

a) Los daños en tabiquerías y paredes interiores, y en algunas exteriores, así como la frecuente fisuración de losas y vigas, reflejan una excesiva flexibilidad de buena parte de las estructuras soportantes.

b) Con frecuencia, la observación anterior tiene como agravante: (i) la debilidad de la tabiquería, en especial la que está constituida por bloques huecos hechos a base de un material similar a la piedra pómez, y (ii) su falta de vinculación a la estructura

c) La disposición de tabiques de fachada apoyados en voladizos, no enmarcados por la estructura, sin elementos de fijación a esta última, ha resultado en costosos daños y constituye una grave amenaza por el desprendimiento y caída libre de trozos de mampostería desde alturas considerables

) Las edificaciones en esquina, con sus fachadas no visibles ciegas (sin aberturas), o con pocas aberturas, han sufrido daños por torsión como consecuencia de excentricidades entre los centros de masa y los centros de rigidez. En por lo menos dos casos, la rotación impedida en los niveles inferiores debido al adosamiento de edificaciones de menor altura, trasladó los efectos desfavorables de la citada excentricidad a los pisos superiores.

e) En relación a los materiales: (i) no se dispone de resultados de ensayos a la compresión de concreto; sin embargo ocasionalmente se han constatado defectos localizados en su ejecución; (ii) en algunas columnas fisuradas se ha constatado la presencia de focos avanzados de corrosión, probablemente por uso indebido de arenas con contenidos inadmisibles de cloruros; (iii) los resaltos de las barras corrugadas parecen adecuadas.

f) La pérdida del recubrimiento hacia los extremos de las columnas ha sido relativamente infrecuente. En alguno de estos casos, la separación de estribos constatada, resulta inadecuada para lograr el confinamiento del concreto y evitar el pandeo por compresión de la armadura principal

g) Probablemente por razones estéticas, es frecuente el empleo de grandes espesores de recubrimientos y de embonados, con lo cual: (i) se incrementa innecesariamente la carga permanente, y (ii) se incrementan los daños no estructurales como consecuencia de la fragilidad propia de esos materiales.

h) La frecuente disposición de piscinas a nivel de planta baja o en el primer nivel, en general no parece haber sido un agravante en los daños constatados. De acuerdo a las informaciones recabadas, parece ser que en el caso particular del edificio que alcanzó el estado de ruina total (Edificio Calipso), de las tres columnas existentes en la fachada norte (dirección de la caída), la altura libre de las dos columnas adyacentes a la piscina difería sustancialmente de la tercera. La eventual falla de las dos columnas más cortas, es compatible con el estado final de la edificación.

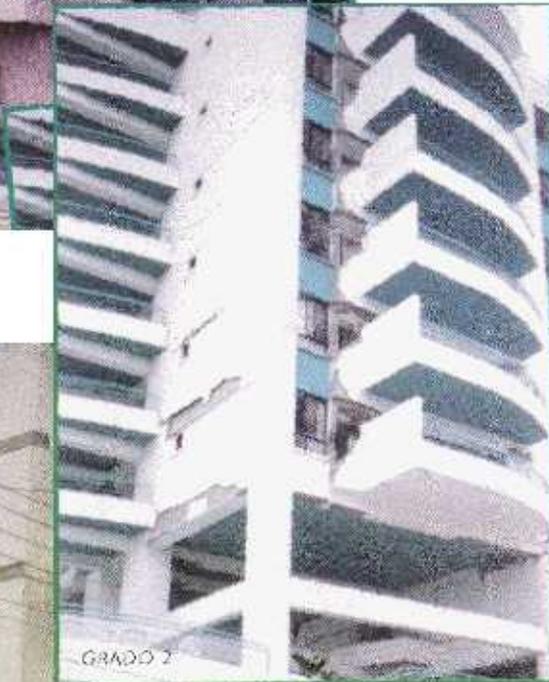
i) Los cambios bruscos o reducciones de rigidez, especialmente en los pisos superiores, han dado lugar a colapsos parciales por razones bien conocidas propias de la respuesta dinámica de estructuras.

