

Zamora, J. Anzola, F., Zambrano, H., Colmenárez, L., Cornou, C., Cadet, H., Aguilar, A., Guzmán, J., Marín, W., Quintero, B., (2009a). Informe Técnico Final, Volumen 1 Caracas, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), FUNVISIS FUN-035a, 2007, Inédito, 978 pp.

Schmitz, M., Hernández, J.J., García, K., Leal, V., Rocabado, V., Reinoza, C., Timaure, N., Rodríguez, L., Rendón, H., Palma, M., Vásquez, R., Romero, G., López, R., Bueno, M., Rodríguez, J., Araque, J., Audemard, F., Ollarves, R., Azuaje, J., Cano, V., Molina, D., Morales, C., Masy, J., Tagliaferro, M., Andrade, L., Rojas, R., Ávila, J., Sánchez, J., Sánchez, C., De Marco, R., Solorzano, A., Varguillas, P., Urbani, F., Singer, A., Domínguez, J., Delgado, J., Marante, M.E., Andrade, M., Abreu, R., Alvarado, L., Aguilar, A., Quintero, B., Guzmán, J., Marín, W., Figueira, L., Quinteros, C., (2009b). Informe Técnico Final, Volumen 2 Barquisimeto, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), FUNVISIS FUN-035b, 2007, Inédito, 432 pp.

Schmitz, M., Audemard, F., Urbani, F. (Editores), (2014a). El Límite Noreste de la Placa Sudamericana - estructuras litosféricas de la superficie al manto. Comité Editor Libros y Monografías, Fac. Ing. UCV, 379 pp.

Schmitz M., Orihuela, N., Klarica, S., Gil E., Audemard, F., Mazuera F., Ávila, J., Yegres L., Sánchez, J., GIAME working group, (2014b). Geoscientific research for lithospheric structures of the Merida Andes, Venezuela. IASPEI – LACSC (Asamblea Regional Comisión Latinoamericana y del Caribe de Sismología) Regional Assembly 2014 July 23-25, Bogotá, Colombia, abstract.

Schmitz, M., Cano, V., López, O.A., Klarica, S., Pombo, A., Díaz, J.F., Heredia, J., Avendaño, J., Morales, C. y el grupo de riesgo sísmico del proyecto Investigación Aplicada a la Gestión Integral del Riesgo en Espacios Urbanos, (2015). Estudios geofísicos en cuencas urbanas en Venezuela con fines de microzonificación sísmica. Boletín de Geología, 37 (1), 17-26.

Schmitz, M., Sánchez, J., Rocabado, V., García, K., Paolini, M., Yegres, L., Ávila, J., Aray, J., Medina, P., Morales, C., Mazuera, F., Cerrada, M., Andrade, L., Rojas, R., Pombo, A., Ramírez, O., Heredia, J., Sanzonetti, E., Álvarez, F., Molina, L., (2019). Espesores sedimentarios de cuencas urbanas como aporte a los estudios de microzonificación sísmica en Venezuela. Geominas, Vol. 47, No.79, 81-98.

Schmitz, M., Hernández, J.J., Rocabado, V., Domínguez, J., Morales, C., Valleé†, M., García, K., Sánchez, J., Singer, A., Oropeza, J., Coronel, G., Flores, A. and the Caracas Seismic Microzoning Project Working Group, (2020a). The Caracas, Venezuela, seismic microzoning project: methodology, results and implementation for seismic risk reduction. Progress in Disaster Science 5, doi: 10.1016/j.pdisas.2019.100060.

Schmitz, M., Morales, C., Hernández, J.J., Chollett, E., Andrade, L., Avón, D., Mendez, R., Mendez, D., Rodríguez, L., Rojas, R., Rocabado, V., García, K., Durán, L. y el grupo de trabajo de microzonificación sísmica Barquisimeto-Cabudare, (2020b). Resultados e implementación de la Microzonificación Sísmica de Barquisimeto y Cabudare. Geominas, Vol. 48., No. 81, 3-14.

Schmitz, M., Ramírez, K., Mazuera, F., Ávila, J., Yegres, L., Bezada, M., Levander, A. and the active seismic working group of the GIAME project, (2021). Moho depth map of northern Venezuela based on wide-angle seismic studies. Journal of South American Earth Sciences, 107, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103088>.

Valleé, M., Feliziani, P., Castillo, A., Zamora, D., Anzola, F., Zambrano, H., Hernández, J.J., Schmitz, M. (2009). Caracterización de laderas. Subcapítulo 4.4, Informe Técnico Final, Volumen 1 Caracas, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738), FUNVISIS FUN-035a, 2007, p. 540-600..



INGENIERÍA SÍSMICA





4.1 INTRODUCCIÓN

Oscar Andrés López, Carmen Zulay Ginés, Jorge González, William Rafael Ascanio y Mario Rendón

El Departamento de Ingeniería Sísmica (DIS), adscrito a la Dirección Técnica de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis), es el encargado de realizar las actividades para promover, coordinar y ejecutar investigaciones de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo sísmico sobre lo construido en el territorio nacional; en este sentido, efectúa estudios de sismorresistencia e investigaciones en el campo de la vulnerabilidad sísmica y la dinámica e identificación experimental de las estructuras para generar diagnósticos y recomendaciones sobre el uso y desempeño sismorresistente, a la vez que fomenta la formación del talento humano en el área de la ingeniería sísmica.

Misión: Investigar el efecto de los terremotos sobre lo construido para aminorar la pérdidas de vidas humanas y consecuentemente limitar el riesgo a niveles socioeconómicamente aceptables.

Visión: Ser el referencial científico nacional vinculado con la protección de la sociedad y los entornos naturales y artificiales de los terremotos al aminorar la vulnerabilidad de las estructuras sujetas a eventos sísmicos.

- Funciones:
- Realizar evaluaciones de los efectos de los sismos que ocurren en el país y efectuar recomendaciones sobre el uso y desempeño posterior de lo construido.
 - Realizar valoraciones sobre lo construido para generar el diagnóstico y las recomendaciones que orienten el buen desempeño sismorresistente.
 - Ejecutar, coordinar y promover investigaciones de amenaza sísmica y tsunamigénica sobre lo construido.
 - Ejecutar, coordinar y promover investigaciones en el campo de la vulnerabilidad sísmica de estructuras.
 - Ejecutar, coordinar y promover investigaciones en el campo de la dinámica e identificación experimental de estructuras.
 - Generar productos de divulgación científica y sistemas de información como resultado de las investigaciones realizadas.
 - Fomentar la formación del talento humano en el área de ingeniería sísmica.
 - Cualquier otra que en materia de su competencia le sea asignada.

La amenaza sísmica en Venezuela

Los eventos sísmicos representan uno de los mayores riesgos potenciales en Venezuela en cuanto a pérdidas humanas y económicas. En la actualidad, aproximadamente un 80% de la población vive en zonas de alta amenaza sísmica, variable que aumenta el nivel de riesgo, haciéndolo cada vez mayor a medida que se eleva el índice demográfico y las inversiones en infraestructura.

Desde la fundación de los primeros asentamientos coloniales en el Siglo XVI, Venezuela ha sufrido los efectos de los terremotos. Su historia sísmica revela que durante el período comprendido desde 1530 hasta 2004, han ocurrido más de 130 eventos sísmicos, los cuales han provocado algún tipo de daño en varias poblaciones venezolanas.

El primer sismo del cual se tiene evidencia documental escrita, ocurrido el 01 de septiembre de 1530, afectó a la población de Nueva Toledo o Nueva Córdoba, actualmente Cumaná, en la costa del oriente venezolano, produjo daños a viviendas y destruyó gran parte de la fortaleza, formando también grandes olas marinas que inundaron la planicie de la ciudad y rompieron el dique natural que unía la costa de Cumaná con la Península de Araya.

La ocurrencia de tales eventos, hace necesario estudiar y conocer la amenaza sísmica de todo el país, para lo cual se debe disponer de la información tectónica que identifique las fuentes sísmicas o fallas que los originan; así como, llevar un registro de los sismos ocurridos a través del tiempo. Esto último se ha podido hacer instrumentalmente a partir de 1910, después de la aparición de los equipos sismológicos, mientras que para las épocas

anteriores se usan los registros documentales de los sismos históricos, los registros pre-instrumentales que se encuentren disponibles y la paleosismología.

Como es conocido, los sismos no se pueden predecir, lo que hace que el cálculo de la amenaza sísmica se fundamente en metodologías probabilísticas, donde se caracteriza numéricamente la probabilidad estadística de la ocurrencia de los eventos utilizando la información disponible de las fuentes sísmicas y la historia de los sismos ocurridos.

El conocimiento de la amenaza sísmica constituye una herramienta imprescindible y fundamental para el diseño de edificaciones más seguras, para la planificación de nuevos desarrollos, para la evaluación de construcciones existentes y para la estimación de riesgos y, en general, para la toma de decisiones, con el objetivo principal de prevenir el impacto de los sismos reduciendo los daños y salvaguardar vidas.

En nuestro país, la zona de mayor actividad sísmica, y por consiguiente de mayor amenaza, se corresponde a una franja de unos 100 km de ancho, definida a lo largo de los sistemas montañosos de Los Andes, la Cordillera Central y la Cordillera Oriental, lugares en los que se ubican los principales sistemas de fallas sismogénicas del país: Boconó, San Sebastián y El Pilar. Además de estos sistemas de accidentes tectónicos, existen otros sistemas menores activos, como lo son: Oca-Ancón, Valera, La Victoria y Úrica, entre otros, que son capaces de producir sismos importantes.

Los sistemas de fallas de Boconó-San Sebastián-El Pilar, han sido propuestos como el límite principal entre las Placas Caribe y América del Sur, cuya interacción es la causante de los sismos más severos que han ocurrido en el territorio nacional.

La amenaza sísmica en Venezuela fue incluida en la primera Norma del Ministerio de Obras Públicas (MOP) para el Cálculo de Edificios, del año 1939. Se indicaba allí que los edificios de más de 3 pisos, debían ser calculados para resistir los sismos en cualquier lugar del país, pero los de menor altura, casas de 1 a 3 pisos, solamente debían ser calculados contra terremotos si estaban en los lugares situados en la zona montañosa de los Andes y de la Costa. Es decir, se ignoraba en la norma la amenaza para las casas en las zonas no montañosas, aun cuando no se indicaba su ubicación geográfica; la norma no incluía un mapa de zonificación.

Los mapas de amenaza sísmica en Venezuela, surgen posteriormente y desde la Norma MOP de 1947 han sido parte integrante de la normativa para el diseño y evaluación de edificaciones ante las acciones sísmicas, donde la representación de la amenaza sísmica ha evolucionado junto con el avance del conocimiento, desde los mapas de zonificación hasta los novedosos mapas de isoaceleraciones e isoperíodos de la Norma 2019.

En los mapas de amenaza de las normas de 1947, 1955, 1967, 1982, 1998 y 2001, la amenaza se representó por zonas o franjas de igual intensidad sísmica que dividen todo el territorio nacional. En el nuevo mapa de 2019, la amenaza se representa por curvas de isoaceleración y de isoperíodo que se distribuyen en todo el país.

Los mapas de 1947, 1955 y 1967, describen la amenaza por un coeficiente sísmico que representa la fuerza horizontal sobre la estructura. En los mapas de 1982, 1998 y 2001, la amenaza se cuantificó en términos de la aceleración del terreno. En el mapa de la norma vigente de 2019, la amenaza se expresa en términos de tres parámetros: la aceleración del terreno, la aceleración en una estructura de período igual a 1 segundo, y el período de transición entre ramas espectrales para grandes períodos.

En Ingeniería Sísmica, hablar de los mapas de zonificación sísmica es pensar en las normas sismorresistentes o viceversa pues ambas se complementan.

Portada: Foto superior: Zona Populares, Barrio Sector El Cementerio, Parroquia Santa Rosalía, Distrito Capital Fuente: Carmen Zulay Ginés (2022). Foto inferior: Vista Centro Este Caracas desde la Torre La Previsora Fuente: Carmen Zulay Ginés (2022). Encabezado: Zona Populares, Barrios Sector El Cementerio, Parroquia Santa Rosalía, Distrito Capital. Fuente: Carmen Zulay Ginés (2022).

4.2 MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA MOP DE 1947

Oscar Andrés López, Carmen Zulay Ginés, Jorge González, William Rafael Ascanio y Mario Rendón

El sismo que ocurrió en 1900, da inicio en Venezuela al estudio sísmico formal, instalándose por primera vez sismógrafos en el Observatorio Cagigal.

En 1939, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) elaboró las “Normas para la Construcción de Edificios”, basadas en las Normas de California (USA), que incluyen por primera vez especificaciones sísmicas. Esta norma exigía el cálculo sísmico para edificios de más de tres pisos localizados en cualquier lugar del país, y para edificios de menor altura situados en la zona montañosa de Los Andes y de La Costa.

