estos generalmente se presentan como mapas de peligrosidad potencial de ocurrencia donde se localizan zonas con diferentes niveles de potencialidad, estos mapas pronósticos son confeccionados de diferentes modos y usados para diversos fines.

Para realizar los estudios de amenaza geológica en Santiago de Cuba se dividió el área que abarca la zona urbana e industrial y parte del área de desarrollo urbanístico, ubicada en el área antes presentada. Antes de iniciar el procesamiento y evaluación de la información, se realizó un análisis estadístico primario que permitió la codificación posterior de las variables alfanuméricas codificadas. Estas variables aportan información sobre:

- las características morfométricas del relieve;
- la influencia de los factores de riesgo;
- los parámetros que se tiene en cuenta para la ocurrencia de la licuefacción.

Consideramos, entonces, que poseemos la información necesaria para la conformación del mapa pronósticos de ocurrencia del fenómeno de licuefacción inducido por sismos de aceleraciones mayores de 0,3 g e intensidades mayores o iguales que VII grados MSK. Esta categorización permite clasificar las áreas de amenaza en: probablemente licuable, posiblemente licuable y donde no se espera ocurra nada, lo cual permite su uso inmediato por los planificadores urbanísticos.

4.5. Categorización de la respuesta de los suelos

La evaluación de los trabajos de riesgo realizados hasta el momento no resuelven la problemática real presente en la ciudad y sus alrededores en caso de ocurrencia de terremotos, siendo la principal dificultad la evaluación conjunta de las variables y la presentación de un mapa esquemático resumen que permita su uso para planificación y proyectos urbanísticos.

Dentro de la categorización se utilizan como factores geológicos: el tipo de suelo, edad de los sedimentos y el nivel de las aguas freáticas; como factores de riesgo: la pendiente del relieve y los efectos físico-geológicos posibles de ocurrir como consecuencia de los sismos 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.

4.6. Caracterización de susceptibilidad a licuefacción.

La susceptibilidad de licuefacción de los suelos depende de varios parámetros de los suelos como son:

- a) Densidad relativa.
- b) Radio de sobreconsolidación.
- c) Curva granulométrica / cohesión.

No siempre es posible tomar medidas sobre los parámetros antes mencionados, en verdad esto es muy raro. Esto solo es posible basado en los parámetros usados en la ingeniería geotécnica: granulometría del suelo para los suelos granulares (gravas, arenas, cieno y cieno arcilloso), limite líquido y limite plástico para suelos arcillosos.

Estudios estadísticos sobre licuefacción y no licuefacción de los suelos han sido abandonados para ampliar la caracterización de susceptibilidad de estos a partir de investigaciones más engorrosas y de mayor detalle.

4.7. Con correlación geológica.

La información histórica no siempre esta disponible no obstante siempre es posible en estas áreas usar una correlación empírica derivada de observaciones pasadas en varios lugares y vincular la ocurrencia de licuefacción a factores geológicos y geomorfológicos. Tal correlación cualitativa ha sido establecida por varios autores y resumida en tablas (Tabla 2, 3 y 4); donde se muestran generalmente los sedimentos que tienen una gran resistencia a la licuefacción; teniendo en cuenta la edad y los procesos eólicos y fluviales los cuales ayudan a clasificar a los sedimentos granulares del suelo en estados relativamente sueltos, lo que es una condición generadora para una alta susceptibilidad de licuefacción; adicionando la profundidad de las aguas. En la Figura 11 teniendo en cuenta los grados de pendiente y las características de los suelos presentamos un mapa donde se dan dos categorías la primera probablemente licuable y no licuable, la primera coincide con los grados de pendiente bajos, tierras reclamadas cause de ríos y lagunas abandonadas; en la figura 12 aparecen representadas zonas que teniendo en cuenta sus características ingeniero-geológicas, la profundidad a que se encuentra las aguas subterráneas y lo resumido en las tablas se determinan 3 zonas probablemente licuable, posiblemente y no licuable. En la figura 13 se suman ambos resultados para obtener como resultado final un mapa de posibilidad de ocurrencia de licuefacción en la cuenca de Santiago de Cuba.

