

José GRASES
 Alfonso MALAVER
 Leandro MONTES
 Marcelo GONZÁLEZ
 Luis ACOSTA

Julio MADRIZ
 Carlos HERRERA
 Julio HERNÁNDEZ
 Miguel LUGO
 Ricardo VARGAS

AMENAZAS NATURALES Y VULNERABILIDAD EN CUMANÁ

RESUMEN

En este trabajo se presentan aspectos resaltantes de un proyecto de investigación aplicada patrocinada por la Gobernación del Estado Sucre sobre la mitigación y prevención de amenazas naturales en la ciudad de Cumaná. Los autores que suscriben el trabajo contribuyeron en sus respectivas áreas de especialización, lo cual refleja la multiplicidad de problemas analizados; sus planteamientos, evaluaciones y respectivos resultados; y fue presentado en el Informe: *Mitigación y Prevención de Amenazas Naturales en Cumaná, Estado Sucre* (Ref. 10) el cual constituye el sustento de conclusiones y recomendaciones dirigidas hacia dos vertientes de aplicación bien definidas: acciones a corto y mediano plazo encaminadas a la mitigación y reducción del riesgo de eventos potencialmente destructores; e información a incorporar en la planificación del crecimiento urbano de la ciudad.

Aún cuando la amenaza sísmica no es la única evaluada, la historia de Cumaná revela que es una de las más importantes. Por ello el problema sísmico resulta prioritario, aseveración que cobra urgencia al analizar los efectos que ocasionó en Cumaná el terremoto de Cariaco de 1997. Las lecciones y recomendaciones que aquí se presentan relativas al 'problema sismo', se consideran igualmente válidas para otras muchas ciudades del país amenazadas por estos fenómenos naturales. En la última sección se anota un conjunto de conclusiones y recomendaciones sobre los temas: riesgo sísmico; problemas hidrometeorológicas; y restricciones derivadas de las amenazas naturales a considerar en la planificación urbana.

* Los autores agradecen a la Gobernación del Estado Sucre por la confianza que ha depositado en ellos, así como a los organismos estatales y municipales del Estado Sucre que, de una u otra manera, contribuyeron en la ejecución del proyecto, cuyos resultados se sintetizan en este artículo. Igualmente a los Ingenieros Arnaldo Gutiérrez y Venancio Carrillo por sus comentarios y acertadas sugerencias al texto original.

(Ref.) se refiere al número de referencia en la bibliografía

ABSTRACT

This work presents relevant aspects of an applied research project sponsored by the Government of Sucre State about mitigation and prevention of natural threats in the city of Cumaná. The subscriber authors of this work contributed in their corresponding specialization fields, which reflect the number of problems analyzed, their approaches, evaluation and corresponding results. It was presented in the Report: *Mitigation and Prevention Natural Threats in Cumaná, Sucre State* (Ref. 10) which constitutes the support of conclusions and recommendations directed to two well defined application aspects: (i) short and medium term actions aimed to mitigate and reduce the risk of potentially destroying events, and (ii) information to be incorporated in the planning urban growth of the city.

Even though, seismic threat is not the only one evaluated, Cumaná history reveals it is the most important one. For that reason the seismic problem is a priority, this assertion become urgent while analyzing the effects caused in Cumaná by Cariaco's earthquake in 1997. The lessons and recommendations presented here regarding the "seismic problem" are considered valid as well for many other cities in the country threaten by these natural phenomena. In the last Section are noted a group of conclusions and recommendations about the following issues: (a) seismic risk; (b) hydro-meteorological problems; and (c) restriction derived from the natural threats to be considered in urban planning.

Palabras Clave:

Amenazas naturales. Sísmicidad.
 Mitigación de riesgos. Cumaná.
 Planificación urbana.

Key word:

Natural threats. Seismic. Risks
 mitigation. Cumaná. Urban planning.

Recibido: 10-06-04
 Aceptado: 20-07-04

1/ INTRODUCCIÓN

En la América hispana son muy pocas las grandes ciudades planificadas, construidas y desarrolladas en el siglo XX, como por ejemplo: Brasilia o Puerto Ordaz. Por otra parte, son contadas las que fueron trasladadas de sus emplazamientos originales de fundación a otros sitios debido a los efectos de las amenazas naturales; es bien conocido el caso de Antigua, primera capital de Guatemala, trasladada a su actual emplazamiento en 1773 debido a la persistencia de los terremotos destructores en la zona volcánica donde había sido fundada en 1543.

De modo que, en su inmensa mayoría, ciudades de importancia política, capitales de países al sur del río Grande y numerosas capitales de estados venezolanos, incluyendo Caracas, han quedado en los sitios donde fueron fundadas, independientemente de los ocasionales o frecuentes efectos adversos de la naturaleza.

Cumaná ha sido una de ellas. Con sus 5 siglos de historia, es mencionada por estar entre las más afectadas por sismos e inundaciones, así como sitio del primer maremoto historiado de América en 1530. Es evidente que en aquella sociedad de unos pocos miles de habitantes, como lo fue esta capital hasta entrado el siglo XX, la trascendencia de tales fenómenos fuese de una escala diferente a los problemas que plantea la ciudad actual, con una población de 300 mil habitantes y áreas edificadas cuyas densidades de población alcanzan localmente hasta unos 650 o más habitantes por hectárea.

El proyecto que aquí se resume persiguió tres grandes objetivos: (i) evaluar los principales riesgos de la naturaleza que amenazan la población y sus bienes; (ii) identificar las acciones necesarias y estrategias de mitigación, para reducir a valores tolerables los posibles efectos adversos asociados a tales amenazas; y (iii) organizar el conocimiento adquirido para su empleo con fines de planificación del desarrollo urbano de una ciudad que en los últimos 40 años ha crecido a una tasa cercana al 3% anual.

Tres hechos han merecido particular atención. El primero tiene que ver con los obras que controlan el caudal del río Manzanares aguas abajo del dique; evaluaciones hechas en este trabajo revelan que el riesgo de

inundaciones similares a la del año 1970, con un área inundada de más de 1.100 ha y agua hasta más de un metro de altura en áreas urbanizadas, actualmente puede considerarse improbable. El segundo se refiere a los efectos sufridos por obras de ingeniería en Cumaná debido al terremoto de Cariaco de julio de 1997, con epicentro a 75 km de distancia (Refs. 13 y 16); analizadas en perspectiva, sus lecciones son una llamada de alerta sobre las acciones preventivas a tomar ante inevitables sismos futuros en la región. Y el tercero, la identificación y cuantificación de factores que, por ser potencialmente restrictivos, deben considerarse en la planificación del crecimiento urbano de la ciudad.

2/ CARACTERÍSTICAS RESALTANTES DEL ÁREA DE CUMANÁ

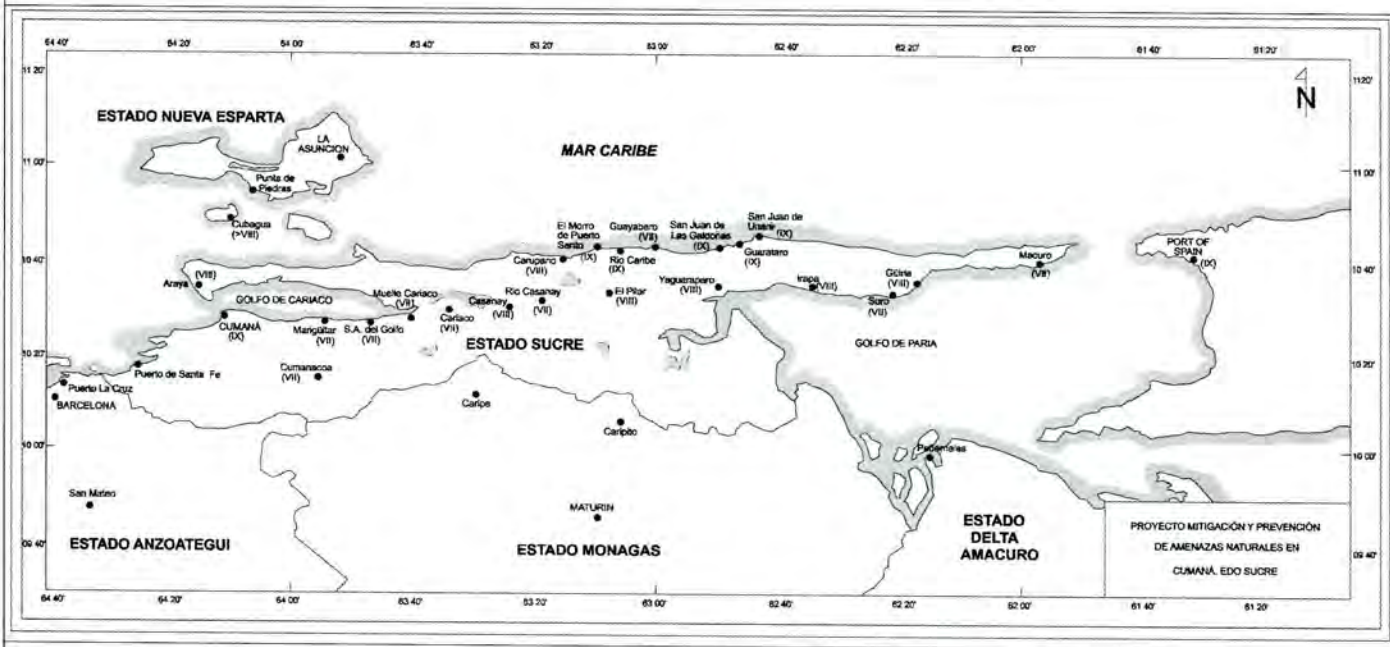
2.1 Geología y tectónica

Ubicada en el extremo norte de la Serranía del Interior, el área de Cumaná se encuentra en una zona de grandes espesores litológicos, con buzamiento depositacional hacia el norte.

La parte oriental de la Serranía del Interior, a la cual pertenece el estado Sucre, está separada de la cordillera de Araya-Paria por una depresión axial representada por el Golfo de Cariaco, la cual está a su vez relacionada con el sistema de fallas de El Pilar. Dentro de la cronología neotectónica se describen terrazas compuestas por arenas y gravas, con espesores de sedimento de hasta 160 m.

