
Necesidades de Investigación en Ingeniería Sísmica en Colombia

A raíz de los temblores ocurridos recientemente en el país se ha despertado un interés cada vez mayor en los temas de la Ingeniería Sísmica. El presente artículo resume las necesidades nacionales de investigación en el área y por lo tanto, es una valiosa guía para quienes estén dedicados a investigaciones complementarias.

LUIS ENRIQUE GARCIA REYES
Presidente, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica
Profesor de Ingeniería Civil,
Universidad de los Andes, Bogotá

La Ingeniería Sísmica cobra cada día una mayor importancia dentro del ámbito nacional, pues es innegable que el país se encuentra localizado en una de las zonas más sísmicas del mundo, como es el Anillo Sísmico Circumpacífico. Además el gran aumento demográfico del país en los últimos años, ha hecho que las catástrofes sísmicas que se han presentado recientemente afecten a un mayor número de personas.

Tradicionalmente se ha pensado en términos de proveer seguridad sísmica a las edificaciones en altura, dándole una importancia muy menor a todos los efectos colaterales de un sismo. Por lo tanto, es muy importante hacer una reevaluación realista de las prioridades de investigación nacional en el área de Ingeniería Sísmica, con el fin de subsanar aquellos vacíos que se han dejado desde tiempo atrás y que presentan una fuente potencial de peligro a las vidas y a la comunidad en futuros temblores.

A continuación se discuten cada uno de estos aspectos mencionando qué se ha hecho a nivel nacional, qué se está haciendo y qué se puede hacer con los recursos de investigación de que dispone el país en la actualidad.

Riesgo sísmico

La evaluación científica y realista del riesgo sísmico para las diferen-

tes regiones y ciudades del país, es tal vez una de las prioridades más apremiantes. Tan sólo a partir del año Geofísico Internacional, en 1960, se empezó a entender el fenómeno tectónico al punto que en la actualidad es posible realizar una evaluación del riesgo sísmico de un lugar determinado, expresando este riesgo como una probabilidad anual de excedencia de un valor dado de aceleración máxima horizontal generada por el sismo; o bien, del inverso de esta probabilidad o sea del período de retorno. Para llegar a un gráfico como el presentado en la Figura-1, que corresponde a ésta evaluación del riesgo sísmico hecha para la ciudad de Bogotá en 1977, es necesario llevar a cabo una serie de pasos entre los cuales están: Evaluación tectónica de la zona identificando las fallas geológicas sísmicamente activas; recopilación de la historia sísmica de la zona, con especial énfasis en la parte histórica e instrumental; asignación de los eventos sísmicos, históricos e instrumentales a cada una de las fuentes sísmicas, ya sean fallas o grupos de ellas; determinación de las tasas de actividad de cada una de ellas con base en la información anterior y definición de la máxima magnitud que pueda ser generada por un sismo que ocurra en ella; evaluación de la probabilidad anual de excedencia para cada nivel de aceleración horizontal del terreno, tomando en cuenta la distancia de la fuente sísmica al lugar de interés y la

