

NSR-98

Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente

- Ley 400 de 1997
- Decreto 33 de 1998

Tomo 1



NSR-98

Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente

Tomo 1

Contenido

- Prefacio
- Ley 400 de 1997
- Título A – Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente
- Título B - Cargas

NSR-98

**Normas Colombianas
de Diseño y Construcción
Sismo Resistente**

Prefacio

PREFACIO

INTRODUCCION

Recientemente el país se ha visto sometido a una serie de movimientos sísmicos que además de producir, lamentablemente, víctimas humanas y daños en edificaciones, revivió la necesidad de revisar toda la problemática de la construcción sísmo resistente y de las obligaciones y responsabilidades que al respecto tienen el Estado, los profesionales de la ingeniería, la arquitectura y la construcción; sin dejar de lado a las instituciones financieras y a las compañías de seguros.

Las normas sísmo resistentes presentan requisitos mínimos que, en alguna medida, garantizan que se cumpla el fin primordial de salvaguardar las vidas humanas ante la ocurrencia de un sismo fuerte. No obstante, la defensa de la propiedad es un resultado indirecto de la aplicación de los normas, pues al defender las vidas humanas, se obtiene una protección de la propiedad, como un subproducto de la defensa de la vida. Ninguna norma explícitamente exige la verificación de la protección de la propiedad, aunque recientemente hay tendencias en esa dirección en algunos países [Ref. 23 y 30].

No sobra recordar que tan solo con dos excepciones, las víctimas humanas que se presentan durante los sismos, en su gran mayoría están asociadas con problemas en las construcciones. Las excepciones corresponden a víctimas producidas ya sea por avalanchas disparadas por el evento sísmico, o bien por la ola marina producida por un sismo que ocurre costa afuera, lo que se denomina Tsunami. El hecho de que las construcciones producen las víctimas debe tenerse en mente con el fin de justificar la imperiosa necesidad de disponer de normas de diseño sísmo resistente.

Teniendo en cuenta que el 86% por ciento de la población colombiana se encuentra en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, con el auspicio del Fondo Nacional de Calamidades, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, desde comienzos de la década de 1990, y con la participación de un muy amplio número de asociaciones gremiales, profesionales de la construcción y funcionarios de las entidades del Estado relacionadas con el tema; logró concluir las labores de actualización de la reglamentación de diseño y construcción sísmo resistente con la expedición por parte del Congreso de la República de la Ley 400 del 19 de agosto de 1997 y por parte del Gobierno Nacional del Decreto 33 del 9 de Enero de 1998, las cuales en conjunto corresponden a las nuevas normas colombianas de diseño y construcción sísmo resistente, NSR-98. Estas normas actualizan y reemplazan la primera normativa sísmo resistente del país, la cual había sido aprobada por medio del Decreto 1400 del 7 de Junio de 1984 - Código Colombiano de Construcciones Sísmo Resistentes [Ref. 57]

La Ley 400 de 1997 permitirá, en el futuro, expedir actualizaciones de las normas sísmo resistentes colombianas por medio de Decretos Reglamentarios. Gracias al apoyo de la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de desastres, a través del Fondo Nacional de Calamidades y la activa participación de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, se redactó lo que conforman los aspectos técnicos de la normativa sísmo resistente que actualiza el Decreto 1400/84. La nueva versión de las Normas Sísmo Resistentes Colombianas se denomina NSR-98 y fue expedida por medio del Decreto 33 del 9 de Enero de 1998.

Dado que la normativa sísmo resistente corresponde a un documento tecnológico, ésta debe actualizarse con alguna periodicidad; para plasmar los avances en las técnicas de diseño y las experiencias que se haya tenido con sismos recientes. Para dar una idea al respecto, el Uniform

Building Code [Ref. 47], el cual rige en el oeste de los Estados Unidos, incluyendo el Estado de California, es actualizado cada tres años.

En la presente introducción se describe la problemática sísmica colombiana, el desarrollo de las normas colombianas de diseño y construcción sísmo resistente, incluyendo las variaciones contenidas en la actualización, y se discuten algunas de las estrategias que pueden adoptarse por parte de la industria de la construcción, para minimizar la vulnerabilidad de nuestras construcciones ante la ocurrencia de eventos sísmicos.

