

VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE HOSPITALES DE GUAYAQUIL - ECUADOR

Jaime Argudo⁽¹⁾, Rommel Yela⁽²⁾

INTRODUCCION

Durante 1995, el Instituto de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Guayaquil (IIFIUC), con la coordinación de la Oficina Regional del Programa de Preparativos para Emergencias y Desastres de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS) y el auspicio del Departamento para la Ayuda Humanitaria de la Comunidad Europea (ECHO) evaluó la "Vulnerabilidad Estructural de los Hospitales de Guayaquil", como parte de un proyecto regional dirigido a mitigar desastres naturales

Esta evaluación se fundamentó en un análisis cuantitativo o cualitativo del comportamiento sismo-resistente de los veinte hospitales con mayor número de camas frente a solicitaciones sísmicas probables, y se concluyó con la formulación de diagnósticos de vulnerabilidad del daño estructural y no estructural esperado para cada hospital.

Se cumplió con el objetivo central del estudio: "prevenir las pérdidas de vidas y los daños materiales" y además se ha propuesto una categorización de la seguridad sismo-resistente del sistema hospitalario de la ciudad y un diagnóstico preliminar de su nivel de operatividad después de un terremoto.

METODOLOGIA Y TIPOS DE DIAGNOSTICO DE VULNERABILIDAD

Plan Metodológico

La metodología seguida en éste estudio comprende las siguientes actividades, que más adelante son desarrolladas en detalle:

1. Relevamiento estructural y censo de los hospitales
2. Selección de los dieciséis hospitales más importantes para la atención de un desastre natural.
3. Definición de las solicitaciones sísmicas probables.
4. Evaluación experimental de la resistencia del hormigón de un grupo de diez hospitales
5. Evaluación experimental de las características dinámicas de los hospitales más importantes
6. Análisis matemático cuantitativo del comportamiento sismo-resistente de doce hospitales
7. Diagnósticos cuantitativos y cualitativos de vulnerabilidad estructural y no estructural
8. Capacitación al personal técnico a cargo de las emergencias en los hospitales.
9. Categorización de la seguridad sismo-resistente y nivel de operatividad del sistema hospitalario
10. Conclusiones y recomendaciones para reducir la vulnerabilidad estructural y no estructural

Tipos de Diagnósticos de Vulnerabilidad

Se formularán dos tipos de diagnósticos de vulnerabilidad: "Cuantitativos" a un grupo de doce hospitales y "Cualitativos" a ocho restantes. La diferencia entre ambos consiste en que el primero dispone de un análisis matemático cuantitativo que permite valorar numéricamente el comportamiento sismo-resistente del hospital. En el Cuadro No. 1, los veinte hospitales han sido clasificados según el tipo de diagnóstico realizado, su propietario y las variables de zonificación sísmica estudiadas en la Referencia 1

(1) Director del Proyecto

(2) Investigador Principal del Proyecto

CUADRO No. 1: NOMINA DE HOSPITALES, TAMAÑO, PROPIETARIO, TIPO DE DIAGNOSTICO, Y VARIABLES DE ZONIFICACION SISMICA.

NOMBRE DEL HOSPITAL	NUMERO CAMAS	TIPO DE HOSPITAL	PROPIETARIO	TIPO DE DIAGNOSTICO	TIPO DE SUELO ⁽⁸⁾	TIPO DE SISMO ⁽⁸⁾
1 Teodoro Maldonado Carbo (IESS)	422	General	IESS ⁽¹⁾	Cuantitativo	Suave	III
2 Francisco Ycaza Bustamante (NIÑO)	356	Pediátrico	MSP ⁽²⁾	"	Suave	III
3 Neumológico Alfredo Valenzuela	326	Neumológico	MSP	"	Roca	I
4 Abel Gilbert Pontón (GUAYAQUIL)	240	General	MSP	"	Suave	III
5 Oncológico Nacional J Tanca (SOLCA)	124	Oncológico	SOLCA ⁽³⁾	"	Suave	III
6 Materno Infantil del Guasmo	40	Gineco-Obstétrico	MSP	"	Suave	III
7 General Luis Vernaza	900	General	JBG ⁽⁴⁾	"	Roca	I
8 León Becerra	180	Pediátrico	SPI ⁽⁵⁾	"	Suave	III
9 Militar	150	General	FFAA ⁽⁶⁾	"	Transicion	II
10 Naval	150	General	FFAA	"	Suave	III
11 Policía Nacional	120	General	MGP ⁽⁷⁾	"	Suave	III
12 Alborada	17	General	Privado	"	Roca	I
13 Alejandro Mann	216	Pediátrico	JBG	Cualitativo	Suave	III
14 Gineco-Obstétrico Enrique Sotomavor	303	Gineco-Obstétrico	JBG	"	Suave	III
15 Kennedy	156	General	Privado	"	Suave	III
16 Alcívar	75	General	Privado	"	Suave	III
17 Panamericana	24	General	Privado	"	Suave	III
18 Daniel Rodríguez (INFECTOLOGIA)	80	Epidemiológico	MSP	"	Suave	III
19 Dermatológico	55	Dermatológico	MSP	"	Suave	III
20 Psiquiátrico Lorenzo Ponce	800	Psiquiátrico	JBG	"	Suave	III

