

ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA
INSTITUTO DE GEOFÍSICA Y ASTRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE SISMOLOGÍA

ESTUDIO DEL RIESGO SISMICO Y MICRORREGIONALIZACION
SISMICA EN CUBA . CONSTRUCCIONES EN ZONAS SISMICAS

*Trabajo presentado al Simposio sobre Riesgo Sísmico
y Riesgo Volcánico, organizado por el Instituto
Italo-Latino Americano, Roma, Italia.*

21 al 23 de enero de 1981

ESTUDIO DEL RIESGO SÍSMICO Y MICRORREGIONALIZACIÓN SÍSMICA EN CUBA. CONSTRUCCIONES EN ZONAS SÍSMICAS

Cuba, históricamente, ha sido afectada en múltiples ocasiones por terremotos de diferente intensidad. Ubicada en la periferia norte del Mar Caribe, su región suoriental denota una manifiesta sismicidad, originada en la frontera entre las placas del Caribe y América del Norte, mientras que el resto de su territorio se encuentra afectado en menor grado por terremotos asociados a estructuras de carácter local.

Los estudios sismológicos en nuestro país se remontan al siglo pasado en que el científico cubano Andrés Borge publicó un catálogo sobre los terremotos percibidos en Cuba.¹ Esta tendencia a recopilar información fue continuada por diferentes investigadores y observadores,² lo que permite disponer en estos momentos de una amplia documentación macrosísmica histórica.

El primer paso en el estudio de la peligrosidad sísmica fue, lógicamente, el procesamiento de toda la información macrosísmica existente a los efectos de realizar una división en zonas de acuerdo a las intensidades máximas a esperar en un período de recurrencia de 100 años, obteniéndose el Mapa de intensidades sísmicas por catos históricos a escala 1:1 000 000 (figura 1), el cual ha sido confeccionado utilizando toda la información macrosísmica, instrumental, geológica, tectónica y paleosísmica de Cuba.³

Un factor de vital importancia lo constituye el estudio de la sismicidad de aquellas zonas del país que han manifestado históricamente cierta actividad. Para ello fueron instaladas, a mediados de la década del 60, dos estaciones sismológicas en las áreas donde se habían reportado las mayores intensidades de terremotos: Morca, en la región occidental y Río Carpintero, en la región oriental. Estas estaciones están dotadas de dos complejos registradores, uno de períodos cortos (0,1-2 s) y otro de períodos medios (0,3-18 s). Los complejos de períodos medios son empleados fundamentalmente para registros de telesismos, confeccionándose telclines en los cuales se reportan los parámetros cinemáticos y dinámicos de los terremotos, los cuales se publican y distribuyen periódicamente. En estos registros se incluyen también datos de los complejos de períodos cortos.

Como complemento al equipamiento antes citado, en 1979 fue instalado en la Estación de Río Carpintero un complejo sismológico sismógrafo por frecuencias de ocho bandas en el rango de 0,25 a 30 Hz, el cual permite obtener