INTENSIDAD DE LOS DAÑOS EN LAS EDIFICACIONES



Para calificar en forma subjetiva la intensidad de los daños constatados en la edificaciones inspeccionadas, se ha seleccionado una escala de cuatro Grados de Daño, cuya descripción es la siguiente:

GRADO 0 No daños visibles; fisuración incipiente y daños menores en la tabiquería. Estructura portante esencialmente no dañada



GRADO 1 Daños generalizados en la tabiquería, caída y/o desprendimiento de trozos de paredes; daños menores en la estructura portante, fácilmente reparables.

GRADO 2 Destrucción de la tabiquería, volcamiento o grandes roturas en las paredes divisorias y algunos daños estructurales.

GRADO 3 Daños importantes en los elementos estructurales que ameritan reparaciones y eventualmente su demolición. Edificios colapsados

Adicionalmente se ha establecido un Porcentaje de Afectación caracterizado por el cociente entre el número de niveles con Grado de Daño 1, 2 ó 3, y el número total de niveles.

Tanto el Grado de Daño como el Porcentaje de Afectación, se anotan en cada caso particular en el Anexo Documental No 1, para un total de 31 edificaciones. Con la información reportada en ese anexo se han construido las figuras 6.1 a 6.4



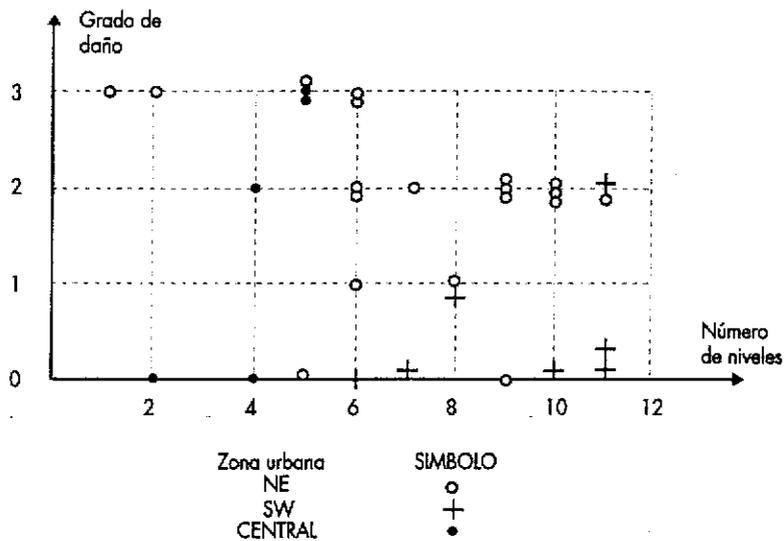


FIGURA 6.1 Grados de daño en función del número de niveles y el área urbana de Bahía