Tabla II Unidades geomorfológicas que se tienen en cuenta en la susceptibilidad de licuefacción (Iwasaki; et al 1982.

Categorías	Topografía	Potencial de licuefacción
A	Cama actual del río, cama vieja del río, pantanos, tierras reclamadas, tierras bajas.	Probablemente licuable
B	Abanico, dunas de arenas,	Posiblemente licuable

	deluvio, playas y otras llanuras.	
C	Terrazas, colinas, montañas.	No probablemente licuable

Tabla III Susceptibilidad de licuefacción de los sedimentos de acuerdo a su edad y profundidad de las aguas subterráneas.

Unidad de sedimentos	Profundidad a que se encuentran las aguas subterráneas en metros			
	0 – 3 m	3 – 10 m	10 – 15 m	> 5 m
Holoceno: Ultimo Primero	Muy alto - alto Alto	Moderado Moderado	Bajo Bajo	Muy bajo Muy bajo
Pleistoceno: Tardío Medio-temprano	Bajo Muy bajo	Bajo Muy bajo	Muy bajo Muy bajo	Muy bajo Muy bajo
Terciario y preterciario	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo

Tabla IV. Unidad geomorfológica detallada de susceptibilidad de licuefacción sujeto a un grupo de movimientos de intensidad VIII según la escala de M.M.

Condiciones geomorfológicas		Potencial de licuefacción.
Clasificación	Condiciones específicas	
Valle plano	Valle plano compuesto por gravas o cantos rodados	No probable
	Valle plano compuesto por suelo de arenisca	posible
Aluvial	Gradiente vertical de más de 0.5 %	No probable
	Gradiente vertical menor que 0.5 %	posible
Canal de río abandonado		Probable
Cause del río seco	Cause seco del río compuesto por gravas	No probable
	Cause seco del río compuesto por arenas	Probablemente
Playa	Playa natural	No probable
	Playa artificial	Probablemente
Interestratificación de tierra bajas		Probablemente
Tierra recuperada por drenaje		Posible
Tierra recuperada		Probablemente
Muelle		Probablemente
Relleno	Relleno limite entre las arenas y las tierras bajas	Probablemente
	Relleno colindante al arrecife, pendiente escarpada	Probablemente
	Relleno sobre pantano o ciénaga	Probablemente
	Relleno de tierra recuperado por drenaje	Probablemente
	Otro tipo de relleno	Posible

En las áreas propuestas como probablemente licuable se realizaron perfiles donde se encuentran obras de importancia económica como el Teatro Heredia y Terminal de Trenes, se representa el corte litológico y nivel de las aguas subterráneas, además para determinar esas zonas se tuvo encuentra informaciones que datan del año 1751 donde aparecen esquemas que representan que en la zona donde se encuentra el Teatro Heredia existía una laguna que se comunicaba con la bahía por el río Yarayó y donde había un embarcadero para sacar la azúcar que se producía en un central cercano, también en la zona portuaria y zonas bajas de la ciudad eran zonas de inundación en aquella época. Todos estos datos se tuvieron en cuenta para proponer las zonas.

4.8. Criterio magnitud distancia.

Sí la actividad sísmica de un área es conocida a partir de los datos históricos, la máxima extensión de área susceptible a licuar puede ser estimada a partir de las magnitudes de los eventos a ocurrir en el área. Varios autores han investigado la ocurrencia de licuefacción durante terremotos pasados y han planteado la “distancia” R entre el área epicentral y el sitio más lejano licuado en función de la magnitud del terremoto.

Diferentes curvas han sido propuestas, presentaremos unas de las más recientes las que toman en consideración la definición más adecuada de la distancia. La distancia cerrada al área de ruptura usualmente denotada como R_f junto con una definición de magnitud o sea, la magnitud M_s de las ondas en superficie o el momento de magnitud M_w Figura 14 representa las curvas propuestas por Youd y Perkin (1978) y Ambraseys (1988).