TECTONICA Y SISMICIDAD COLOMBIANAS

Causas de los terremotos

La corteza terrestre es relativamente delgada. Se extiende hasta profundidades de 70 km en los océanos y 150 km bajo los continentes y además está en un estado permanente de cambio. Es muy válida la analogía de que al comparar la tierra con un huevo duro, la corteza tendría un espesor semejante a la cáscara y ésta estaría fracturada en una serie de fragmentos que en la tierra se conocen con el nombre de *placas tectónicas*.

Hay fuerzas bajo la corteza terrestre que hacen que estas placas tectónicas se muevan a velocidades pequeñas del orden de centímetros por año. La causa de estas fuerzas no está muy entendida, pero la explicación prevaleciente en la actualidad es que son causadas por flujos lentos de lava derretida. Estos flujos son producidos por convección térmica y por los efectos dinámicos de la rotación de la tierra. En algunas regiones las placas se están separando en la medida que sale a la superficie nuevo material de corteza desde el interior de la tierra, estos lugares en general están localizados en el fondo de los océanos y tienen el nombre de *crestas marinas*. Un sitio donde ocurre esto está localizado en el centro del Océano Atlántico. En otros lugares las placas se deslizan una al lado de la otra, como ocurre en la Falla de San Andrés en California. En otros sitios, llamados *zonas de subducción*, las placas se empujan una contra otra haciendo que una de las dos se introduzca por debajo. Esto último ocurre a todo lo largo de la costa sobre el Océano Pacífico de Centro y Sur América.

El movimiento relativo entre placas tectónicas colindantes, independientemente de su dirección, acumula energía hasta un momento en el cual causa una fractura en la roca, liberando abruptamente esta energía acumulada, la cual se manifiesta con la generación de ondas sísmicas. La gran mayoría de los sismos en el mundo ocurre en las fronteras entre placas. Estos sismos se conocen con el nombre de *sismos tectónicos*. Un porcentaje pequeño de los sismos que ocurren en el mundo se localizan en el interior de las placas tectónicas y reciben el nombre de *sismos intraplaca*. Además en algunas regiones del mundo donde hay volcanes, las erupciones generalmente son acompañadas por sismos que se conocen con el nombre de *sismos volcánicos*. Además de los anteriores algunas actividades humanas generan sismos, como es el caso de los asociados con el llenado de grandes embalses, o causados por explosiones importantes.

Emplazamiento sísmo tectónico de Colombia

Colombia está localizada dentro de una de las zonas sísmicamente más activas de la tierra, la cual se denomina Anillo Circumpacífico y corresponde a los bordes del Océano Pacífico. El emplazamiento tectónico de Colombia es complejo pues en su territorio convergen la *placa de Nazca*, la *placa Suramericana* y la *placa Caribe*. El límite entre las placas Suramericana y Caribe está aún indefinido. La geología estructural del país ha sido estudiada con diferentes grados de detalle. En general los sistemas principales de fallamiento han sido identificados gracias a estudios mineros y de exploración petrolera. Además se han realizado exploraciones geológicas detalladas para los grandes proyectos hidroeléctricos y existen numerosos trabajos sobre tectónica colombiana realizados por el INGEOMINAS y otras instituciones.