FIG. 1 Mapa de intensidades sísmicas por datos históricos

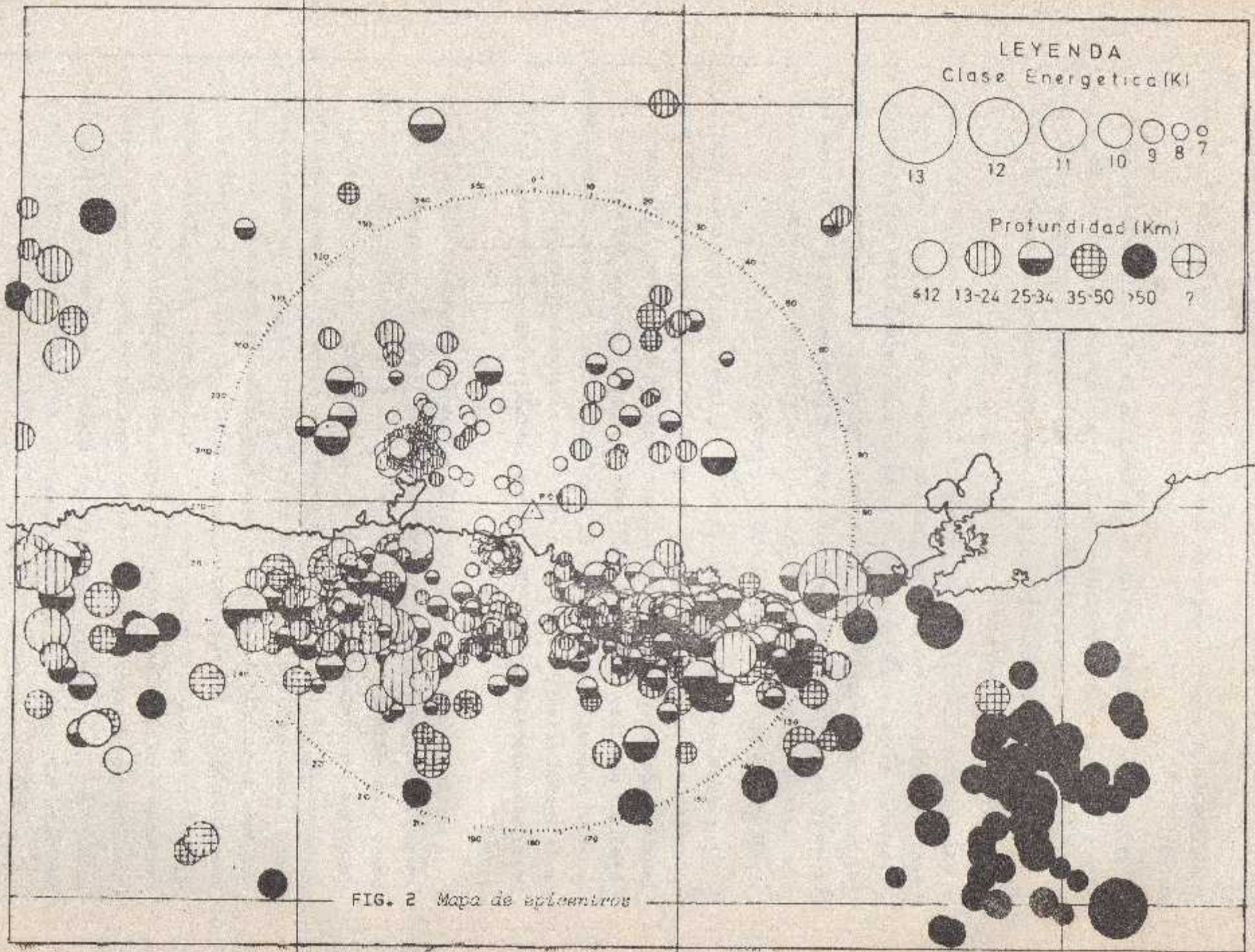
directamente el espectro medio de los diferentes tipos de onda de los terremotos.

El complejo de corto período de la Estación de Río Carpintero ha permitido obtener un cuadro preliminar de la sismicidad de esa región. En las figuras 2, 3 y 4 se muestran los mapas de epicentros, densidad de epicentros y relajamiento de deformaciones que han sido obtenidos utilizando los datos registrados entre 1968 y 1976.

Al resultar insuficiente una sola estación para el estudio de la sismicidad regional; se tomó la determinación de ampliar la red con otras tres estaciones en la región oriental, equipadas con complejos de corto período, las cuales han comenzado recientemente a trabajar y han mejorado considerablemente la calidad en las determinaciones de hipocentros, a la vez que han aumentado el rango de detectabilidad. En la figura 5 se muestra la localización de las estaciones de la región oriental de Cuba.

Un segundo paso en la estimación de la peligrosidad sísmica lo constituyó el análisis de toda la información existente en la literatura mundial sobre la sismicidad de la parte norte del arco insular del Caribe. Los datos obtenidos han sido escasos, permitiendo solamente realizar estudios⁴ de peligrosidad sísmica para la ciudad de Santiago de Cuba, principal núcleo urbano de la región oriental, los cuales coinciden en carácter general con los resultados expresados en el Mapa de Intensidades sísmicas por datos históricos.

A partir de la información obtenida se han determinado las líneas de investigación perspectivas fundamentales y que son: la determinación de las zonas sismopénicas y las magnitudes máximas a ellas asociadas, la obtención de curvas regionales de atenuación de la intensidad sísmica y el estudio detallado del régimen sísmico. La primera de estas líneas es indiscutiblemente la más compleja, y hasta el momento los esfuerzos fundamentales se han dedicado al estudio de los mecanismos focales de los terremotos más fuertes ocurridos en los últimos años al sur de Cuba. En trabajos previos⁵ se plantea que el mecanismo focal de los terremotos al oeste de las Islas Caimán responde a un movimiento entre las placas del tipo de desplazamiento lateral, mientras que al norte de la Isla de la Española hay una componente grande de subducción. Los trabajos realizados por nuestro Departamento de Sismología han permitido esclarecer que los mecanismos focales al sur de Cuba,⁶ entre