Por su ubicación en un área de interacción de tres placas tectónicas, la región nor-oriental ha sido la de mayor actividad sísmica del país en tiempos históricos, incluido el período más reciente con información sustentada por registros instrumentales. En los modelos sismotectónicos de generación de sismos empleados en la región, considerada un área de unos 250 km de radio centrada en Cumaná, se identifican unos 22 fuentes sismogénicas superficiales y siete áreas fuentes con profundidades hasta de 100 km; entre ellas resulta de particular relevancia el sistema de fallas activas de El Pilar, la cual atraviesa parte de la ciudad en sentido oeste-este. En un trabajo reciente (Ref 2), este accidente tectónico es segmentado en cuatro tramos principales: 212 km hacia el oeste de Cumaná; 103 km entre Cumaná y Casanay; 17 km entre Casanay y El Pilar; y 102 km entre El Pilar y la falla de Los Bajos en su extremo oriental. En los modelos utilizados en este trabajo

FIGURA 1
INTENDIDADES MÁXIMAS DE MERCALLI DE SISMOS HISTÓRICOS ASIGNADAS EN LOCALIDADES DEL ESTADO SUCRE



(Sección 2.4), la falla de El Pilar se ha segmentado, de modo conservador, en dos partes separadas por el Cerro Caigüire con arreglo a la discontinuidad señalada por los especialistas en la materia.

En la (Ref 10), se dan los resultados de una revisión sobre los lineamientos de fallas en el área de esa ciudad, presentándose evidencias de actividad por desplazamientos del cuaternario en la superficie del Cerro Caigüire. A partir del piedemonte del cerro, estudios más detallados de tales lineamientos se dificultan por quedar sepultados bajo material proveniente de deslizamientos y sedimentos, en parte originados por la dinámica fluvio-deltaica del área, así como por agentes antrópicos propios del urbanismo invasivo. Por tanto, la ubicación precisa de los segmentos de falla y su extensión aún requiere atención.

2.2 Sismicidad histórica

El Estado Sucre ha sido afectado por terremotos destructores desde tiempos de la colonia, comenzando con el ocurrido en el año 1530, origen de un maremoto que causó víctimas y daños materiales. El último terremoto que ha afectado al estado Sucre fue el de Cariaco del año 1997, que causó 73 muertos, 522 heridos y 6.800 damnificados, así como el colapso de 5 edificaciones de concreto armado y de unas 300 viviendas unifamiliares.

Las pérdidas materiales dejadas por este sismo se estimaron en 100 millones de dólares.

En la Tabla 1 se presenta una síntesis de los principales sismos destructores del oriente venezolano y en la Figura 1 se muestran las intensidades

TABLA 1
PRINCIPALES SISMOS OCURRIDOS EN EL ESTADO SUCRE (IMM (VI))

FECHA	HORA LOCAL	EPICENTRO	LOCALIDAD MAS AFECTADA	I _o (MM)	FUENTE (I _o) ²
01-09-1530	09:00 a.m.	10.70°N/64.10°W	Cumaná	IX	MLU
00-00-1629	—	10.47°N/64.17°W ⁽¹⁾	Cumaná	VII	MLU
04-05-1684	08:00pm	10.47°N/64.17°W ⁽¹⁾	Cumaná	VII	JPGG
21-10-1766	04:30am	10.70°N/62.50°W	San José de Oruña	IX	MLU
10-09-1794	06:30 p.m.	10.47°N/64.17°W ⁽¹⁾	Cumaná	VIII	JPGG
14-12-1797	07:00 p.m.	10.70°N/64.10°W	Cumaná	IX	FIE
04-11-1799	08:42 p.m.	10.47°N/64.17°W ⁽¹⁾	Cumaná	VII	MLU
27-01-1805	01:30 p.m.	10.47°N/64.17°W ⁽¹⁾	Cumaná	VI	JPGG
00-09-1823	—	10.48°N/63.55°W	Cariaco	VIII	JPGG
12-04-1839	—	10.47°N/64.17°W ⁽¹⁾	Cumaná	VII	JPGG
15-07-1853	02:00pm	10.50°N/64.20°W	Cumaná	IX	JPGG
17-08-1874	11:00 p.m.	10.59°N/63.10°W ⁽¹⁾	El Pilar	VII	JPGG
10-01-1888	09:00 a.m.	11.30°N/62.20°W	Güiria	VIII	ROB
07-01-1900	04:30 p.m.	10.50°N/63.42°W ⁽¹⁾	Casanay	VII	JPGG
24-02-1918	07:00 p.m.	10.59°N/62.20°W	Güiria	VI	JPGG
08-08-1922	—	10.68°N/63.14°W	Río Caribe	VI	JPGG
17-01-1929	07:32 a.m.	10.50°N/64.50°W	Cumaná	VIII	MLU
14-10-1939	04:02 a.m.	10.70°N/63.80°W	Carúpano	VII	JPGG
05-02-1944	11:50 p.m.	10.00°N/62.00°W	Irapa	VII	JPGG
09-10-1945	—	10.49°N/63.67°W	Chiguana	VI	JPGG
22-01-1951	07:20 p.m.	10.43°N/63.80°W	San Antonio del Golfo	VI	JPGG
04-10-1957(a)	01:26 a.m.	10.92°N/62.81°W	Río Caribe	IX	JPGG
05-10-1957(b)	11:54 p.m.	10.81°N/62.85°W	Guayabero	VII	JPGG
07-10-1957(c)	11:18 p.m.	10.68°N/62.51°W	Irapa	VII	JPGG
20-09-1968	01:30 a.m.	10.76°N/62.70°W	Güiria	VIII	JPGG
22-10-1969	08:22 a.m.	10.92°N/62.55°W	Irapa	VI	JPGG
12-06-1974(a)	11:55 a.m.	10.61°N/63.47°W	Casanay	VIII	JPGG
28-10-1974(b)	10:40 p.m.	10.58°N/63.45°W	Río Casanay	VII	JPGG
17-06-1975	10:06 p.m.	10.70°N/63.34°W	Río Caribe	VI	JPGG
11-06-1986	01:48 p.m.	10.60°N/62.93°W	El Pilar	VII	FUNV
09-07-1997	03:24 p.m.	10.50°N/63.54°W	Cariaco	VIII	MAL

Nota: (1) Coordenadas de la localidad más afectada.

(2) Según: Catálogo de terremotos de América del Sur. Venezuela, datos de intensidades e hipocentros. Vol 8, CERESIS, Proyecto SISRA, Lima, 289 289 p., y Ref: 16.

máximas asignadas a poblaciones del estado Sucre debido a los eventos indicados en la referida tabla.

2.3 Recurrencia de la sismicidad

Se entiende por sismicidad la tasa de excedencia de eventos sísmicos por unidad de tiempo, λ_s (1/año); esta se puede determinar por diferentes procedimientos en función del modelo que se adopte. En este trabajo se ha aceptado que la sismicidad de la región puede ser descrita por la bien conocida relación lineal:

$$\log \lambda_s = a - b M_s \quad M_0 \leq M_s \leq M_m \quad (2.1)$$

donde:

M_s = magnitud Richter de ondas superficiales;

M_0 = umbral inferior de validez;

M_m = valor máximo probable de M_s asignado a la región considerada;
a y b = constantes que caracterizan la región.

La región seleccionada abarca el área donde se ubican las 22 fuentes superficiales mencionadas en la Sección 2.1; se extiende aproximadamente en el cuadrángulo: 9° N - 11.5° N y 61° W - 66° W. Los valores de a y b fueron determinados por dos vías diferentes: (i) distribución de máximos eventos sísmicos conocidos en el área entre los años 1766 y 2000, a los cuales se les ha asignado foco superficial; para ello se seleccionaron los eventos máximos sucedidos en cada uno de los 13 lapsos de 18 años, con lo cual se obtuvo:

$$\log \lambda_s = 3,49 - 0,78 M_s \quad 6 < M_s \leq 7,8 \quad (2.2)$$

(ii) ajuste de la fórmula (2.1) a la estadística de eventos con magnitud M_s sustentada por registros instrumentales en el lapso 1918-2000, la cual arrojó:

$$\log \lambda_s = 4,30 - 0,90 M_s \quad 4 \leq M_s \leq 6,9 \quad (2.3)$$

Adoptado un criterio conservador, concordante con el modelo de la fórmula (2.1), la sismicidad de cada una de las 22 fuentes superficiales se determinó de modo proporcional a las velocidades de desplazamiento de las

mismas; sus valores acumulados, incluida la sismicidad de fondo, quedan descritos por una envolvente conservadora de las fórmulas (2.2) y (2.3), con pendiente $b = 0,84$:

$$\log \lambda_s = 4,05 - 0,84 M_s \quad 4 \leq M_s \leq 7,8 \quad (2.4)$$

2.4 Amenaza sísmica

Para la evaluación de la amenaza sísmica en la ciudad de Cumaná y alrededores, se elaboró un modelo sismotectónico con las 22 fuentes superficiales antes aludidas, tres fuentes con profundidad de 40 km y cuatro con profundidad de 100 km.

