

# VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE HOSPITALES DE GUAYAQUIL - ECUADOR

**Jaime Argudo<sup>(1)</sup>, Rommel Yela<sup>(2)</sup>**

## 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 sollicitaciones 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 dieciseis hospitales más importantes para la atención de un desastre natural.
3. Definición de las sollicitaciones 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 <sup>(8)</sup>	TIPO DE SISMO <sup>(8)</sup>
1. Teodoro Maldonado Carbo (IESS)	422	General	IESS <sup>(1)</sup>	Cuantitativo	Suave	III
2. Francisco Ycaza Bustamante (NIÑO)	356	Pediátrico	MSP <sup>(2)</sup>	“	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 <sup>(3)</sup>	“	Suave	III
6. Materno Infantil del Guasmo	40	Gineco-Obstétrico	MSP	“	Suave	III
7. General Luis Vernaza	900	General	JBG <sup>(4)</sup>	“	Roca	I
8. León Becerra	180	Pediátrico	SPI <sup>(5)</sup>	“	Suave	III
9. Militar	150	General	FFAA <sup>(6)</sup>	“	Transición	II
10. Naval	150	General	FFAA	“	Suave	III
11. Policía Nacional	120	General	MGP <sup>(7)</sup>	“	Suave	III
12. Alborada	17	General	Privado	“	Roca	I
13. Alejandro Mann	216	Pediátrico	JBG	Cualitativo	Suave	III
14. Gineco-Obstétrico Enrique Sotomayor	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 dieciseis hospitales numerados del 1 al 16 en los Cuadros No. 1, 2 y 3.

**CUADRO No. 2: RELEVAMIENTO ESTRUCTURAL DE HOSPITALES**

HOSPITAL	CI <sup>(1)</sup>	E <sup>(2)</sup>	N <sup>(7)</sup>	C <sup>(3)</sup>	V <sup>(4)</sup>	M <sup>(5)</sup>	P <sup>(6)</sup>	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 rígidas
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. <sup>(1)</sup>	AUTONOMIA ENER. ELEC. <sup>(2)</sup>
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 fué originalmente fundada Santiago de Guayaquil) y en algunas edificaciones del centro de la urbe, eran construida sobre plintos 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 asimilar fuerzas sísmicas menores que aquellas que pueden llegar a producirse en otro género de edificaciones construídas 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 compendidas 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 ésta 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 desarrolla en éste 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 <sup>(2)</sup>	$A_0^{(3)}$ Cm/Seg <sup>2</sup>	PERIODO DE RETORNO DE M.M. <sup>(4)</sup>
Trinchera	7.0	150 a 350 km	22 años	VI	10 - 30 <sup>(5)</sup>	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 <sup>(6)</sup>	“	247 años <sup>(6)</sup>	X <sup>(6)</sup>	> 200	> 500 años <sup>(6)</sup>
Sistemas de	5.8	30 a 120 km	23 años	VII	50 - 100	30 años
Fallas Locales	6.2	“	56 años	VIII <sup>(6)</sup>	100 - 200	95 años
“	6.8 <sup>(6)</sup>	“	206 años <sup>(6)</sup>	IX <sup>(6)</sup>	> 200	> 500 años <sup>(6)</sup>

(1) Período 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  $A_0$  en suelo suave del Tipo III para sismos de zona de subducción y en roca del Tipo I para zona local.

(4) Período 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 construídas 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.

## Descripción de los Ensayos

Se realizaron ensayos de extracción de núcleos de hormigón en las columnas de planta baja (elementos considerados claves para la seguridad sismo - resistente) de un grupo de diez hospitales utilizando los equipos donados por ECHO. Treinta y tres muestras, un promedio de tres por hospital, se enviaron al laboratorio para ser sometidas a un ensayo de compresión simple a fin de obtener el valor de la resistencia  $f'_c$ . Cuatro muestras fueron seleccionadas para el ensayo de carga - deformación, que permite obtener la ley constitutiva esfuerzo - deformación del material, y el módulo elástico  $E_c$ . Los resultados se presentan en los Cuadros No. 5 y No. 6.

**CUADRO No. 5: RESISTENCIA  $F'_c$  DE LABORATORIO Y CALIDAD DEL HORMIGON**

NOMBRE DEL HOSPITAL	RESISTENCIA $F'_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) DE TODAS LAS MUESTRAS	RESISTENCIA PROMEDIO $F'_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	COMPACIDAD DEL AGREGADO	ADHERENCIA DEL AGREGADO	VACIOS <sup>(4)</sup>	IMPUREZAS
GUAYAQUIL	346, 383, 418	382	MUY BUENA	BUENA	D < 1 mm	NO
VALENZUELA	169 <sup>(1)</sup> , 184, 184, 217	189	MALA	REGULAR	D < 1 mm	NO
SOLCA	235, 189, 251, 264	235	REGULAR	BUENA	D < 1 mm	NO
IESS	373, 255, 290	303	BUENA	BUENA	1 < D < 2	SI
VERNAZA	338 <sup>(1)</sup> , 305, 402, 359, 323	346	BUENA	BUENA	1 < D < 2	SI
NIÑO	255, 219, 325, 357	289	BUENA	BUENA	2 < D < 10	SI
POLICIA	230 <sup>(1)</sup> , 306, 357, 352	311	BUENA	BUENA	D < 1 mm	NO
MILITAR	202 <sup>(1)</sup> , 166	184	MALA	MALA	1 < D < 2	SI
NAVAL	275 <sup>(2)</sup> , 138 <sup>(3)</sup>	275	BUENA	BUENA	D < 1 mm	NO
KENNEDY	311, 328	320	BUENA	BUENA	D < 1 mm	NO

(1) Muestras seleccionadas para el ensayo de esfuerzo deformación para obtener  $E_c$ .