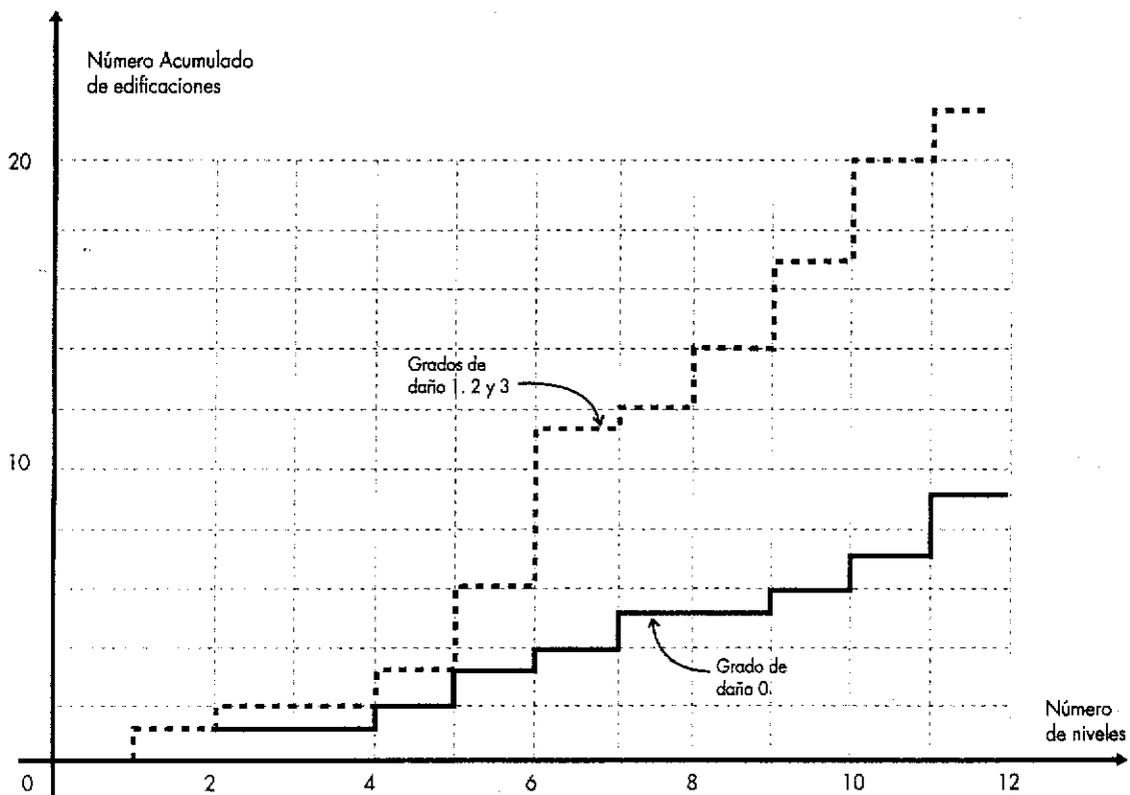
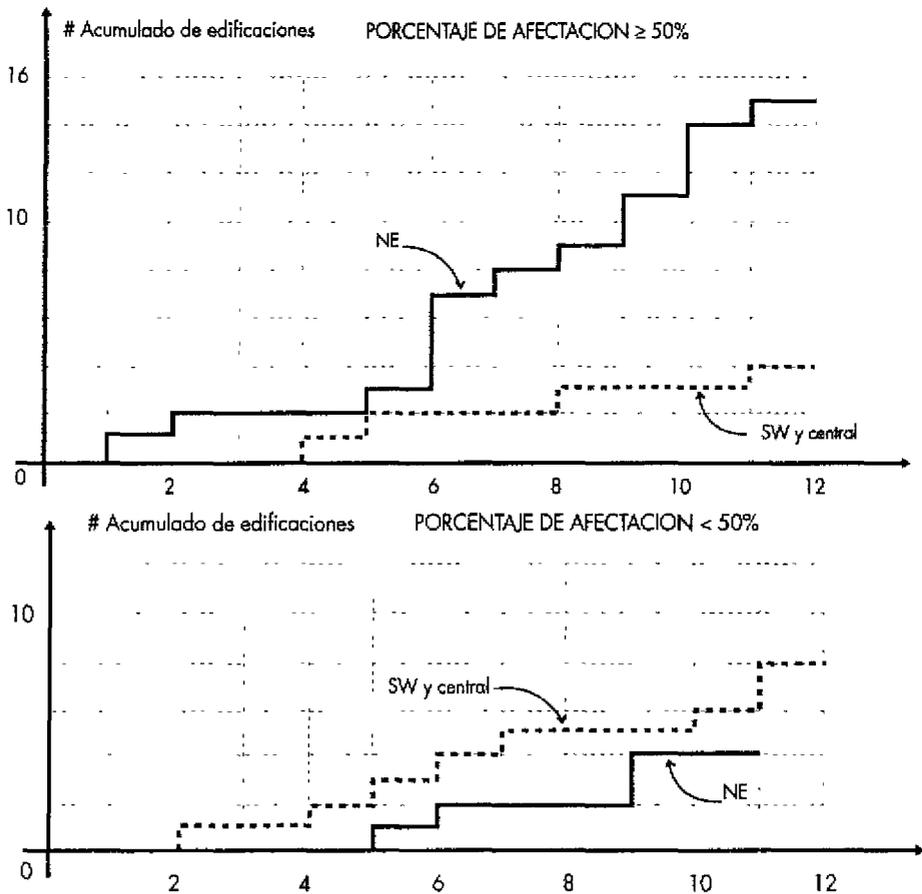
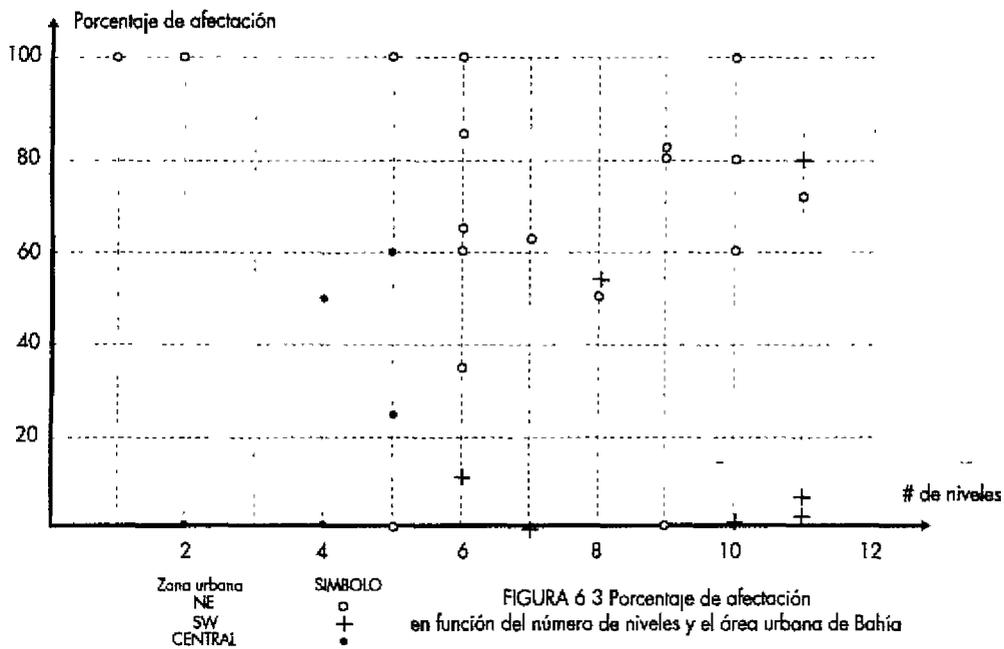