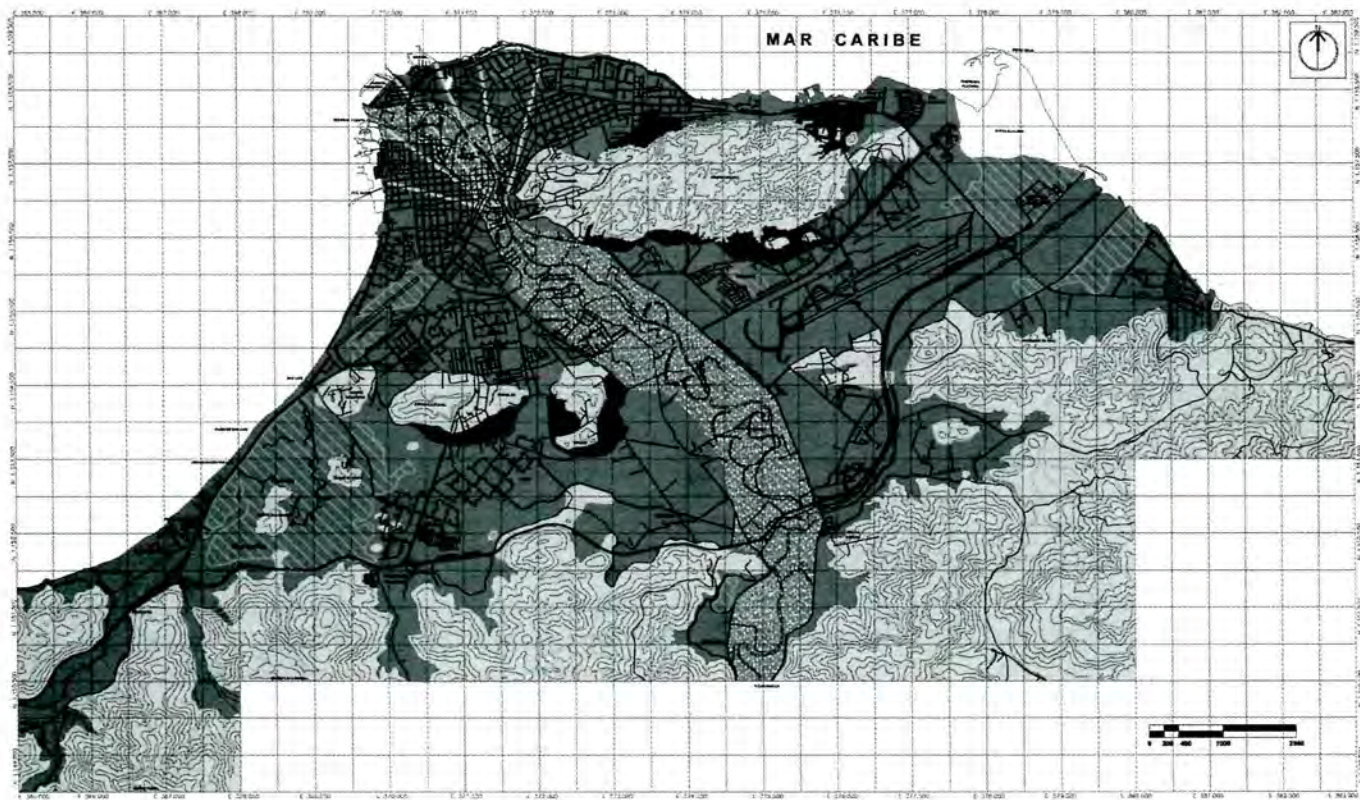
Tomando en consideración la limitada estadística de registros acelerográficos en la región, se emplearon tres relaciones de atenuación geométrica para determinar las aceleraciones esperadas en roca (A), dada la ocurrencia de un evento de magnitud M_s , con varianzas en la predicción del $\log A$, comprendidas entre 0,33 y 0,37; la tasa media de ocurrencia anual de aceleraciones en exceso de A, denominada λ_a , se determinó como valor medio de seis resultados: dos modelos de generación de sismos y el empleo de tres relaciones de atenuación para cada uno.

De este modo, los resultados del cálculo de la peligrosidad sísmica en términos de las aceleraciones máximas A (gal) en suelos tipo roca, para Cumaná, se pueden describir por la probabilidad de no excedencia P para una vida útil de t años, de la forma aproximada siguiente:

$$P = \exp \{ -t (A/a^*)^\beta \} \quad 400 \text{ años} < \lambda_a^{-1} < 2000 \text{ años} \quad (2.6)$$

Donde a^* y β describen la tasa media λ_a (1/año), respectivamente iguales a 79 gal y 3,8. Obsérvese que el valor de $A = 0,41g$ que se obtiene con la fórmula (2.6) para $P = 0,90$ y $t = 50$ años, correspondiente al período medio de retorno de 475 años establecido en la Norma COVENIN 1756-2001, (Ref.9), es prácticamente igual al valor $A_0 = 0,40g$ establecido en esa Norma para la región de Cumaná (Zona Sísmica 7). Para la construcción de los espectros de diseño, se recomienda seguir lo establecido en la Norma COVENIN 1756-2001 de acuerdo con las características del suelo local.

FIGURA 2
DINÁMICA FLUVIOGEOMORFOLÓGICA DE
LA PLANICIE ALUVIAL DEL RÍO MANZANARES



LEYENDA:

	AFLORAMIENTO ROCOSO		DEPOSITO COLUVIAL		CORTE O TERRACEO		LLANURA ALUVIAL Y PLANICIE COSTERA		PLANICIE DE DESBORDE ACTUAL
	SECTORES CON EXCESO DE AGUA		CANALES Y MEANDROS ABANDONADOS		REBORDE DE TERRAZA RECIENTE		MANGLAR		EXPLAYAMIENTO

2.5 La planicie aluvial y el mapa del subsuelo

La capital del estado Sucre se ha desarrollado en la planicie aluvial alimentada por descargas de la vertiente norte de la serranía del Turimiquire, con una extensión aproximada de 7.000 ha. Esta planicie es el resultado de una dinámica fluvial que ha estado funcionando durante el cuaternario reciente. Por su topografía muy plana, el río Manzanares se encuentra asociado a un área de divagación a lo largo de una franja holocena bastante bien definida. La planicie aluvial del río Manzanares termina en el área donde sale al mar, con una típica forma de abanico fluviogeomorfológica; esto es evidenciado por la gran cantidad de meandros abandonados a lo largo y ancho de su llanura de desborde o inundación (Figura 2). Esta posición geomorfológica es típica de los ríos de gran capacidad y competencia, los cuales construyen geofomas de las cuales se puede deducir su dinámica sedimentaria.

Salvo el Cerro Caigüire y otras elevaciones de menor extensión, esta llanura tiene una cota que no excede los 5 metros sobre el nivel del mar; por esta razón se observa parcialmente inundada en fotos aéreas hasta los años 50, especialmente en áreas costeras del oeste y norte actualmente urbanizadas.

Estos sedimentos muy recientes, con espesores mal conocidos y niveles freáticos a menos de 2 metros de la superficie, configuran características particulares que tienden a modificar, de modo desfavorable para los edificios altos, las vibraciones del terreno generadas por sismos. Solo las normas muy recientes, como la COVENIN 1756-2001 (Ref 9), han incorporado en sus requerimientos medidas preventivas contra tales fenómenos.

En la Ref 10 se recoge la información contenida en un conjunto de 123 estudios de suelos, cuyos valores de SPT fueron corregidos para uniformarlos al valor N_{60} . En esta corrección se siguió siguiente el criterio:

$$N_{60} = C_n E_m N \quad (2.7)$$

Donde:

C_n = Factor de corrección por confinamiento, estimado como: $(1/\sigma'_v)^{0.5}$;

σ'_v = Esfuerzo efectivo vertical a la profundidad considerada;

E_m = Factor de corrección por energía del martillo = 0,75;

N = Número de golpes del ensayo SPT no corregido.

Hecha la clasificación de cada estudio de suelos con arreglo a los criterios de la Norma COVENIN 1756-2001, se elaboró un mapa a escala 1:25.000 con la delimitación de los suelos de la ciudad; este mapa constituye la mejor información disponible en la actualidad sobre la zonificación del subsuelo de la planicie aluvial, en el cual también se han señalado áreas identificadas como potencialmente licuables en caso de sismo (Figura 3).

2.6 Hidrometeorología

Las Antillas menores, ubicadas en el extremo oriental del mar Caribe, anualmente sufren los efectos de decenas de tormentas, algunas con rango de huracán, que se forman y desarrollan en el océano Atlántico; el nor-oriente venezolano forma parte del extremo sur-este del mar Caribe. No obstante, la estadística conocida sobre eventos hidrometeorológicos como son tormentas y vientos huracanados, revela que esta última región es menos propensa a ser afectada por tales fenómenos, a diferencia de otras ubicadas más al norte.

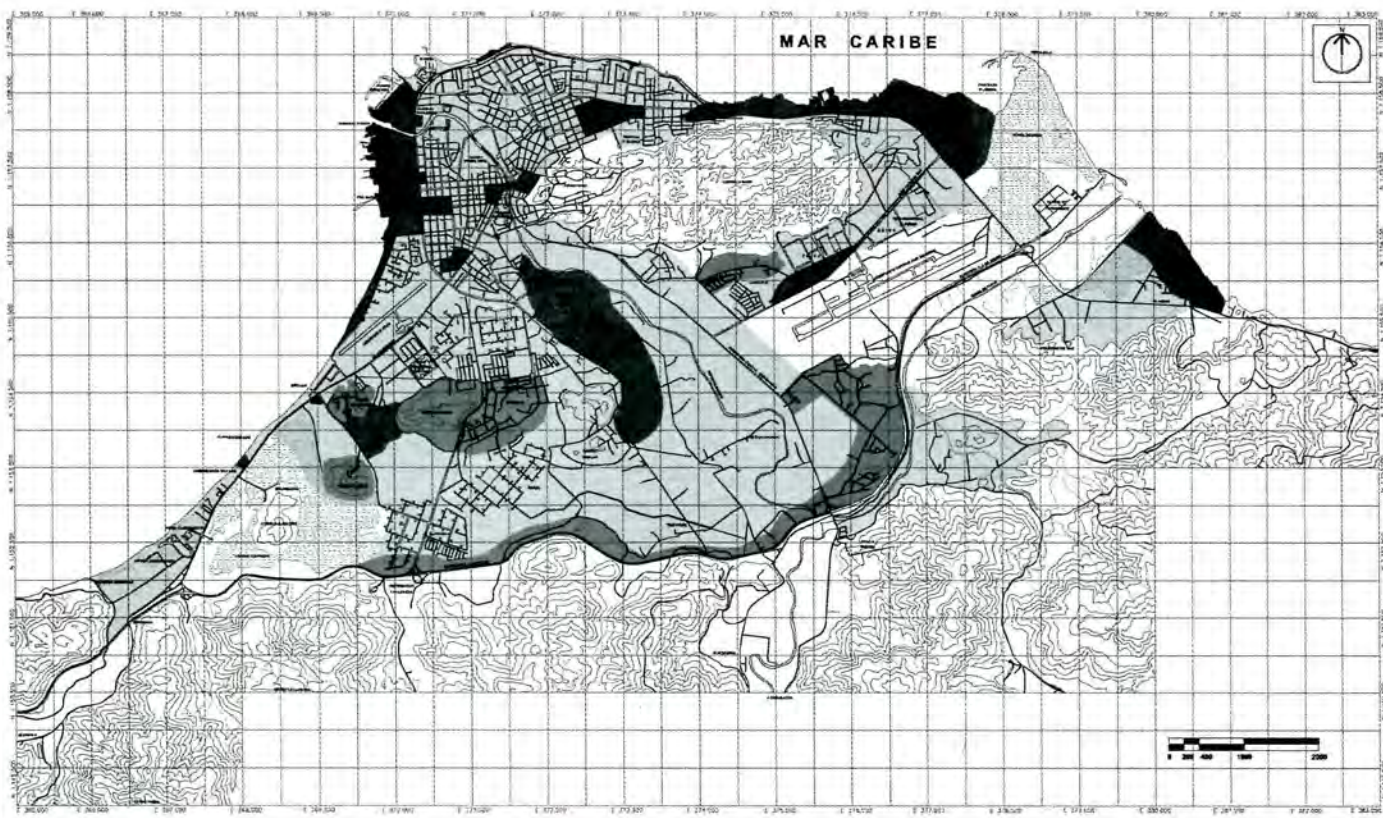
En la Ref 10 se recoge un conjunto de 27 eventos hidrometeorológicos de interés para el área de Cumaná y regiones vecinas, sucedidos entre 1541 y 1999. Aún cuando aquellos eventos cuyas trayectorias son conocidas siguieron rutas más al norte y al oriente de Cumaná, como fueron los de octubre de 1892 y junio de 1933, calificados como grandes huracanes (véanse las Ref. 12 y 25), su área de influencia pudiera afectar Cumaná.