(2) Muestra obtenida en la estructura del bloque principal de siete pisos.

(3) Muestras obtenidas en una estructura anexa de planta baja diseñada con un hormigón diferente

(4) Diámetro "D" de los vacíos observados en las muestras extraídas o de las impurezas (materia orgánica).

## Interpretación de Resultados

Al comparar, los valores de resistencia obtenidos experimentalmente con la especificada en los planos, se observa que la mayoría de los hospitales (70%) poseen in situ una resistencia mayor que la de diseño, esto beneficia a las estructuras puesto que disponen de una reserva de resistencia para contrarrestar fuerzas sísmicas mayores a las previstas por el diseñador y denota un buen estándar de calidad de construcción.

El módulo de elasticidad  $E_c$  medido en laboratorio, resulta menor que el especificado por el ACI (Instituto Americano del Hormigón). Aunque no se dispone de un número suficiente de ensayos para ofrecer una conclusión muy categórica, la relación  $E_{c(LAB)} / E_{c(ACI)}$  resulta sorprendentemente concurrente a 0.72 - 0.73, siendo por lo tanto nuestras estructuras de hormigón más flexibles que las que se construyen en los E.E.U.U.

**CUADRO No. 6 : COMPARACION DE LAS RESISTENCIAS  $F'_c$  Y MODULO DE ELASTICIDAD  $E_c$  DE DISEÑO Y CONSTRUCCION.**

NOMBRE DEL HOSPITAL	$F'_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) IN SITU	$F'_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) DISEÑO	DENSIDAD Kg/m <sup>3</sup>	$E_{c(ACI)}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$E_{c(LAB)}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$E_{c(LAB)} / E_{c(ACI)}$
GUAYAQUIL	382	280	2287	288642	-	-
VALENZUELA	189	210	2112	180177	130354	0.72
SOLCA	235	240	2145	205638	-	-
IESS	303	210	2232	247850	-	-
VERNAZA	340	210	2188	254823	160140	0.63
NIÑO	289	280	2169	231882	-	-
POLICIA	311	240	2107	230306	168300	0.73
MILITAR	184	210	2142	181579	132090	0.73
NAVAL	275	210	2105	216258	-	-
KENNEDY	320	210	2125	236615	-	-



*Ensayo de extracción de un núcleo de hormigón y sondeo de detección de varillas con equipo de resonancia magnética donado por ECHO. Bloque de Cirugía del Hospital Luis Vernaza*

## **EVALUACION EXPERIMENTAL DE LAS CARACTERISTICAS DINAMICAS DE LOS DIECISEIS HOSPITALES MAS IMPORTANTES**

### **Objetivo de la Evaluación**

Esta evaluación se usará para obtener un criterio sobre la participación de los elementos no-estructurales en la respuesta sísmica de los hospitales que contribuya más adelante al diagnóstico de la denominada vulnerabilidad no - estructural. La vulnerabilidad no - estructural (elementos arquitectónicos e instalaciones), esta condicionada entre otras variables, por su participación en la respuesta sísmica del edificio. Paredes articuladas a la estructura o instalaciones con empalmes flexibles atravesando juntas sísmicas o zonas de alta deformabilidad resultan sísmicamente aisladas y adsorben una porción despreciable de las solicitaciones. Por el contrario, las uniones rígidas de estos elementos con el sistema estructural implicará una mayor participación y vulnerabilidad, puesto que no están diseñados para resistir fuerzas sísmicas.

Evaluar la participación de los elementos no-estructurales en la respuesta sísmica, es una tarea cuantitativamente muy compleja. Aquí se propone evaluar cualitativamente esta participación por medio de la medición experimental de las características dinámicas para vibraciones ambientales que por ser de muy baja intensidad incorporan plenamente la contribución de los elementos no-estructurales a la respuesta de la estructura. Finalmente, comparando los resultados de los análisis matemáticos obtenidos para solicitaciones de gran intensidad se puede clasificar esta participación o contribución en tres categorías: alta, media y baja.

### **Descripción de los Ensayos**

Utilizando un geófono y su sistema de adquisición o registro de datos, se midió la vibración ambiental de los suelos y estructuras de los dieciseis hospitales previamente definidos como los más importantes. Los registros se procesaron matemáticamente para obtener a la variable "T" (período de vibración o valor inverso de la frecuencia de vibración) en cada dirección de la estructura (T1 y T2). Los resultados se presentan en el Cuadro No. 7.

### **Riesgo de Resonancia**

Al comparar el período de vibración "T" de una estructura con el período de vibración del suelo sobre el cual se ha cimentado se puede evaluar el denominado riesgo de resonancia o riesgo de amplificación de las solicitaciones sísmicas. Este indicador cualitativo de vulnerabilidad estructural es particularmente útil cuando no se dispone de un análisis matemático.