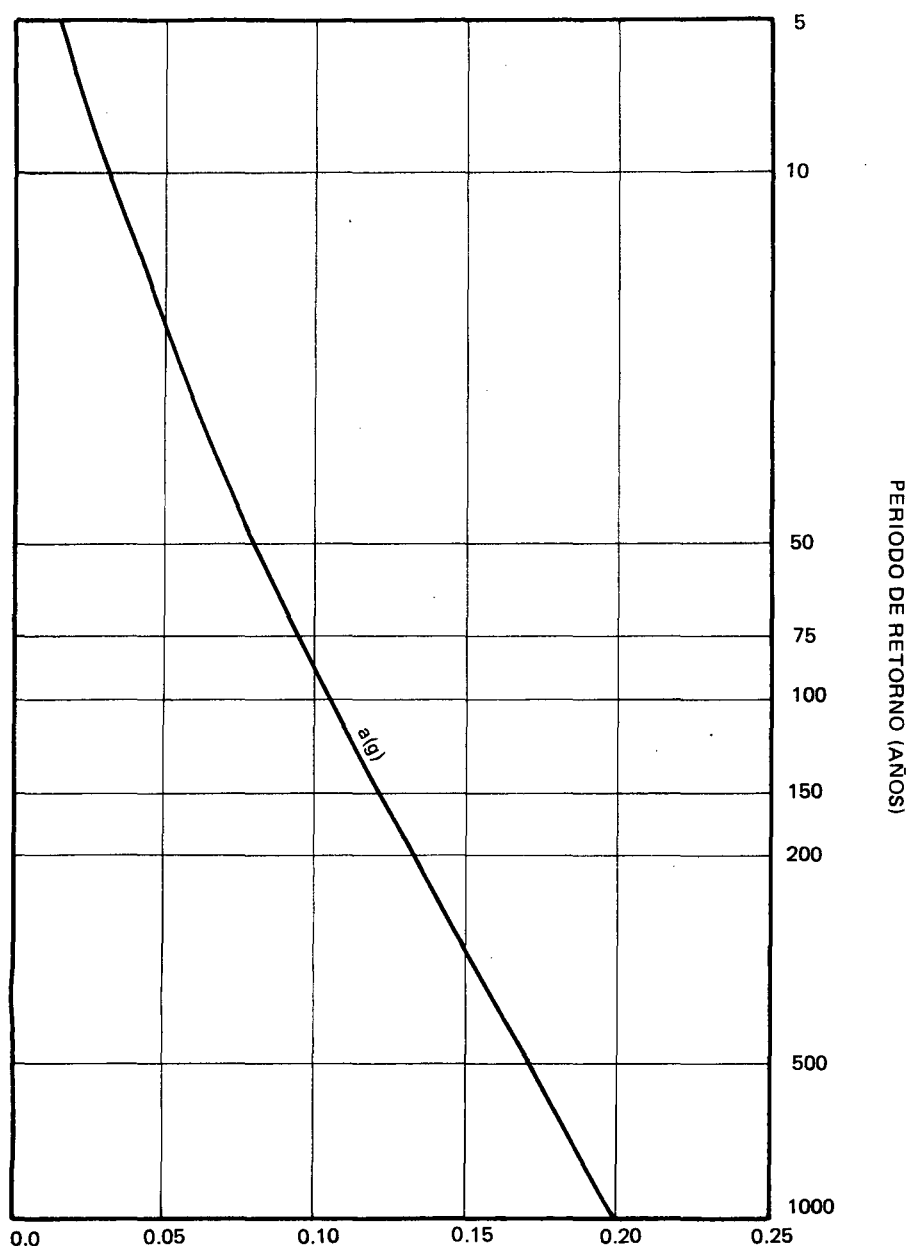


Fig. 1: Aceleración máxima horizontal del terreno (en roca) para Bogotá.

atenuación que pueda tener la onda sísmica con la distancia.

Como se puede ver, es necesario disponer de una gran cantidad de información de la más variada índole para poder realizar un estudio de riesgo sísmico de un lugar determinado. En general, la información sobre la geología de la zona es muy deficiente a nivel nacional. Este es definitivamente uno de los puntos que debe llenarse inicialmente. En la actualidad es posible que se disponga de muy buena información pero desafortunadamente es de muy difícil acceso, pues está diseminada en diferentes estudios de las más variadas entidades públicas y privadas.

Con estudios detallados de algunas zonas del país que se han realizado para algunas obras de importancia, tales como centrales hidroeléctricas, es posible dar los primeros pasos en la formulación del modelo tectónico del país, que es tal vez uno de los más complicados del mundo, pues Colombia está localizada en un punto de toque de tres placas tectónicas.

Respecto a la recopilación de la información sísmica, histórica e instrumental, es loable la labor que realizó Interconexión Eléctrica S.A. por medio de una investigación realizada por la Firma ITEC Ltda. y por el Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, adscrito a la

Universidad Javeriana. En este estudio se relocalizaron a partir de los sismogramas todos los epicentros instrumentales de que se disponía hasta Abril de 1979. El catálogo cuenta en la actualidad con 3886 registros, lo cual hace que sea posible asignar eventos a las respectivas fuentes sísmicas con mayor facilidad y con la misma confianza. Es de fundamental importancia mantener al día este catálogo, asunto que no se está llevando a cabo en la actualidad. En la Figura 2 se puede ver la localización de los epicentros en el territorio nacional.