En todo caso, el análisis de la distribución de valores extremos de vientos máximos registrados en la Estación Cumaná en el lapso 1984-2001, conduce a resultados concordantes con los valores establecidos en la Norma COVENIN que establece las acciones del viento sobre las edificaciones (Ref 8), con velocidades de diseño para Cumaná de 88 km/hora, para períodos medios de retorno de 50 años; este pronóstico se considera que puede ser mejorado con un registro más amplio en el tiempo.

Finalmente debe anotarse que la variable hidrográfica ha controlado el desarrollo o expansión de la ciudad. Hoy en día, el río Manzanares desemboca al mar hacia el extremo noroeste de la ciudad; discurre desde Puerto Madera en el piedemonte del Turimiquire a lo largo de numerosos meandros ya abandonados. La distribución de caudales máximos Q (m^3/seg) se basó en el registro de máximos instantáneos de la estación

FIGURA 3

MAPA DE ZONIFICACIÓN DE SUBSUELOS DEL ÁREA URBANA DE CUMANÁ



LEYENDA:

S1

S2

S3

LICUABLE

Guaripa entre 1941 y 1992, estación ubicada aguas arriba del dique que controla el río Manzanares desde 1972. El mejor ajuste para la distribución de máximas crecientes se puede describir por la relación:

$$\log Q = 2,589 + 0,189 \log T \quad (2.5)$$

donde T (años) es el período medio de retorno.

De acuerdo con los datos de la Ref 3 y la evaluación hecha en la Ref 11 sobre 30 cuencas del Litoral Central (estado Vargas), las crecientes máximas probables Q_m (m^3/seg) se encuentran aproximadamente correlacionadas con el área de la cuenca A (km^2) por la expresión:

$$\log Q_m = 1,86 + 0,40 \log A \quad (2.6)$$

La extrapolación de esta expresión, obtenida con valores de A hasta unos $140 km^2$ (área de la cuenca del río Mamo) para los $1.000 km^2$ de la cuenca del Manzanares, puede no ser enteramente válida. Por otro lado, las isoyetas de la vertiente norte de la cordillera de la Costa son del orden de 600 a 800 mm/año, a diferencia de las de la serranía del Turimiquire que van de 800 a 1.000 mm/año en base a la estadística del período 1951-1970 que se da en la Ref. 21. Tomando en consideración que (Q_m / Q_{100}) en el Litoral Central es del orden de 1,38 y que Q_{100} alcanza unos $900 m^3/seg$ en el Manzanares, la cifra de $2.000 m^3/seg$ empleada en la Ref. 10 es conservadora si se acepta la extrapolación de la fórmula (2.6); su período de retorno es de 5.900 años. En la Ref 10 se concluye que el dique se mantiene operativo hasta crecidas de unos $3.000 m^3/seg$, asociadas a períodos medios de retorno en exceso de unos 6 mil años (fórmula 2.5), con lo cual el riesgo de inundación de la ciudad es marginal. El caudal regulado por el dique es de unos $200 m^3/seg$, cuyo período medio de retorno es de 33 años.

2.7 Otras amenazas naturales

En forma muy breve, a continuación se deja constancia de otras amenazas naturales identificadas en la Ref 10, que ameritan atención.

2.7.1 De origen geológico

La presencia de fallas reconocidamente activas, en el área urbana de Cumaná, resulta relevante cuando se evalúan edificaciones esenciales. Los

estudios de sitio, práctica usual para la selección de emplazamientos, comienzan por el despiste de fallas activas y el mejor conocimiento de las condiciones geotécnicas. Algo similar puede decirse sobre posibles deslizamientos y deslaves; al respecto, en la Ref 10 se señalan evidencias en el piedemonte del cerro Caigüire. Igualmente, se llama la atención sobre la necesaria evaluación del riesgo de taponamiento del río Manzanares aguas arriba del dique, como consecuencia de un posible macroslizamiento; las eventuales acciones preventivas deben formar parte de planes bien definidos por parte de Protección Civil.

Finalmente, se hace mención a una amenaza de fuente distante, constituida por la posible explosión de un volcán submarino, actualmente en etapa de crecimiento, ubicado al sur-occidente de las islas Grenadinas; dado que el arribo de la perturbación es del orden de 1 hora y es un fenómeno que puede ser avisado a tiempo, Protección Civil debe tener planificadas las medidas pertinentes.

2.7.2 Agentes ambientales de deterioro

Por sus condiciones de temperatura, humedad y salinidad ambiental, algunas obras de concreto armado de Cumaná han sido severamente afectadas por fenómenos de corrosión. Las causas de este tipo de daños han sido estudiadas a la luz de experiencias venezolanas en la Ref 23; en sus Secciones XVII.10 a XVII.12 se tratan las causas, así como los aspectos de prevención y reparación. Estos últimos son similares a las prescripciones establecidas en los Artículos 4.5 y 7.7 de la Norma COVENIN 1753 vigente, para la ejecución de nuevas obras.

Las razones anteriores sustentan la recomendación dirigida a disuadir el empleo de estructuras portantes metálicas, especialmente si son de paredes delgadas, salvo que se aseguren onerosos programas de mantenimiento periódico.

■ 3/ POBLACIÓN Y EDIFICACIONES DE CUMANÁ

3.1 Población

En los primeros censos de población organizados en la época de Guzmán Blanco, se incluía población aledaña a la ciudad. Según la Ref 5, para el del año 1881 en el área de Cumaná se contabilizan menos de 7 mil habitantes; de modo que, con ocasión del sismo de julio de 1853, la ciudad

probablemente no tendría más que unas 5 a 7 mil personas. Para la fecha en que sucede el sismo de enero de 1929, la población de la ciudad no sobrepasaba los 20 mil habitantes, con muy baja densidad de población por predominar edificaciones de, a lo sumo, dos niveles.

En octubre de 1957, cuando suceden los sismos de Carúpano-Río Caribe-San Juan de Las Galdonas, fuertemente sentidos en la capital del estado, su población llegaba a las 60 mil almas; es decir, 5 veces menor que la actual.

Las proyecciones de población hechas por OCEI para el 2020 sobrepasan los 330 mil habitantes.

De acuerdo con la información disponible sobre las edificaciones existentes en el área de Cumaná, descontando las áreas de circulación, parques, cerros y colinas no habitadas, en forma muy gruesa se estima que en la actualidad hay unas 2.100 ha ocupadas por edificaciones. En ellas, alrededor de 250 mil personas ocupan edificaciones de 1 y 2 niveles, con un estimado de 140 a 160 hab/ha. Unas 35 a 45 mil personas ocuparían edificaciones de 3 a 5 niveles, con un estimado de 230 a 350 hab/ha. Y, por último, se ha estimado que entre 11 y 15 mil personas habitan edificios de más de 5 niveles con densidades habitacionales que pueden exceder los 650 hab/ha.

3.2 Edificaciones esenciales

Por encontrarse entre las ciudades más antiguas de América, a pesar de los múltiples sismos e inundaciones que ha padecido a lo largo de su historia, Cumaná guarda monumentos y obras coloniales que deben ser preservadas, así como edificaciones públicas de reconocido valor. Las edificaciones esenciales en la ciudad de Cumaná están conformadas por: (i) 197 edificaciones escolares, 183 públicas y 14 privadas; (ii) 34 edificaciones de salud, 19 públicas y 11 privadas; (iii) 6 estaciones de bomberos; y (iv) 65 edificios públicos donde funcionan organismos nacionales, estatales y/o municipales.

De estas edificaciones, se seleccionaron dos escuelas, un hospital, dos ambulatorios y una estación de bomberos para realizar evaluaciones cuantitativas de su vulnerabilidad a sismos; estas evaluaciones dieron como resultado que todas esas edificaciones requieren adecuación a la normativa sismorresistente vigente en el país. Adicionalmente, se efectuó una

TABLA 3.1
RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES
ESENCIALES EN CUMANÁ

TIPO DE EDIFICACIÓN	TIPO DE EVALUACIÓN		INDICE DE VULNERABILIDAD
	Cuant.	Cualit.	
Hospital	1	1	Alto
Ambulatorio	2	4	Alto
	0	4	Medio
	0	6	Bajo
Escuela Básica	1	5	Alto
	1	2	Medio
	0	1	Bajo
Estación de Bomberos	1	1	Alto
	0	1	Medio
	0	3	Bajo
Edificio Público	0	4	Alto
	0	4	Medio
	0	2	Bajo

evaluación cualitativa, en función de su configuración estructural, año del proyecto y tipo de suelo (véase Sección 4.4), de las siguientes edificaciones esenciales: (i) un hospital y 14 ambulatorios; (ii) ocho escuelas básicas; (iii) cinco estaciones de bomberos; y (iv) diez edificios públicos. En la Tabla 3.1 se presentan los resultados de las evaluaciones cualitativas y cuantitativas realizadas en edificaciones esenciales de la ciudad de Cumaná. En dicha tabla podemos notar que en el 73% de las edificaciones evaluadas el índice de vulnerabilidad es alto o medio, lo cual indica que requieren ser adecuadas a la normativa vigente.