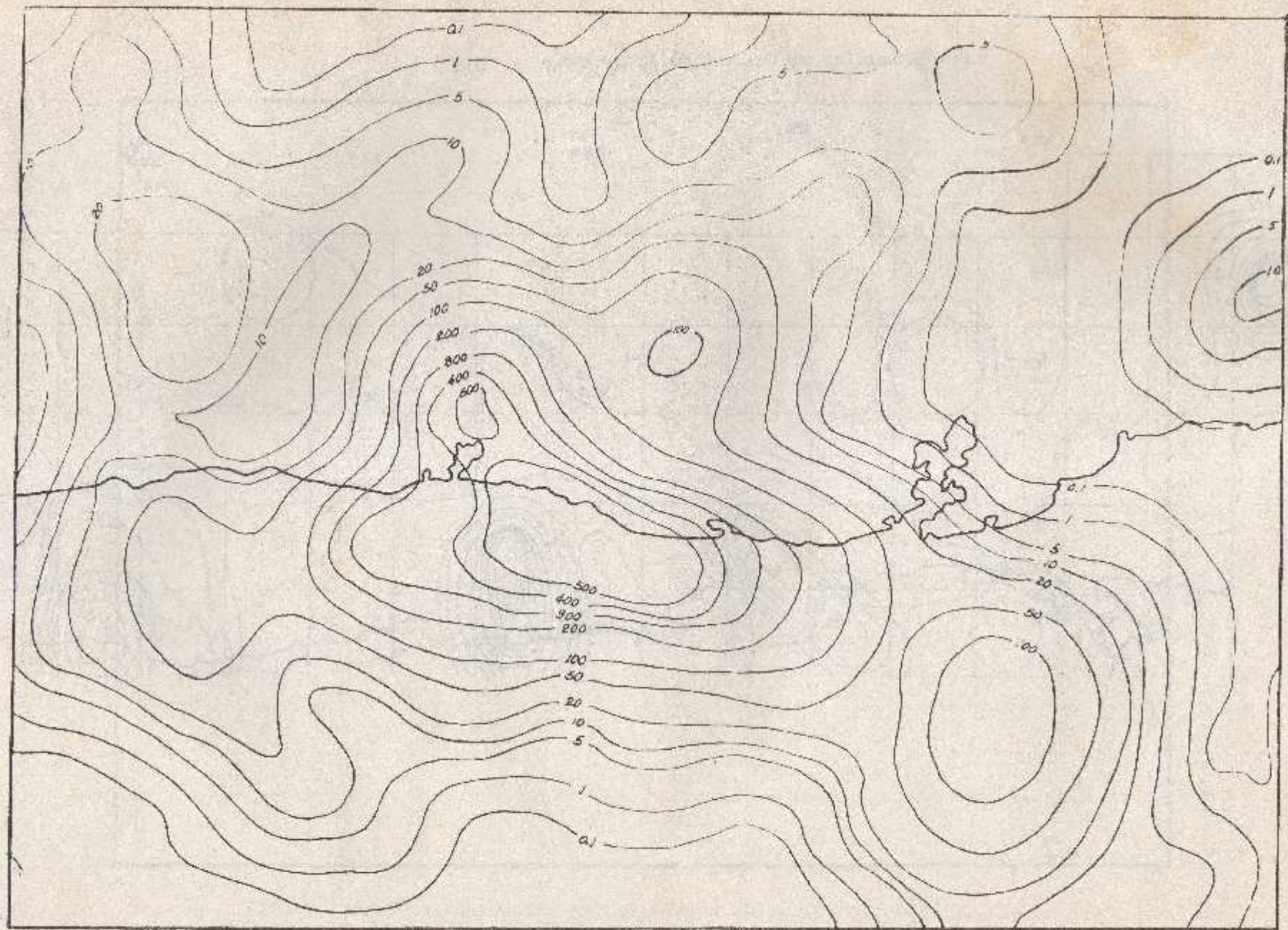


FIG. 3 Mapa de densidad de epifiticos.