Es importante anotar, como se verá más adelante, que la red de sismógrafos del país es muy deficiente y que por lo tanto, debe mejorarse. Lo anterior llevaría a superar otra de las lagunas que se tiene nacionalmente, como es la falta de ecuaciones de atenuación del efecto sísmico con la distancia. Estas ecuaciones dependen de una gran cantidad de características locales, lo cual hace, que trabajar con fórmulas determinadas en otras regiones no sea lo más adecuado. Desafortunadamente no se dispone en el país de la información que permita obtener unas ecuaciones para el territorio nacional y tan sólo mejorando la red instrumental se podrían obtener, los primeros valores, pues se necesitan registros de acelerógrafos de movimiento fuerte tomados a diferentes distancias del epicentro o de la falla geológica que causó el sismo, pero para un mismo sismo. Recientemente se han hecho intentos de tratar de obtener unas ecuaciones aproximadas utilizando sismogramas (Ref. 3).

Si se dispusiera de la información anotada anteriormente, sería posible elaborar mapas de riesgo sísmico para diferentes períodos de retorno para todo el país. La norma desarrollada por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Norma ACIS 100-81, "Requisitos Sísmicos para Edificios", (Ref. 4), utiliza el mapa de la Figura 3, en el cual se dan las Aceleraciones Horizontales Pico que se deben usar para el diseño de estructuras, las cuales tienen una probabilidad de exce- ▶