En 1947, son actualizadas por ese mismo ministerio como: “Normas para el Cálculo de Edificios”, introduciendo en el país el primer mapa de zonificación sísmica que divide al país en tres (03) zonas: la Zona A que incluye a Caracas, la Cordillera de la Costa y de los Andes; la Zona B que es la más intensa y comprende la región de Cumaná y por último la Zona C que comprende la región de los Llanos y del Orinoco hasta la Sierra de Parima, en donde no se exige la aplicación de Normas Sísmicas.

Cada Zona se define por el coeficiente sísmico que está dado por la fuerza lateral actuando sobre la estructura, dividida entre su peso. La Zona A incluye las zonas más pobladas del país y se le asigna una amenaza menor con un coeficiente sísmico de 0,050 que corresponde a la mitad del de la Zona B considerada de máxima amenaza.

La Zona B en donde se especifica un coeficiente sísmico de 0,025 es la más severa, incluye esencialmente áreas del estado Sucre y su capital Cumaná, afectadas por el terremoto del 17 de enero de 1929. Se incluye dentro de esta zona una extensa franja del territorio nacional ubicado en la frontera con Brasil que incluye parte de los estados Bolívar y Territorio Federal Amazonas.

En los mapas subsiguientes, esta franja se considera libre de sismos, salvo en las regiones cercanas al Delta del Orinoco.

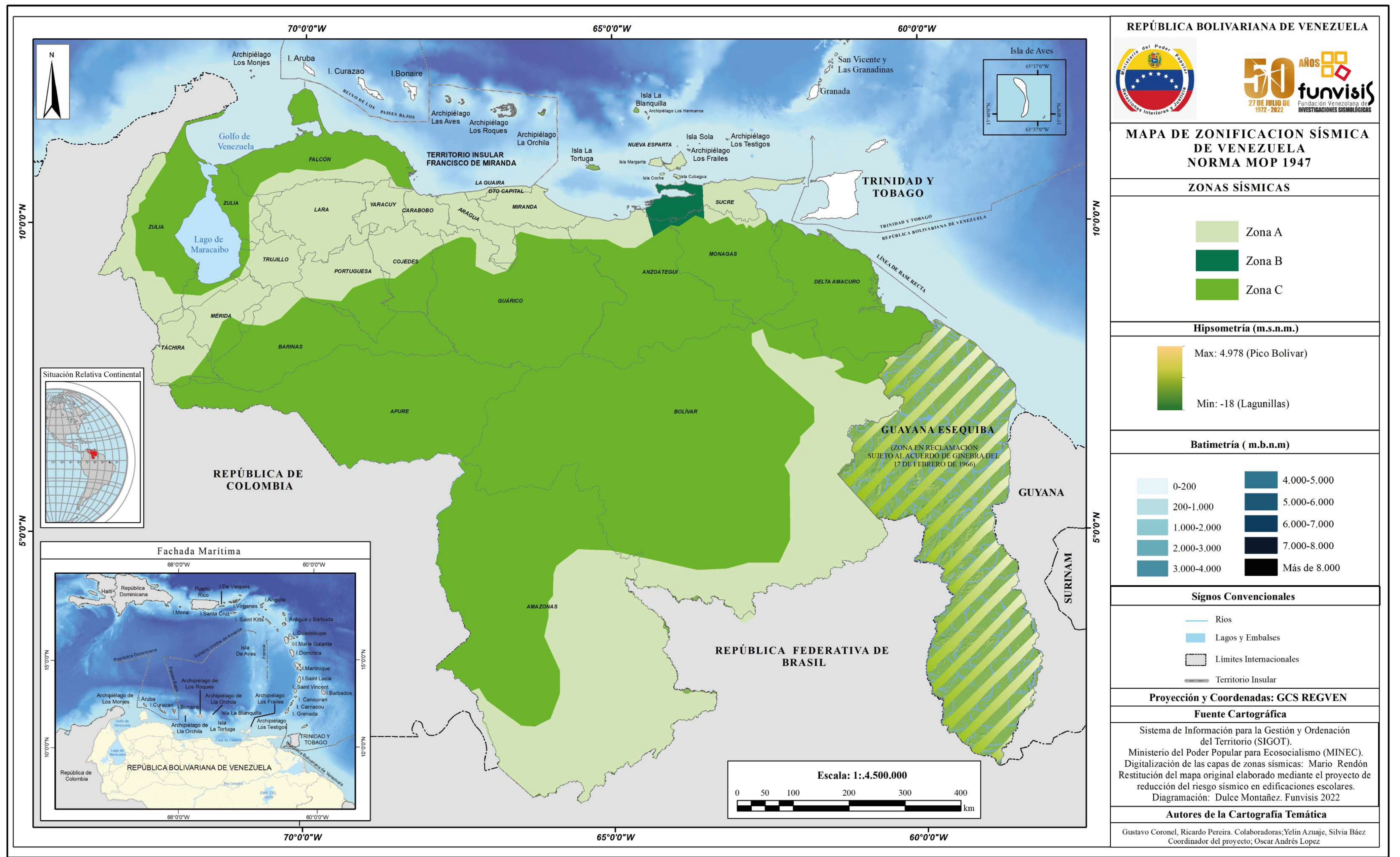
En la Zona C que incluye la mayor parte del país, no se exigía el diseño sísmico.

Edificio Sede de la Cruz Roja, 1947, Av. Andrés Bello, Municipio Libertador, Distrito Capital. Fuente: Fundación Arquitectura Ciudad.



Hotel Nacional, 1947, en el cruce de la Av. Este 6 con la Av. Sur, al oeste del Pasaje Zingg, Municipio Libertador, Distrito Capital. Fuente: Fundación Arquitectura Ciudad





4.3 MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA NORMA MOP DE 1955

Oscar Andrés López, Carmen Zulay Ginés, Jorge González, William Rafael Ascanio y Mario Rendón

Para 1955, la División de Edificios del MOP, sobre quien recae la responsabilidad de actualizar las normas, conserva los criterios de 1939 y 1947, pero mejora el mapa de zonificación sísmica y cambia la forma de calcular el coeficiente sísmico, estableciendo una relación inversa con el número de pisos del edificio. Sin embargo, estas fórmulas conducían a fuerzas cortantes para los edificios altos las cuales eran más pequeñas que las dadas por la norma anterior.

En el mapa se mantiene la nomenclatura de las tres (03) Zonas: A, B y C de amenaza previstas en su antecesor de 1947, pero se modifica el orden y el alcance de cada zona.

Para la Zona A, que incluye la mayor parte del país, no se exige diseño sísmico.

La Zona B, ahora la intermedia y donde está Caracas, se eliminan las zonas del sur del país que estaban en el mapa de 1947 y se especifica una amenaza sísmica igual a la mitad de la exigida en la Zona C.

La Zona C que es ahora la de mayor amenaza, se extiende por los estados Sucre, Nueva Esparta y la parte norte del estado Monagas; adicionalmente, se le incorporan el estado Táchira, buena parte del estado Lara y porciones de los estados Portuguesa y Trujillo, donde el terremoto de El Tocuyo (03/08/1950) causó daños importantes.



Edificio Residencia Cerro Grande, Av. Intercomunal, parroquia El Valle, Municipio Libertador, Distrito Capital. Construido en la década de los años 50. Fuente: Mario Rendón (2022).

Entre Piso Blando O Débil

Las irregularidades en altura o elevación, se traducen en cambios repentinos de rigidez entre pisos adyacentes, estas hacen que la absorción y disipación de energía en el momento del sismo se concentren en los pisos flexibles, donde los elementos estructurales se ven sobresolicitados.



Edificio Residencia Cerro Grande, Av. Intercomunal, parroquia El Valle, Municipio Libertador, Distrito Capital. Construido en la década de los años 50. Fuente: Mario Rendón (2022).

4.4 MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA NORMA MOP DE 1967

Oscar Andrés López, Carmen Zulay Ginés, Jorge González, William Rafael Ascanio y Mario Rendón

Como consecuencia de los graves daños ocasionados por el terremoto de Caracas del 29/07/1967, se introducen cambios en la forma de concebir la estructura y de construir en Venezuela. El Ministerio de Obras Públicas (MOP) emite la “Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas” que incluye un nuevo mapa vigente hasta el año de 1982.

Este mapa incorpora la sismicidad histórica, la sismicidad instrumental obtenida del Observatorio Cagigal, así como los estudios de las fallas activas en el país. El mapa aumenta de tres (03) a cuatro (04) las zonas sísmicas del país, y la nomenclatura cambia de letras a números: 0, 1, 2 y 3, que están ordenadas de manera decreciente, desde la zona 3 la de mayor amenaza, hasta la zona 0 de menor amenaza. Los coeficientes sísmicos se incrementan y su valor depende del tipo de suelo (roca o suelos blandos) y de la estructura. No considera la regularidad del edificio pero establece el método estático equivalente para las edificaciones de hasta 20 pisos o menores de 60 m. Y aun cuando indica que deben realizarse análisis dinámicos para estructuras que no cumplan con esto, no ofrece los necesarios espectros de respuesta para su análisis y deja a criterio del proyectista el procedimiento a usar. Otra novedad fue la obligatoriedad de colocar sistemas resistentes a sismos en dos direcciones ortogonales y la presentación de un procedimiento para cuantificar los efectos de la torsión en planta del edificio. Se introduce el control de desplazamientos laterales. El cálculo de las fuerzas se sigue realizando dentro del rango elástico y el diseño de los elementos se hace bajo el concepto de las tensiones admisibles. Aun cuando las estructuras se clasifican en sistemas de pórticos y muros, no se considera de manera explícita la combinación de ambos.

Para cada zona se especifica un coeficiente sísmico de diseño. La Zona 3 es la de mayor amenaza. El coeficiente varía entre 0,045 y 0,15 dependiendo del tipo estructural, uso de la edificación y de su ubicación en suelo o roca.

En la Zona 2 el coeficiente sísmico es la mitad del de la Zona 3. En la Zona 1, el coeficiente sísmico es igual a la mitad del de la Zona 2. Mientras que para la Zona 0 no se requiere cálculo sísmico.

La zona 3 de máxima amenaza, se extiende por toda la Cordillera de Los Andes abarcando a los estados Táchira, Mérida, parte de Trujillo, Barinas, Portuguesa, Lara, Yaracuy; incluye al Distrito Federal, parte del Estado Miranda y porciones de los estados Anzoátegui y Monagas.

Dentro de la Zona 2 de amenaza intermedia, se incluye la región de Ciudad Bolívar, Ciudad Piar y Gurí.

Marca dejada posterior al desprendimiento de la cruz de la Iglesia Catedral de Caracas.
Fuente: El diario El Universal.



Planta baja débil, vigas en una sola dirección

Vigas en una sola dirección, producen una estructura flexible o poco sólida que al deformarse exageradamente favorece que se presenten daños en paredes o divisiones no estructurales, acabados arquitectónicos e instalaciones que usualmente son elementos frágiles que no soportan mayores distorsiones.



Planta baja débil, edificio Obel, Altamira, Municipio Chacao, Caracas.
Fuente: Mario Rendón (2022).



Vigas en una sola dirección, edificio Obel, Altamira, Municipio Chacao, Caracas.
Fuente: Mario Rendón (2022).

Una estructura flexible o poco sólida al deformarse exageradamente favorece que se presenten daños en paredes o divisiones no estructurales, acabados arquitectónicos e instalaciones que usualmente son elementos frágiles que no soportan mayores distorsiones.

Edificio Petunia II. 1967. 21 pisos. Altamira, Municipio Chacao, Distrito Capital. Reforzamiento de columnas mediante muros de concreto. Fuente: Mario Rendón (2022).



Edificio Petunia II. 1967. 21 pisos. Altamira, Municipio Chacao, Distrito Capital. Reforzamiento de columnas mediante muros de concreto. Fuente: Mario Rendón (2022).