Varios investigadores han analizado la distribución de ocurrencia de licuefacción durante terremotos pasados ploteando la distancia desde el epicentro al sitio más lejano licuable en función de la magnitud del terremoto, Kiribayashi and Tatsuoka representaron 44 terremotos Japoneses y determinaron una línea recta de magnitud contra distancia en escala logarítmica. Se determinaron varias relaciones las que representan la máxima distancia en la cual la licuefacción no ocurre para un terremoto de una magnitud determinada.

Con el fin de tener en cuenta este criterio, estudiamos 19 terremotos históricos con magnitudes grandes ocurridos en el área y de los cuales ploteamos los más importantes en la curva determinada por Youd y Perkin y Ambrasey (Figura 3) lo comparamos con otros terremotos ocurridos en el mundo donde se reporta la ocurrencia del fenómeno de licuefacción y de acuerdo con su distribución podemos decir que de acuerdo con las características de magnitud y distancia de estos el fenómeno puede ocurrir aunque no aparezcan reportes.

Esta relación puede ser utilizada para la predicción del rango máximo de licuefacción para una magnitud de un terremoto en particular.

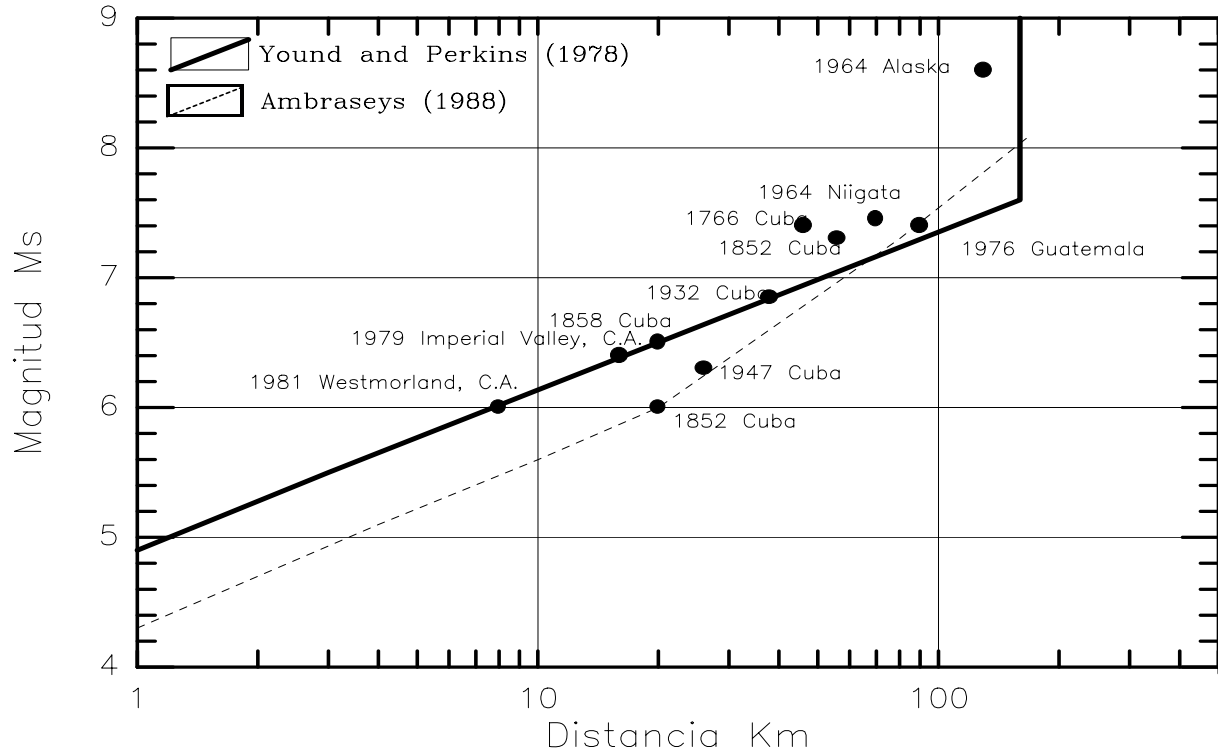


Figura 14. Dependencia de la distancia y magnitud del terremoto.