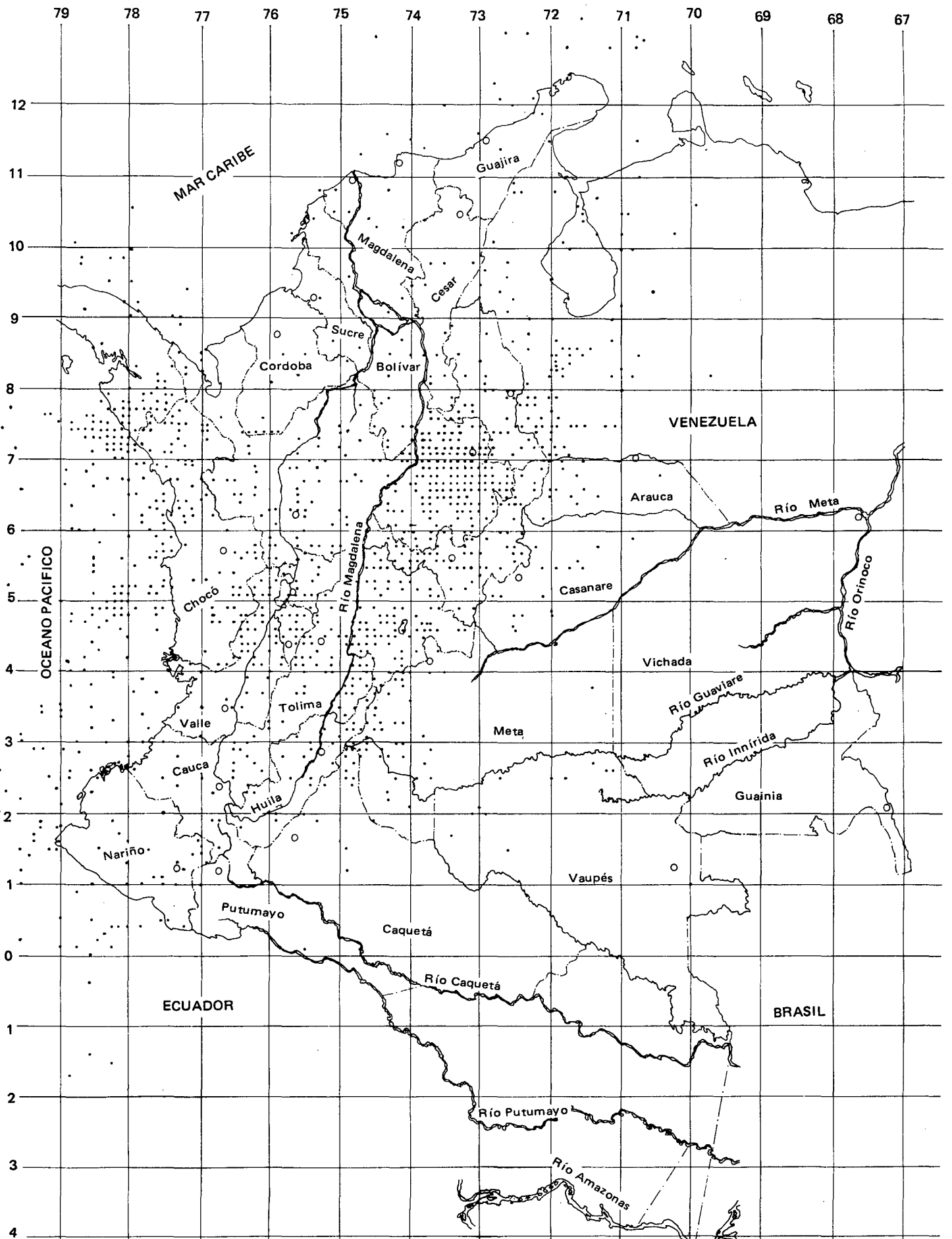
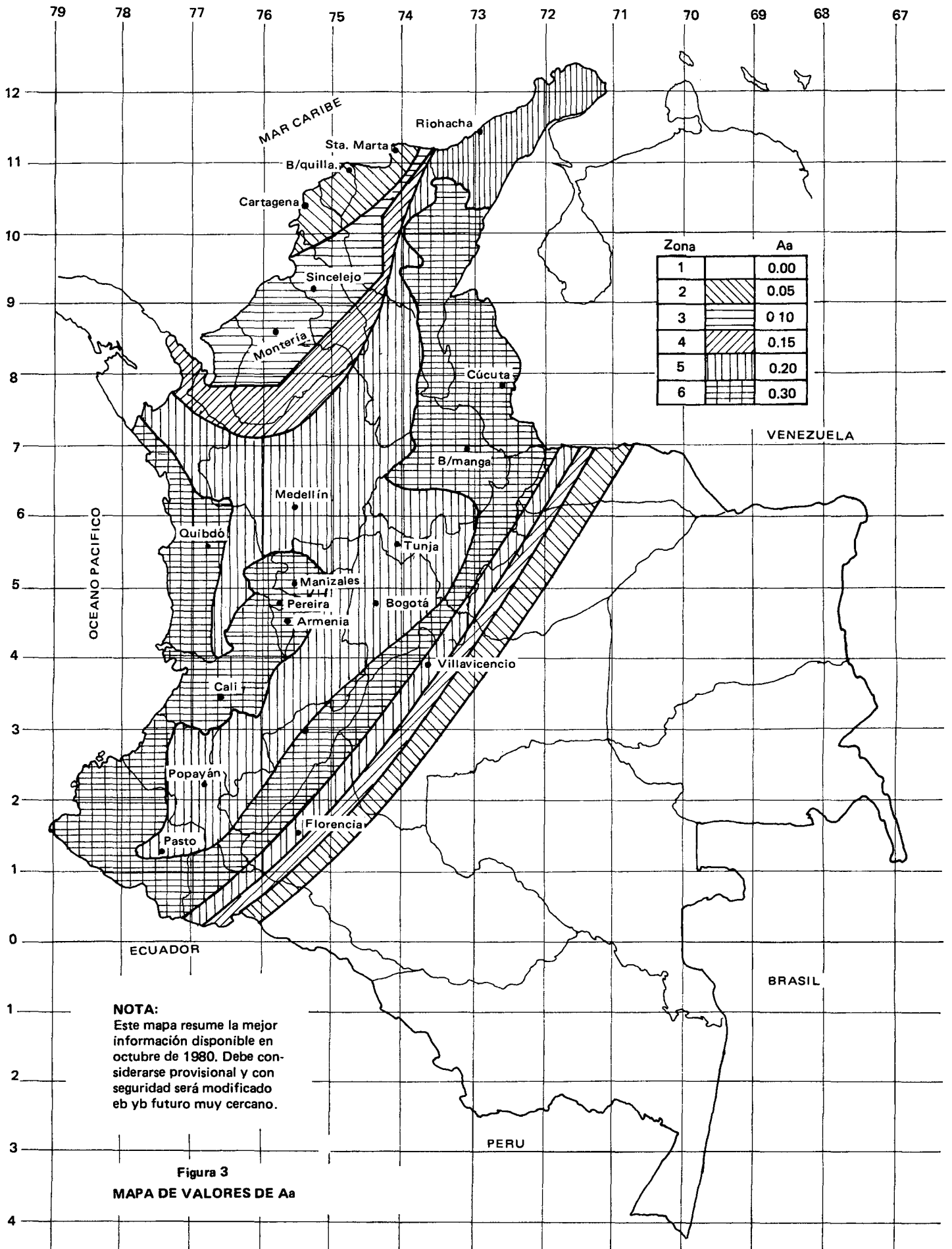