FIGURA 6.2 Número acumulado de edificaciones según el nivel de daño



DISTRIBUCION DE GRADOS DE DAÑO

Los 31 casos de la Figura 6.1 se distribuyen en la forma que se da en la Tabla 6.2. De esta tabla se desprenden las siguientes observaciones:

- En 22 de los 31 casos (71%) se alcanzaron daños importantes (Grados de daño 1, 2 y 3), 77% de los casos se encontraban ubicados en la denominada zona NE. Los casos de ruina total y/o reparaciones estructurales antieconómicas están predominantemente en esa zona.
- Del total de 9 edificaciones con Grado de Daño asignado 0,2 (22%) se encuentran en la zona NE, 2 en la zona centro y el resto (55%) se encuentran en la zona SW.
- En 15 de las 19 edificaciones (79%) ubicadas en la zona NE, en su gran ma-

yoría con 6 o más niveles, se asignó el Grado de Daño 2 y 3; en 5 de ellas (26%) el Grado de Daño es 3. Esto último contrasta con la observación hecha en la zona SW en la cual de 7 edificaciones, con al menos seis niveles, sólo 1 (14%) alcanzó el Grado de Daño 2.

Tabla 6.2
DISTRIBUCION DE GRADOS DE DAÑO EN EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO Y MAMPOSTERIA EN EL AREA DE BAHIA

AREA	GRADO DE DAÑO				TOTAL
	0	1	2	3	
NE	2	2	10	5	19
SW	5	1	1	0	7
CENTRO	2	0	1	2	5
TOTAL	9	3	12	7	31

De lo anterior, se infiere que si bien el desempeño observado, es una medida esencialmente cualitativa, las características de la acción sísmica para las edificaciones de por lo menos seis niveles, en el área denominada NE parecen haber sido desfavorables en los valores de sus ordenadas espectrales que las ubicadas en la zona SW.

En la Figura 6.2 se observa que, independientemente de la zona urbana, en edificaciones altas los Grados de Daño 1, 2 y 3 son más frecuentes; esta figura está obviamente influenciada por el predominio de edificaciones altas en la zona NE.