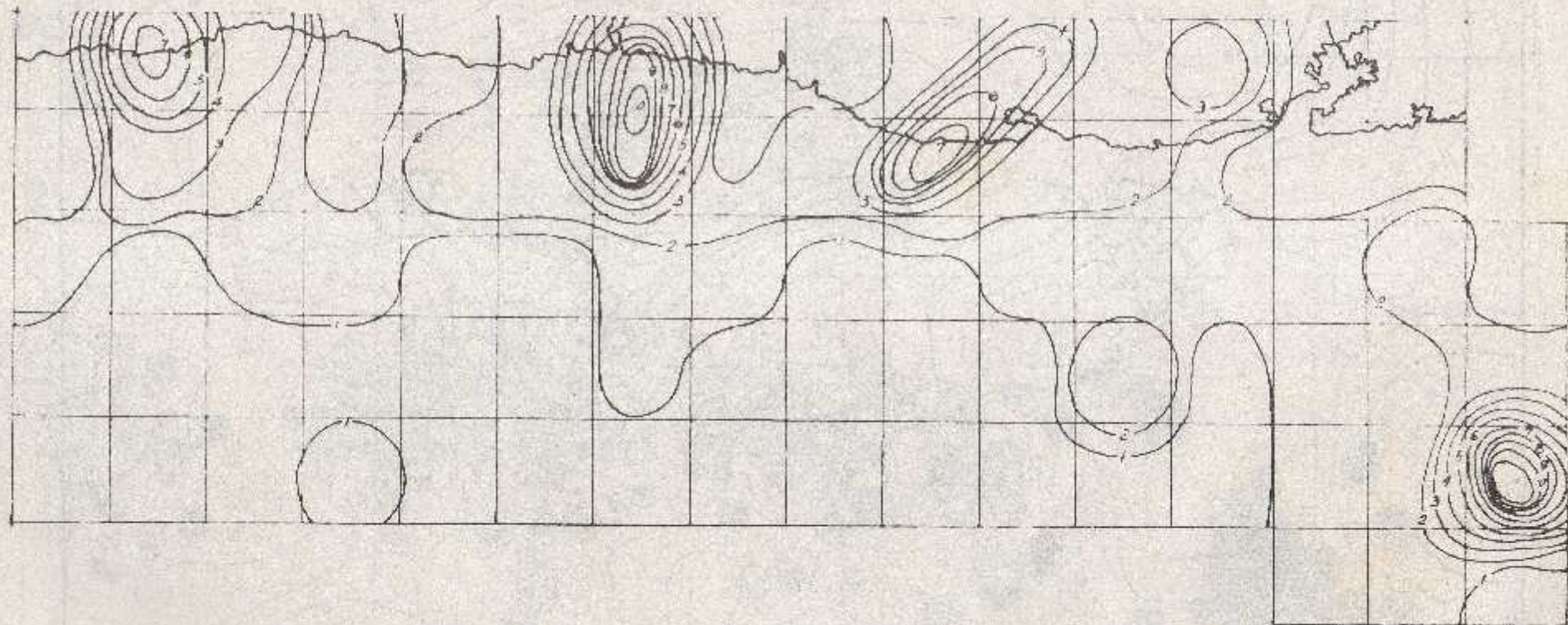


FIG. 4 Mapa de relajamiento de deformaciones

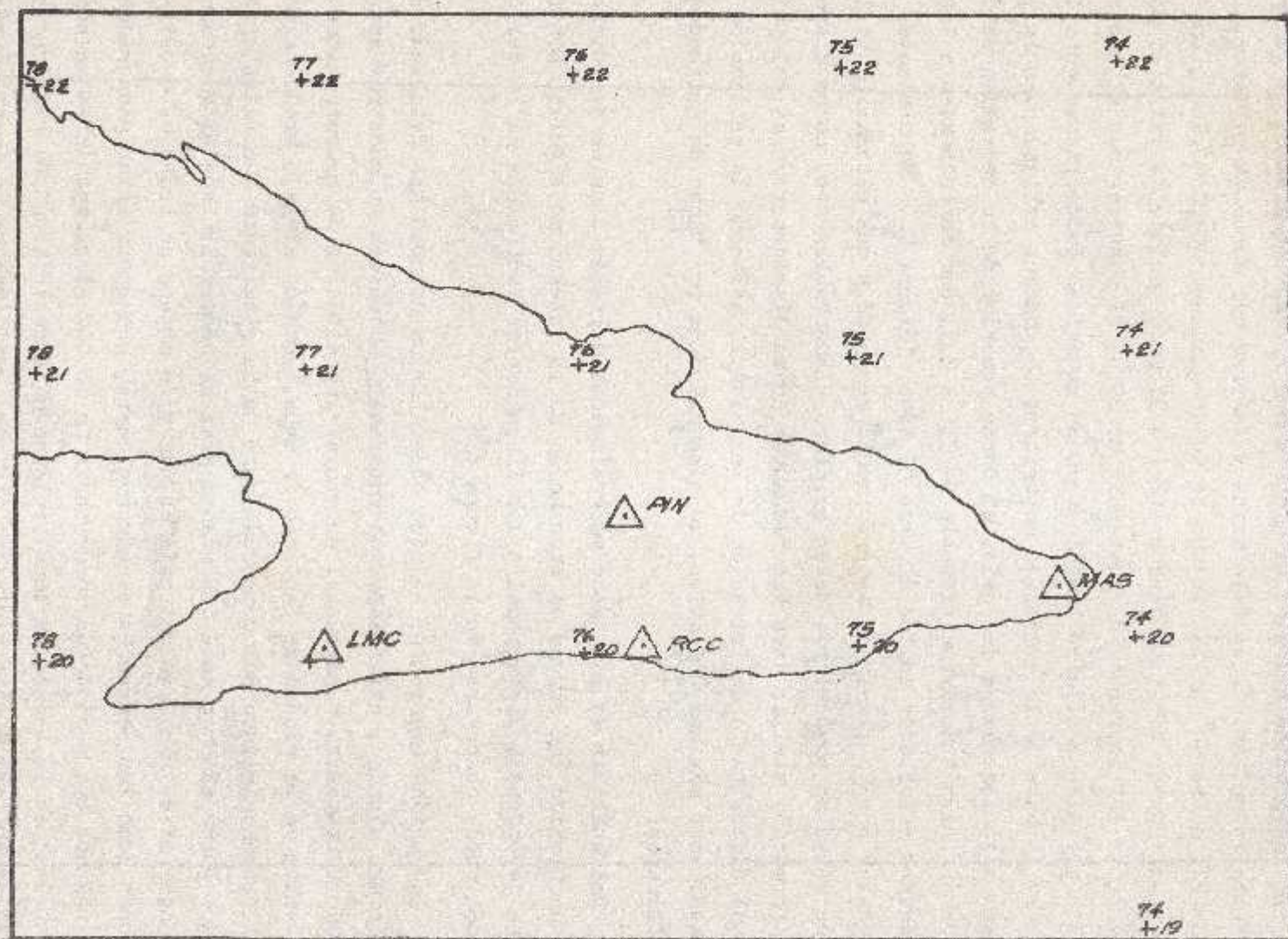


FIG. 5 Localización de las estaciones de la región oriental de Cuba

los 74° y 80° de longitud oeste corresponden también a un movimiento del tipo de desplazamiento lateral. (Figura 6.)

En los propios trabajos se planteó que el régimen sísmico de la zona fronteriza entre las placas del Caribe y América del Norte en el intervalo de los 72° a los 80° de latitud norte es aproximadamente homogéneo, condición esta que puede ser extendida hasta los 91° para incluir la falla de Motagua, causante del terremoto de Guatemala de 1974, si consideramos el hecho de que este movimiento sísmico también tuvo un mecanismo de desplazamiento lateral.⁷ Sobre la base de lo expresado anteriormente podemos estimar como la principal zona sismogénica del país, el borde superior de la depresión de Caimán con una magnitud máxima probable de 7,5 a 7,9, que corresponden a los valores máximos reportados en los últimos 80 años. (Figura 7.) No obstante, debemos señalar que lo planteado anteriormente responde a una estimación preliminar que estudios posteriores deben aclarar. Lamentablemente, no se dispone de información similar para las restantes zonas sismogénicas del país, lo cual dificulta la delimitación de las mismas, así como la estimación de las magnitudes máximas probables, no disponiéndose por tanto de estimados preliminares.

Del análisis de los datos macrosísmicos del arco insular del Caribe se han obtenido las curvas de atenuación de la intensidad sísmica, mostrando una dependencia direccional a los lineamientos tectónicos de la región, tal como puede observarse en la figura 8.

La región suroriental ha sido objeto de un estudio más detallado del régimen sísmico, utilizando los materiales obtenidos en nuestras estaciones, con el propósito fundamental de apoyar los estudios de microrregionalización sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba,⁸ debido al bajo grado de estudio y al desconocimiento del comportamiento de la sismicidad que existía hasta hace pocos años en esta importante área de desarrollo social y económico. Aunque otras regiones del país no han sido objeto de trabajos detallados, obras como las centrales electroneucléares, que deben estar aseguradas contra fenómenos con período de recurrencia de 10 000 años, requieren un análisis especial de la tectónica local valorando la posibilidad de existencia de fallas activas o potencialmente activas, definiéndose la magnitud máxima de acuerdo con las dimensiones de las mismas.