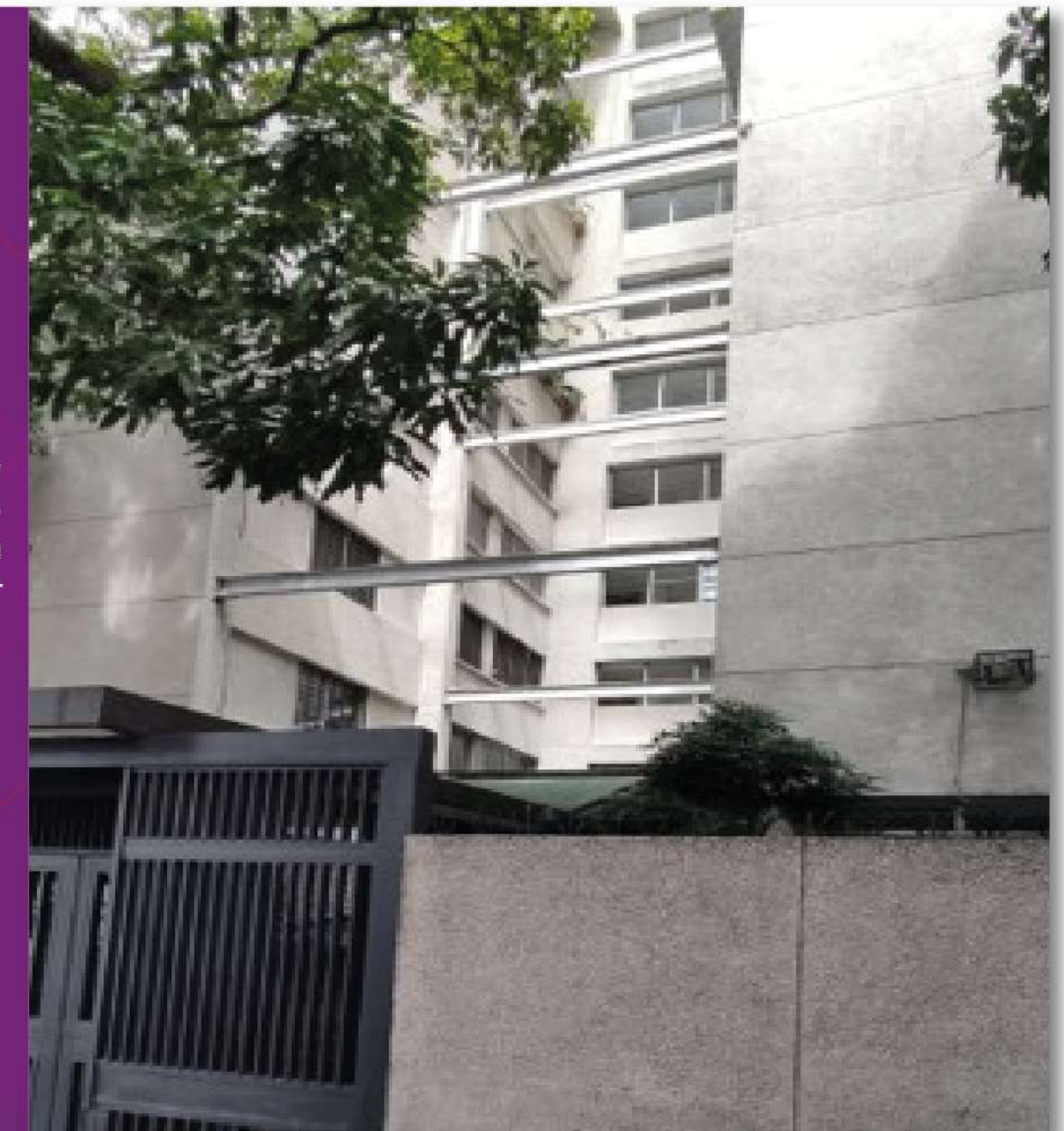
Irregularidades en planta

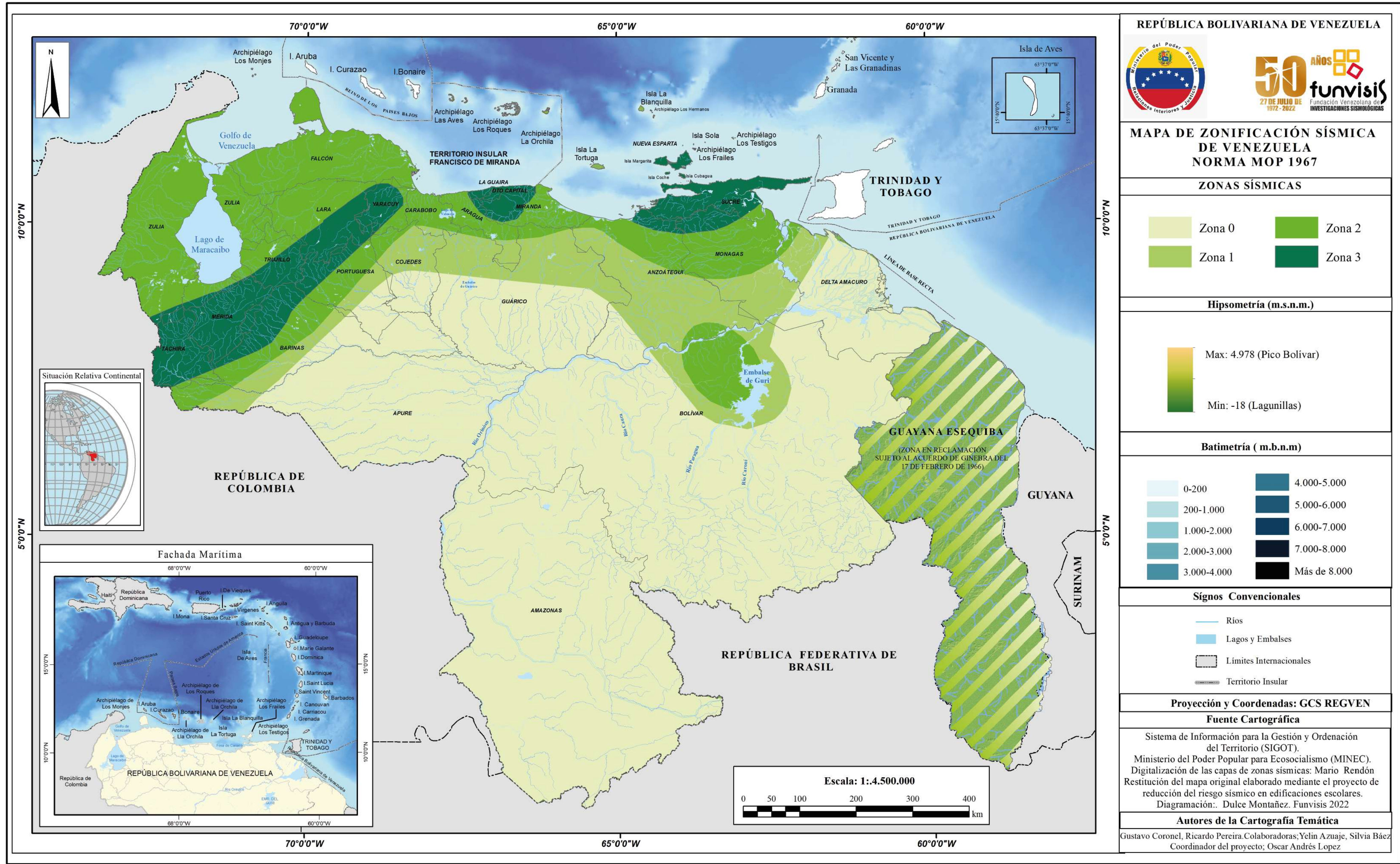
La geometría de la edificación debe ser sencilla en planta y en elevación, debido a que una geometría irregular favorece que la estructura sufra torsión o que intente girar en forma desordenada.



Edificio Bamoral, Altamira. Chacao, Distrito Capital, más de 10 pisos. Irregularidad en planta, refuerzo con vigas metálicas para suministrar mayor rigidez a la estructura. Fuente: Mario Rendón (2022).

Edificio Bamoral, Altamira. Chacao, Distrito Capital, más de 10 pisos. Irregularidad en planta, refuerzo con vigas metálicas para suministrar mayor rigidez a la estructura. Fuente: Mario Rendón (2022).





4.5 MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA NORMA COVENIN 1756-82

Oscar Andrés López, Carmen Zulay Ginés, Jorge González, William Rafael Ascanio y Mario Rendón

En 1982 la Comisión de Normas del Ministerio de Desarrollo Urbano, aprueba la nueva Norma COVENIN 1756:82, que sustituye a la anterior de 1967. En esta norma se reconoce por primera vez que las edificaciones van a incursionar en el rango inelástico durante la ocurrencia del sismo de diseño y por lo tanto van a experimentar daño estructural, de naturaleza reparable. Se definen los espectros para el diseño sísmico, exigen métodos de análisis más rigurosos, se clasifican las estructuras según su regularidad y destaca la importancia del detallado de los elementos de concreto reforzado con el fin de evitar fallas frágiles, introduciéndose el concepto de los niveles de diseño (ND1, ND2 y ND3) los cuales se definen y precisan en las normas de materiales (concreto, acero). Otro cambio importante dentro de esta Norma es que clasifica a los suelos según su espesor y características de los depósitos aluviales sobre el estrato rocoso. Considera la combinación de los sistemas resistentes a flexión y cortante y las califica como sistemas mixtos.

Esta norma deroga la Norma Provisional para las Construcciones Antisísmicas del MOP del año 1967, y por primera vez, se asocia la zonificación del país al movimiento máximo en términos de la aceleración del terreno, especificada para terreno firme.

La zonificación obtenida es el resultado de la superposición de dos (02) mapas bien diferenciados, en uno se sintetizó toda la información conocida sobre los efectos de sismos pasados, fundamento similar al de los mapas anteriores, y en el otro se modela la probable actividad futura (Grases, 1984).

La amenaza se calculó generando inicialmente un mapa de isoaceleraciones del terreno con probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, elaborado en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela (UCV). Esta probabilidad se asocia a períodos medios de retorno de 475 años. Posteriormente, se identificaron franjas con valores similares de aceleración del terreno, a partir de las cuales se definieron las zonas sísmicas del país, que aumentan de 4 a 5 zonas en relación a la norma previa.

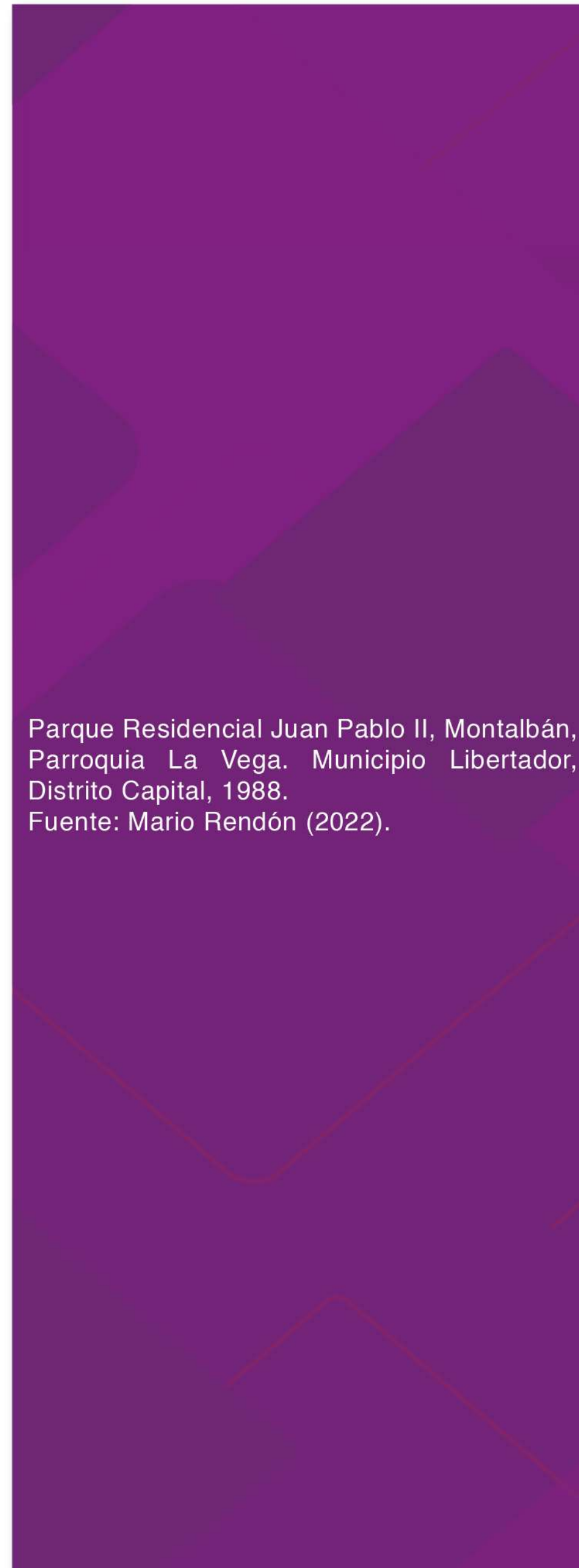
Para las Zonas 4, 3, 2 y 1 se especifican respectivamente aceleraciones de diseño iguales a: 0,30; 0,22; 0,15 y 0,08 veces la aceleración de la gravedad y para la zona 0 no se especifica un valor de aceleración.