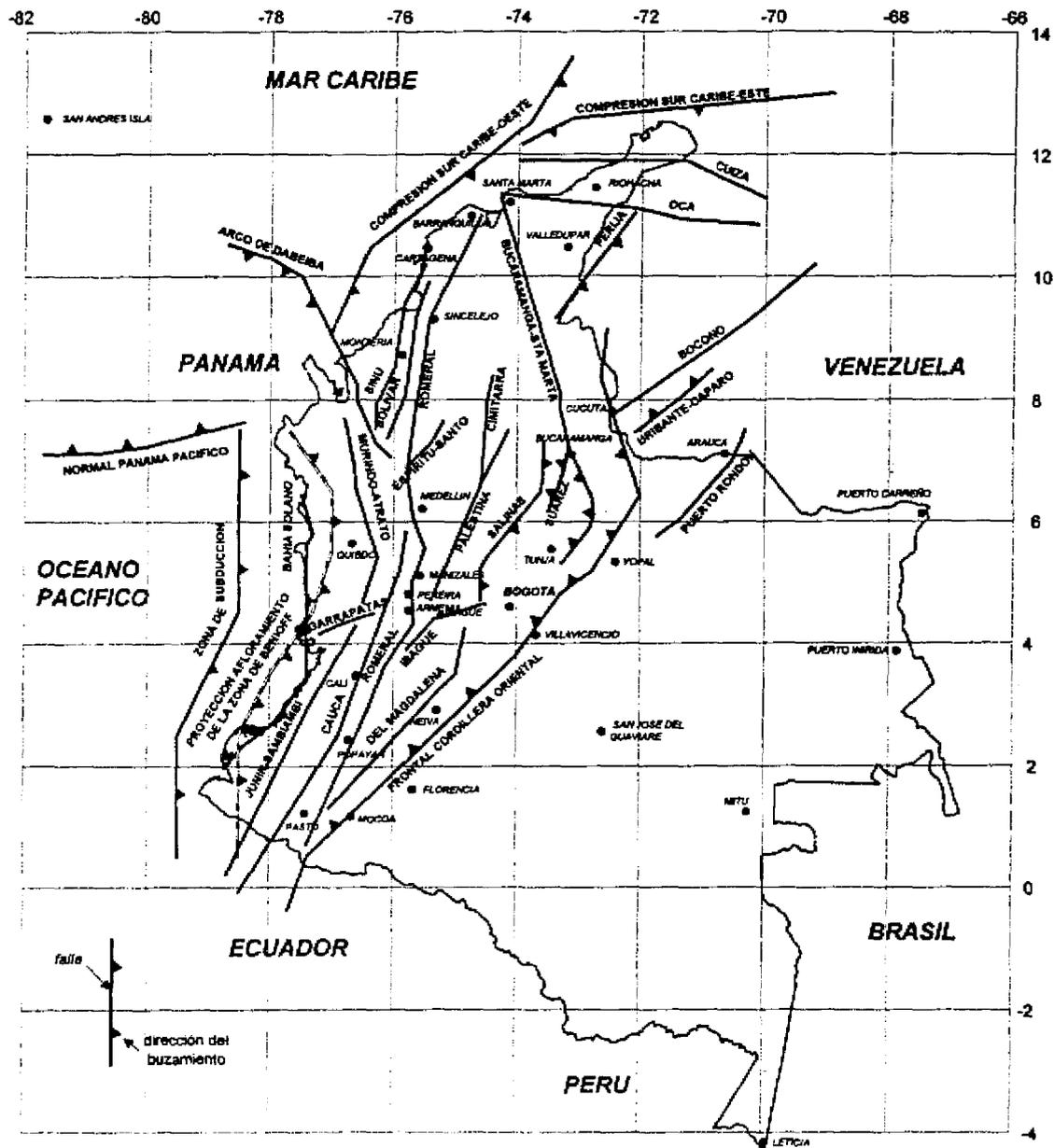


Figura 1 - Principales sistemas de fallamiento en Colombia

El fallamiento predominante en el país tiene dirección norte sur [Ref. 63], coincidiendo con la dirección de las tres cordilleras. El principal accidente sismotectónico es la *zona de subducción en el Océano Pacífico*. Es causada por el doblamiento de la placa de Nazca cuando subduce bajo la placa Suramericana. Además de la zona de subducción existen en el territorio nacional un gran número de fallas geológicas sísmicamente activas. En la Figura 1 se muestran los principales macro sistemas de fallamiento en el país. Esta figura fue tomada del Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia [Ref. 18] por medio del cual se produjeron los mapas de amenaza sísmica para la actualización de las Normas Sismo Resistentes Colombianas, NSR-98.