3.3 Edificios de más de 5 niveles

De acuerdo con la información disponible, en Cumaná hay alrededor de 90 edificios de más de 5 niveles, predominantemente fundados sobre pilotes. Vistos los efectos que sobre estas edificaciones tuvo el sismo de Cariaco de 1997 (Refs. 13 y 16), su exposición a estos fenómenos telúricos representa un problema de innegable importancia, comentario cuya pertinencia se extiende a muchas otras ciudades del país.

De acuerdo con un muestreo hecho en Cumaná durante los meses de octubre y noviembre de 2002, se ha establecido que: (i) el número medio de niveles de este grupo de edificaciones es cercano a 8; entre los más altos destaca el conjunto Terrazas Cumanesas (3 edificaciones similares) con 17 niveles de altura; (ii) aproximadamente algo más del 50% de esas edificaciones fueron proyectadas y/o construidas con anterioridad al cambio de normas promulgado a fines de 1982; (iii) de acuerdo con los datos recopilados un 14 % de los edificios se encuentran fundados en suelos tipo S1, un 61 % en suelos tipo S2 y un 25 % fundados en suelos tipo S3 (Ref. 10). Solo un porcentaje muy pequeño estaría fundado en suelos potencialmente licuables, aún cuando, por el limitado espesor de algunos de esos estratos y por los sistemas de fundación predominantes, no necesariamente resulta ser un agravante de su vulnerabilidad; este porcentaje se ha incluido entre los suelos tipo S3.

■ 4/ CAMBIOS DE NORMAS Y VULNERABILIDAD

4.1 Introducción

Los 35 años que median desde el terremoto cuatricentenario de Caracas hasta el presente, puede considerarse el lapso durante el cual se desarrolla buena parte de la Ingeniería Sismorresistente de los edificios altos. Son años donde el conocimiento sobre el desempeño de estas construcciones es incorporado en las normas, de forma discontinua, en un proceso de revisiones y actualizaciones de estos documentos cada 10 ó 15 años. En buena medida la información proviene de la evaluación de efectos, en edificios multipisos, de movimientos sísmicos intensos sucedidos entre 1957 y 1967 en adelante, así como de estudios analíticos complementarios; esta información ocasionalmente es denominada 'globalizable' por el hecho de que no tiene fronteras políticas. En Venezuela, lo recién dicho se evidencia al comparar: (i) las prescripciones de la norma MOP provisional del año 1967 (Ref 20) con 18 páginas de Articulado y que mantuvo su vigencia hasta 1982, con (ii) la norma COVENIN actual (Ref 9) que persigue los mismos fines, pero con 71 páginas de Articulado y 123 páginas de Comentario.

En forma independiente y esencialmente desconectado de la información globalizable antes aludida, el inventario de edificios expuestos a sismos ha ido aumentando en la medida que la demanda de vivienda urbana se ha mantenido o incluso ha crecido, comentario éste válido para numerosas

ciudades del país. En el mejor de los casos, esa industria se ciñe a los esporádicos cambios de normas que, como quedó dicho, van a la zaga de nuevas y reveladoras evidencias.

Obviamente, sismos locales, especialmente si son destructores, pueden acelerar esta secuencia.

4.2 Cambios en los coeficientes sísmicos de diseño

Es sabido que el desempeño esperado de las estructuras, bajo las acciones sísmicas, depende tanto del cumplimiento de las normas sísmicas, como del de las correspondientes al diseño de los miembros y uniones que las conforman. En la Tabla 4.1 se anotan los cambios más importantes en los criterios de uso predominantes entre nosotros para el diseño de estructuras portantes de concreto armado, con énfasis en los aspectos sísmicos, sucedidos entre 1947 y 2003.

También es un hecho reconocido que los detalles de armado del acero de refuerzo exigido en las normas condiciona la capacidad de absorber y disipar energía en el rango de deformaciones inelásticas, aquí designada ductilidad D ; la respuesta elástica se caracteriza por $D = 1$. Modelos simplificados comúnmente adoptados en las normas permiten reducir las fuerzas de diseño inversamente con D , incluyendo fenómenos de sobrerresistencia y otros mecanismos de reserva; en la Tabla 4.2 se anotan rangos de valores de D frecuentemente asignados en la evaluación de edificaciones existentes.

En la Tabla 4.3 se comparan los cocientes Ψ resultado de dividir: (i) los coeficientes sísmicos que se obtienen con la aplicación de las normas vigentes (se considera que los documentos de 1998 y 2001 son similares), entre; (ii) los coeficientes exigidos en las normas que tuvieron vigencia en los lapsos 1967-1982 y 1982-2001, para dos tipos de suelos, todos reconciliados a nivel cedente ($C_y/C_{odm} \approx 1,67$); a los fines de esta comparación, las diferencias en la caracterización de suelos tipo S1 y tipo S3 dadas en las versiones 1982 y 2001 de la norma, pueden ser obviadas.

Por tanto, en la Tabla 4.3 se dan los valores de Ψ (obtenidos como:

$$\Psi = (C_y)_{2001} / (C_y)_{\text{lapso indicado}} \quad (4.1)$$

TABLA 4.1
CRITERIOS PREDOMINANTES EMPLEADOS PARA EL DISEÑO
DE ESTRUCTURAS PORTANTES DE CONCRETO ARMADO

AÑO	NORMAS DE DISEÑO (2)	NORMAS DE CARGAS (2) SÍSMOS; (VIENTO); [PAREDES]
< 1947	Estudios sobre Normas del MOP, 1939. Normas para la construcción de edificios del año 1945; Manual de Cálculo de Edificios, 1945.	MOP 1939
1947-1955	MOP 1947/Cap 5 "Construcciones de Concreto Armado"	MOP 1947/Cap 2/Art. 6 (MOP 1947/Cap 2/Art. 5)
1955-1963	MOP 1955 Parte I/Cap II "Concreto Armado"	MOP 1955/Part II/Cap II/Art. 7 (MOP 1955/Part II/Cap II/Art. 6) [MOP 1955/Part III/Cap I/Art. 9]
1963-1967		
1967-1971	«Normas para el Cálculo de Estructuras de Concreto Armado para Edificios. Teoría Clásica MOP-1967»	ACI 318-63 (Teor. Clás.)
1971-1977		ACI 318-71 //Apénd. A
1977-1982		ACI 318-77 //Apénd. A
1982-1985		ACI 318-83 //Cap. 21
1985-1989	COVENIN 1753-81 //Cap 18	COVENIN 1756-82 (COVENIN 2003-86)
1989-1995	COVENIN 1753-85 //Cap 18 (1)	ACI 318-89
1995-1998		ACI 318-95
1998-2001		COVENIN 1756-98
2001-		COVENIN 1756-2001

Notas: (1) Nueva versión presentada en 2003, actualmente en tramitación ante SENCAMER.

(2) Véanse las Referencias: 1,6,7,8,17,18,19 y 20.

TABLA 4.3
COCIENTE (Ψ) ENTRE
COEFICIENTES SÍSMICOS
DE DISEÑO PARA
EDIFICACIONES COMUNES
(Grupo B), EXIGIDOS POR
LA NORMA 2001, Y LOS
EXIGIDOS DURANTE LOS
LAPSOS INDICADOS (1)

Notas: (1) Válido para edificaciones de concreto armado Tipo I, entre 4 y 20 niveles, ubicadas en los dos tipos de suelos indicados; los valores de D empleados son los de la Tabla 4.2.

(2) Según zonificación de la Norma COVENIN 1756-2001.

NÚMERO DE NIVELES (Período Fundamental Asignado)	CARACAS (Zona Sísmica 5) (2)				CUMANÁ (Zona Sísmica 7) (2)			
	1967-1982		1983-2001		1967-1982		1983-2001	
	Suelo S1	Suelo S3	Suelo S1	Suelo S3	Suelo S1	Suelo S3	Suelo S1	Suelo S3
4 a 6 (0,6 seg.)	1,69	1,67	1,02	1,14	2,26	2,23	1,36	1,52
9 a 11 (1,0 seg.)	0,99	1,56	1,00	1,10	1,30	2,08	1,34	1,46
14 a 16 (1,4 seg.)	0,69	1,09	1,00	0,91	0,99	1,46	1,34	1,22
18 a 20 (1,7 seg.)	0,69	1,10	1,00	1,03	0,90	1,47	1,34	1,37

TABLA 4.2
VALORES DEL FACTOR D ASIGNADO A SISTEMAS ESTRUCTURALES APORTICADOS DE CONCRETO ARMADO

D **CRITERIO DE ASIGNACIÓN**

4 a 6 El máximo valor del factor de reducción de las ordenadas espectrales que aceptan las normas es: $1/D = 1/6$. Los valores anotados se asignan cuando se cumplen todos los requerimientos del Capítulo 18 de la norma COVENIN 1753-1985 (6 ACI 318-1983 en adelante); estos requerimientos son de obligatorio cumplimiento para el diseño en zonas donde se anticipan sismos intensos.

2.5 a 4 Cuando se cumplen requerimientos similares a los establecidos en la Norma Sísmica provisional (MOP, 1967).

1 a 2.5 Cuando en el diseño no se han incorporado detalles de armado que contribuyan a la capacidad sismorresistente del diseño final; depende de la fecha del proyecto (anteriores a 1967).

donde: $C_y = \mu S_0/D$ (4.2)

μ = Factor de modificación de cortantes correspondiente al período fundamental T_0 y al tipo de suelo indicado;

S_0 = Ordenada espectral para el período fundamental T_0 y el tipo de suelo indicado;

T_0 = Período fundamental estimado con las fórmulas de la norma;

D = Valores de la Tabla 4.2.

Con los criterios de la Tabla 4.1 y valores asignados según la Tabla 4.2, en las Figuras 4a y 4b se ilustran los cambios cuantitativos de los coeficientes sísmicos de diseño que resultan para dos grupos de edificaciones de concreto armado: 1 nivel en suelos tipo S1 y 10 niveles en suelos tipo S3.