Irregularidades en planta y elevación

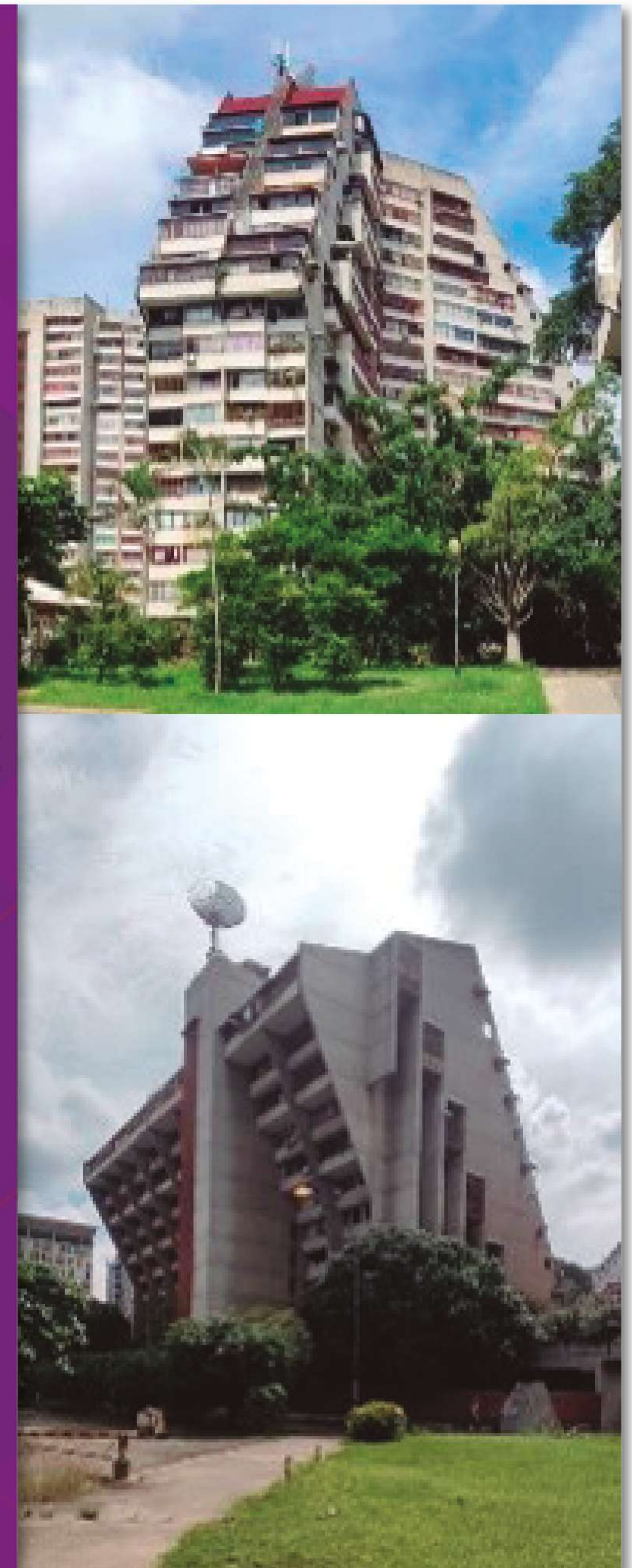
Para que una edificación soporte un terremoto su estructura debe ser sólida, simétrica, uniforme, continua o bien conectada.



Parque Residencial Juan Pablo II, Montalbán, Parroquia La Vega. Municipio Libertador, Distrito Capital, 1988.
Fuente: Mario Rendón (2022).

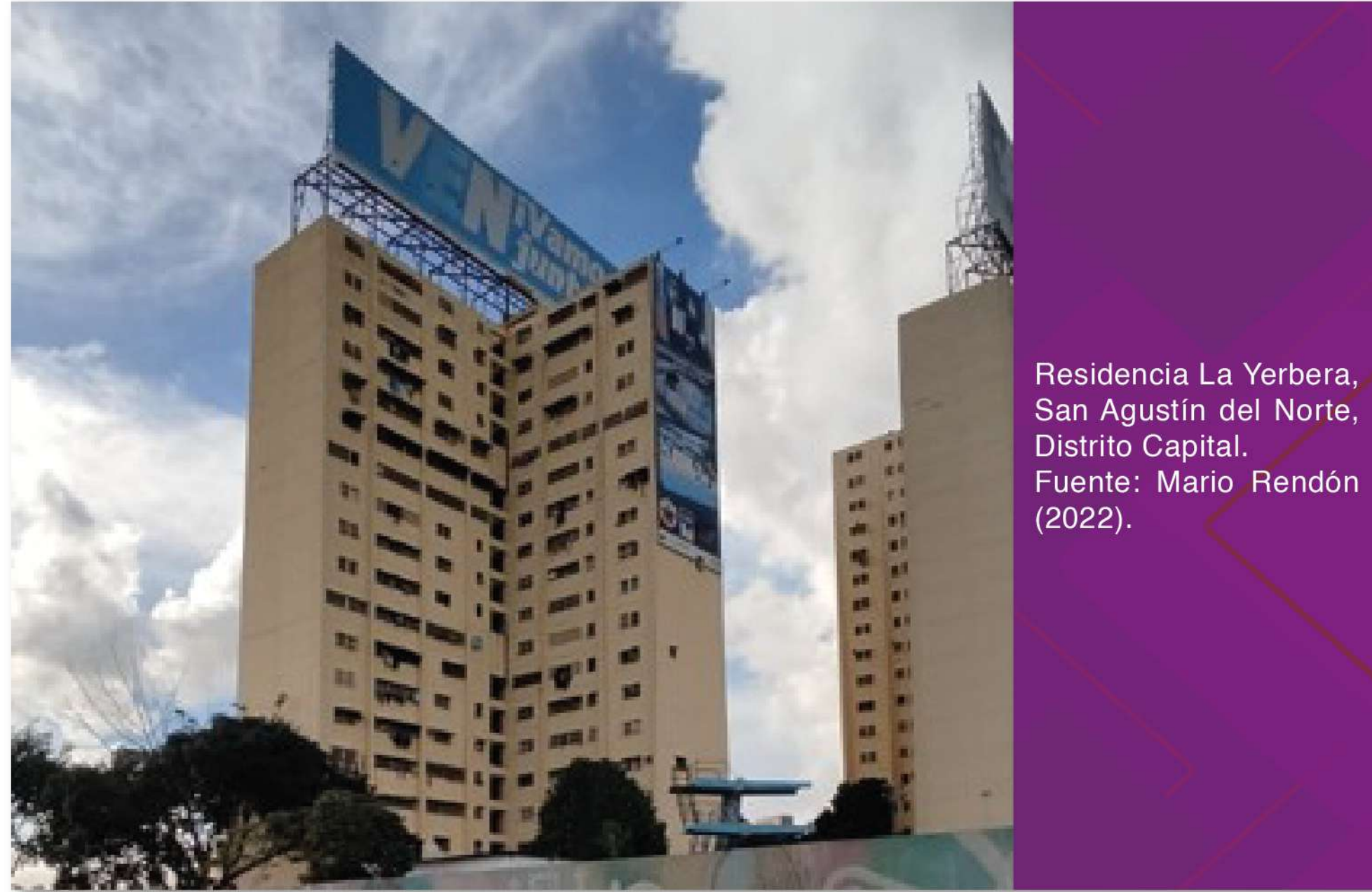


Parque Residencial Juan Pablo II, Montalbán, Parroquia La Vega. Municipio Libertador, Distrito Capital, 1988.
Fuente: Mario Rendón (2022).

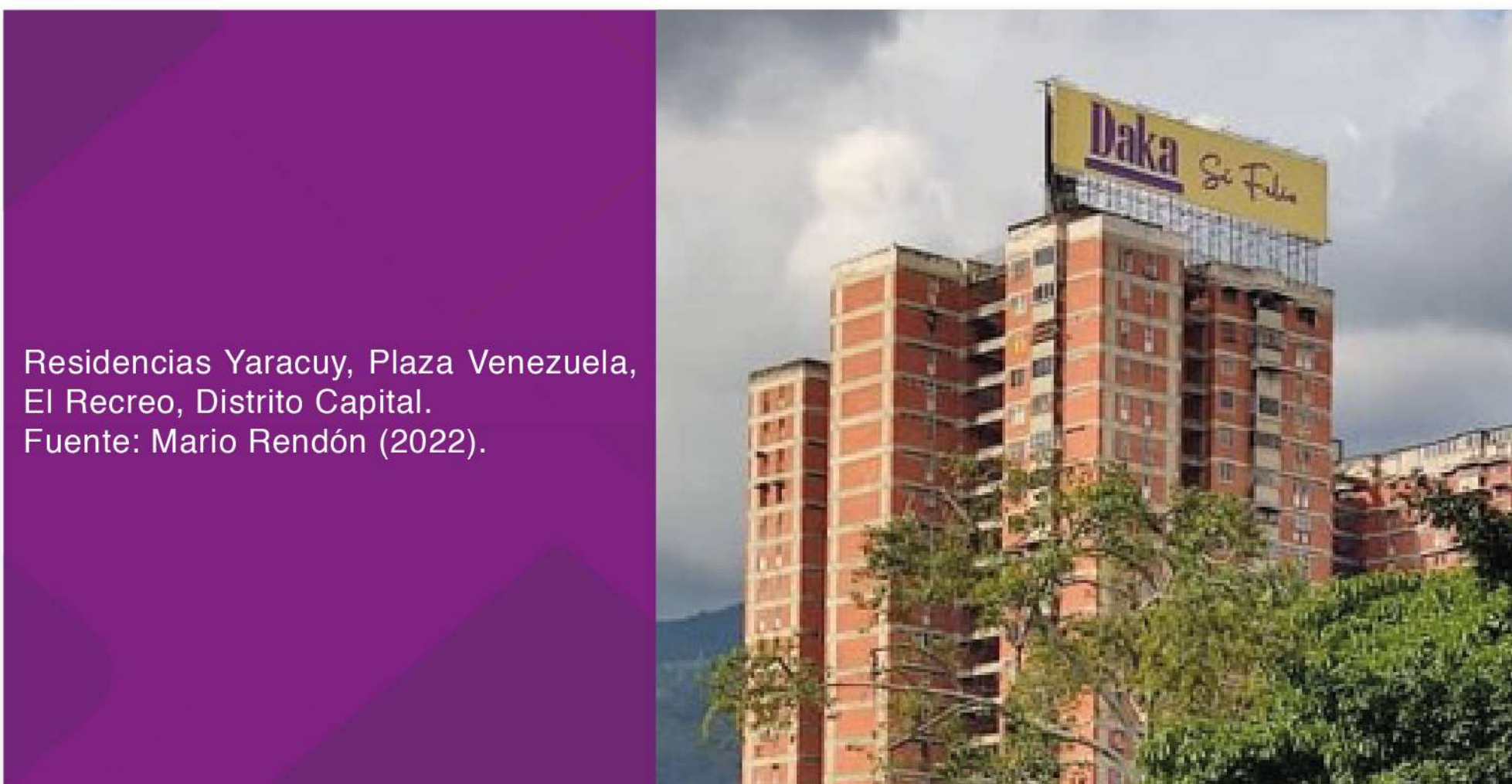


Construcción de anexos en parte superior de la edificación

Grandes masas o pesos añadidos al diseño original de la estructura hacen que la edificación se mueva con mayor severidad al ser sacudidas por un evento sísmico y, por lo tanto, la exigencia de la fuerza actuante será mayor sobre los componentes de la edificación.



Residencia La Yerbera,
San Agustín del Norte,
Distrito Capital.
Fuente: Mario Rendón
(2022).



Residencias Yaracuy, Plaza Venezuela,
El Recreo, Distrito Capital.
Fuente: Mario Rendón (2022).