## Interpretación de Resultados

Los períodos de vibración fueron matemáticamente calculados en cada dirección principal considerando dos casos: un módulo de elasticidad  $E_c$  definido por el A.C.I. como  $E_{c(ACI)} = 4270 (\gamma)^{1.5} (F'c)^{0.5}$  y que se utiliza en el Ecuador para fines de diseño, y un  $E_c = 0.73E_{c(ACI)}$  que corresponde a la elasticidad obtenida experimentalmente en éste estudio. Los resultados, muestran estructuras un 20% más flexibles cuando se utilizan los valores experimentales, incrementándose en algunos hospitales el denominado “riesgo de resonancia”.

**CUADRO No. 7: PERIODOS DE VIBRACION DEL SUELO Y ESTRUCTURAS, Y EVALUACION DEL RIESGO DE RESONANCIA**

NOMBRE DEL HOSPITAL	PERIODOS DEL SUELO $T_s$ (Seg)	PERIODOS EXPERIMENT. $T_1^{(3)}$ $T_2^{(3)}$		PERIODOS CON $E_c$ (A.C.I) $T_1^{(3)}$ $T_2^{(3)}$		PERIODOS CON $E_c = 0.73E_{c(A.C.I)}$ $T_1^{(3)}$ $T_2^{(3)}$		PARTICIPACION <sup>(1)</sup> DE ELEMENTOS NO ESTRUCT.	RIESGO <sup>(2)</sup> DE RESONANCIA $F$ ( $T_1/T_s$ , $T_2/T_s$ )
		$T_1^{(3)}$	$T_2^{(3)}$	$T_1^{(3)}$	$T_2^{(3)}$	$T_1^{(3)}$	$T_2^{(3)}$		
GUAYAQUIL	0.7 - 1.4	0.67	0.42	0.99	0.60	1.19	0.72	BAJA	ALTO
VALENZUELA	0.03 - 0.07	0.19	0.18	0.58	0.53	0.68	0.63	ALTA	MEDIO
SOLCA	0.55 - 1.25	0.48	0.37	0.94	0.88	1.15	1.08	MEDIA	ALTO
GUASMO	0.8 - 1.5	0.17	0.05	0.35	0.35	0.42	0.41	MEDIA	BAJO
IESS	0.6 - 1.2	0.35	0.16	0.77	0.58	0.93	0.70	MEDIA	MEDIO
BECERRA	0.6 - 1.3	0.3	0.23	0.63	0.62	0.75	0.74	MEDIA	MEDIO
VERNAZA	0.05 - 0.1	0.32	0.24	0.71	0.58	0.87	0.72	ALTA	MEDIO
MANN	0.7 - 1.35	4.5	3.5	-	-	-	-	-	BAJO
SOTOMAYOR	0.7 - 1.3	0.29	0.25	-	-	-	-	-	BAJO
NIÑO	0.7 - 1.35	0.49	0.45	0.72	0.67	0.89	0.84	BAJA	MEDIO
POLICIA	0.6 - 1.3	0.34	0.22	0.57	0.57	0.69	0.69	MEDIA	MEDIO
MILITAR	0.2 - 1.0	0.24	0.19	0.48	0.39	0.57	0.46	-	ALTO
NAVAL	0.6 - 1.2	0.71	0.52	1.21	1.07	1.41	1.24	BAJA	ALTO
KENNEDY	0.6 - 1.3	0.16	0.12	-	-	-	-	-	BAJO
ALCIVAR	0.7 - 1.3	0.26	0.22	-	-	-	-	-	BAJO
ALBORADA	0.05 - 0.1	0.21	0.19	0.38	0.35	0.45	0.41	MEDIA	MEDIO

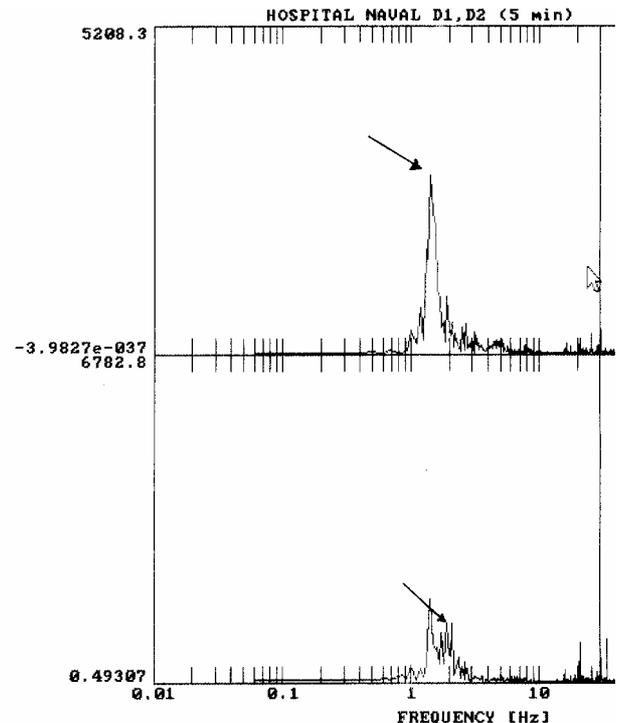
(1) Períodos fundamentales de vibración de la estructura  $T_1$  en la dirección más flexible y  $T_2$  en la dirección más rígida