- (1) IESS: Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social
 (2) MSP: Ministerio de Salud Pública del Ecuador
 (3) SOLCA: Sociedad de Lucha Contra el Cáncer, sociedad sin fines de lucro con apoyo gubernamental
 (4) JBG: Junta de Beneficencia de Guayaquil, sociedad privada sin fines de lucro
 (5) SPI: Sociedad Protectora de la Infancia, adscrita al INNFA (Instituto Nacional del Niño y la Familia)
 (6) FFAA: Fuerzas Armadas del Ecuador
 (7) MGP: Ministerio de Gobierno y Policía
 (8) VARIABLES DE ZONIFICACION SISMICA: Tipo de Suelo sobre el cual se ha construido el hospital y el Tipo de Espectro Sísmico que corresponde a cada tipo de suelo.

RELEVAMIENTO ESTRUCTURAL Y CENSO DE LOS HOSPITALES

Relevamiento Estructural

Se investigaron las variables estructurales que inciden en mayor grado en el comportamiento sismo-resistente de las estructuras, así como también se relevaron los daños estructurales y no estructurales producidos por sismos pasados o por otras causas, incluyendo aquellos que afectan el funcionamiento y seguridad de las líneas vitales. Este relevamiento constituyó una herramienta fundamental para la formulación de diagnósticos de tipo cualitativo. Su resumen se presenta en el Cuadro No.2, y su descripción gráfica en fotos que se ilustran en el Anexo No 1

Censo de Hospitales

Se realizó un censo o inventario de los servicios que poseen los hospitales, con énfasis en aquellos que son de utilidad para el manejo de las emergencias, la autonomía del funcionamiento de sus líneas vitales, tamaño, capacitación que posee el personal a cargo del manejo de las emergencias, existencia de planes de emergencia en caso de desastres, etc. Esta información se presenta en el Cuadro No 3

DIECISEIS HOSPITALES MAS IMPORTANTES PARA ATENDER UN DESASTRE NATURAL

Habiéndose iniciado el estudio con un grupo de veinte hospitales seleccionados en función de su tamaño, se vio la necesidad de concentrar esfuerzos en un grupo más estratégico de hospitales, aquellos que dispongan de los servicios necesarios para la atención de un desastre natural.

En base a la información proporcionada por el “relevamiento estructural y censo hospitalario”, la Dirección Nacional de Defensa Civil (organismo de apoyo del proyecto) definió como estratégicos a los primeros dieciséis hospitales numerados del 1 al 16 en los Cuadros No. 1, 2 y 3.