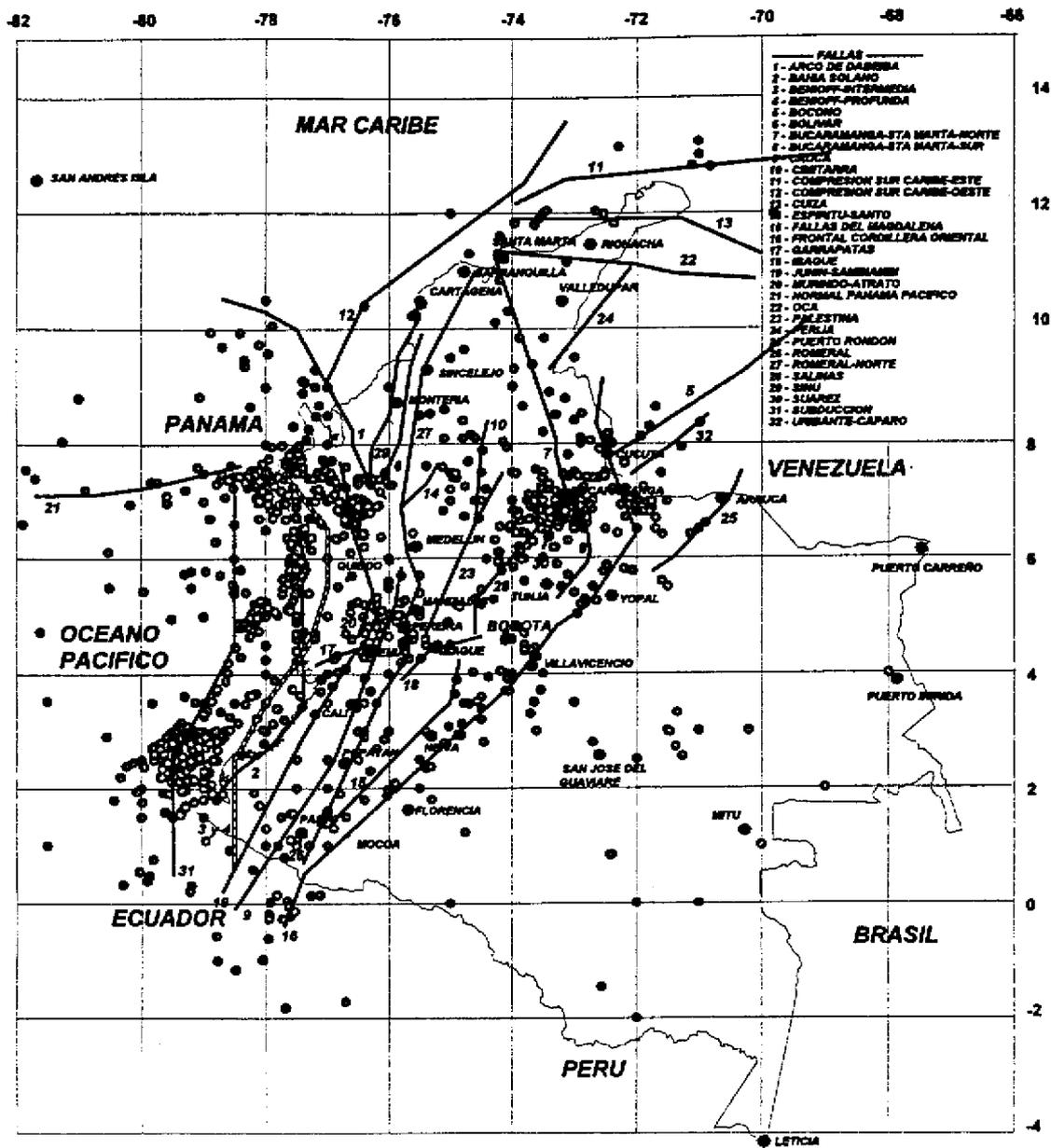


Figura 2 - Localización epicentral de los sismos con $M_s \geq 4$ (1566-1995)

Historia sísmica de Colombia

El primer evento sísmico en el país, del cual se tiene registro escrito [Ref. 62], ocurrió en 1566 causando daños graves en las recientemente fundadas ciudades de Popayán y Cali. Existen registros de numerosos sismos históricos desde la colonia y hasta 1922, en que se instaló el primer sísmógrafo en el país, traído por la Compañía de Jesús. Dentro de los sismos históricos, pero registrados por instrumentos en el exterior es importante destacar el terremoto del 31 de enero de 1906 al frente de Tumaco, cuya magnitud se estima de 8.9 en la escala de Richter y que

es considerado uno de los sismos más fuertes de la humanidad en tiempos modernos. A partir de 1922 se dispuso de información instrumental, sobre lo que se denominan *sismos instrumentales*. Desde 1957 hasta 1992 estuvieron en funcionamiento siete estaciones sismológicas permanentes en el país, las cuales fueron operadas por el Instituto Geofísico de la Universidad Javeriana de Santa Fe de Bogotá.