PORCENTAJE DE AFECTACION

El cociente entre: el número de niveles de la edificación en los cuales se alcanzaron Grados de Daño 1, 2 ó 3 y el número total de niveles

se ha denominado Porcentaje de Afectación. De acuerdo a los valores que se dan en el Anexo Documental No. 1 se ha construido la

Figura 6.3. Los 31 casos presentados en esa figura se pueden sintetizar en la forma que se da en la Tabla 6.3 y en la Figura 6.4.

Tabla 6.3
DISTRIBUCION DE LOS PORCENTAJES DE AFECTACION SEGUN EL AREA URBANA DE BAHIA

PORCENTAJE DE AFECTACION	NUMERO DE EDIFICACIONES			
	NE	SW	CENTRAL	TOTAL
> 50%	15	2	2	19
> 10% y < 50%	2	1	1	4
< 10%	2	4	7	8
TOTAL	19	7	5	31

Es fácil constatar que los porcentajes de afectación de las edificaciones ubicadas en el área NE son sensiblemente mayores que los correspondientes a las otras dos áreas urbanas estudiadas.

Aspectos *Arquitectónicos*

CRITERIOS ARQUITECTONICOS SISMO - RESISTENTES

La arquitectura tiene de hecho un rol de mucha responsabilidad en la dotación de características sísmo-resistentes en las edificaciones y sistemas de infraestructura, debiéndose mejorar sustancialmente su relación de trabajo y decisión con las demás profesiones, especialidades y disciplinas, como la geofísica, ingeniería estructural, eléctrica, sanitaria y medio ambiente

En el caso del terremoto de Bahía de Caráquez se evidenciaron serias deficiencias en la arquitectura y urbanismo sísmo-resistente:

a.- ASPECTOS DE URBANISMO Y PLANIFICACION URBANA

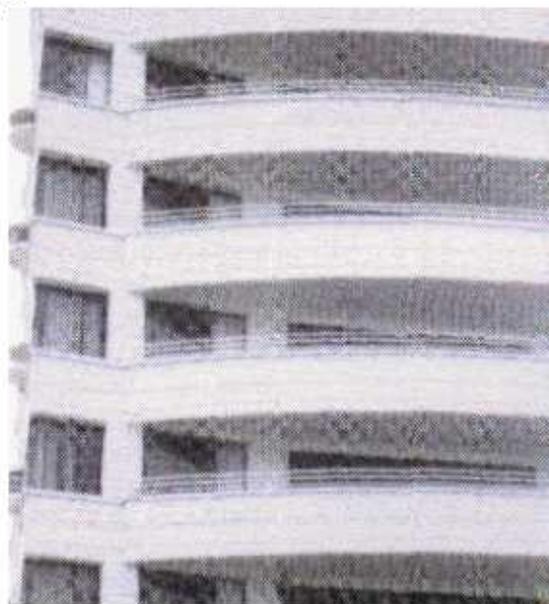
Los arquitectos urbanistas o las entidades de reordenamiento, planificación y desarrollo urbano que decidieron sobre la zona donde se implantaron los edificios en la ciudad, ignoraron el alto peligro sísmico de la zona y la historia del desarrollo del lugar en lo relativo a los suelos ganados al mar con características tales que, no favorecen un buen comportamiento estructural si no se los toman en cuenta de manera adecuada en el análisis y diseño estructural.

La planificación urbana de la ciudad de Bahía de Caráquez no tomó en cuenta estos aspectos por lo que no dictó regulaciones apropiadas, no sólo en lo referente a una zonificación urbana sino incluso requisitos más específicos a ser tomados en cuenta en el diseño y construcción.

Si se considera la posibilidad de otros eventos tales como maremotos o tsunamis, los efectos

de olas de gran tamaño causarían devastadores daños pues urbanamente, la ciudad no tiene ningún tipo de protección a este respecto. El escenario se agrava al comprobar que la mayoría de edificios tienen cimentaciones de tipo superficial y no profundo como pilotes o caissons.