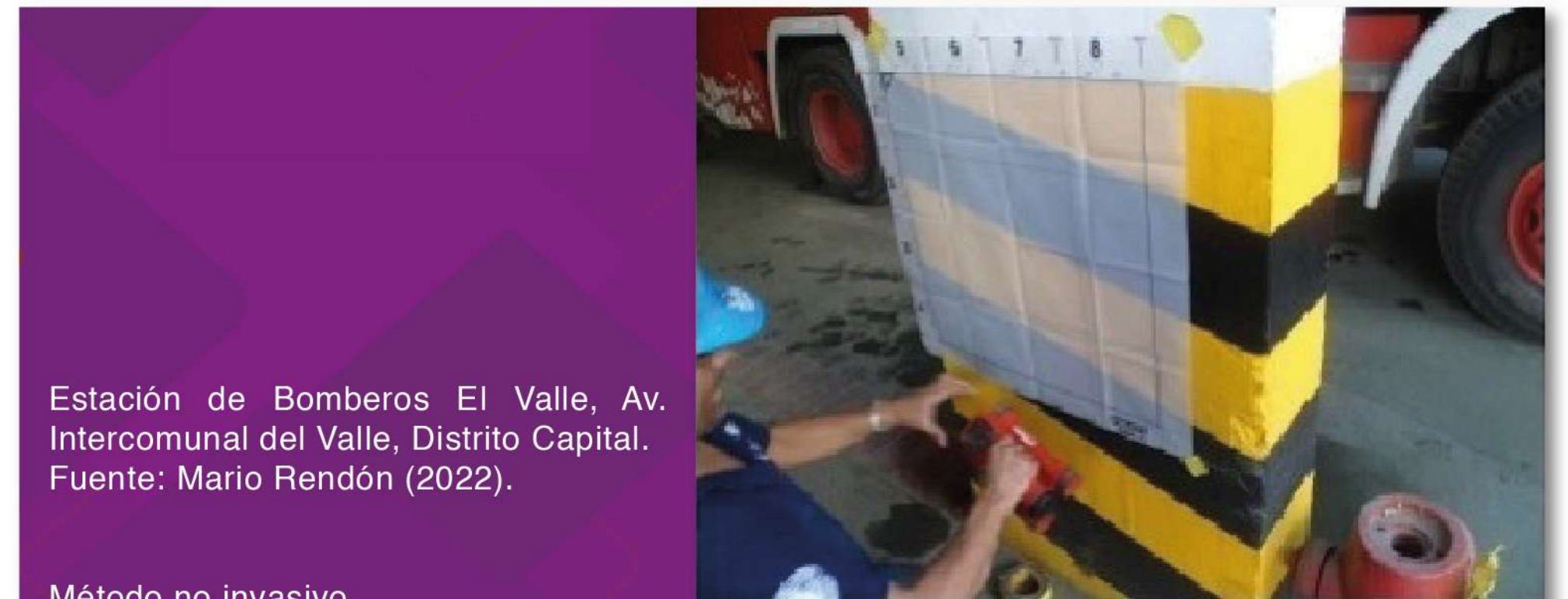
Evaluaciones estructurales

Las normas sismorresistentes por sí solas, no garantizan la inexistencia de daños ante un terremoto severo, en ellas se establecen requisitos mínimos para proteger la vida y bienes de las personas que ocupan la edificación.



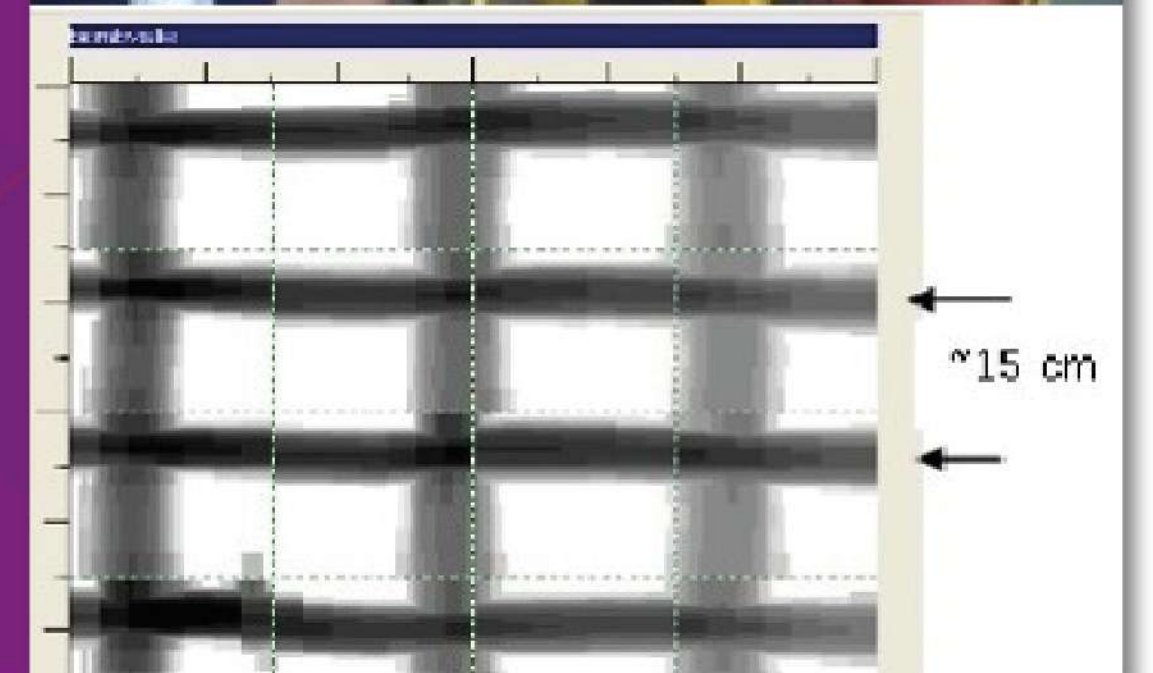
Estación de Bomberos El Valle,
Av. Intercomunal del Valle,
Distrito Capital.
Fuente: Mario Rendón (2022).

Método invasivo.
Extracción núcleo de concreto
en columna, se lleva a
cabo cuando existe una duda
razonable de la resistencia del
concreto.

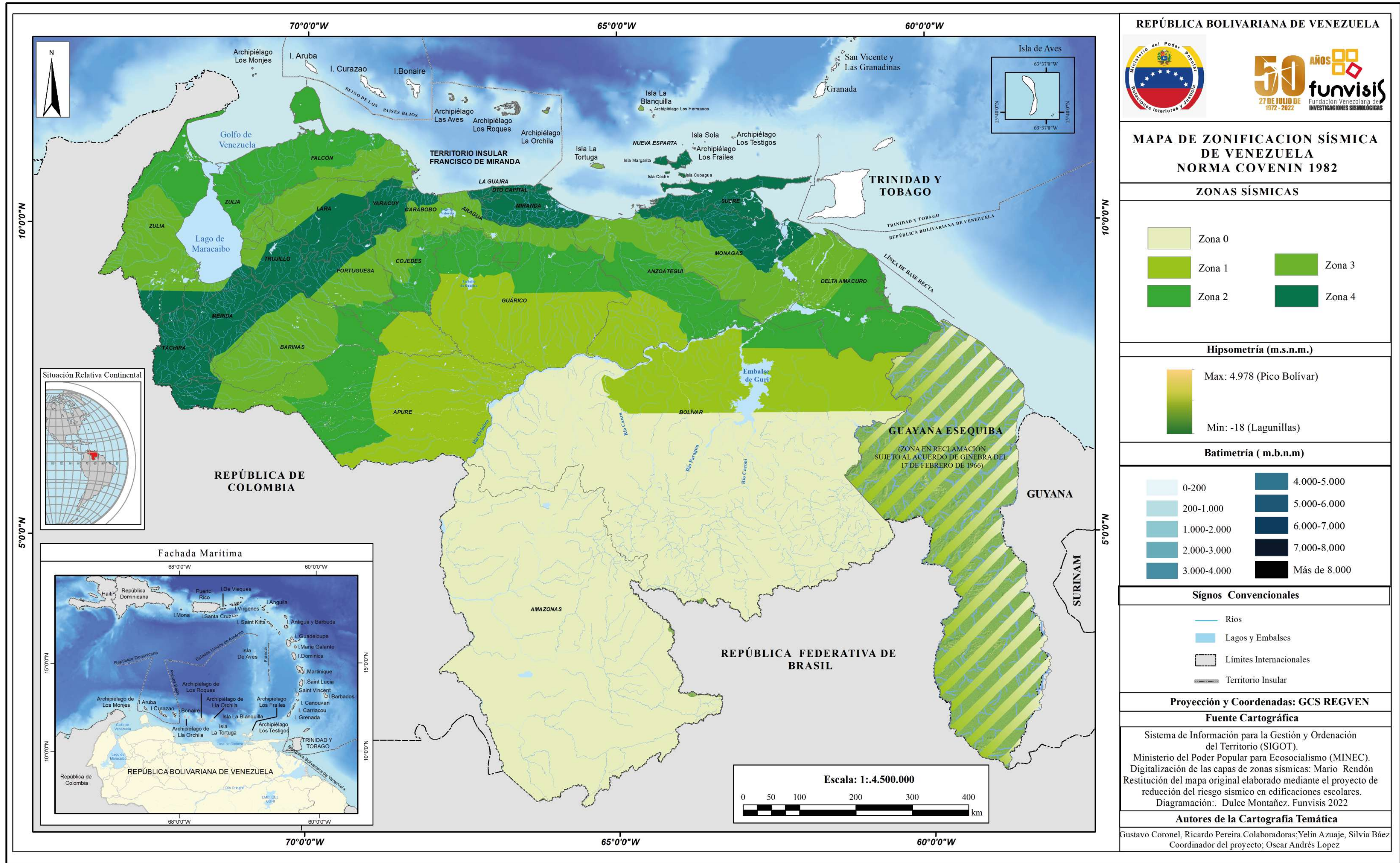


Estación de Bomberos El Valle, Av.
Intercomunal del Valle, Distrito Capital.
Fuente: Mario Rendón (2022).

Método no invasivo.
Identificación del acero de refuerzo
en columna



~15 cm



4.6 MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA NORMA COVENIN 1756-1: 2001

Oscar Andrés López, Carmen Zulay Ginés, Jorge González, William Rafael Ascanio y Mario Rendón

A partir de 1990, se procede a la revisión de las Normas Sísmicas, y como resultado se publican en el año 2002 la Norma “Edificaciones Sismorresistentes” COVENIN 1756-1:2001.

Previamente, en el año 1998, se había publicado la Norma COVENIN 1756-1:1998, la cual tuvo posteriormente algunas modificaciones y mejoras de los parámetros que definen las formas espectrales, que dieron origen a la Norma 1756-1:2001.

En este documento se amplían y se presentan mejoras en la descripción de los sistemas estructurales, se aumenta a 0,40 el coeficiente de aceleración horizontal máxima del terreno en la zona de mayor amenaza que antes era 0,30. La clasificación del suelo es más completa se identifica cada uno en función de la velocidad de las ondas de corte y se incluye un perfil adicional (S4) para sismos lejanos que toma en cuenta la amplificación en la superficie del terreno, de la aceleración en roca para perfiles geotécnicos con velocidades de propagación de ondas de corte propias de aluviones muy recientes. Se mantiene la forma espectral elástica de 1982, pero se modifica espectro inelástico de diseño.

Se aumenta de cinco (05) a ocho (08) las zonas sísmicas del país.

Al igual que la Norma de 1982, la delimitación final de las zonas se ajusta a la división política territorial del país, los límites de los estados y de los municipios.

La amenaza sísmica se expresa mediante un coeficiente de aceleración del terreno (A_0) asignado a cada una de las ocho (08) zonas sísmicas, se indican en la siguiente tabla:

ZONA	AMENAZA SÍSMICA	ACELERACIÓN DEL TERRENO (A_0)
7	Elevado	0,40
6		0,35
5		0,30
4	Intermedio	0,25
3		0,20
2	Bajo	0,15
1		0,10
0		-

Los valores del coeficiente de aceleración están asociados a un valor prefijado de 10% de probabilidad de excedencia en 50 años de vida útil de la construcción. Esta probabilidad equivale a un evento con un período medio de retorno de 475 años.

Planta baja libre o débil

Se refiere a los edificios cuya planta baja es de menor rigidez que las plantas superiores. La presencia de piso débil provoca que se generen fuerzas mayores en la planta flexible del edificio.

Residencias Joral, Av. Páez, parroquia El Paraíso, Municipio Libertador, Distrito Capital.
Fuente: Mario Rendón (2022).



Fijación de acabados e instalaciones

Los componentes no estructurales, tales como: tabiques divisorios, acabados arquitectónicos, fachadas, ventanas, e instalaciones no deben interactuar con la estructura y deben estar bien adheridos o conectados para evitar desprendimientos.

Edificio Torre Digitel, La Castellana, Chacao, Distrito Capital.
Fuente: Mario Rendón (2022).



Edificación en construcción. Av. Francisco de Miranda, Chacao, Distrito Capital.
Fuente: Mario Rendón (2022).



Grandes masas o pesos

Experimentan mayor severidad en el movimiento al ser sacudidas por un evento sísmico y, por lo tanto, la exigencia de la fuerza actuante será mayor sobre los componentes de la edificación.

Edificios Misión Viviendas, Puente de los Leones, sector La Paz, El Paraíso, Municipio Libertador, Distrito Capital. Fuente: Mario Rendón (2012).