4.3 Nuevas exigencias normativas

Además de los incrementos en los cortantes que se constatan en la Tabla 4.3, la información globalizable anotada más arriba justifica nuevas exigencias de análisis ya incorporadas en las normas sísmicas más modernas. Así, las penalizaciones por irregularidades tanto en planta como en elevación, la superposición de los efectos de los dos componentes ortogonales horizontales y los correspondientes efectos torsionales, el número de niveles y la eventual flexibilidad de los pisos (diafragmas), pueden modificar los métodos exigidos de análisis desde los más conocidos hasta otros de mayor rigor para poder tomar en cuenta las situaciones citadas.

Interesa destacar aquí los muy desfavorables efectos que han tenido las configuraciones irregulares, tanto en planta como en elevación, en la respuesta dinámica de edificios de cualquier altura. De allí que en la nueva Norma COVENIN 1756-2001, solo se consideran regulares aquellas edificaciones que no están tipificadas como irregulares en la Sección 6.5.2 de esa norma. En la Tabla 4.4 se sintetiza la caracterización de tales irregularidades.

4.4 Vulnerabilidad y acciones de mitigación

El desfase de la Normativa con la realidad reflejada en análisis que pasan a

FIGURA 4a Y 4b

Cambios en los coeficientes sísmicos de diseño para edificaciones de concreto armado ubicadas en Cumaná, con arreglo a las normas e hipótesis indicadas en el texto:

(a) 1 nivel, suelos tipo S1;

(b) 10 niveles, suelos tipo S3.

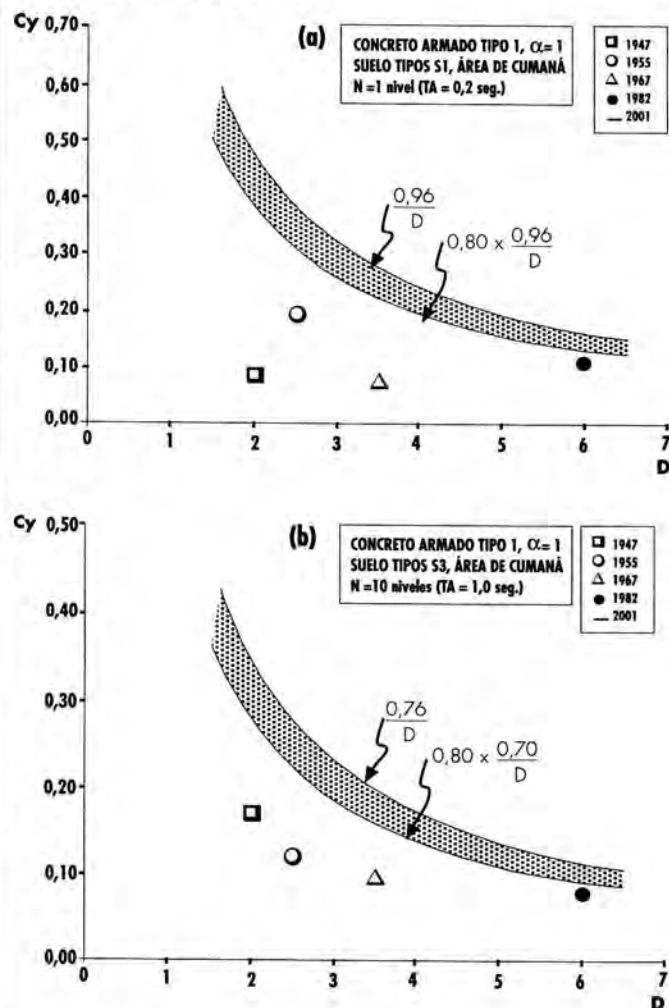


TABLA 4.4
CARACTERIZACIÓN DE IRREGULARIDADES EN ALGUNA DE
LAS DIRECCIONES PRINCIPALES DE LA EDIFICACIÓN (1)

IRREGULARIDADES VERTICALES	IRREGULARIDADES EN PLANTA
1. Entrepiso blando 2. Entrepiso débil 3. Distribución irregular de masas de uno de los pisos 4. Aumento de las masas con la elevación 5. Variación en la geometría del sistema estructural 6. Esbeltez excesiva 7. Discontinuidad en el plano del sistema resistente a cargas laterales (3 casos posibles) 8. Falta de conexión entre miembros verticales 9. Efecto de columna corta	1. Gran excentricidad 2. Riesgo torsional elevado (2 casos posibles) 3. Sistema no ortogonal 4. Diafragma flexible (5 casos posibles)

Nota: (1) Según la Sección 6.5.2 de la Norma COVENIN 1756-2001.

ser obsoletos comparados con los vigentes y el empleo de fuerzas cortantes hasta más de 2 veces menores que las vigentes, según se muestra en la Tabla 4.3, puede conducir a situaciones críticas.

Es el caso del edificio Miramar de Cumaná, que alcanzó el estado de ruina debido al terremoto de Cariaco de julio de 1997, con irreparables pérdidas de vidas. Aún con las limitaciones de información que se han señalado en el contenido de la memoria de cálculo de esa edificación (Ref 13), los resultados del análisis detallado que se presentan en esa misma referencia demuestran que su desempeño, estrictamente, no es imputable al incumplimiento de la Norma vigente para el momento en que fue proyectado: la estructura estaba en capacidad de resistir coeficientes sísmicos que exceden los exigidos en esa Norma de 1967 y, de los análisis hechos, se infiere que el movimiento asociado a los coeficientes de la Norma muy probablemente fue excedido. Treinta años antes, en julio de 1967, se alcanzó una conclusión similar sobre la mayoría de los edificios que sufrieron daños estructurales graves o que también alcanzaron el estado de ruina en Caracas y Caraballeda, con la pérdida de más de 300 vidas; así fue reconocido por las más altas autoridades que evaluaron ese caso,

evidenciado por la celeridad con la cual se modificó la norma vigente para ese momento (Ref 19). Podrían citarse aquí situaciones comparables en otros sismos catastróficos de los últimos años ('información globalizable'); baste recordar el terremoto de México de septiembre de 1985, donde la principal diferencia con los dos sismos venezolanos recién citados, es la de que el total de víctimas se estimó en más de 7 mil y el número de edificios altos arruinados se acercó a las 3 centenas.

De la revisión anterior se puede afirmar que: (a) los sucesivos cambios de normas sísmicas sucedidos en Venezuela desde 1967 hasta el 2001 han resultado en el incremento progresivo de las sollicitaciones sísmicas de diseño hasta más del doble, salvo en ciertos rangos de alturas; (b) a partir del año 1982, en las normas de diseño se incorpora el efecto de los depósitos de suelos blandos, similares a los que predominan, por ejemplo, en la planicie del río Manzanares; con anterioridad, este efecto no era reconocido en las normas venezolanas; (c) si bien a partir de 1967 se incorporan prescripciones normativas destinadas a incrementar la capacidad de absorción y disipación de energía de las estructuras de concreto armado (el "nodo sísmico"), no es sino hasta 1982 cuando se establece una relación explícita entre las fuerzas de diseño y el detallado del refuerzo; (d) el efecto desfavorable de configuraciones irregulares, expresamente penalizadas en las normas más recientes, era ignorado en documentos ya obsoletos como por ejemplo la Norma de 1967.

De las observaciones anteriores se desprende la recomendación general de proceder a revisiones, inicialmente cualitativas, sobre edificaciones existentes de varias plantas, proyectadas y diseñadas con normas obsoletas, especialmente si presentan irregularidades como las que se anotan en la Tabla 4.4 y se encuentran fundadas en suelos blandos (tipo S3); el resultado de esas evaluaciones cualitativas señalará la conveniencia de continuar con análisis más detallados. En la Tabla 4.5 se sintetizan los criterios recién propuestos; la inclusión del suelo tipo S2 se fundamenta en una argumentación similar a la presentada para la Tabla 4.3.

■ 5/ EVENTUALES LIMITACIONES DEL CRECIMIENTO URBANO DE CUMANÁ

5.1 Sismos

Desde 1898 se han publicado unos 20 mapas con la zonificación sísmica de

TABLA 4.5

CRITERIOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO QUE PUEDEN REQUERIR ESTUDIOS MÁS DETALLADOS CON BASE EN LA CALIFICACIÓN CUALITATIVA DE LA VULNERABILIDAD A SISMOS

CONFIGURACIÓN EN PLANTA Y/O EN ELEVACIÓN	FECHA DEL PROYECTO					
	1967-1982			> 1982		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
REGULAR						
IRREGULAR						

Notas: Si = suelo Tipo Si, donde i = 1,2,3. Edificaciones que hayan sufrido daños en sismos anteriores se considerarán como de alto riesgo.

- Vulnerabilidad tolerable;
- Última prioridad de revisión;
- Requiere revisión;
- Revisión prioritaria.

Venezuela. En todos ellos, la región nor-oriental, incluida Cumaná, se califica como de máxima peligrosidad. En la Tabla 5.1 se comparan los cambios en 6 de los mapas más importantes. En el último de estos mapas, el de la Norma COVENIN 1756-2001, los movimientos máximos del terreno establecidos para la ciudad de Cumaná alcanzan 0,40g.

Este valor es similar al obtenido en la evaluación realizada en el marco del proyecto de investigación aplicada (Ref 10) que sustenta esta contribución y similares a los que fueron encontrados para esta ciudad en la Ref. 24. Por esas razones se estima que los valores de los movimientos máximos del terreno no deberían sufrir cambios importantes en futuras normativas.

5.2 Maremotos y marejadas

Aún cuando el mecanismo generador de este problema en las costas de Cumaná es mal conocido, en forma aproximada se han identificado las áreas costeras que resultaron afectadas por eventos históricos. Tomando esa información como base, la costa de Cumaná entre el norte de San Luis y El Peñón se considera amenazada por oleajes o marejadas de cierta altura. Como criterio general de prevención, y tomando en consideración criterios establecidos en localidades del Pacífico como El Callao, Arica, Tumaco y otros, se recomienda diferenciar: (a) áreas adyacentes a la línea de costa, y

TABLA 5.1

CAMBIOS EN LA ASIGNACIÓN DE LA PELIGROSIDAD SÍSMICA DE LA CIUDAD DE CUMANÁ, ESTADO SUCRE

DOCUMENTO TÉCNICO	AÑO	CALIFICACIÓN DE PELIGROSIDAD SÍSMICA	REFERENCIA
Zonificación basada solo en descripciones de los efectos macrosísmicos conocidos para la fecha	1898	Máxima entre 4 zonas	Montessus (1898)
	1947	Máxima entre 3 zonas	MOP (1947)
	1955	Máxima entre 3 zonas	MOP (1955)
	1967	Máxima entre 4 zonas	MOP (1967)
Zonificación basada en análisis probabilísticos e información macrosísmica	1982	0,30g	COVENIN 1756-82
	2001	0,40g	COVENIN 1756-2001

Nota: Véanse las Referencias: ó, 9, 18, 19, 20 y 22.