Figura 2

Localización de epicentros de los temblores históricos e instrumentales registrados en la República de Colombia, hasta Abril 30 de 1979 (Ref. 3.2.)



deficiencia de diez por ciento en cincuenta años. Este mapa se elaboró utilizando la información de que se disponía de actividad sísmica epicentral y los valores de A_a se fijaron utilizando los estudios de riesgo sísmico de que se disponía en el momento de su elaboración. Este mapa debe ser reemplazado tan pronto se disponga de mejor información que permita la obtención de parámetros de diseño sísmico bajo un mismo patrón para todo el país.

Microzonificación

Al pasar del aspecto macro al aspecto micro, se encuentra que es mucho lo que hay por hacer en el país y muy poco lo que se ha hecho. La microzonificación es una ciencia todavía en desarrollo, aspecto que por ningún motivo le resta importancia. Básicamente trata de identificar zonas potencialmente peligrosas desde el punto de vista sísmico debido a algún accidente local. Existen gran cantidad de fuentes locales de peligro, pero entre las más estudiadas están: La amplificación de las ondas sísmicas al pasar desde la roca subyacente hasta la superficie a través de estratos de suelo blando; la identificación de zonas potenciales de licuefacción de arenas debido a la vibración del temblor, la posibilidad de falla de taludes debido al movimiento sísmico, la identificación de las fallas geológicas activas para evitar colocar estructuras u obras de importancia muy cerca de ellas.

En la actualidad existe material humano para llevar a cabo investigaciones tendientes a permitir una microzonificación, al menos de las ciudades más importantes del país y de otra parte se dispone en algunas de las universidades del país de las tecnologías, ya sean de laboratorio o numéricas, para llevar a cabo muchos de los estudios que requerirían estas microzonificaciones.

Por otro lado, no sobra resaltar la importancia que tiene en el planeamiento urbano de las ciudades del país, la identificación de zonas eventuales de problema sísmico, con el fin de no incentivar el desarrollo de las mismas.

Construcción sismo resistente de edificaciones

La falta de un Código Nacional de Construcción es algo que es inadmisiblemente para el nivel de desarrollo del país. Es de esperarse que esta deficiencia sea subsanada por la autoridad a quien corresponda en un futuro cercano. Desafortunadamente, la anarquía que se presenta al coexistir un sin número de normas simultáneamente, tan sólo conduce a una situación de mayor peligrosidad desde el punto de vista sísmico. Esto fue resaltado por los temblores de finales de 1979, en los cuales se presentaron un sinnúmero de fallas que habrían podido evitarse si se dispusiera de un Código de Construcción.

Preocupados por esta situación de anarquía, los miembros de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, ACIS, nombraron un comité de su seno para que elaborara una propuesta de norma sísmica, que eventualmente pudiera ser involucrada al Código Nacional de Construcción. El resultado fue la Norma ACIS 100-81 "Requisitos Sísmicos para Edificaciones" (Ref-4), la cual fue sometida a discusión entre los miembros de la Asociación en Octubre de 1980 y su versión definitiva apareció en Mayo de 1981.