4.9. Criterio Intensidad.

La máxima extensión de licuefacción también puede ser groseramente estimada sobre la base de la intensidad sísmica esperada. Investigadores japoneses muestran para la licuefacción simultanea y observaciones de intensidad, aquella licuefacción en áreas bajas formada por

sedimentos Holoceno donde solo puede ocurrir para intensidades por encima o igual a VIII grados en la escala Mercali Modificada (M.M.) o en la escala japonesa (J.M.A.) de V grados; de modo que hay menos posibilidad de ocurrir la licuefacción cuando la intensidad sea menor. *Los grados de intensidad VIII en la escala M.M. y V en la(J.M.A.) puede por tanto ser usada como la primera intensidad peligrosa para que ocurra el fenómeno;* los grados IV (J.M.A.) ó VI-VII (M.M.) son para la licuefacción insignificante.

Los resultados de este capítulo son:

- la categorización del peligro geológico establecida en este trabajo puede generalizarse para trabajos posteriores de este tipo.
- el mapa-esquemático del pronóstico de riesgo geológico inducida o catalizada por terremotos de celeraciones mayores de 0,3 g e intensidades mayores de VII grados en la escala MSK puede evaluarse 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.
- el mapa-esquemático presentado es básico para el desarrollo de estudios de vulnerabilidad y riesgo sísmico de la ciudad.

Conclusiones.

Como conclusiones del trabajos presentado tenemos:

- La metodología de procesamiento por la norma Japonesa permite obtener resultados de calidad y bajo costo;

Los sistemas de computación se convierten en una herramienta indispensable para los trabajos geológicos, por su flexibilidad y posibilidades en el manejo de los datos;

Sé obtuvo un nuevo mapa esquemático de pronostico de ocurrencia del fenómeno de licuefacción de la ciudad de Santiago de Cuba, sobre bases cualitativamente diferentes a los métodos tradicionales empleados en Cuba, en él aparece clasificada la respuesta dinámica de los suelos en tres zonas: probablemente licuable, posiblemente licuable y no licuable.

Recomendaciones.

Se presentan las siguientes recomendaciones:

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;

Bibliografía.