(2) Evaluación cualitativa de la participación de los elementos arquitectónicos en la respuesta de la estructura  $F$  ( $T_{exp}/T_{matem}$ )

(3) Evaluación cualitativa del riesgo de resonancia o amplificación de la sollicitación sísmica en la estructura  $F$  ( $T_{exp} / T_{suelo}$ )



*Ensayo Experimental de Vibración Ambiental en el Hospital Guayaquil*



*Espectros de Fourier para determinar los períodos experimentales  $T_1=0.71$  y  $T_2=0.52$  seg. Hospital Naval*

## ANÁLISIS MATEMÁTICO SISMO-RESISTENTE DE DOCE HOSPITALES

### Resistencia de Fluencia, Ductilidad, Mecanismos de Falla y Distorsiones de Pisos.

Son algunos conceptos que se utilizarán en la interpretación de los resultados de los análisis y que se exponen a continuación:

La resistencia de fluencia del hormigón armado equivale aproximadamente al 95% de su capacidad de resistencia última o de falla y corresponde a un nivel de esfuerzos a partir del cual los elementos pierden rigidez drásticamente y desarrollan deformaciones de tipo plástico que producen daño no irreversible.

La ductilidad es la razón entre la deformación en la falla o colapso y la deformación de cedencia, mide por tanto, la capacidad de un elemento para deformarse sin experimentar colapso. Elevadas ductilidades en los elementos son recomendables para prevenir su falla frágil o súbita después de la cedencia, para dotar a la estructura de una buena ductilidad global que incremente su nivel de sismo-resistencia y para poder configurar un mecanismo de falla o colapso controlado que minimize los daños a las personas que habitan la estructura.

La ductilidad global, mide la capacidad sismo-resistente de la estructura y depende no solo del diseño dúctil de los elementos, sino también de la distribución de los esfuerzos al interior de la estructura y de la posibilidad de configurar un mecanismo de falla controlada. Con relación a los hospitales, el uso de formas arquitectónicas asimétricas y desproporcionadas con plantas en forma de "H", "L", "T", "I" y cambios bruzcos de elevación ha contribuido a incrementar la vulnerabilidad (Referencia No. 9). La configuración arquitectónica propicia en éstos casos la concentración de esfuerzos en zonas críticas, mecanismos de colapso frágil y limita la capacidad de la estructura para desarrollar una adecuada ductilidad.

El mecanismo de falla protege a las estructuras de un colapso frágil. Para configurar un mecanismo de falla controlada y dúctil se requiere cumplir algunos requisitos, el más importante de los cuales consiste en dimensionar a las columnas con mayor tamaño y fortaleza que a las vigas y aprovechar su capacidad para desarrollar ductilidad. En Guayaquil antes de la década de los 70 se construyeron hospitales (Valenzuela, Becerra, Militar), con dimensionamiento de vigas fuertes y columnas débiles, con una capacidad casi nula de desarrollar ductilidad.

Durante los años 70 y principios de los 80, otro grupo de hospitales (Guayaquil, Naval, Alborada, Guasmo y Bloque de Cirugía del Vernaza) se construyeron con un sistema estructural de losas planas con vigas contenidas en las losas, (sistema que durante el sismo de México mostró un mecanismo de colapso frágil) cuya ductilidad global, depende de la limitada capacidad de las columnas para desarrollar ductilidad.



*El hospital de la Policía posee una torre en forma de T con arquitectura asimétrica e irregular elevación, para obtener un buen comportamiento sísmico existen juntas que dividen al edificio en bloques de planta rectangular separados por juntas sísmicas de dilatación.*



*Sistema estructural de vigas fuertes y columnas débiles en el Bloque de Varones del Hospital Alfredo Valenzuela, con mínima capacidad para desarrollar ductilidad después de la fluencia.*

La distorsión lateral de un piso es la razón entre el desplazamiento lateral de un piso (medido con relación al piso inferior) y la altura del entrepiso. Es una variable importante para controlar el nivel de daño estructural y no estructural y en el diseño de estructuras hospitalarias el control de las distorsiones laterales debía ser mucho más severo que en estructuras convencionales a fin de limitar el desarrollo de daños no estructurales muy prematuros que pudieren comprometer la operatividad del hospital

### Estructuras analizadas

Los análisis se realizaron para doce hospitales. En cada hospital se seleccionó al bloque o estructura que caracteriza mejor la vulnerabilidad del conjunto. Donde la configuración estructural resultó diversa, se eligió una estructura vital, tal fue el caso de la selección del Bloque de Cirugía en el Hospital Vernaza. La descripción de la configuración arquitectónica de los hospitales y los bloques analizados se presenta en el Cuadro No. 8.