Las autoridades municipales son las únicas que, a través de su oficina de planificación pueden establecer regulaciones que conduzcan a la reducción de la vulnerabilidad de las edificaciones e infraestructura de la ciudad. El financiamiento de los estudios que esto demande podría ser satisfecho por los propietarios a través de una adecuada política de valor predial con la participación de las Compañías de Seguros, pues desde el punto de vista privado son los primeros beneficiados de la implementación de regulaciones urbanas consistentes con nuestra realidad sísmica.



b.- EN LA PLANIFICACION, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE TODO TIPO DE EDIFICACIONES

La arquitectura sismo-resistente de edificaciones tiene la responsabilidad de estudiar y solucionar la interacción de todos los sistemas y subsistemas durante y después de un evento sísmico con el objeto de minimizar interacciones inadecuadas, que produzcan mucho daño no estructural ante sismos de servicio, o disminuyan la capacidad sismo-resistente del sistema estructural del edificio ante sismos de dañabilidad o colapso

Los arquitectos tienen, sin duda, un poder protagónico al ser los moderadores de todo el equipo técnico de profesionales involucrados en el diseño de sistemas y subsistemas, siendo el proyecto en su conjunto quien conduce a un diseño óptimo

El siguiente cuadro muestra como un edificio es un conjunto de sistemas y sub-sistemas interrelacionados en condiciones de servi-

SISTEMAS	SUBSISTEMAS
Arquitectónico	Formal, morfológico, funcional, circulación, etc.
Estructural	Cimentación, entrepisos, elementos estructurales, elementos de circulación vertical (rampas, ductos, escaleras, etc.)
Instalaciones	Eléctrico, mecánico, aire acondicionado, comunicación, subsistema de edificio inteligente, etc.
Sistema Constructivo	Subsistema estructural, albañilería, ventanería, muebles, revestimientos especiales, etc.

Sistema Constructivo Subsistema estructural, albañilería, ventanería, muebles, revestimientos especiales, etc.

Todos estos elementos interactúan durante una acción sísmica, estableciendo una buena capacidad sismo-resistente del edificio, si éste puede actuar con la rigidez, resistencia, ductilidad y sincronización simultánea, de tal manera que pueda llevar a un mínimo daño no estructural del edificio durante sismos de servicio y controlar daños estructurales durante sismos de dañabilidad y colapso

Es bien conocido que las fuerzas sísmicas en un edificio están estrechamente relacionadas con

su masa o peso y ésta a su vez depende del sistema constructivo empleado; que varían con la altura y número de pisos, que se distribuyen de acuerdo a la rigidez de columnas, muros y mamposterías cuya ubicación y tamaño influyen en efectos adicionales como la indeseada torsión en planta; que la regularidad estructural tanto en planta como en altura debe ser una característica básica tanto del sistema estructural como del arquitectónico en lo que se refiere a mamposterías y aberturas; sin embargo, éstas no fueron observadas convenientemente en la ciudad de Bahía de Caráquez mostrando graves deficiencias arquitectónicas sismo-resistentes, las mismas que se resumen a continuación





- Los sistemas constructivos empleados para solucionar los condicionantes arquitectónicos, fueron, en general, mucho más pesados de lo que se supuso como hipótesis de carga vertical. La mampostería construida utilizó mampuestos más pesados, por la falta de una industria eficiente en la zona.
- Debido a condicionantes arquitectónicos de confort ambiental los entresijos fueron de mayor altura, determinando que las mamposterías también sean más altas.
- La presencia de numerosas paredes curvas cuyas formas se consiguieron con rellenos de trozos de mampuesto y mortero en cantidades excesivas pues en el mercado no se disponía de mampuestos curvos, de esta manera, las mamposterías llegaron a tener un peso específico cercano al del hormigón simple.
- Se utilizaron formas arquitectónicas difíciles para el sistema constructivo empleado, lo cual determina la existencia de defectos de aplomo de mampostería, los que fueron solucionados arquitectónicamente con excesos de enlucidos (hasta 12 cm. de espesor).
- Considerando el uso arquitectónico de estos edificios, como departamentos de veraneo, se decidió utilizar mobiliarios fijos (camas, veladores, repisas) de hormigón, por lo que algunos edificios se ven afectados por un exceso de peso muerto.
- Los sistemas constructivos empleados y las arquitecturas interiores de la mayoría de los edificios determinaron techos sin vigas descolgadas, condicionando con esto la utilización de sistemas de entresijos de gran espesor que permitieran esconder las vigas sin importar el sobrepeso muerto adicional que se cargaba sobre la estructura incrementando su masa inercial.
- La arquitectura de los edificios aprovechó la vista, paisaje y clima del lugar ubicando en planta espacios exteriores conformados por terrazas en voladizos de considerables dimensiones, las que no se completaron con adecuados detallamientos constructivos propios para estos elementos.
- No se tomaron en cuenta aspectos de seguridad sísmica en los elementos de circulación vertical, como gradas y ascensores, ubicándolos en sitios inadecuados con poca o ninguna característica de seguridad, al no considerar que en los eventos sísmicos son sitios de concentración y desalojo humano en condiciones de pánico.
- Los sistemas constructivos que dan solución a diferentes aspectos, elementos o subsistemas arquitectónicos como antepechos, paredes exteriores, detalles de esquinas, ventanería, etc. sobre entresijos de volado o cantiliver no consideraron la condición de seguridad sísmica y arquitectura sismo-resistente.
- Los profesionales arquitectos al manejar formas, volúmenes y plásticas exteriores de los edificios, en muchos casos atentaron contra la regularidad estructural tanto en altura como en planta, apareciendo pisos blandos y columnas cortas que dieron lugar a comportamientos inconvenientes de los sistemas estructurales durante el sismo. En vista de que la regularidad estructural es una de las principales características de la Arquitectura Estructural y Sistema Constructivo Sismo-resistente, es responsabilidad de los profesionales arquitectos en su calidad de moderadores de todo el equipo técnico involucrado en un proyecto, tener en cuenta y solucionarla de manera óptima y responsable.