Cambios bruscos

En dimensiones, de rigidez, falta de continuidad, configuración estructural desordenada o voladizos excesivos facilitan la concentración de fuerzas nocivas, torsiones y deformaciones que pueden causar graves daños y en el peor de los casos el colapso de la edificación.



Informe Técnico FUN – 019, 2014, Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico.

Ausencia de vigas altas en las dos direcciones.

Informe Técnico FUN – 019, 2014, Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico.

Ausencia de vigas altas en el sentido longitudinal.



Informe Técnico FUN – 019, 2014, Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico.

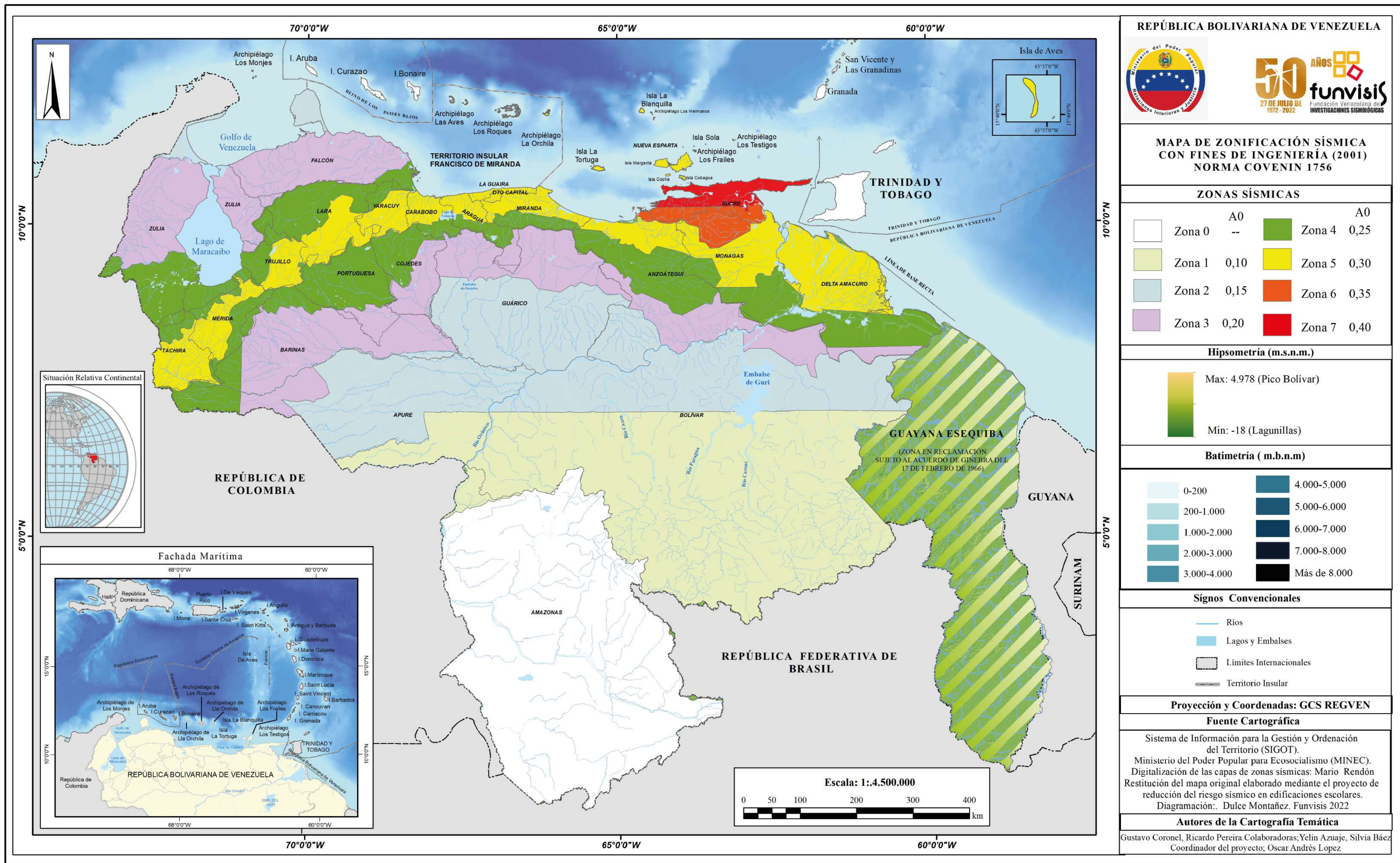
Columna corta.



Informe Técnico FUN – 019, 2014, Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico.

Discontinuidad en el eje de columna.





4.7 MAPAS DE LA NORMA SÍSMICA COVENIN 1756-1:2019

Julio J. Hernández, Michael Schmitz, Oscar A. López y Carmen Ginés

En la nueva norma venezolana “Construcciones Sismorresistentes”, COVENIN 1756-1:2019, se presenta una serie de mapas de amenaza sísmica como soporte básico del análisis y diseño estructurales, tanto para edificaciones como para instalaciones industriales. En lugar de un mapa para un solo parámetro, ahora se presentan 3 mapas asociados a: 1) la aceleración pico del terreno (A_0); 2) la respuesta estructural de sistemas elásticos de periodo 1 segundo (A_1); 3) el periodo de transición al rango espectral de respuestas de deformación constante (TL). Mapas que corresponden a una probabilidad de excedencia de 10% para una vida útil de 50 años, equivalente a un periodo medio de retorno (PMR) de 475 años. Los dos primeros mapas se exponen mediante curvas de separación variable, desde cada 0.005 (para A_0 y $A_1 < 0.03$) hasta cada 0.09 (para A_0 y $A_1 > 0.36$), ofreciendo una adecuada visibilidad. El tercer mapa se expone mediante curvas cada 0.3 s, que van desde 2.7 s hasta 6.6 s. En las figuras anexas se muestran fracciones de los mapas para el NO del país (señalando a Barquisimeto). Es de destacar que los nuevos mapas ofrecen una visión detallada de la amenaza sísmica en función de las fallas tectónicas, en lugar de la previa zonificación gruesa. Con los tres parámetros indicados se pueden construir espectros de respuesta más exactos que los anteriores, al incorporar aproximadamente la variabilidad de la forma espectral, la cual depende del lugar del proyecto, en vez de la anterior forma espectral uniforme. Dicha variabilidad viene dada por el cociente A_1/A_0 (en lugar del previo valor constante) y por TL, el cual no existía antes conduciendo a un excesivo conservadurismo para los periodos muy largos. Los valores para el análisis en un lugar se pueden tomar interpolando gráficamente o de la curva adyacente de mayor valor, sin error significativo. Luego, los parámetros del espectro elástico se afectan por factores de sitio asociados al subsuelo y a factores de respuesta estructural para construir los espectros de diseño. Se modifican también mediante un factor que corresponde al particular PMR, asociado a la importancia de la construcción y al tipo de sismo (estándar, extremo o frecuente).

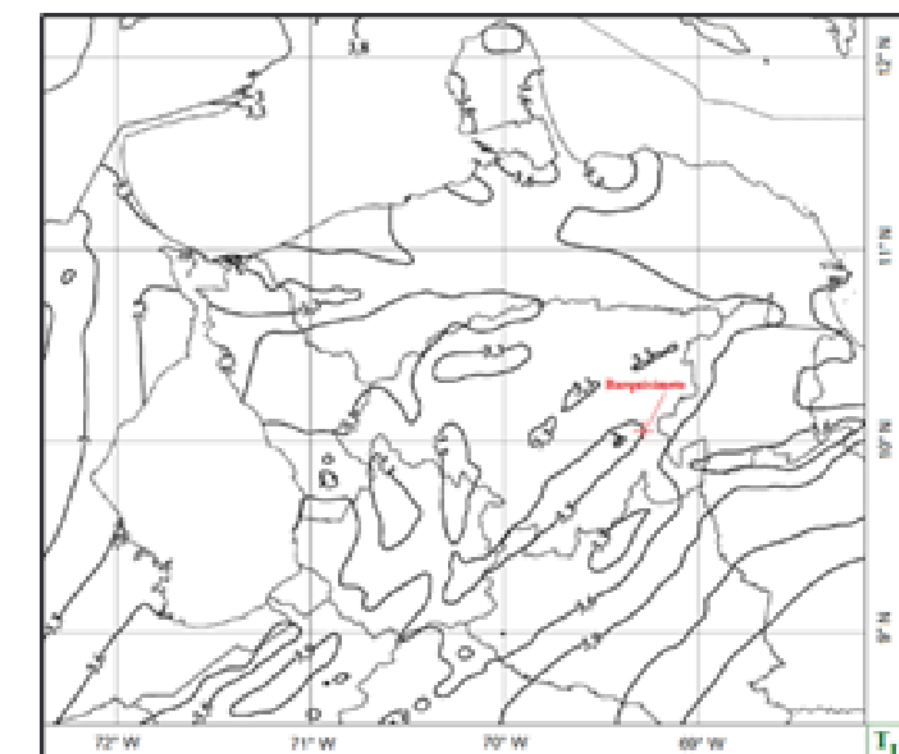
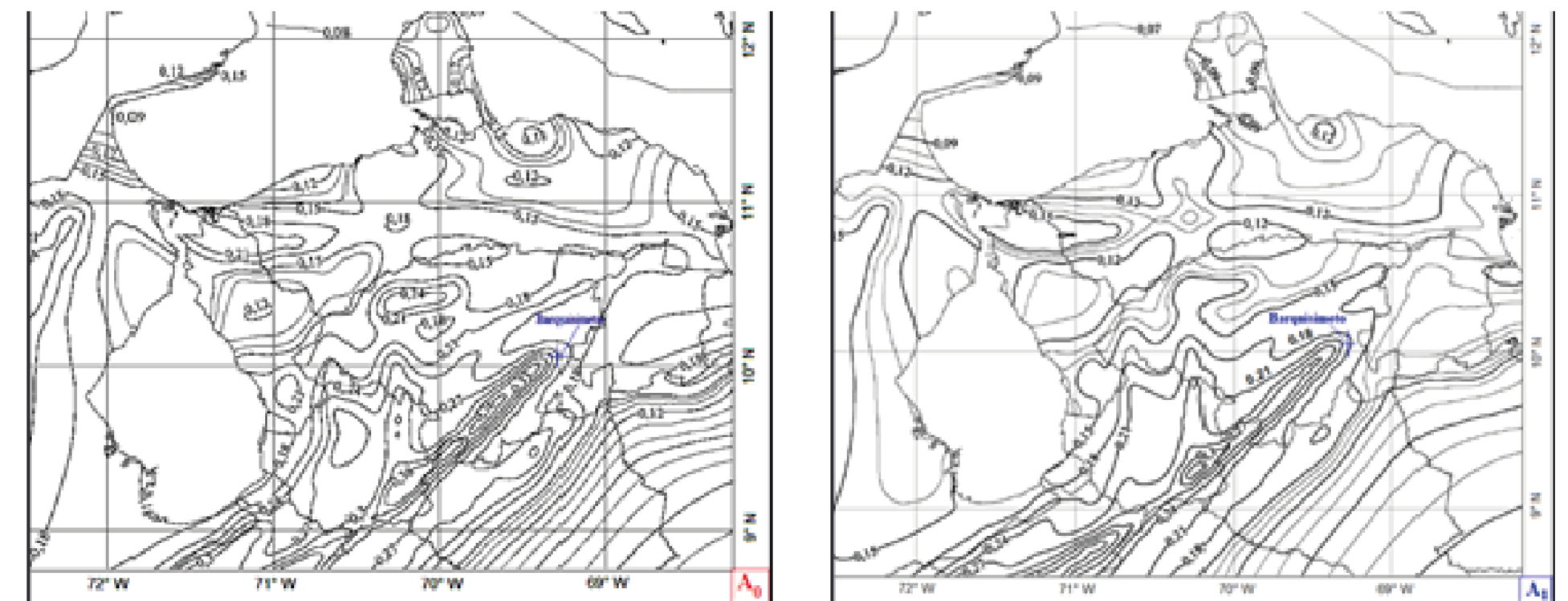
Los mapas de amenaza sísmica se construyeron a partir de una evaluación probabilística, basada en un nuevo Modelo Sismogénico desarrollado para el caso. Este modelo se soportó en un Catálogo Sismológico y una Base de Datos de Fallas del país (desarrollados ambos en FUNVISIS), más información macrosísmica de terremotos pre-instrumentales (sin registros, anteriores a 1900). Esos soportes básicos recibieron un detallado tratamiento por los autores del modelo, el cual incluyó depuración de réplicas y premonitores para disponer de un catálogo tipo Poisson, digitalización de fallas y asignación de sus buzamientos, revisión de la completitud de las magnitudes sísmicas por lapsos temporales, división del país en sectores sismogénicos de sismicidad similar (tanto superficial como intermedia, profunda y muy profunda), definición de sismos característicos, determinación de tasas de recurrencia sísmica en cada sector y distribución de las tasas entre las fallas de estos. Una importante novedad fue la división de la sismicidad superficial en 62 sectores, en vez de la antigua división en sólo 3 regiones del país, evitando la excesiva concentración posterior de la asignación de amenaza en las grandes fallas.