(b) áreas alejadas de esa línea; a su vez, es preciso distinguir las zonas no urbanizadas de aquellas urbanizadas. De este modo se pueden diferenciar los siguientes cuatro niveles de riesgo: (1) Riesgo Elevado: áreas en las cuales se esperan daños importantes en las edificaciones, pérdida de bienes, y riesgo de víctimas y heridos; (2) Riesgo Moderado: algunos daños en edificaciones y en bienes materiales; el riesgo de víctimas y heridos es bajo; (3) Riesgo Bajo: similar a los efectos de una marejada; pérdidas materiales muy limitadas; el riesgo de víctimas y heridos se considera remoto; (4) Riesgo Despreciable: efectos despreciables por eventuales incursiones aisladas del agua.

Para la zonificación de los riesgos anteriores en el caso particular de Cumaná, una orientación sobre las áreas críticas resulta de la aplicación de los criterios antes referidos según el esquema de la Tabla 5.2. En la Figura 5 se presenta un mapa de Cumaná en donde se indican las áreas afectadas por maremotos en el período 1530-2000.

5.3 Inundaciones y deslaves

En la calificación de la peligrosidad ante inundaciones y deslaves se ha seguido el mismo criterio aplicado por el Instituto de Mecánica de Fluidos de la UCV (IMF) para la elaboración del mapa de riesgo del Avila (vertiente

FIGURA 5
ÁREAS DE CUMANÁ AFECTADAS
POR MAREMOTOS SEGÚN
DESCRIPCIONS CONOCIDAS;
1530-2000

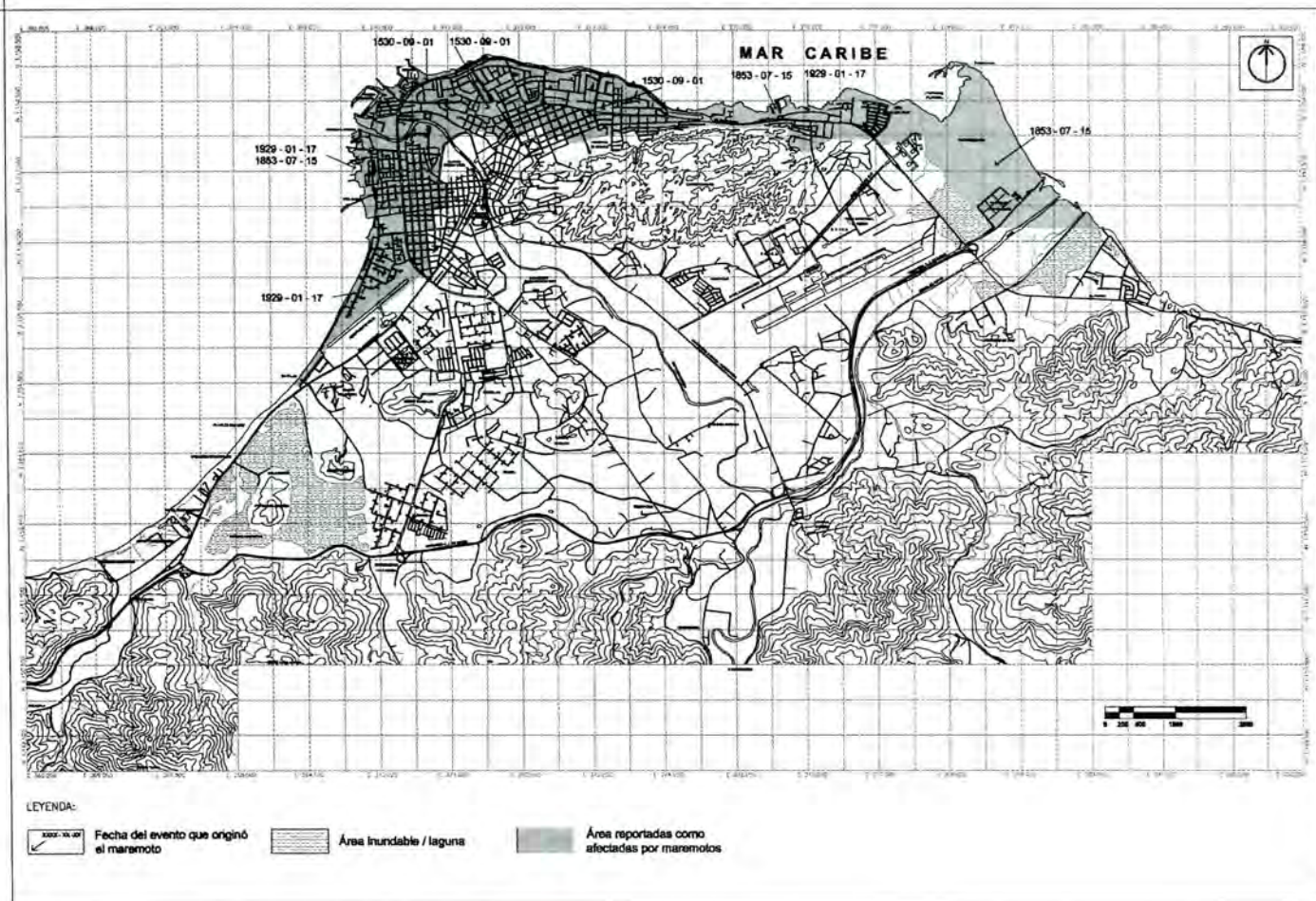


TABLA 5.2
CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN PRELIMINAR
DEL RIESGO ASOCIADO A MAREMOTOS Y MAREJADAS

	ÁREAS NO URBANIZADAS	ALGÚN URBANISMO	DENSAMENTE URBANIZADO
Adyacente a la línea de costa	Riesgo elevado	Riesgo elevado	Riesgo elevado
Entre 70 y 100m de la línea de costa	Riesgo moderado	Riesgo bajo	Riesgo bajo
Más de unos 100m de la línea de costa	Riesgo bajo	Riesgo despreciable	Riesgo despreciable

TABLA 5.3
CRITERIOS PARA ESTABLECER LA PELIGROSIDAD EN ÁREAS URBANAS, APLICADO EN LA PREPARACIÓN DE LOS MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN O DESLAVES (Textos de la Ref 13)





	PERSONAS	RIESGO URBANO	EDIFICACIONES
 Peligrosidad Alta	En peligro: tanto fuera como dentro de viviendas y edificios	Zona de prohibición	Daños y destrucción repentina en algunos casos
 Peligrosidad Media	En peligro fuera de viviendas y edificios	Zona de reglamentación	Pueden sufrir daños pero no destrucción repentina si están adaptadas
 Peligrosidad Baja	Peligro débil ó inexistente	Zona de 'sensibilización'	Daños leves, aún cuando pueden ser graves en el interior
 Peligrosidad Despreciable	No hay peligro		

TABLA 5.4
EFECTOS HIDROMETEOROLÓGICOS.
CRITERIOS PARA DEFINIR ZONAS DE AMENAZAS

EFFECTOS DE LA INUNDACIÓN	EFFECTOS DEL ALUD TORRENCIAL	CALIFICACIÓN DE LA PELIGROSIDAD SEGÚN LA TABLA 5.3
$H > 1,5 \text{ m}$ ó $vh > 1,5 \text{ m}^2/\text{s}$	$h > 1 \text{ m}$ ó $vh > 1 \text{ m}^2/\text{s}$	
$0,5 \text{ m} < h < 1,5 \text{ m}$ ó $0,5 \text{ m}^2/\text{s} < vh < 1,5 \text{ m}^2/\text{s}$	$H < 1 \text{ m}$ ó $Vh < 1 \text{ m}^2/\text{s}$	
$H < 0,5 \text{ m}$ ó $vh < 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$	No se genera el fenómeno	

Periodo Medio de Retorno del efecto indicado (años): **10 100 500 >>500**

norte y sur) (Ref 14). De acuerdo con el IMF se adoptaron los cuatro niveles de peligrosidad que se dan en la Tabla 5.3, siguiendo los criterios establecidos en el proyecto PREVENE (Ref 4) anotados en la Tabla 5.4; en esta tabla h denota la altura de inundación en metros y v la velocidad del agua en m/seg.

Estos criterios fueron empleados por el IMF para establecer la peligrosidad de áreas urbanas con períodos de retorno de 100 años y aplicado en la preparación de los mapas de riesgo por inundación o deslaves.

En los correspondientes mapas de las cuencas de las vertientes de la cordillera de la costa, hay extensas áreas ocupadas por viviendas formales e informales, calificadas como de peligrosidad alta.

El calificativo de peligrosidad de la Tabla 5.3 es consecuencia de la aplicación de los criterios, identificados por su color, que se dan en la Tabla 5.4; en ésta se distinguen los efectos de "inundación" de los correspondientes a "alud torrencial". Para el diseño de los canales de alivio, según la Ref 15 se han seleccionado eventos con períodos medios de retorno de 100 años.

5.4 Áreas con restricciones para el desarrollo urbano

Desde el punto de vista de su geología, geomorfología, geotecnia y amenazas naturales, en la planicie donde se ha desarrollado Cumaná se han identificado cinco grandes áreas con ciertas restricciones:

(a) **Cerro Caigüire:** Aparte de otros cerros de menor extensión, alguno de ellos ya urbanizado como el que ocupa parte de la UDO, el cerro Caigüire tiene una superficie en planta del orden de unas 500 a 550 ha, de las cuales aproximadamente un 15 a 20% se pueden considerar urbanizadas. Por su relieve, geología y fallamiento, una parte sustancial de este accidente natural requiere importantes obras de infraestructura y precauciones especiales para adecuarlo como área urbanizable.