Enseñanzas *Derivadas*

ACCION SISMICA

- a) La intensidad MSK en la zona epicentral alcanzó como máximo grado entre VII y VIII, excepto en el extremo norte de Bahía en que la intensidad asignada es IX.
- b) No está probado que la acción sísmica en las diferentes áreas urbanizadas de Bahía haya excedido los valores asociados a los criterios de diseño sismorresistente aplicados.
- c) Las características de la acción sísmica para edificaciones entre seis y once niveles, en la zona urbana denominada NE parecen haber sido más desfavorables en los valores de sus ordenadas espectrales que las ubicadas en la zona NW.

FUNDACIONES Y ASENTAMIENTOS DEL TERRENO

- a) Revisados los planos estructurales de diversos edificios en Bahía, se desprende que la mayoría tienen cimentaciones superficiales sean éstas zapatas aisladas, zapatas combinadas en una o dos direcciones o losas de cimentación a profundidades que van desde 0.90 a 3.70 m.

No se ha identificado inclinación de edificaciones, tampoco daños típicos en estructuras por asentamientos.

- b) Son visibles en aceras, bordes de edificaciones, patios y áreas libres, agrietamientos y subsidencias del terreno. Se constataron volcancos de arena y otras evidencias de licuación cerca al pueblo de Briceño.

ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO

- a) Se confirma una vez más la elevada vulnerabilidad de configuraciones estructurales con columnas cortas, así como plantas libres, de rigidez limitada, respecto a las adyacentes.
- b) Igualmente, resultaron vulnerables edificaciones en esquina con fuertes excentricidades entre los centros de rigidez y de masas.
- c) La ausencia de las vigas descolgadas, sustituidas por vigas anchas de peralte limitado, contribuyó a una marcada falta de rigidez de la estructura. En varios casos, la resistencia fue insuficiente.
- d) De una manera general, las secciones de columnas resultaron adecuadas para soportar las

acciones generadas por el sismo, incluyendo los momentos transmitidos por las vigas (y losas) conectadas a ellas. En el caso de plantas bajas libres, la poca rigidez de las vigas limitó la acción de aportamiento, lo cual se tradujo en mayores momentos en la base de las columnas alcanzándose en algunos casos daños incipientes y en otros severos.

- e) La disposición de piscinas en planta baja ha resultado problemática cuando sus muros interfieren en la libre deformabilidad de las columnas. En todo caso, se recomienda eliminar los aljibes o tanques de agua ubicados en los niveles más altos de la edificación.

DAÑOS A LA INFRAESTRUCTURA

Los servicios de electricidad y de telecomunicaciones fueron interrumpidos por la caída de postes debido al paso de las ondas sísmicas. La conducción del agua potable se encontraba ya interrumpida desde el sitio de la Estancilla (Entre 20 y 30 Km. al sureste de Bahía) por efecto de los deslizamientos ocurridos en el invierno pasado. Los tanques de almacenamiento ubicados en una loma al sur de Bahía (Aproximadamente a 60m de desnivel) no presentan daños aparentes. La red de distribución puede estar afectada en el extremo norte de la ciudad, cosa que no puede precisarse por encontrarse fuera de servicio. Las carreteras de acceso a Bahía no presentan efectos del sismo, con excepción de los agrietamientos en la zona de Briceño y Canoa.