La Norma ACIS 100-81 utilizó como guía el Código ATC-3, (Ref. 5), que es el documento más moderno de que se dispone en la actualidad en el campo de la normalización sísmica y que a la vez, tiene la característica de permitir que se involucren parámetros locales, lo cual era imposible con las normas más antiguas como el SEAOC (Ref. 6). Además en la elaboración de la norma nacional se utilizó toda la información proveniente de investigaciones llevadas a cabo en el país, que permitieran diseñar estructuras más seguras sísmicamente en el medio colombiano.

No obstante el hecho de que exista un documento completo de recomendaciones de diseño sísmico para edificios, hay una gran cantidad de vacíos que la investigación nacional

debe ir llenando poco a poco, para ser involucrados a la norma. Entre los aspectos que merecen investigaciones serias y profundas están: La capacidad de disipación de energía bajo sollicitaciones sísmicas de los materiales nacionales; los niveles de ductilidad real a que pueden llegar los elementos de concreto reforzado, tal como se diseñan y construyen en el país; la bondad de las fórmulas de acero de confinamiento para columnas; la obtención de períodos de vibración de edificios colombianos, bajo sollicitaciones en el rango inelástico; la efectividad de las losas de entrepiso, tal como se construyen en el país como diafragmas que distribuyen las fuerzas sísmicas a los elementos de resistencia; la interacción de los muros divisorios y de fachada con los elementos estructurales y, las maneras de solucionar que éstos no se dañen y presenten un peligro para las vidas a raíz de un temblor.

Otro aspecto muy importante y que tiene que ver mucho con la norma, es la manera de proveer sistemas de evaluación de nuevas alternativas de construcción, las cuales en razón de la propia innovación no caen dentro del rango de aplicación de una norma preexistente. Si se desea que la norma sea efectiva como un mecanismo de seguridad, todo sistema estructural innovativo debe homologarse a la norma. Este aspecto no debe descuidarse pues la industrialización de la construcción a través de sistemas novedosos, irá apareciendo día a día como una de las alternativas más importantes para la solución del déficit de vivienda del país.

Pero el enorme vacío que debe llenar la investigación nacional, no para en los puntos enumerados anteriormente pues la normalización tal como la plantea la Norma ACIS 100-81, se refiere únicamente a edificios de altura y por lo tanto, ha dejado de lado todos los otros tipos de edificaciones que, aunque de menor importancia individual, son mucho más numerosos y aún más grave, albergan personas que disponen de menos recursos para poder afrontar un deterioro importante de su

vivienda a causa de un temblor.

La solución de este problema no es sencilla e implica un esfuerzo en el cual deben intervenir profesionales de un gran número de disciplinas, pues se está hablando de materiales de construcción de las más variadas características producidos, en general, sin ningún control de calidad. Este tipo de construcción, generalmente, no está supervisado por ningún profesional idóneo especialmente cuando se está hablando de auto-construcción. Tal vez un primer paso en la solución de éste problema, esté en el desarrollo de cartillas muy simples que estén al alcance inclusive del obrero de la construcción. En este aspecto es muy interesante la solución que han dado otros países al mismo problema como lo muestra la publicación hecha por la Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica (International Association for Earthquake Engineering - IAEE), la cual fue recientemente republicada por la ACIS como su Boletín Técnico No. 11.

Instrumentación

El país dispone en la actualidad de una red sismológica muy exigua consistente en seis estaciones localizadas en Bogotá, Bucaramanga, Chinchiná, Fúquene, Galerazamba y Pasto. La ubicación de las estaciones no es la óptima y esto hace que la localización de epicentros se vea afectada por ello. Estas estaciones son indispensables para poder mejorar el entendimiento de la tectónica nacional, ya que una buena regionalización sísmica usando estudios serios de riesgo sísmico, tiene que estar basada en información proveniente de las estaciones sismológicas.