A partir de 1993 se puso en marcha, adicionalmente, la Red Sismológica Nacional, operada por la Subdirección de Geofísica del INGEOMINAS, existiendo además el Observatorio Sismológico del Sur Occidente - OSSO, operado por la Universidad del Valle en Cali. La Red Sismológica Nacional en su fase inicial consta de 20 estaciones sismológicas remotas y se espera llegar a 30 estaciones en un futuro cercano, con lo cual se cubrirá gran parte del territorio nacional; su procesamiento es en tiempo real y se realiza en Santa Fe de Bogotá. Actualmente se tienen instalados aproximadamente 150 acelerógrafos autónomos digitales de movimiento fuerte, los cuales se incrementarán para cubrir la mayoría del territorio nacional. En la realización del estudio de amenaza sísmica [Ref. 18] que produjo los mapas de amenaza sísmica del NSR-98 se dispuso de un catálogo de 11088 eventos sísmicos, tanto históricos como instrumentales. En la Figura 2 se muestra la distribución en el territorio nacional de los eventos contenidos en este catálogo.

Mapas de amenaza sísmica de las nuevas normas sismo resistentes - NSR-98

En la Figura 3 (Figura A.2-1 de la NSR-98) se muestra el mapa de zonificación sísmica de Colombia [Ref. 18] y en la Figura 4 (Figura A.2-2 de la NSR-98) el mapa de valores de A_h , el cual corresponde a las aceleraciones horizontales del sismo de diseño del Reglamento como porcentaje de la aceleración de la gravedad. En la obtención de estos mapas se empleó la metodología de evaluación de amenaza sísmica indicada en la [Ref. 32]. Estas aceleraciones tienen una probabilidad de ser excedidas del 10% en un lapso de 50 años, correspondiente a la vida media útil de una edificación, y sirven para definir los movimientos sísmicos de diseño que exige el Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes.

De acuerdo con los estudios realizados para la determinación del grado de amenaza sísmica de las diferentes regiones del país se encontró que alrededor de 12 millones de colombianos de 475 municipios se encuentran en zonas de amenaza sísmica alta, es decir el 35% de la población; aproximadamente 17 millones de habitantes de 435 municipios localizados en zonas de amenaza sísmica intermedia, equivalentes al 51% de la población del país; y aproximadamente 5 millones de habitantes en 151 municipios localizados en zonas de amenaza sísmica baja, es decir el 14% del total de la población según la última información suministrada por el DANE. En otras palabras, el 86% de los colombianos se encuentran bajo un nivel de riesgo sísmico apreciable, que no solamente depende del grado de amenaza sísmica sino también del grado de vulnerabilidad que en general tienen las edificaciones en cada sitio.

Actividad sísmica reciente

Algo imposible de predecir en 1984, cuando se expidió la primera normativa sismo resistente a nivel nacional, fue la baja actividad sísmica que tuvo el país durante los primeros años de este periodo, por lo menos en lo que respecta a sismos que produjeran daños en centros urbanos. Hasta el 17 y 18 de Octubre de 1992, con la ocurrencia de los sismos del Atrato Medio (Murindó), se reinició la actividad sísmica del país. Estos eventos con magnitudes Richter de 6.4 y 7.2 afectaron la zona limítrofe entre Chocó y Antioquia, se sintieron en todo el centro del país y produjeron daños, principalmente a elementos no estructurales en la ciudad de Medellín. En la Figura 5 [Ref. 55] se presenta el mapa de isosistas de este último evento, el cual indica los valores de la intensidad de Mercalli asignada a diferentes lugares dentro del territorio nacional. Debe recordarse que la Intensidad de Mercalli se asigna subjetivamente de acuerdo con los efectos del sismo en cada lugar en particular, mientras que la Magnitud de Richter corresponde al valor de una medida instrumental, única para el sismo. El 6 de Junio de 1994 ocurrió el sismo de Páez, afectando principalmente a los departamentos de Cauca y Huila. En este evento además

de las víctimas causadas por la avalancha que se generó en las vertientes del río Páez, se presentaron daños en la ciudad de Cali; allí nuevamente los daños se concentraron en elementos no estructurales.