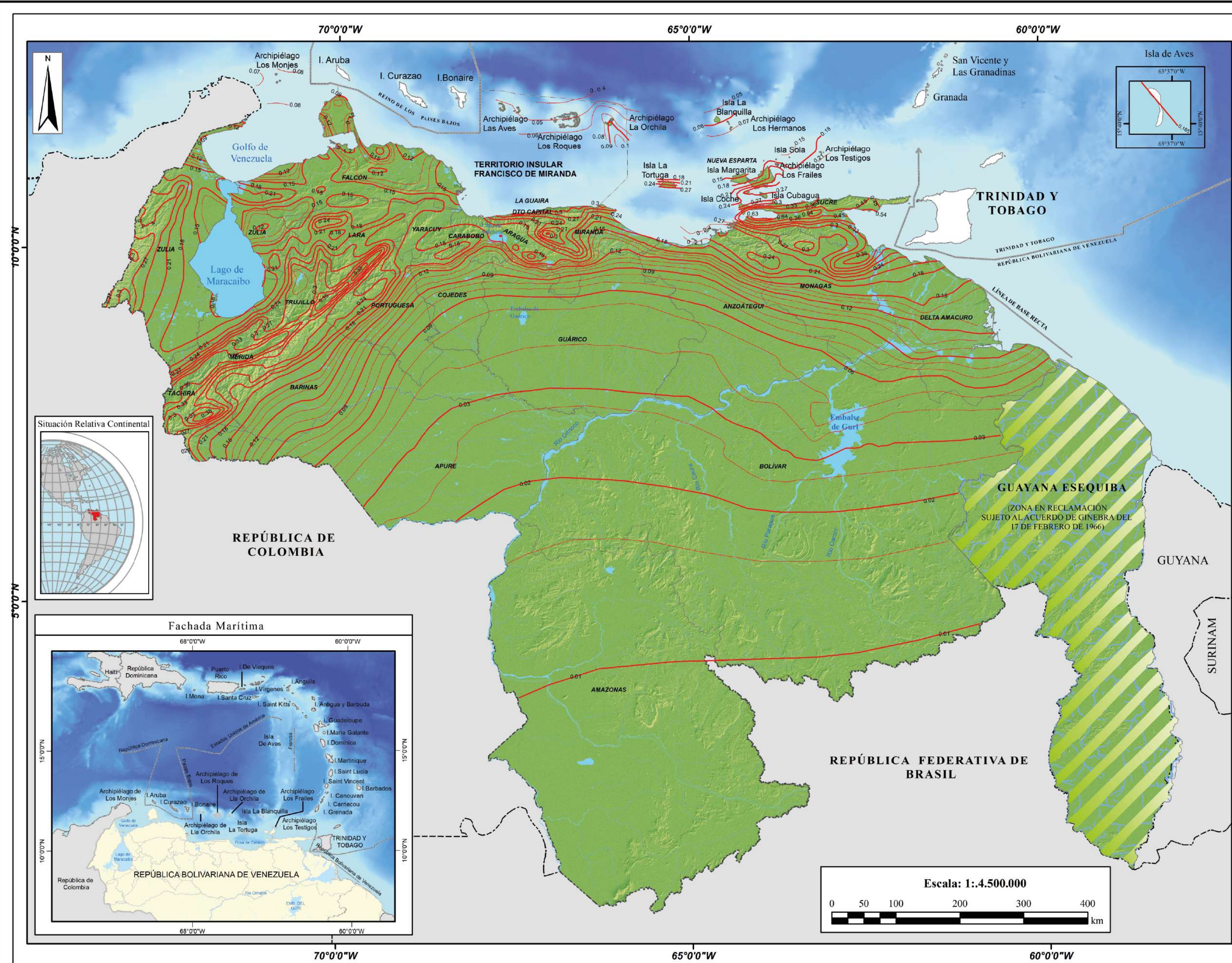
La evaluación probabilística se efectuó mediante un reconocido programa de computación, incorporando la descripción del modelo sismogénico. Se emplearon modernas relaciones de atenuación del movimiento del terreno, cumpliendo con recomendaciones mundiales. Se calculó la amenaza sísmica para 4 puntos del espectro de respuesta, asociados a los tres parámetros arriba indicados, en 5168 puntos del país, con separaciones entre 11 y 44 km de acuerdo con la sismicidad de la zona, más puntos cercanos a las fallas. Se obtuvo así una expresión refinada de la amenaza esperada, de acuerdo con la sismicidad observada. Con los resultados en los puntos, mediante interpolación digital se construyeron las curvas de los mapas.

Debe anotarse que tanto las curvas como los valores en los puntos son la mejor estimación derivada del modelo sismogénico y las relaciones de atenuación empleadas, pero no se puede afirmar que sean “exactos”. Existen incertidumbres derivadas de la relativa completitud de la información y posteriores revisiones conducirán a una mayor precisión. Sin embargo, se puede afirmar que los mapas obtenidos representan un importante avance en la estimación de la amenaza sísmica y la consecuente mitigación del riesgo sísmico. Particularmente, se ha

tomado en cuenta la anteriormente ignorada cercanía a las fallas.

Como ejemplos de la mejoría en el estimado de la amenaza sísmica en el país podemos observar los cambios ocurridos para varias ciudades. En la norma de 2001 a la ciudad de Valencia se asignó $A_0 = 0.30$, lo mismo que a Caracas, mientras que en la de 2019 se le asigna $A_0 = 0.15$. Este menor valor es consistente con la sismicidad observada en el lugar, pues mientras Caracas ha sufrido cuatro terremotos destructores desde 1567 en Valencia no ha ocurrido ninguno similar en el mayor lapso desde 1555; el único caso grave ocurrió en el gran terremoto de 1812 con intensidad de Mercalli (IMM) ~ 8 con algunos daños severos pero sin merecer que se considere destructivo. Situación semejante ocurre en Barcelona, donde la norma previa asignaba $A_0 = 0.30$ (y $A_0 = 0.35$ en la vecina Puerto La Cruz), al igual que en Caracas. Pero a cambio de los citados terremotos en esta ciudad, en Barcelona no ha ocurrido ninguno tan severo en casi cuatro siglos desde 1638. Los casos más graves ocurrieron en 1766 (terremoto profundo $M \sim 7.9$) y en 1853 (terremoto costa afuera $M \sim 6.9$), ambos para IMM ~ 7.5 en la ciudad, lo que representa daños que no llegan a severos ni destrucción; ahora se le asigna $A_0 = 0.20$ en coherencia con esa menor sismicidad. Un caso similar es Maturín donde no ha ocurrido ningún sismo destructor en 300 años (1722-2022) y la mayor intensidad reportada es IMM ~ 6 (daños leves) en terremotos de 1918, 1929 y 1957; se le asigna ahora $A_0 = 0.23$ considerando la eventualidad de sismos profundos. Sin embargo, existen lugares de sismicidad elevada y frecuente en los cuales se aumentó ahora la asignación de amenaza sísmica, como Mérida y cercanías, con $A_0 = 0.36$ en vez de 0.30, y casi todo el estado Sucre, pasando en Cumaná de $A_0 = 0.40$ a 0.54. En conclusión, los nuevos mapas de amenaza sísmica ofrecen un mejor estimado de las futuras ocurrencias previsibles, en consistencia con la sismicidad observada en el país.







CONSTRUCCIONES SISMORRESISTENTES

NORMA VENEZOLANA COVENIN 1756-1:2019

Amenaza Sísmica

A_0 = Coeficiente de Aceleración
Horizontal del Terreno
En Clase de Sitio BC ($V_{s30} = 760$ m/s)
Con Basamento a Profundidad = 30 m
Para Periodo Medio de Retorno = 475 Años

Hipsometría (m.s.n.m.)

Max: 4.978 (Pico Bolívar)

Min: -18 (Lagunillas)

Batimetría (m.b.n.m)

0-200	4.000-5.000
200-1.000	5.000-6.000
1.000-2.000	6.000-7.000
2.000-3.000	7.000-8.000
3.000-4.000	Más de 8.000

Signos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

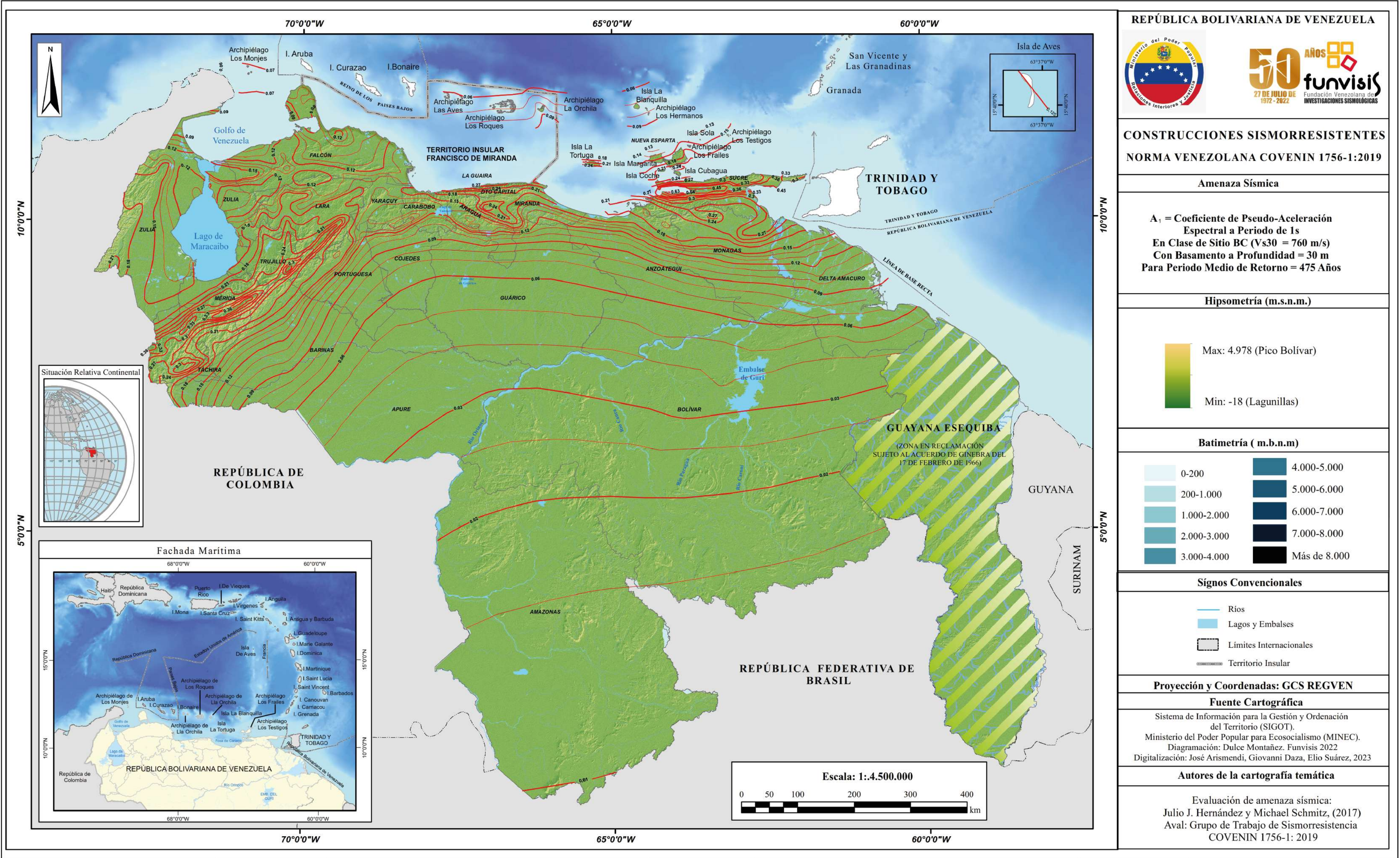
Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