Es necesario que el país mejore esta red con la adquisición de nuevas estaciones y que modernice el equipo de algunas de las existentes. Sin este paso fundamental es muy probable que los esfuerzos que se inviertan en campos colaterales, se vean disminuidos en su efectividad. Asimismo, es fundamental disponer de una red sismográfica móvil que permita instrumentar inmediatamente

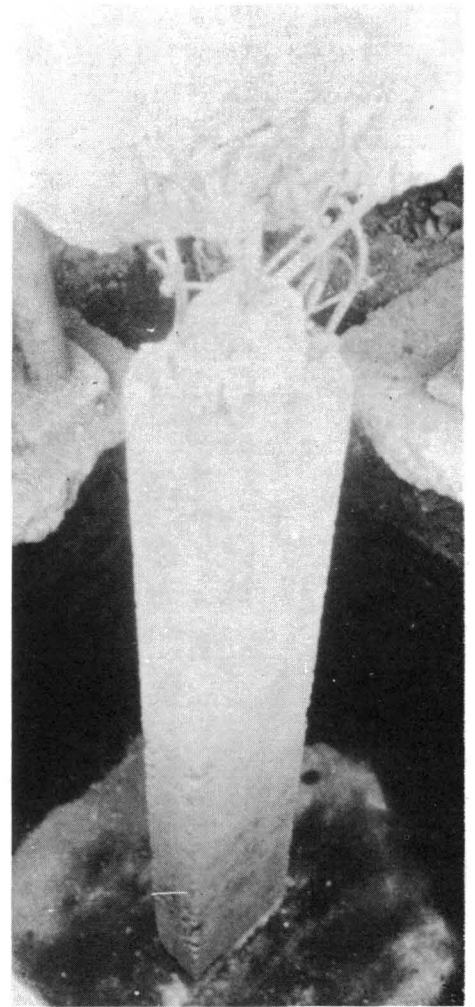
después de la ocurrencia de un temblor de importancia la zona aledaña con el fin de localizar con la mayor precisión posible las réplicas que se presentan con posterioridad al primer temblor. De esta manera, es posible determinar las fallas geológicas que entraron en actividad y formarse una mejor idea del proceso tectónico que está ocurriendo.

Otro aspecto donde la instrumentación del país es muy pobre, es en la parte correspondiente a acelerógrafos de movimiento fuerte. Con estos instrumentos es posible registrar las aceleraciones que se presentan en lugares muy cercanos a la falla y de otra parte, permiten al ser colocados en diferentes partes de un edificio conocer el comportamiento del mismo durante el temblor y de ésta manera sacar conclusiones imposibles de lograr en el laboratorio.

Es importante anotar cómo, ciudades como Los Angeles, exigen la colocación de por lo menos tres de estos instrumentos en edificios de más de 5500 m² o de más de diez pisos. Si en el país fuera posible al menos lograr la instrumentación de los edificios más importantes, se daría un inmenso paso adelante. Es imperdonable que los temblores de finales de 1979 no dejaran un sólo registro tomado a menos de 100 km del epicentro. Por lo tanto, para poder hablar de parámetros sísmicos verdaderamente locales, se debe lograr una red de instrumentos lo más densa posible que permita registrar los acelerogramas de los temblores que con seguridad se van a presentar en los años venideros.

Recuperación Post-sísmica

Es evidente que toda comunidad tiene algunas edificaciones que son esenciales para la recuperación con posterioridad a la ocurrencia de un temblor de importancia. Dentro de estas edificaciones esenciales se tienen: hospitales, estaciones de bomberos, estaciones de policía, centros de salud, etc. Es muy debatible qué tan seguras son estas edificaciones en la mayoría de las ciudades del país, pero lo que sí es cierto, es que no existe una conciencia generaliza-



da de lo importante que es su funcionamiento con posterioridad a un sismo, que puede presentarse en cualquier momento.

Otro tipo de instalaciones que posiblemente no tienen el mismo nivel de importancia, pero pueden traumatizar la vida de una ciudad a niveles insospechados, como pudo haber sido el caso de Pereira durante el temblor del 23 de Noviembre de 1979, en donde la gran mayoría de las columnas del primer piso del edificio de las Empresas Públicas de la ciudad, fallaron llevando al edificio al borde del colapso, lo cual hubiera destruido la central telefónica de la ciudad.