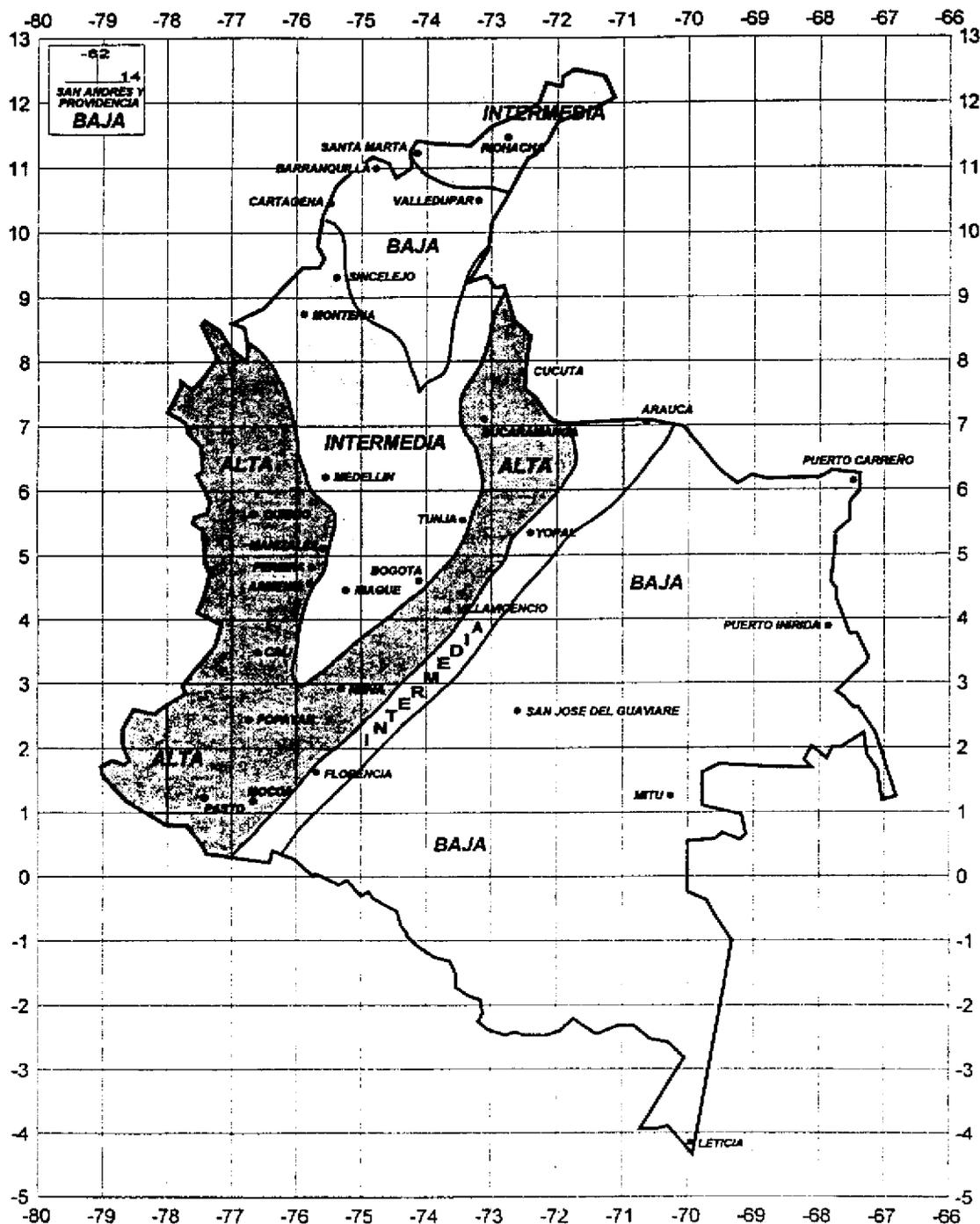


Figura 3 - Mapa de zonificación sísmica de Colombia

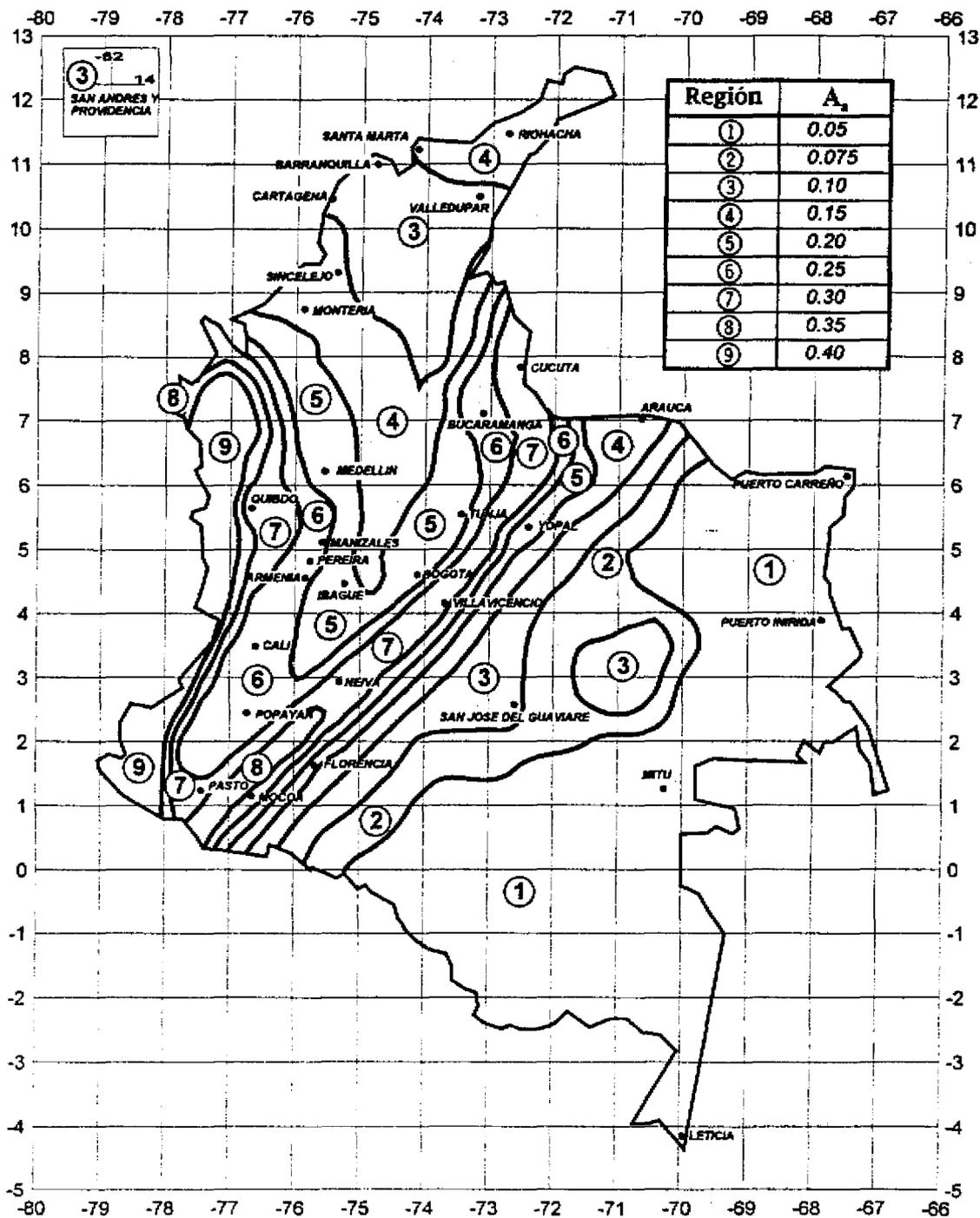


Figura 4 - Mapa de A_d (aceleración pico efectiva horizontal de diseño expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$)