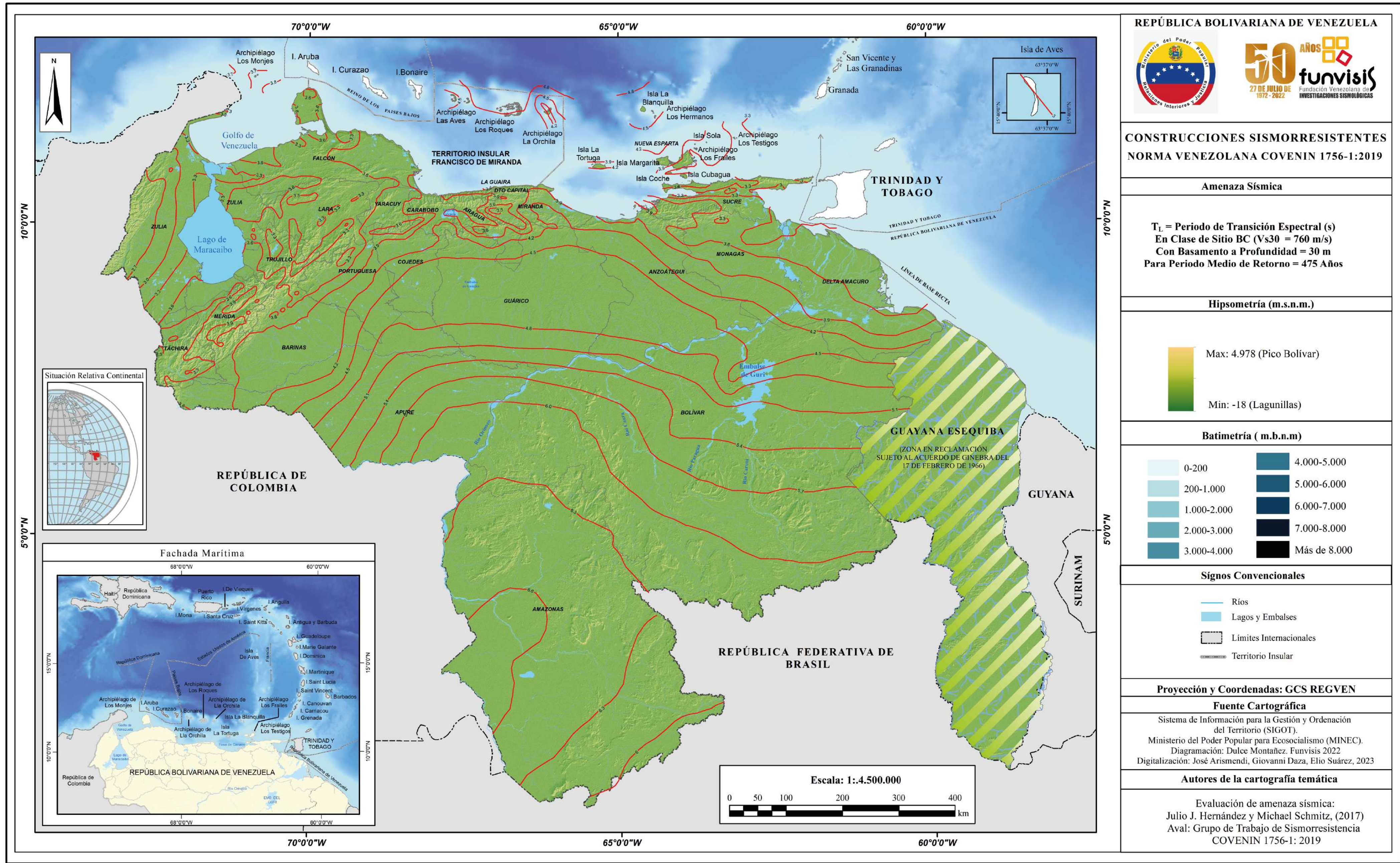
Fuente Cartográfica

Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Diagramación: Dulce Montañez, Funvisis 2022
Digitalización: José Arismendi, Giovanni Daza, Elio Suárez, 2023

Autores de la cartografía temática

Evaluación de amenaza sísmica:
Julio J. Hernández y Michael Schmitz, (2017)
Aval: Grupo de Trabajo de Sismorresistencia
COVENIN 1756-1: 2019





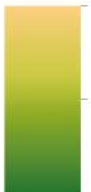


CONSTRUCCIONES SISMORRESISTENTES
NORMA VENEZOLANA COVENIN 1756-1:2019

Amenaza Sísmica

 T_L = Periodo de Transición Espectral (s)
En Clase de Sitio BC ($V_{s30} = 760$ m/s)
Con Basamento a Profundidad = 30 m
Para Periodo Medio de Retorno = 475 Años

Hipsometría (m.s.n.m.)



Max: 4.978 (Pico Bolívar)
Min: -18 (Lagunillas)

Batimetría (m.b.n.m)

0-200	4.000-5.000
200-1.000	5.000-6.000
1.000-2.000	6.000-7.000
2.000-3.000	7.000-8.000
3.000-4.000	Más de 8.000

Signos Convencionales

- Ríos
- Lagos y Embalses
- Límites Internacionales
- Territorio Insular

Proyección y Coordenadas: GCS REGVEN

Fuente Cartográfica
Sistema de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT).
Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC).
Diagramación: Dulce Montañez. Funvisis 2022
Digitalización: José Arismendi, Giovanni Daza, Elio Suárez, 2023

Autores de la cartografía temática
Evaluación de amenaza sísmica:
Julio J. Hernández y Michael Schmitz, (2017)
Aval: Grupo de Trabajo de Sismorresistencia
COVENIN 1756-1: 2019

EVOLUCIÓN Y APORTES PRINCIPALES DE LAS NORMAS SÍSMICAS

NORMA AÑO	AMENAZA SÍSMICA	REGULARIDAD DE LA ESTRUCTURA	CLASIFICACIÓN DEL SUELO	DIRECCIÓN DE ANÁLISIS	MÉTODO DE ANÁLISIS	COEFICIENTE SÍSMICO	CONTROL DEL DERIVA
MOP 1939	Para zonas montañosas de Los Andes y de la Costa.	No hace referencia	No hace referencia	Perpendicular a cualquiera de las fachadas.	Estático	C=0,05	No lo contempla
MOP 1947	Tres zonas sísmicas: A, B, C	No hace referencia	No hace referencia	Perpendicular a cualquiera de las fachadas.	Estático	C=0,10; 0,05; 0,00	No lo contempla
MOP 1955	Tres zonas sísmicas: A, B y C	No hace referencia.	No hace referencia	Cualquier dirección	Método estático equivalente	C = 0,30 / (N+4.5) para Zona B y el doble para Zona C.	No lo contempla
MOP 1967	Tres zonas sísmicas: 1, 2 y 3	No hace referencia.	Roca y depósitos aluvionales.	Cualquier dirección	Estático equivalente si la altura es menor a 60 m y/o menor de 20 pisos. De lo contrario, análisis dinámico. Considera torsión en planta.	Depende del suelo, del Uso y del Tipo de Estructura. Entre 0,045 y 0,15	Deriva Máxima: 0,002
COVENIN 1982	Cinco zonas sísmicas: de 0 a 4, con aceleraciones dadas para un retorno de 475 años	Las clasifica como regulares e irregulares y da criterios para definir las.	Clasifica los suelos en S1, S2 Y S3.	Dos direcciones ortogonales no simultáneas.	Estático equivalente para estructuras regulares con menos de 20 pisos. Análisis dinámico para alturas mayores o estructuras irregulares.	Depende del análisis. Mínimo de A_0 / R .	Máxima: de 0,015 a 0,020 (estructuras esenciales) y 0,018 a 0,024 (para el resto).
COVENIN 2001	Ocho zonas sísmicas: 0 al 7, con aceleraciones para un retorno de 475 años	Las clasifica como regulares e irregulares y amplía los criterios de selección.	Clasifica los suelos según cuatro perfiles: S1, S2, S3 y S4.	Dos direcciones ortogonales, simultáneas y agrega la componente vertical del sismo.	Estático equivalente para edificios regulares menores o igual a 10 pisos o 30 m Para las irregulares y/o de mayor altura, el método dinámico espacial o dinámico plano.	Depende del análisis. Mínimo de $(\alpha A_0) / R$.	Deriva máxima: 0,012 a 0,016 para edificaciones esenciales) y 0,018 a 0,024 para viviendas, oficinas.
COVENIN 2019	Curvas de Isoaceleración, para 475 años de retorno.	Se prohíben las irregularidades críticas en zonas de gran amenaza.	Suelos Clase A hasta F. Agrega profundidad de sedimentos y topografía.	Dos direcciones ortogonales simultáneas y agrega componente vertical del sismo.	Estático, dinámico elástico, estático no lineal y dinámico no lineal.	Depende del análisis. Mínimo de A_s / R . Mínimo de 0,01.	Deriva máxima: 0,008 a 0,016 (construcciones esenciales) y 0,012 a 0,022 para construcciones comunes.

Vista Centro Oeste Caracas desde la Torre La Previsora. Fuente: Carmen Zulay Ginés (2022).



Crecimiento urbano contra la falta de planificación

La carencia de una normativa o reglamento de construcción a nivel municipal, donde se determinen las zonas de riesgo, contribuye no solo al desorden urbano y mala organización habitacional; sino que permite que las familias se ubiquen en áreas vulnerables por desconocimiento.

Zona Populares, Barrio Sector El Cementerio, Parroquia Santa Rosalía, Distrito Capital. Fuente: Carmen Zulay Ginés (2022).



Vista Centro Este Caracas desde la Torre La Previsora. Fuente: Carmen Zulay Ginés (2022).



4.8 MAPA DE LA RED ACELEROGRÁFICA DE VENEZUELA (REDAC)

Oscar Andrés López, Carmen Zulay Ginés, Jorge González, William Rafael Ascanio, Mario Rendón y Cristóbal Grimán

A finales de la década de los años 70, la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, Funvisis, debido al crecimiento demográfico del país y al incremento de las inversiones en construcciones e infraestructuras, emprendió el desarrollo e implementación de la Red Nacional de Acelerógrafos de Venezuela, con la finalidad de registrar los movimientos fuertes del terreno, y avanzar en las investigaciones para la reducción del riesgo sísmico.

La información acelerográfica proporciona datos para el diseño de edificaciones, el estudio del comportamiento de las estructuras y de los suelos, además coadyuvar al desarrollo de leyes de atenuación para la microzonificación sísmica de los ejes urbanos, así como también, el mejoramiento y la actualización de los estudios de amenaza sísmica y de la Norma Venezolana de Edificaciones Sismorresistentes.

El proyecto fue ejecutado en 3 fases: a) Se estableció un esquema de la red que abarcaría gran parte de las zonas urbanas del país, b) se procedió a la selección de sitios para ubicar las estaciones y c) se desarrollaron metodologías para procesar los registros obtenidos mediante la red.

Entre los años 1978 y 1981, para la evaluación del riesgo sísmico en Venezuela, Funvisis adquirió 31 acelerógrafos, y adicionalmente en ese mismo periodo, la Organización de Estados Americanos, (O.E.A.) donó 32 acelerógrafos. Todos los equipos eran analógicos, modelo SMA-1 de la empresa Kinometrics, (Figuras. 1 y 2), los registros se obtenían sobre una película fotográfica, que posteriormente debía ser revelada, para procesar la información.

La instalación de las estaciones acelerográficas comenzó en el año 1979 en la ciudad de Cumaná, estado Sucre, donde se ubicaron 4 estaciones en diferentes zonas urbanas. En agosto de 1996, la REDAC (Red Acelerográfica Nacional) tenía en operación 53 acelerógrafos: 13 en la zona metropolitana de Caracas, 6 en la zona central, 1 en la isla de Los Roques, 22 en la zona occidental y 11 en la zona oriental del país.

Durante el terremoto de Cariaco en el estado Sucre (09/07/1997), se obtuvieron 2 registros acelerográficos en la ciudad de Cumaná, ubicada a 70 km del epicentro del sismo, los equipos instalados en el oriente del país no registraron apropiadamente el evento sísmico, debido a problemas asociados a insuficiencias en las baterías y las películas fotográficas.

A partir del año 2000, se sustituyeron todos los equipos analógicos por equipos digitales también de la marca Kinometrics, modelo Etna, (Figuras 3 y 4), instalándose alrededor de 134 acelerógrafos en tanquillas distribuidas en zonas urbanas de todo el territorio nacional.

En los últimos años, se ha reducido a su mínima expresión, el funcionamiento de los equipos instalados en las estaciones acelerográficas de la red, debido diversos factores, tales como limitaciones en el mantenimiento preventivo y correctivo por falta de insumos y repuestos, fallas en el suministro eléctrico y las condiciones de humedad en los sitios de colocación.

El mapa muestra la distribución de las estaciones acelerográficas de la REDAC instaladas a partir del año 2000, ubicadas en zonas donde se concentra el 80 % de la población de Venezuela, sin embargo, actualmente esta red no se encuentra operativa, requiriéndose recursos económicos para su necesaria rehabilitación.

Acelerógrafo SMA1. Fuente: Cristóbal Grimán.

Externo

Interno



Acelerógrafo Etna, escuela Valentín Valiente. Cariaco, estado Sucre. Fuente: Jorge González (2016).