**CUADRO No. 8: PRINCIPALES VARIABLES GEOMETRICAS DE LOS BLOQUES ANALIZADOS.**

NOMBRE DEL HOSPITAL	TIPO DE CONFIGURACION ARQUITECTONICA DEL HOSPITAL	ESTRUCTURA ANALIZADA	SIST. <sup>(1)</sup> ESTR.	B x H <sup>(2)</sup> cm x cm	b x h <sup>(3)</sup> cm x cm	L <sub>max</sub> <sup>(4)</sup> L <sub>min</sub> (m)	F <sub>c</sub> /F' <sub>c</sub> <sup>(5)</sup> en %
GUAYAQUIL	Torre de 8 pisos separada de bloques de 1 piso por juntas de ancho < 3 cm.	Torre principal	3	40 x 90	Losa plana	7.2 3.2	12 42
VALENZUELA	19 edificios totalmente independientes construídos hace 50 años aprox.	Bloque de Varones	4	40 x 45 30 x 35	20 x70	5.5 2.5	5.2 21
SOLCA	Torre de 6 pisos separada de bloques de 2 pisos por juntas de ancho < 3 cm.	Torre principal	1	30 x 115 50 x80	35 x 90	6.4 5.6	9.8 33
IESS	Bloque 4 pisos separado de bloques de igual altura por juntas de ancho < 6 cm.	Bloque Central	5	50 x 65 40 x 40	20 x100 10 x 30	7.4 2.4	9.4 18.5
VERNAZA	Varios bloques, de distinta edad y arquitectura.	Bloque de Cirugía	3	45 x 65	Losa plana	6.3 5.8	7.2 28.4
NIÑO	Torre de 6 pisos en forma de H, dividida por juntas de ancho < 6 cm, en 3 plantas rectangulares. Hay otros bloques de 2 y 3 pisos separados de la torre por juntas	Bloque dela parte lateral de la torre en forma de H	2	50 x 50 50 x 60	35 x 90	7.2 3.0	6.6 29
POLICIA	Torre de 5 pisos en forma de T, dividida por juntas de ancho < 6 cm en 3 plantas rectangulares. Hay otros bloques de 1 y 2 pisos separados de la torre por juntas	Bloque de la parte central de la torre en forma de I.	2	70 x 70 40 x 80 35 x 60	40 x 70 30 x 60	7.7 7.0	7.8 15.8
MILITAR	Torres de 4 pisos en forma de H, dividida en 3 plantas rectangulares por juntas sísmicas actualmente selladas por pisos.	Bloque de la parte lateral de torre en H	4	30 x 40	20 x 55	5.5 2.4	5 17
NAVAL	Torre de 7 pisos en forma de L, dividida en 2 plantas rectangulares por juntas sísmicas parcialmente selladas por pisos.	Bloque grande de la torre en forma de L.	3	80 x 80	Losa Plana	8.3 6.8	6.6 25
ALBORADA	Un solo edificio de 4 pisos, sin jutas sísmicas ni anexos de menor altura.	Unico bloque existente.	3	50 x 50	Losa Plana	6.5 3.6	3.9 17.8
BECERRA	Estructuras aisladas de 2 y 3 pisos, algunas de ellas conectadas entre sí por losas de corredores rigidamente	Estructura de 3 pisos con unión rígida.	4	40 x 40	30 x 45	5.6 2.6	3.7 12
GUASMO	Varios bloques de un solo piso separados por juntas de 2 cm de ancho aprox.	Una estructura intermedia	3	30 x 30	Losa Plana	5.2 3.6	2.5 7.7

(1) Tipo de Sistema Estructural:

1 = Porticos espaciales con mecanismo de falla muy dúctil, columnas fuertes y vigas peraltadas débiles que desarrollan ductilidad mucho antes del desarrollo de ductilidad en las columnas.

2 = Pórticos con mecanismo de falla dúctil, columnas un poco más fuertes y vigas con cedencia casi a la par que las columnas.

3 = Pórticos espaciales con mecanismo de falla por flexión dúctil y falla cortante frágil, con vigas no peraltadas (losas planas) y columnas fuertes con poca capacidad de desarrollar ductilidad.

4 = Pórticos espaciales con mecanismo de falla frágil, con vigas peraltada fuertes y columnas más débiles con mínima capacidad de desarrollar ductilidad

5 = Combinación de los sistemas anteriores.

(2) Dimensiones de las columnas a nivel de planta baja.

(3) Dimensiones de las vigas a nivel de primer piso.

(4) Luces o distancias entre ejes de columnas. "L<sub>max</sub>" valor máximo, "L<sub>min</sub>" valor mínimo

(5) F<sub>c</sub>/ F'<sub>c</sub> en porcentajes máximos y mínimos. F<sub>c</sub>, esfuerzo en las columnas debido a la sobrecarga vertical. F'<sub>c</sub>, resistencia de diseño.

## VARIABLES GEOMÉTRICAS Y MECÁNICAS DE LAS ESTRUCTURAS O BLOQUES

Se obtuvo la información de las propiedades geométricas y mecánicas de los planos estructurales (hospitales: Naval, IESS, Alborada, Vernaza, Solca y Policía) de un levantamiento estructural de campo y de los planos arquitectónicos disponibles (hospitales: Guayaquil, Niño, Militar) o bien mediante un levantamiento de campo tanto estructural como arquitectónico (hospitales: Valenzuela, Becerra y Guasmo). En los casos en los que no se disponía de planos estructurales se debió obtener las cuantías de acero  $\phi_{cp}$  y  $\phi_{cs}$  en el sitio, mediante el uso del equipo de resonancia magnética: “localizador de armaduras” donado por ECHO. En los Cuadros No. 8 y 9 se presentan los valores de las principales variables geométricas y mecánicas.