CUADRO No. 2: RELEVAMIENTO ESTRUCTURAL DE HOSPITALES

HOSPITAL	CI ⁽¹⁾	E ⁽²⁾	N ⁽⁷⁾	C ⁽³⁾	V ⁽⁴⁾	M ⁽⁵⁾	P ⁽⁶⁾	DAÑOS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES
1. IESS	2	1	4	1	4	1	1	Sótano inundado por mareas y calderos antiguos con fallas dentro del edificio
2. Niño	3	1	6	1	1	1	1	No se reportan
3. Valenzuela	1	1	3	1	5	2	1	Fisuras en vigas del pabellón de varones por sismo de 1980
4. Guayaquil	4	1	8	1	3,4	1	1	Asentamientos entre bloques, sótano inundado, deterioro de líneas vitales
5. Solca	3	1	6	1	1	1	1	No se reportan, excelente mantenimiento
6. Guasmo	1	1	1	1	2	1	1	No se reportan
7. Vernaza	1	1	4	1	3,4	1	1	Asentamientos en bloque de cons. ext., fisuras en paredes del bloque de cirugía
8. Becerra	1	1	3	1	2	2	1	No se reportan, bloques conectados sin juntas sísmicas
9. Militar	1	1	4	1	2	1	1	No se reportan, bloques conectados por juntas sísmicas rigidizadas
10. Naval	3	1	7	1	3	1	1	Fisuras en zonas de juntas sísmicas rígidas, filtraciones en las juntas
11. Policía	3	1	5	1	1	1	1	No se reportan
12. Alborada	1	1	3	1	2	1	1	Pequeñas fisuras en paredes, daño arquitectónico menor
13. Mann	1	2	2	3	3,4	3	2	Deterioro de estructura de madera e instalaciones vitales no protegidas
14. Sotomayor	1	1	3	2	2	1	1	Pequeñas fisuras en paredes, daño arquitectónico menor
15. Kennedy	2	1	5	1	1	1	1	No se reportan
16. Alcívar	1	1	4	1	1	1	1	Deterioro de juntas sísmicas de dilatación.
17. Panamericana	4	1	8	1	1	1	1	No se reportan
18. Infectología	1	1	1	2	5	1	1	Daños estructurales en tanque elevado de suministro de agua
19. Dermatológico	1	1	1	2	5	1	1	Deterioro de la estructura metálica de la capilla
20. Lorenzo Ponce	1	1	2	2	3	1	1	Fisuras en paredes, daño arquitectónico menor

- (1) CI = Tipo de Cimentación: 1 = cimentación superficial, 2 = cimentación superficial con sótano, 3 = cimentación profunda con pilotes y sin sótano, 4 = cimentación profunda con pilotes y sótano.
- (2) E = Tipo de Estructura: 1 = hormigón armado, 2 = madera.
- (3) C = Tipo de Cubierta: 1 = hormigón armado, 2 = eternit, 3 = zinc (metálica)
- (4) V = Grado de Deterioro: 1 = Sin deterioro, 2 = Deterioro Arquitectónico, 3 = Daños Arquitectónicos, 4 = Deterioro de Instalaciones Vitales, 5 = Deterioro o daño en elementos Estructurales.
- (5) M = Tipo de mampostería: 1 = reforzada, 2 = no reforzada de buena calidad, 3 = no reforzada de mala calidad
- (6) P = Tipo de pisos: 1 = hormigón armado, 2 = madera
- (7) N = Número de Pisos sobre nivel de Planta Baja de la subestructura más esbelta.

CUADRO No. 3: CENSO DE HOSPITALES

HOSPITAL	SERVICIO DE EMERGENC.	CUIDADOS INTENSIV.	CIRUGIA Y QUIROFAN.	CAPACITAC. PERSONAL	PLANES EMERG.	AUTONOMIA AGUA POT. ⁽¹⁾	AUTONOMIA ENER. ELEC. ⁽²⁾
1. IESS	SI, adecuado	SI, adecuado	SI, adecuado	Alguna	SI	SI	SI
2. Niño	SI, adecuado	SI, adecuado	SI, adecuado	Alguna	NO	SI	SI
3. Valenzuela	SI, limitado	NO	NO	Ninguna	NO	NO	NO
4. Guayaquil	SI	SI	SI	Alguna	NO	SI	SI
5. Solca	SI, adecuado	SI, adecuado	SI, adecuado	Alguna	SI	SI	SI
6. Guasmo	SI, limitado	SI, limitado	SI, limitado	Alguna	NO	SI	SI
7. Vernaza	SI, adecuado	SI, adecuado	SI, adecuado	Alguna	NO	SI	SI
8. Becerra	SI, limitado	NO	SI	Ninguna	NO	SI	SI
9. Militar	SI	SI	SI	Aceptable	SI	SI	SI
10. Naval	SI	SI	SI	Aceptable	SI	SI	SI
11. Policía	SI	SI	SI	Alguna	NO	SI	SI
12. Alborada	SI, privado	SI	SI	Ninguna	NO	SI	SI
13. Mann	SI, limitado	SI, limitado	SI, limitado	Ninguna	NO	NO	SI
14. Sotomayor	SI	SI	SI	Ninguna	NO	SI	SI
15. Kennedy	SI, privado	SI	SI	Ninguna	NO	SI	SI
16. Alcívar	SI, privado	SI	SI	Alguna	NO	SI	SI
17. Panamericana	SI, privado	SI	SI	Ninguna	NO	SI	SI
18. Infectología	NO	NO	SI, limitado	Ninguna	NO	SI	SI
19. Dermatológico	NO	NO	NO	Ninguna	NO	SI	SI
20. Lorenzo Ponce	NO	NO	NO	Ninguna	NO	SI	NO

- (1) Suministro garantizado por tres o más días (2) Planta propia para generación de energía, permite al menos cubrir áreas vitales.