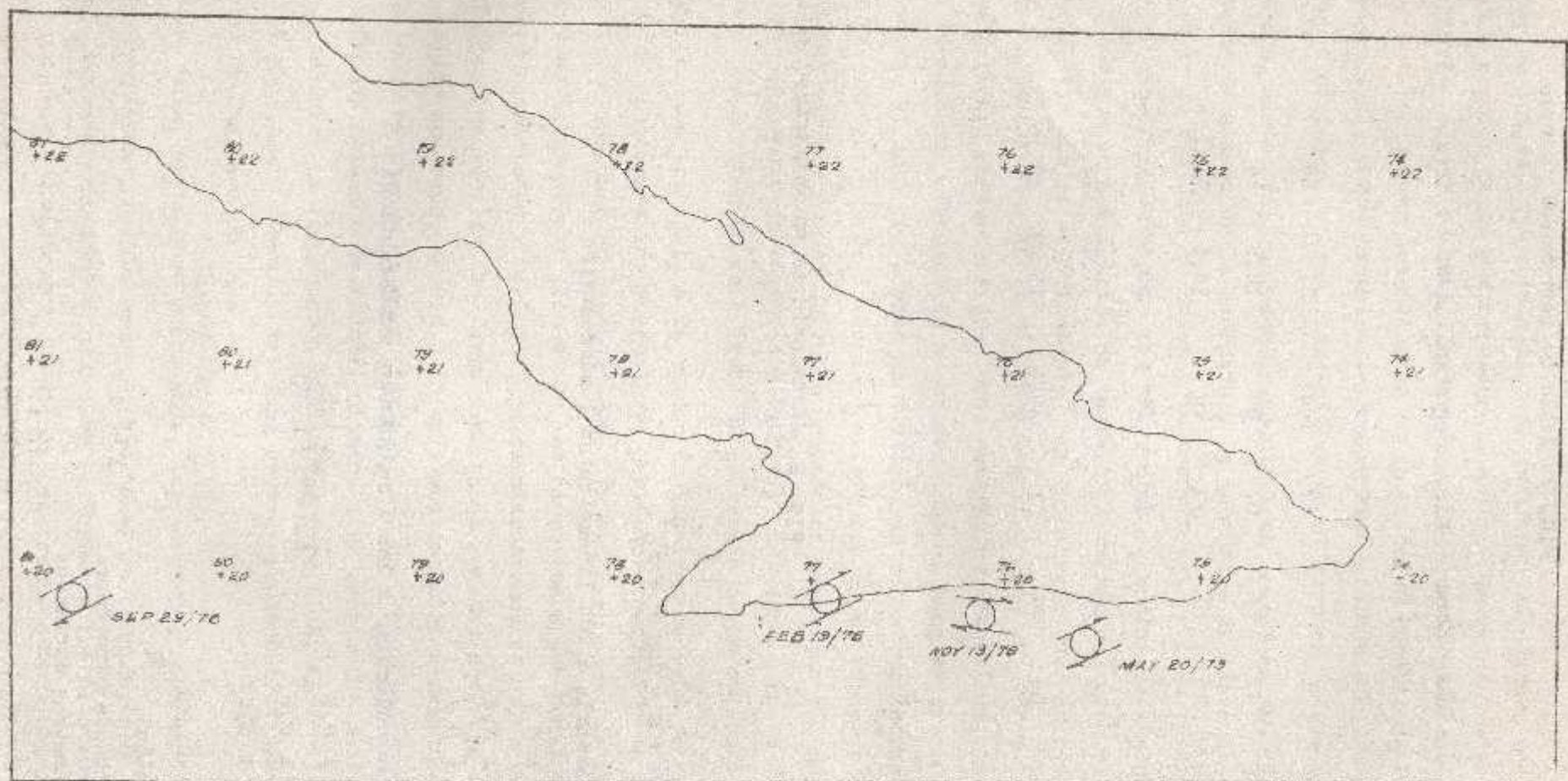


FIG. 6 Mecanismos focales al sur de Cuba

FIG. 7 *Tabla de terremotos fuertes*

Año	Mes	Día	Hora	Min.	Segundos	Lat.	Long.	Prof.	MHH
1892	Junio	14	11	09	30	18	77	n	7,8
1900	Junio	21	10	52	00	20	80	n	7,8
1910	Enero	31	11	02	00	18,3	84	60	7,
1917	Febrero	20	19	28	48	19,5	78,5		7,4
1932	Febrero	03	06	15	55	19,5	75,5		6,70
1941	Abril	07	23	29	17	17,75	78,5		7,
1976	Febrero	04	09	01	43,9	15,28	89,19	h	7,5