### Análisis normalizado a la primera fluencia de una columna de planta baja

En los análisis matemáticos se utilizó el programa computacional SAP90, las solicitaciones sísmicas o espectros elásticos del Anexo 2 y se consideró a las cargas verticales permanentes actuando con valores reales, sin factores de carga. Los análisis se normalizaron para el nivel de la aceleración espectral correspondiente a la primera fluencia de una columna.

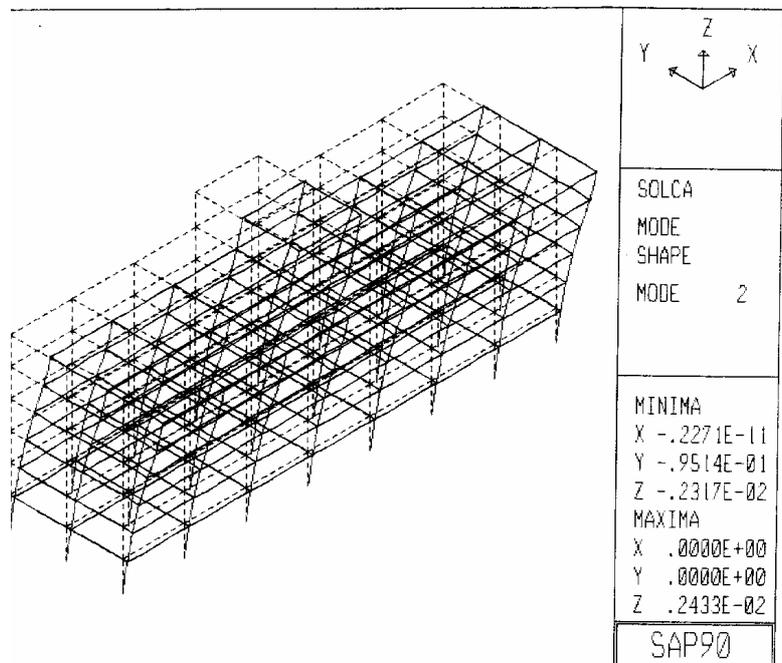
En las estructuras con columnas fuertes y vigas peraltadas más débiles, la fluencia en algunas vigas precede a la cedencia de la primera columna, en éstos casos, se ha utilizado las correlaciones de la Referencia No. 10 para obtener la ductilidad global equivalente  $\mu_{cy} > 1$  correspondiente a la condición de normalización.

Otros sistemas estructurales con vigas más fuertes que las columnas o vigas perdidas en las losas, se comportan elásticamente hasta la formación de la primera cedencia en una columna, y por lo tanto, la ductilidad global equivalente a la condición de normalización es  $\mu_{cy} = 1$ .

Una gran ventaja de este tipo de normalización es que al utilizar los valores la resistencia experimental  $F'c$  y las cuantías de acero  $\phi_{cp}$  y  $\phi_{cs}$  de las columnas para el cálculo de la resistencia de la primera fluencia se obtiene un patrón de comparación más representativo, basado no solo en las propiedades geométricas de los elementos sino también en sus propiedades mecánicas experimentales. Los resultados de los análisis normalizados se presentan a continuación en el Cuadro No. 9.



*Fachada del Hospital Oncológico Dr. Juan Tanca Marengo (SOLCA)*



*Deformación del Hospital de SOLCA, calculada mediante el programa SAP90 para una solicitación sísmica actuando en la dirección más flexible del edificio.*

**CUADRO No. 9: PROPIEDADES MECANICAS Y RESULTADOS DEL ANALISIS NORMALIZADO A LA PRIMERA FLUENCIA EN UNA COLUMNA.**

	DUCTILIDAD $\mu_{cap}^{(1)}$	Fyp <sup>(2)</sup> Kg/cm <sup>2</sup>	Fys <sup>(3)</sup> kg/cm <sup>2</sup>	$\phi_{cp}^{(4)}$	$\phi_{cs}^{(5)}$	$\mu_{cy}^{(6)}$	$\gamma_{cy}^{(7)}$ ‰	Ae ( $\mu_{cy}$ ) <sup>(8)</sup> cm/seg <sup>2</sup>	INTENSIDAD SISMICA <sup>(9)</sup>
GUAYAQUIL	3	4200	2800	0.025	0.007	1.0	4.9	165	VII
VALENZUELA	1.5	2800	2800	0.005	0.001	1.0	2.5	136	VII
SOLCA	4	4200	2800	0.02	0.005	1.6	6.9	238	VIII
IESS	2	4200	2800	0.015	0.003	1.0	3.4	125	VII
VERNAZA	2	4200	2800	0.015	0.003	1.0	7.4	480	VIII
NIÑO	2	4200	2800	0.015	0.003	1.1	3.2	160	VII
POLICIA	3	4200	2800	0.02	0.005	1.1	3.4	270	VIII
MILITAR	2	2800	2800	0.01	0.002	1.0	2.2	156	VII
NAVAL	2	2800	2800	0.03	0.01	1.0	11.2	333	VIII
ALBORADA	2	4200	2800	0.015	0.009	1.0	3.4	460	VIII
BECERRA	1.5	2800	2800	0.005	0.001	1.0	3.0	132	VII
GUASMO	2	4200	2800	0.01	0.002	1.0	4.1	560	IX