- Alvarez, H. y Menendez, L. (1969): Sismicidad de Cuba (en ruso) Fizika Zemli No. 1 pp 74-78.
 - a) (1970): Intensidad Sísmica de Cuba. Atlas Nacional de Cuba, La Habana pp 20
 - b) Shteinberg, V.V., Blanco, P., Medvedev, S.V., Menendez, L.A. (1970): Condiciones sísmicas de la ciudad de Santiago de Cuba (en ruso) Fizika Zemli No. 5 pp 81-86.
 - c) (1994b): Análisis de la actividad sísmica en la zona de Santiago de Cuba, desde 1568 hasta la actualidad, de terremotos con $M > 5.0$. III Encuentro Nacional de Investigaciones Sismológicas Aplicadas. CENAIIS, Santiago de Cuba.
- Alvarez, L. y Bune, V.I (1985b): Sismicidad de Cuba Oriental (en ruso). Tesis para la opción por el grado de Candidato a Doctor en Ciencias Físico Matemáticas. Instituto de Física de la Tierra, Moscú,
 - a) Chuy, T y Cotilla, M. (1991): Peligrosidad Sísmica de Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del Territorio Nacional. Revista Geofísica. Instituto Panamericano de Geografía e Historia No. 35 pp 125-150.
 - b) (1992): SACUDIDA, versión 2: Un programa para la estimación de la peligrosidad sísmica. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS), ACC.
 - c) Ruiz, J., Chuy, T., Pico, R. y Cotilla, M. (1994): Magnitudes Máximas de los terremotos en la región del Caribe y América Central. III Encuentro Nacional de Investigaciones Sismológicas Aplicadas. CENAIIS, Santiago de Cuba.
- BIOECO (1992): Fondo de datos morfométricos de la zona de Oriental de Cuba. Grupo de Biogeografía.
- Blaquez, R. (1992a): Acciones sísmicas. Análisis espectral de acelerogramas. Espectros tipos. Cursos de Especialización en Ingeniería Sísmica, XIV Input Sísmico, Dinámica de Suelos Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja Madrid 36 pp.
 - a) (1992b): Densificación y licuefacción 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.
- CEN (1985): Norma Cubana "Elaboración de Proyectos de Construcción. Construcciones Sismo Resistentes" NC 53-114, Especificaciones de proyectos y métodos de cálculo, 60 pp. La Habana.
- Chuy, T. (1980): La actividad sísmica de Cuba basada en datos históricos. Investigaciones Sismológicas en Cuba No. 1 pp 5-17.
 - a) Gonzalez, B.E., Zapata, J.A. y Milanés, B. (1982a): Criterios Sismohidrogeológicos sobre la cuenca de Santiago de Cuba. Investigaciones Sismológicas en Cuba No.2, pp 5-19
 - b) y Alvarez, L. (1984): Catálogo de terremotos fuertes ($I > VII$, MSK1978) de las Antillas Mayores. IV Jornada Científica del IGA. pp77.
 - c) (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.
 - d) Rubio, M. y Zapata, J.A. (1990): Isosistas del terremoto del 20 de Agosto de 1852; Atlas Provincia de Santiago de Cuba/ACC.
 - e) y Zapata, J.A. (1990): Intensidad sísmica promedio puntual de la ciudad de Santiago de Cuba; Atlas Provincia de Santiago de Cuba/ACC.
- CONCE (en preparación): Proyecto de Nueva Norma Constructiva Cubana "Elaboración de Proyectos de Construcción. Construcciones Sismo Resistentes" Especificaciones de proyectos y métodos de cálculo, Santiago de Cuba

- Cotilla,M., Chuy,T. y Arteaga,F. (1988): Características morfométricos y valores anómalos de la intensidad sísmica en la ciudad de Santiago de Cuba. Movimientos Tectónicos Recientes de Cuba No. 2 pp 67-74.
- Dasko,R.E., Shalimov,A.I., Heredia,N. y Romero,J. (1972): Proyecto de las
- Investigaciones ingeniero-geológicas para la cuenca de Santiago de Cuba con fines de su microregionalización sísmica. Escuela de Geología, Universidad de Oriente 157 pp.
- Escobar,E., Guasch,F., Mondelo,F. y Chuy,T. (1991): Investigaciones geofísicas detalladas para la estimación del riesgo geológico en la cuenca de Santiago de Cuba. IV Jornada de la Sociedad Cubana de Geología. Santiago de Cuba.
- Faccioli,E. y Resendiz,D. (1976): Soil Dynamics: Behavior including liquefaction. En: Seismic Risk and Engineering Decisions. Developments in Geotechnical Engineering Vol 15 (Eds. Lomnitz,C. y Rosenblueth,E.), pp 71-140.
- 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.
 - a) 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.
- 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.
- Geli,L., Bard,P-Y. y Jullien,B. (1988): The effects of topography on earthquake ground motion a review and new results. BSSA Vol 78-1 pp 42-63.
- Golden software (1998a): Sistema automatizado de mapeo SURFER.
 - a) (1998b): Sistema automatizado de ploteo WINGRAP.
- Gonzalez,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.
 - a) y Vorobiova,E. (1987): Característica dinámicas del efecto sísmico en la ciudad de Santiago de Cuba. I Cong. Intern. Sobre Desastres Naturales, C. de la Habana.
 - b) 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.
 - c) 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.
 - d) y Pérez ,L.D. (1989): Estimación de parámetros de las oscilaciones sísmicas máximas en la ciudad de Santiago de Cuba. I Cong. Cubano de Geología, C. de la Habana.
 - 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.
 - f) (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.
- Guardado,R. (1983): Los terremotos. Ed. Oriente, 86 pp.
- 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.