FIG. 8 *Atenuación de la intensidad sísmica*

$$I = b + M + s \cdot \log r + d$$

Dirección paralela a los lineamientos fundamentales

$$b = 0,8 \pm 0,1$$

$$s = -2,4 \pm 0,3$$

$$d = 0,5 \pm 0,7$$

Dirección perpendicular a los lineamientos fundamentales

$$b = 0,8 \pm 0,1$$

$$s = -3,9 \pm 0,3$$

$$d = 0,6 \pm 0,6$$

I : Intensidad

M : Magnitud

r : Distancia hipocentral

b, s, d : Parámetros estimados

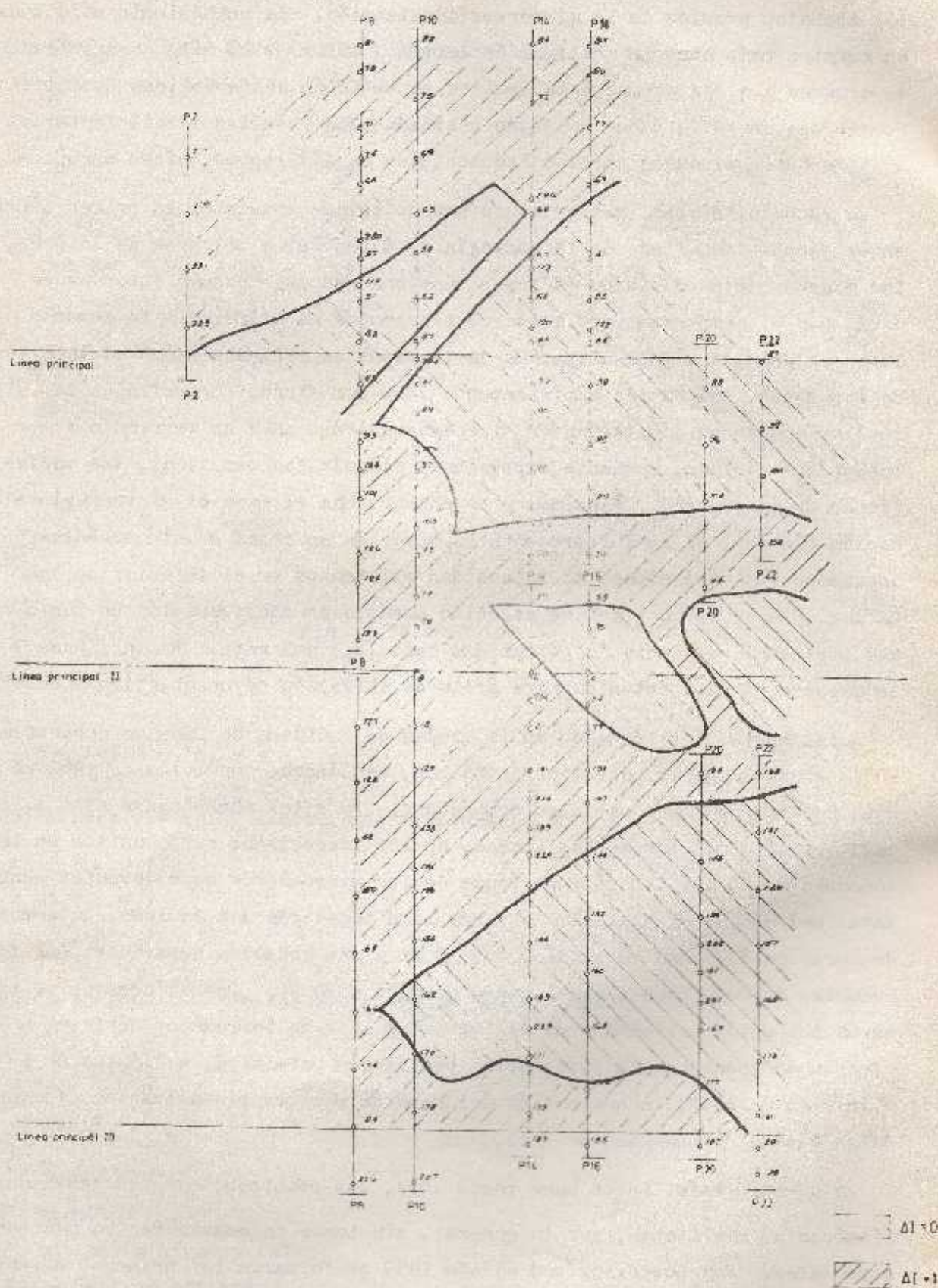
A partir de los estimados iniciales de peligrosidad sísmica se comienzan los trabajos propios de la microrregionalización. La metodología utilizada en nuestro país para la realización de estos trabajos ha sido desarrollada de acuerdo con las normas establecidas en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas en 1977, y que han sido aplicadas con resultados satisfactorios en diferentes ciudades y obras industriales en diferentes países europeos.

En resumen, dichas instrucciones metodológicas consisten en primer término en el estudio detallado de la geología y la tectónica del área de interés, a los efectos de su división en zonas cuasihomogéneas, en cuyo interior se asume que el comportamiento ante los terremotos es uniforme. En segundo lugar se procede a la realización de trabajos experimentales en el interior de las zonas, los cuales empíricamente⁹ han demostrado que reflejan las diferencias que se manifestarían en el comportamiento ante un terremoto y que pueden cuantificar, mediante expresiones matemáticas sencillas, las variaciones de intensidad. Finalmente se confecciona el mapa de microrregionalización sísmica, el cual representa la división en zonas cuasihomogéneas indicando las variaciones de intensidad existentes en el interior de las mismas. Estas variaciones se calculan tomando en consideración un suelo medio al cual se asocia la intensidad base (I_0) del mapa. En la figura 9 se muestra el mapa obtenido para áreas de ubicación de un objetivo industrial.