- (1) Capacidad máxima de desarrollo de ductilidad previo colapso, que se estima tendría la estructura según su sistema estructural  
 (2) Esfuerzo de Fluencia del acero de refuerzo principal  
 (3) Esfuerzo de Fluencia del acero de refuerzo transversal o estribos  
 (4) Cuantía de refuerzo principal en las columnas  
 (5) Cuantía de refuerzo transversal (estribos) en las columnas  
 (6) Ductilidad de la estructura a la primera cedencia  
 (7) Distorsión lateral máxima de un piso a la primer cedencia  
 (8) Aceleración espectral correspondiente a la primera cedencia  
 (9) Intensidad Mercalli Modificada a la primera cedencia.

**Análisis del comportamiento sismo-resistente para sismos de gran intensidad**

Considerando los factores de ductilidad y las variables del peligro sísmico, se calcula el comportamiento sismo-resistente para sismos de intensidad VII, VIII y IX. Los resultados se presentan en el Cuadro No. 10.

**CUADRO No. 10 : COMPORTAMIENTO SISMICO PARA INTENSIDADES VII, VIII y IX**

NOMBRE DEL HOSPITAL	SISMO DE INTENSIDAD VII			SISMO DE INTENSIDAD VIII			SISMO DE INTENSIDAD IX		
	Ae <sub>max</sub> <sup>(1)</sup> cm/seg <sup>2</sup>	$\mu_{DEM}^{(2)}$	COMPARACION $\mu_{DEM} < \mu_{CAP}^{(3)}$	Ae <sub>max</sub> <sup>(1)</sup> cm/seg <sup>2</sup>	$\mu_{DEM}^{(2)}$	COMPARACION $\mu_{DEM} < \mu_{CAP}^{(3)}$	Ae <sub>max</sub> <sup>(1)</sup> cm/seg <sup>2</sup>	$\mu_{DEM}^{(2)}$	COMPARACION $\mu_{DEM} < \mu_{CAP}^{(3)}$
GUAYAQUIL	150	0.9	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	300	1.8	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	500	3	$\mu_{DEM} = \mu_{CAP}$
VALENZUELA	200	1.45	$\mu_{DEM} \leq \mu_{CAP}$	400	2.9	$\mu_{DEM} > \mu_{CAP}$	600	4.4	$\mu_{DEM} > \mu_{CAP}$
SOLCA	150	1.0	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	300	2	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	500	3.4	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$
IESS	150	1.2	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	300	2.4	$\mu_{DEM} > \mu_{CAP}$	500	4	$\mu_{DEM} > \mu_{CAP}$
VERNAZA	200	0.4	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	400	0.8	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	600	1.2	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$
NIÑO	150	0.9	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	300	1.9	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	500	3.1	$\mu_{DEM} > \mu_{CAP}$
POLICIA	150	0.6	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	300	1.1	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	500	1.9	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$
MILITAR	150	1.0	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	300	2.0	$\mu_{DEM} = \mu_{CAP}$	500	3.2	$\mu_{DEM} > \mu_{CAP}$
NAVAL	150	0.5	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	300	1.0	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	500	1.5	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$
ALBORADA	200	0.45	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	400	0.9	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	600	1.3	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$
BECERRA	150	1.1	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	300	2.3	$\mu_{DEM} > \mu_{CAP}$	500	3.8	$\mu_{DEM} > \mu_{CAP}$
GUASMO	150	0.25	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	300	0.5	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$	500	1.1	$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$

- (1) Aceleración espectral máxima del Anexo 2  
 (2) Demanda de Ductilidad Global para la sollicitación sísmica analizada  
 (3) Comparación entre la demanda de ductilidad y la capacidad máxima de desarrollar ductilidad.

$\mu_{DEM} < \mu_{CAP}$  : Demanda menor que la capacidad, el mecanismo de falla no ha ocurrido, la estructura responde con su ductilidad

$\mu_{DEM} = \mu_{CAP}$  : Demanda igual a la capacidad, el mecanismo de falla o colapso se ha formado para la intensidad sísmica dada

$\mu_{DEM} > \mu_{CAP}$  : Demanda mayor que la capacidad, la estructura ha fallado para una intensidad menor a la analizada.

**Interpretación de resultados**

Los resultados muestran estructuras seguras para sismos de intensidades menores o iguales a VII y comportamiento elástico ( $\mu_{DEM} < 1$ ) que implica daños no estructurales moderados o pequeños. Sismos de intensidad VIII producen la falla de cuatro hospitales (33%) y un comportamiento inelástico ( $\mu_{DEM} > 1$ ) que equivale a un nivel de daños muy severo en elementos no - estructurales. Finalmente se aprecia, que un 50% de las estructuras están en capacidad de resistir, sin falla un sismo de intensidad IX que equivale a la máxima intensidad históricamente registrada en Guayaquil.