- a) Seiesdedos, 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.
 - Ishihara, K. (1985): Stability of natural deposits during earthquake. Proc. of 11th. Intern. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Fco., Vol 1. pp 321-376.
 - Ivonet P., E.; Salas D., A.; Lorente D., R. y Calderin M., C. (1995): Consideraciones sobre la relación sismología-planeamiento territorial. Taller sobre Manejo de Riesgo Sísmico, Santiago de Cuba. VRS-1.
 - 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 Road Ass. (1980): Specification of earthquake resistant during of highway bridges.
 - Japan Working Group for TC-4 Committee (1992): Seismic Zoning on Geotechnical Hazards (draft) 114 pp.
 - Johnson, J.A., Yee, T. y Duke, C.M. (1987): Preliminar ground motion calculate and site effects at Banco Central. Procc. earthquake Eng.
 - Research Institute Conf. San Francisco California Vol I pp 300-308.
 - Johnson, L.R. y Silva, W. (1981): The effects of unconsolidated sediments upon the ground motion during local earthquakes. BSSA 71. pp 127-142.
 - a) Sponhiever, Karnik, V. (1978): Escala de Intensidades Sísmicas MSK-78 (Modificada).
 - Merino, 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.
 - Monje, L. (1977): Esquematación ingeniero-geológica de la ciudad de Santiago de Cuba, Tesis de grado de la Facultad de Geología, U.O.
 - Orbera, L. y Ramirez, R. (1994): Neotectonica de Santiago de Cuba y su influencia en el riesgo geológico. III Encuentro Nacional de Investigaciones sismológicas Aplicadas, Santiago de Cuba.
 - Reynaldo, E. (1975): Condiciones ingeniero-geológicas preliminares de la cuenca de Santiago de Cuba. Trabajo de tesis de la Escuela de Geología. Universidad de Oriente.
 - Rodriguez, M. (1975): Estudio ingeniero-geológico de las propiedades fisico-mecánicas los depósitos cuaternarios del norte y noroeste de la bahía de Santiago de Cuba. Trabajo de tesis de la Escuela de Geología. Universidad de Oriente.
 - Rueda, J.S., Arango, E.D. y Lobaina, A. (1994): Algunos resultados del estudio de los movimientos recientes de la corteza terrestre en el Polígono Geodinámico Santiago de Cuba. Edit. ORISOL Holguín. 20 pp
 - 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.
 - a) (1988): Earthquake effects on soil-foundations systems. Foundation Engineering Handbook pp 700-732.
 - Svoboda, B. (1989): Liquefaction of the soil and damage of the building at dynamic stress. Procc. 4th Intern. Symp. Analysis of Seismicity and Seismic Risk. Part 2 Castle of Bechyne, Geophysical Institute. Czechoslovak Academy of Sciences. pp 323-329.

- Viña B.,N., Vina D,N. y Pons,A.(1994): Programa PC-GEO. BIOECO-ACC. Santiago de Cuba
- Whitman,R.V, y Cornell,C.A. (1976): Design. En: Seismic Risk and Engineering Decisions. Developments in Geotechnical Engineering Vol 15 (Eds. Lomnitz,C. y Rosenblueth,E.) pp 339-380.
- 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 Proffesional 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;
 - a) 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.
 - b) y Fernández ,B. (1994): Análisis de la posible ocurrencia de fenómenos físico-geológicos en Santiago de Cuba. III Encuentro Nac. de Investigaciones sísmológicas Aplicadas, CENAIIS, Santiago de Cuba.
 - c) Fernandez,A.I., Fernandez,B. y Marisy,J. (1994a): Evaluación de los efectos sísmicos en asentamientos humanos de la región suroriental de Cuba. Aspectos de Sísmicidad de Cuba. CENAIIS-ACC. pp 104 - 115
- 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 Fernandez,B. (en prensa): Posible ocurrencia de fenómenos físico-geológicos en Santiago de Cuba. 7p.