Actualmente, los trabajos en la ciudad de Santiago de Cuba se encuentran en la etapa de mediciones instrumentales, habiéndose concluido en 1980 el mapa de división en zonas cuasihomogéneas. En estos momentos se está aplicando el método instrumental llamado de los microsismos que consiste en la comparación de amplitudes y períodos de los microsismos en diferentes puntos. Estas mediciones se realizan en forma simultánea con dos equipos, un complejo de corto período con rango de 0,5 a 10 Hz y una estación separadora por frecuencias de ocho bandas en el rango de 0,25 a 30 Hz. Posteriormente se aplicará los métodos llamados de rigidez sísmica y de terremotos débiles, a los efectos de complementar la información básica que permitirá, a finales de 1982 o inicio de 1983, la confección del Mapa de microrregionalización sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba.

En nuestro país, hasta hace pocos años, las constataciones en las zonas sísmicas se realizaban, por lo general, sin tomar en consideración mediciones especiales. Con posterioridad al año 1959 se formaron los primeros especialistas en estructuras dinámicas y surgieron los trabajos preliminares sobre

FIG. 9 Esquema de normalización sísmica



normas para las construcciones en áreas de actividad sísmica. Estos esfuerzos iniciales se encaminaron a la adopción de normas constructivas establecidas en otros países hasta pasar paulatinamente a la redacción de normas constructivas específicas para nuestro país. Para ello se ha realizado un intenso trabajo conjunto entre especialistas del Ministerio de la Construcción y de nuestro Instituto de Geofísica y Astronomía, el cual ha permitido establecer una metodología adecuada para el cálculo de los diferentes elementos estructurales sometidos a cargas sísmicas.¹⁰

Un ejemplo elocuente de desarrollo masivo de construcciones antisísmicas lo tenemos en la propia ciudad de Santiago de Cuba, donde desde hace más de 15 años se están construyendo elementos prefabricados del sistema Gran Panel (URSS), que permiten la construcción de edificios de cinco pisos capaces de resistir movimientos sísmicos de hasta VIII grados en la escala MSK-64. Recientemente se ha comenzado un plan de remodelación de la ciudad que comprende la construcción de edificios altos, el primero de los cuales de 12 pisos y construido por el sistema de elementos prefabricados IIS (Yugoslavia), ha sido también calculado para resistir sacudidas de hasta VIII grados.

Debemos señalar, a modo de conclusión, la estrecha relación entre el trabajo científico que realizamos y el desarrollo social y económico de nuestros países. A medida que avanzamos en el conocimiento de estos fenómenos naturales seremos más capaces de salvaguardar el recurso más preciado de la naturaleza, que es el propio hombre.

REFERENCIAS

1. POEY, A: *Tables Chronologiques des Tremblements de Terre Resente a l'île de Cuba, 1561-1865*. Morenta E. Thunot, París, 1866.
2. ROYTEL, F: Catálogo sísmico de Cuba. (Inédito.)
——— : Carta de sismicidad histórica de Cuba. Editorial Oriente.
- VIÑA, S. Y L. ESTEFANÍA: *Libro de registro de observaciones meteorológicas del Colegio Dolores, Santiago de Cuba*. (Inédito.)
3. CHUY, T. Y M. RODRÍGUEZ: Mapa de intensidades sísmicas por datos históricos. Escala 1:1 000 000, 1979.

4. ÁLVAREZ, L. Y V. BUXÉ: "Estimación de la peligrosidad sísmica para la parte suroriental de Cuba", *Noticias de la Academia de Ciencias de Cuba. Serie Física de la Tierra*. No. 10, 1977.
5. MOLNAR, P. Y I. SYKES: "Tectonics of the Caribbean and Middle American Region from Focal Mechanisms and Seismicity", *Geological Society of America Bulletin*. Vol. 80, pp. 1669-1689, 1969.
6. RUBIO, M. Y L. ÁLVAREZ: "Mecanismos focales de los terremotos al sur de Cuba" (inédito), 1979.
7. KANAMORI, H. AND G. STEWART: "Seismological Aspects of the Guatemala Earthquake of February 4, 1976", *Journal Geophysical Research*, Vol. 83, p. 3427, 1978.
8. "Régimen sísmico de la región suroriental de Cuba" (en prensa), Departamento de Sismología de la Academia de Ciencias de Cuba, 1980.
9. MEDVEDEV, S: *Instanisiarnia Seismología*. Editorial Stroiizdat. Moscú, 1963.
10. Normas para el cálculo de edificaciones en zonas sísmicas. Ministerio de la Construcción.