El hospital Miguel H. Alcívar, formado por cuatro bloques, dos de ellos con secciones T y L en planta, separados con juntas constructivas, mostró daño en algunas columnas de planta baja. Se notó asentamiento en la escalera de emergencia y algunos muros de tabiquería.

Algunas escuelas tipo construidas con marcos livianos de acero y mampostería de bloque sin acoplar a los marcos, mostraron falla frágil a nivel de mampostería y techos colapsados.

MAMPOSTERIAS DE FACHADAS Y PARTICIONES INTERIORES

- La disposición de tabiques de fachada apoyados en voladizos no enmarcados por la estructura, sin elementos de fijación a esta última, ha resultado en costosos daños, así como una grave amenaza por el desprendimiento y caída libre de trozos de mampostería desde alturas considerables.
- La mampostería hecha a base de bloques huecos de material tipo pómez parece ser además de frágil, excesivamente débil.
- Los dos puntos anteriores, conjuntamente con estructuraciones marcadamente flexibles, acentuó los daños no estructurales. Estos contrastan con los daños relativamente limitados de las estructuras portantes.

MATERIALES

- De una manera general, los defectos de ejecución en el concreto de los elementos portantes fueron puntuales. Sobre la disposición de las armaduras de refuerzo, es poco lo que se puede decir ya que requiere la inspección de planos y/o de construcción de problemas en sitio.
- Los focos de corrosión constatados en algunos elementos portantes, especialmente columnas, ameritan un seguimiento futuro para poder evaluar sus implicaciones en la seguridad y/o necesidad de intervención.
- El empleo de bloques huecos de pómez, así como los gruesos espesores de recubrimientos y enlucidos en general han tenido un mal comportamiento.

EDIFICACIONES CON ESTRUCTURA PORTANTE DE MADERA

Edificaciones con estructura portante de madera han sido afectadas por razones de uniones inadecuadas, material degradado por la humedad o tabiques de pobre calidad. En general, tales edificaciones son de techo muy liviano, razón por la cual las fuerzas inerciales que se generan son limitadas.

Salvo que tengan un valor histórico reconocido, estructuras portantes de madera en estado podrido, deben ser sustituidas por otras de mayor resistencia a las acciones ambientales.

REFERENCIAS

- Bonilla, Luis Fabian., Ruiz, Mario Caiixto., 1992, Evaluación del Peligro Sísmico en el Ecuador., Tesis de Ingeniero Geotécnico, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Geología, Minas y Petróleos, Quito, Ecuador.
- DeMets, C., R. G. Gordon, D. F. Argus, and S. Stein, 1994, Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimate of current plate motions, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 21, no. 20, 2191-2194.
- Ego, Frédéric., 1995, Accommodation de la Convergence Oblique dans une Chaîne de Type Cordilleraire: Les Andes D'Equateur. These Grade de Docteur en Sciences. Université de Paris XI Orsay, Francia.
- Gnpp, A. E., and R. G. Gordon, 1990, Current plate velocities relative to the hotspots incorporating the NUVEL-1 global plate motion model, *Geophys. Res. Lett.*, 17, 1109-1112.
- Kanamori, H., and McNally, K., 1982, Variable Rupture Mode of the Subduction Zone Along the Ecuador-Colombia Coast., *BSSA.*, Vol. 72, No 4, 1241-1253.
- Mendoza, C., and Dewey, J., 1984, Seismicity Associate with the Great Colombia-Ecuador Earthquakes of 1942, 1958, and 1979: Implications for Barrier Models of Earthquake Rupture., *BSSA*
- Bhorquez, O., 1995, Estudio del Potencial de Licuefacción de suelos, Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional.
- Válverde, J., Plaza G., 1998, Informe sobre aspectos geológico-geotécnicos del Sismo de Bahía del 4 de agosto de 1998, inédito, Escuela Politécnica Nacional.