DEFINICION DE LAS SOLICITACIONES SISMICAS PROBABLES

El peligro sísmico de Guayaquil, perspectiva histórica

La ciudad de Santiago de Guayaquil se desarrolló durante la colonia como puerto de la región en el interior del amplio estuario formado por la confluencia de los ríos Daule y Babahoyo, afluentes del Guayas, río que desemboca en el Golfo de Guayaquil. Su principal actividad fue la provisión de maderas resistentes con fines de abastecer a los astilleros que desde muy temprano se crearon en la ciudad y que proveyeron a las flotas de guerra y comerciales españolas de las mejores embarcaciones que navegaron en el Pacífico Sur, hasta las primeras décadas de la etapa republicana inclusive. La enorme zona de bosque tropical húmedo que en ese entonces rodeaba a la ciudad era muy rica en maderas preciosas, muchas de cuyas variedades ya han desaparecido.

No es posible describir la sismicidad histórica de Guayaquil y su menor vulnerabilidad sísmica respecto de las ciudades andinas durante la colonia, sin hacer referencia a este antecedente histórico. En la moderna comprensión que la sociedad tiene de lo que constituye la vulnerabilidad sísmica, tiene un papel preponderante la sociedad misma, sus perfiles de desarrollo, dado que éstos determinan las condiciones que harán a sus comunidades más o menos vulnerables a una determinada amenaza o peligro natural.

La utilización de las maderas preciosas no se limitó a las embarcaciones sino que, como es natural, se extendió también a las viviendas. Las típicas viviendas guayaquileñas durante la colonia, cuya arquitectura aún se puede apreciar en las casas del barrio de Las Peñas (cerro de Santa Ana, donde fue originalmente fundada Santiago de Guayaquil) y en algunas edificaciones del centro de la urbe, eran construidas sobre pilotes y pilares de madera incorruptible, con amplios soportales para atenuar los efectos del calor y del sol y proteger de las continuas lluvias de invierno, y con vigas y pisos de madera y paredes de este material o de caña. Casi siempre eran edificaciones de dos niveles que destinaban la planta baja a bodegas, sitio de trabajo o de comercio, y la planta alta a vivienda.

La arquitectura y constitución de esta vivienda colonial guayaquileña hacia a estas estructuras muy poco vulnerables a los sismos, por la resistencia de la madera usada en su construcción, buen comportamiento mecánico apropiado para disipar la energía de los sismos (tradicionalmente los carpinteros de rívera dividían su actividad entre la construcción de embarcaciones y de viviendas) y gran flexibilidad que la dotaba de características dinámicas diferentes a las de los suelos, permitiéndole atenuar las vibraciones sísmicas y asumir fuerzas sísmicas menores que aquellas que pueden llegar a producirse en otro género de edificaciones construidas durante el presente siglo.



Vista de Guayaquil de 1920 (Referencia 4)



Residencia Típica del Guayaquil Antiguo

"No habiendo padecido esta ciudad los estragos que varias otras del Reino, con sublevaciones de bárbaros, que no los hay en sus contornos, ni con erupciones de volcanes, que los tiene a gran distancia, ni con terremotos, que no hacen sino sacudir el polvo de las maderas, y espantar las ocultas sabandijas, ni con la decadencia de minas, que nunca han trabajado; ha sido, no obstante, afligida con otros azotes, tanto o más pesados". P. Juan de Velasco, con relación a los incendios y epidemias que azotaron al Guayaquil antiguo. (Referencia 2)

Evaluación del Peligro Sísmico

Guayaquil está alejada de la trinchera donde se encuentran o colisionan las grandes placas tectónicas Nazca y Sudamericana más de 200 Km. Esta zona es parte del denominado "Cinturón de Fuego del Pacífico" y constituye su mayor amenaza. Se ha establecido que los sismos con distancia epicentral comprendida entre 200 y 300 km pueden ser amplificados por los suelos aluviales o suaves del tipo III que cubren más del 90% del área urbana y solicitar en mayor medida a las edificaciones comprendidas entre cinco y quince pisos que son predominantemente de hormigón armado. El sismo más intensamente sentido en la historia de Guayaquil fue el producido por esta fuente el 13 de Mayo de 1942, $M_s = 7.9$, $MM = 9$ en el casco comercial donde colapsaron dos edificios de las características antes citadas.