Los daños a las redes de acueducto o a las plantas de tratamiento de agua pueden conducir a contaminaciones con los consiguientes problemas de salubridad. De la misma manera se pueden producir cortocircuitos que conduzcan a incendios graves. Por lo tanto, se debe desa- ▶



◁ rrollar una serie de guías para evaluar la peligrosidad del fenómeno sísmico en cualquier ciudad del país para, de esta manera, preparar planes de recuperación post-sísmica que coordinen las diferentes entidades que intervienen y les den pautas claras para actuar.

Problemas socio-económicos

Los problemas socio económicos colaterales de un desastre sísmico son insospechados. Por esta razón es de fundamental importancia realizar investigaciones que, por un lado, estudien los casos ocurridos recientemente y, por otro, traten de identificar problemas potenciales, para evitar su ocurrencia en eventos futuros.

Un fenómeno que es de primordial importancia desde el punto de vista socio-económico es el descenso del valor real de las propiedades afectadas por el temblor. Con posterioridad al temblor del 23 de Noviembre de 1979, que afectó la zona del an-



tigo departamento de Caldas, la reacción de los propietarios a los daños, fue la de tratar de ocultarlos para no disminuir el valor de su propiedad, en contraposición a la actitud de solicitar ayuda para llevar a cabo las reparaciones necesarias. Esto puede distorsionar totalmente la cuantificación del daño real y además, dejar daños graves sin reparación, lo cual es una fuente de peligro en futuros temblores.

En la parte de distribución del riesgo económico del temblor es interesante anotar lo poco generalizado que se encuentra el uso del seguro contra terremoto. Por otra parte,





la ley de propiedad horizontal sólo exige el seguro contra incendio y lo mismo ocurre por parte de las entidades que dan crédito para vivienda. Es muy probable que en algunas regiones del país y para ciertos tipos de construcción el riesgo de destrucción por terremoto sea más alto que por incendio. Este tema da campo a un sinnúmero de investigaciones que permitirán disminuir el riesgo real para la propiedad de vivienda.

Es innumerable el tipo de problemas que se presentan en el aspecto socio-económico con un temblor y la cantidad de investigaciones que se podrían realizar para entenderlos, pero desafortunadamente el país debe destinar sus escasos recursos de acuerdo con prioridades que no es del caso discutir aquí. Lo que sí debe tenerse en perspectiva, es que el hecho de que los sismos sean fenómenos de ocurrencia no muy frecuente hace imperdonable que no se trate de obtener la máxima información en todos los aspectos, cada vez que se presenta uno de ellos.◆

BIBLIOGRAFIA

1. García, L.E. y Castro, A., "EVALUACION DEL RIESGO SISMICO PARA BOGOTA", Segundas Jornadas Estructurales, Sociedad Colombiana de Ingenieros, Bogotá, 1977
2. Interconexión Eléctrica S.A., "ACTUALIZACION DE LA INFORMACION SISMICA DE COLOMBIA", Informe preparado por ITEC Ltda., Bogotá, 1979
3. Sarria, A. y Vargas, F., "ATENUACION DE LA VELOCIDAD DE LAS PARTICULAS DEL MEDIO TRANSMISOR DE ENERGIA SISMICA EN COLOMBIA", 3er. Seminario sobre Ing. Sísmica, Universidad de los Andes, Bogotá, 1981
4. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Norma ACIS 100-81, "REQUISITOS SISMICOS PARA EDIFICIOS", Bogotá, 1981
5. Applied Technology Council, "DISPOSICIONES TENTATIVAS PARA DESARROLLAR CODIGOS SISMICOS PARA EDIFICIOS, ATC-3-06", Traducción realizada por la ACIS, Bogotá, 1979
6. Structural Engineers Association of California, SEAOC, "RECOMENDACIONES PARA REQUISITOS DE CARGAS HORIZONTALES", Traducción realizada por la ACIS, Bogotá, 1976