(b) **Planicie de Desborde del Río Manzanares:** Esa planicie de desborde alrededor del río Manzanares, desde Guatacaral al sur hasta la Boca al noroeste de la ciudad, es del orden de 800 ha, de las cuales entre un 25 a un 30% se encuentra urbanizada, mas densamente hacia el casco histórico y la Boca.

(c) **Áreas Potencialmente Licuables:** Estas están predominantemente urbanizadas y tienen una extensión total que no alcanza 100 ha.

(d) **Áreas Inundables en la Margen Derecha del Canal de Alivio:** El área total bajo riesgo de crecientes asociadas a períodos medios de retorno de unos 50 a 100 años, se ha estimado entre 100 y 125 ha.

(e) **Áreas de Manglares y Zonas Anegadizas:** Entre las áreas correspondientes a la laguna Los Patos y las de los manglares de Punta Baja, se estima una extensión total del orden de 550 a 600 ha.

De lo anterior se desprende que, al total de 7.000 ha, deben sustraerse: 2.100 ha ya urbanizadas, las áreas correspondientes al aeropuerto y un área del orden de 2.000 ha con restricciones para futuros desarrollos. Restan por tanto unas 2.000 a 2.500 ha de terrenos sin mayores restricciones las cuales, descontando áreas de circulación, tienen capacidad para una población de más de 200 mil habitantes con baja densidad de ocupación (150 hab/ha).

Aún cuando se ignoran aquí otras variables urbanas que escapan al alcance de estas consideraciones, los órdenes de magnitud de las evaluaciones anteriores permiten explorar alternativas de planificación urbana con una baja densidad urbana. Esto permitirá considerar, en ciertas áreas, eventuales limitaciones en el crecimiento vertical de las edificaciones, sin afectar el desarrollo de la ciudad.

6/ CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Entre las conclusiones y recomendaciones relevantes sobre la *amenaza sísmica* destacan las siguientes: (1) en los últimos 35 años se desarrolla la Ingeniería Sísmica de edificios altos, lo cual ha repercutido en sustanciales modificaciones de las correspondientes normativas de diseño; (2) en ese lapso, la población de Cumaná pasa de 100 mil a 300 mil habitantes; (3) tal crecimiento favorece soluciones habitacionales multipisos que, al igual que en muchas otras ciudades del país, no siempre satisfacen los requerimientos normativos más recientes; (4) en este trabajo se establecen criterios para facilitar la identificación de edificaciones que requieren evaluaciones sísmicas más detalladas; (5) la concordancia de los movimientos máximos del terreno con fines de diseño establecidos en la norma vigente, con los resultados de estudios recientes sobre la amenaza sísmica del área de Cumaná, permite adelantar que no son de esperar cambios apreciables en el futuro; (6) aún cuando los mecanismos de generación de maremotos en el área son mal conocidos, se recomiendan criterios generales de tipo preventivo.

Con relación a los *problemas de origen hidrometeorológico*, se retienen aquí las cuatro conclusiones siguientes: (a) hecho un levantamiento topográfico del canal de desvío del río Manzanares, las evaluaciones cuantitativas revelan que el dique está en capacidad de cumplir sus funciones para caudales con períodos medios de retorno en exceso de unos 6 mil años, lo cual minimiza el riesgo de inundaciones catastróficas aguas abajo del dique; (b) con la información disponible, áreas de la margen derecha del canal pueden quedar bajo las aguas del río con crecientes esperadas cada 50 a 100 años; se dan los criterios empleados en las vertientes del Ávila para establecer niveles de peligrosidad por inundaciones o deslaves; (c) información recabada sobre un total de 27 eventos hidrometeorológicos sucedidos entre 1541 y 1999 no se considera concluyente para un pronunciamiento sobre el riesgo de vientos huracanados en el área urbana

de Cumaná; (d) la distribución de velocidades máximas de viento, con los datos disponibles en el lapso 1984-2001, confirma las velocidades máximas para el diseño contra viento dadas en la Norma COVENIN correspondiente (Ref 8); por el escaso número de años del lapso de registros, esta conclusión puede sufrir cambios.

Por último, en este trabajo se anotan áreas con algunas *restricciones derivadas de las amenazas naturales* para el desarrollo urbano. Se concluye que la ciudad prácticamente puede duplicar su población actual, manteniendo una densidad habitacional relativamente baja, de unos 150 hab/ha; por tanto, a las tasas de incremento de población actual, el crecimiento urbano a lo largo de este siglo puede planificarse con arreglo a estrategias de desarrollo urbano que incorporen limitaciones en la altura de las edificaciones. Esta conclusión ignora la consideración de otras variables urbanas que escapan al alcance de este trabajo. Se recomienda elevar estas conclusiones, así como los mapas elaborados en la Ref 10, a las Comisiones del estado Sucre que elaboran el Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad.

BIBLIOGRAFÍA

1/ AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) 1983 <i>Building code requirements for reinforced concrete.</i> (318-83). Detroit, 1983.	6/ COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES 1982 <i>Edificaciones antisísmicas</i> Norma MINDUR-COVENIN 1756-82. Caracas, 67 p + comentarios.
2/ AUDEMARD F., et al. Comp. 2000 <i>Mapa de fallas cuaternarias de Venezuela.</i> International Lithosphere Program (ILP), escala 1:2.000.000, USGS, Dep. Int. USA.	7/ COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) 1985 <i>Prescripciones especiales para el diseño de elementos estructurales de edificaciones antisísmicas.</i> Capítulo 18 de la Norma COVENIN-MINDUR 1753-85. Caracas.
3/ AYALA I 1978 Estudio hidrológico integral de los ríos del Litoral central. INOS, Caracas, Enero.	8/ COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES 1986 <i>Acciones del viento sobre las construcciones</i> COVENIN 2003. Fondonorma, Caracas, 48p. + comentarios.
4/ BASABE P., NEUMANN A. y SINGER A. 2001 <i>Proyecto PREVENE. Aporte a la prevención de desastres 'naturales' en Venezuela.</i> Cooperación Venezuela-Suiza-PNUD, Agosto 2000-Mayo 2001, Caracas.	9/ COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES 2001 <i>Edificaciones sismorresistentes</i> Norma COVENIN 1756. Fondonorma, Caracas, 71p + comentarios.
5/ CHEN CH. y PICOUET M. 1979 <i>Dinámica de la población. Caso de Venezuela.</i> UCAB-ORSTOM, Dep. Leg., 79-1215, Caracas, 735p.	

<p>10/CORAL 83</p> <p>2002</p> <p><i>Mitigación y Prevención de Amenazas Naturales en Cumaná, Estado Sucre.</i> Informe Final para la Gobernación del Edo. Sucre. 2 vol., Caracas, Diciembre.</p>	<p>14/ INSTITUTO DE MECÁNICA DE FLUIDOS (IMF)</p> <p>2002</p> <p><i>Mapas de amenaza por aludes torrenciales para las quebradas de las vertientes norte y sur del macizo Ávila.</i> Facultad de Ingeniería UCV, 3 tomos, Mayo, Caracas.</p>	<p>19/ MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP)</p> <p>1955</p> <p><i>Normas para el Cálculo de Edificios,</i>(Acción de los movimientos sísmicos). Caracas, Tipografía Italiana, pp 164-171. /Primera edición, impresa en 1959/.</p>	<p>23/ PORRERO J., RAMOS C., GRASES J. y VELAZCO G.</p> <p>2004</p> <p><i>Manual del Concreto Estructural,</i> SIDETUR. ISBN:6403-66-5, Caracas, 503p.</p>
<p>11/ FRANCESCHI L.</p> <p>2000</p> <p>"Hidrología e Hidráulica". En: <i>Efectos de las lluvias caídas en Venezuela en Diciembre de 1999,</i> Cap 6. CAF, PNUD, Caracas.</p>	<p>15/ LOPEZ J.L.</p> <p>2001</p> <p>"Reflexiones sobre la tragedia de Vargas". <i>Diario El Nacional,</i> Caracas, 19 de Diciembre.</p>	<p>20/ MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP)</p> <p>1967</p> <p><i>Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas.</i> Caracas, 18 p + mapa.</p>	<p>24/ QUIJADA P., GAJARDO E., FRANKE M., KOZUCH M. J. y GRASES J.</p> <p>1993</p> <p>"Análisis de la Amenaza Sísmica de Venezuela para el Nuevo Mapa de Zonificación con fines de Ingeniería". <i>Memorias VIII Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmica y 1 Jornadas Andinas de Ingeniería Estructural,</i> Mérida, Vol II, p. s92 - s101.</p>
<p>12/ GRASES J.</p> <p>2003</p> <p>"Una revisión de la trayectoria del huracán que afectó el oriente de Venezuela en Junio de 1933". En prensa: <i>Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales,</i> Caracas.</p>	<p>16/ MALAVER, A. y BARREIRO, M.</p> <p>1999</p> <p>"Daños causados por el Terremoto de Cariaco del 9 de Julio de 1997". <i>Memorias del VI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica,</i> Mérida, Venezuela.</p>	<p>21/ MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES (MARNR)</p> <p>1979</p> <p><i>Atlas de Venezuela.</i> Mapa de isoyetas, p. 192, Dirección de Cartografía Nacional, Caracas.</p>	<p>25/ RÖHL E.</p> <p>1945</p> <p>"Climatología de Venezuela". <i>Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales,</i> IX (27):169-243, Caracas.</p>
<p>13/ INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES (IMME)</p> <p>1998</p> <p><i>Evaluación sismorresistente de las edificaciones derribadas durante el sismo de Cariaco del 09-07-1997.</i> Informe IMME, N° 209209, Agosto 1998, 251 p. + anexos.</p>	<p>17/ MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP)</p> <p>1939</p> <p><i>Normas para el Cálculo de Edificios.</i> Ministerio de Obras Públicas, Caracas.</p>	<p>22/ MONTESSUS DE BALLORE F.</p> <p>1898</p> <p>« L'Amérique Centrale et l'Amérique du sud Sismiques ». <i>Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate,</i> XI: 34, pp 263-277, México.</p>	
	<p>18/ MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP)</p> <p>1947</p> <p><i>Normas para el Cálculo de Edificios.</i> Ministerio de Obras Públicas, Imprenta Nacional, Caracas.</p>		