En el entorno de Guayaquil los fallamientos de la corteza terrestre debido al tectonismo conforman una segunda fuente sismogénica que debe considerarse. En esta fuente, se han registrado sismos con magnitudes M_s de hasta 6.8 grados y epicentros distantes 120 km o menos. Los daños han sido de mediana consideración, limitados al ámbito de las edificaciones de pobre calidad o sísmicamente muy vulnerables. Citamos como ejemplo el sismo del 18 de Agosto de 1980, $M_s = 6.1$ e intensidad de la escala Mercalli Modificada $MM = 7$.

La evaluación del peligro sísmico desarrollado en este estudio ha consistido en correlacionar la distribución probabilística de magnitudes propuesta para el estudio de la Vulnerabilidad Sísmica de Guayaquil (Referencia No.1) y la distribución probabilística de intensidades propuesta en la Referencia 5. Se lo ha hecho para las dos fuentes sismogénicas antes mencionadas y los resultados se resumen a continuación en el Cuadro No. 4:

CUADRO No. 4: VARIABLES DEL PELIGRO SISMICO DE GUAYAQUIL

FUENTE SISMICA	M_s	DISTANCIA EPICENTRAL	PERIODO DE RETORNO DE M_s ⁽¹⁾	INTENSIDAD M.M. MAXIMA ⁽²⁾	A_o ⁽³⁾ Cm/Seg ²	PERIODO DE RETORNO DE M.M. ⁽⁴⁾
Trinchera	7.0	150 a 350 km	22 años	VI	10 - 30 ⁽⁵⁾	12 años
de Subducción	7.5	"	38 años	VII	30 - 70	43 años
"	8.0	"	67 años	VIII	70 - 120	86 años
"	8.5	"	141 años	IX	120 - 200	235 años
"	9.0 ⁽⁶⁾	"	247 años ⁽⁶⁾	X ⁽⁶⁾	> 200	> 500 años ⁽⁶⁾
Sistemas de Fallas Locales	5.8	30 a 120 km	23 años	VII	50 - 100	30 años
"	6.2	"	56 años	VIII ⁽⁶⁾	100 - 200	95 años
"	6.8 ⁽⁶⁾	"	206 años ⁽⁶⁾	IX ⁽⁶⁾	> 200	> 500 años ⁽⁶⁾

- (1) Periodo de retorno o recurrencia de eventos de magnitud de onda superficial " M_s " mayor o igual a la especificada
 (2) Intensidad máxima de la escala Mercalli Modificada M.M. registrada para magnitudes y fuentes sismogénicas especificadas
 (3) Aceleración máxima A_o en suelo suave del Tipo III para sismos de zona de subducción y en roca del Tipo I para zona local
 (4) Periodo de retorno de las intensidades
 (5) Aceleraciones calibradas con registros acelerográficos
 (6) Eventos estimados por los modelos probabilísticos, sin precedentes históricos

Solicitaciones sísmicas probables

Las solicitaciones sísmicas probables o "Espectros de Respuesta" que se usarán posteriormente en los análisis matemáticos, son los propuestos en la Microzonificación Sísmica de Guayaquil (Referencia 6). A éstos espectros se les ha incorporado la información del Cuadro No. 4 y se presentan en el Anexo 2, clasificados según el tipo de suelo y la intensidad Mercalli Modificada especificada.

EVALUACION EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA DE LOS HOSPITALES

Objetivo de la Evaluación

El 95% de los hospitales investigados poseen estructuras de hormigón armado. Evaluar experimentalmente la resistencia con la que han sido construidas sus estructuras, constituye un elemento útil para los diagnósticos de vulnerabilidad y permite obtener datos sobre variables que se incorporan a los análisis, permitiendo que los modelos matemáticos resulten más representativos.