## DIAGNOSTICOS DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y NO ESTRUCTURAL

### Vulnerabilidad Estructural

Haciendo uso de la información disponible para cada hospital se formulan los diagnósticos de vulnerabilidad, los mismos que se presentan a continuación en el Cuadro No. 11.

**CUADRO No. 11: DIAGNOSTICOS DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL**

NOMBRE DEL HOSPITAL	DIAGNOSTICO DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL
GUAYAQUIL	Su primer piso posee menor rigidez respecto de los demás. Para intensidades $\geq$ VIII el ancho de las juntas sísmicas entre la torre de 8 pisos y los bloques anexos de un piso resultaría insuficiente, pudiéndose producir impacto entre bloques y concentración del daño en éste nivel con colapso frágil tipo piso suave.
VALENZUELA	Durante el sismo de 1980 (intensidad VII <sup>-</sup> ) se produjeron agrietamientos en elementos estructurales. Se estima como probable un mecanismo de colapso frágil para intensidad VII <sup>+</sup> o superior
SOLCA	Para intensidades M.M. $\geq$ VIII, el ancho de las juntas sísmicas entre la torre de 6 pisos y los bloques anexos de dos pisos resultaría insuficiente lo que concentraría el daño a nivel de segundo y tercer piso e incrementaría su vulnerabilidad y la posibilidad de un colapso de piso suave.
IESS	El sistema estructural es heterogéneo, algunas áreas son más seguras que otras. En sus áreas más vulnerables se podrían producir daños de poca extensión para M.M. $\geq$ VIII. Los sótanos o cámaras construidos bajo criterio de cimentación superficial compensada, permanecen inundados por el agua de las mareas, deteriorando la cimentación e incrementándose con el tiempo la vulnerabilidad estructural del hospital por deterioro.
VERNAZA	El Bloque de Cirugía reporta baja vulnerabilidad. Otras estructuras más antiguas del hospital han soportado sismos de intensidad M.M. $\leq$ 7.0 sin experimentar daño alguno pero actualmente el deterioro de algunos elementos estructurales secundarios (losas, vigas) podría facilitar su falla para intensidades M.M. $\geq$ VIII.
NIÑO	Sus columnas poseen cuantías de acero y dimensiones un poco menores que las utilizadas en el estándar de diseño de la ciudad. Esto lo ubica como una estructura un poco menos dúctil y resistente que otras similares, con un mecanismo de falla dúctil para intensidad MM = VIII <sup>+</sup> , en lugar de IX.
POLICIA	Las propiedades geométricas y mecánicas de sus elementos estructurales le dan a ésta estructura resistencia y ductilidad superior al estándar de diseño, configura mecanismo de falla dúctil para intensidad MM = IX <sup>+</sup> o X más allá del nivel de las máximas intensidades históricas, lo que resulta recomendable para una estructura hospitalaria y le otorga baja vulnerabilidad.
MILITAR	La mala calidad y baja resistencia del hormigón se ha traducido en un nivel de vulnerabilidad muy alto. Mecanismo de falla frágil para intensidad M.M. = VIII.
NAVAL	El mayor tamaño y reforzamiento de las columnas respecto del estándar local, le significa a ésta estructura mayor seguridad que la del estándar. Sin embargo, por su gran flexibilidad para intensidades M.M. > VII se espera que se produzca una fuerte interacción con las estructuras anexas de una planta, concentración del daño a ese nivel e incremento de la vulnerabilidad con reducción de la seguridad sismo-resistente evaluada por el análisis matemático de la torre aislada.
ALBORADA	Baja vulnerabilidad debido al menor tamaño de su sollicitación sísmica y mayor dimensionamiento del tamaño de las columnas respecto del estándar de diseño.
BECERRA	Alta vulnerabilidad por un menor dimensionamiento de las columnas respecto del estándar de diseño. Posible colapso frágil para MM = VIII.
GUASMO	Muy baja vulnerabilidad debido al bajo tamaño de la sollicitación sísmica que le corresponde por sus características dinámicas (estructura de un solo piso). Sin experimentar colapso hasta MM = X o XI.
ALEJ. MANN	Por su gran flexibilidad y tipo de estructura es poco vulnerable a sismos. Por ser de madera y poseer gran número de instalaciones mal protegidas tiene una alta vulnerabilidad para incendios originados por sismos.
SOTOMAYOR	Vulnerabilidad comparable con la del Hospital Vernaza, con antigüedad y deterioro de elementos secundarios.
KENNEDY	Buena calidad del hormigón, estándar de diseño y baja vulnerabilidad comparable con el hospital de la Policía
ALCIVAR	Estándar de diseño y baja vulnerabilidad comparable con el hospital de la Policía.
PANAMERICANA	Por sus características estructurales, se le atribuye una vulnerabilidad similar a la del hospital de Solca.
INFECTOLOGIA	Por sus características estructurales se le atribuye una vulnerabilidad similar a la del hospital del Guasmo, con excepción de la estructura del tanque para abastecimiento de agua muy vulnerable.
DERMATOLOGICO	Por sus características estructurales se le atribuye una vulnerabilidad similar a la del hospital del Guasmo, con excepción de la estructura metálica de la capilla que por su deterioro y dimensionamiento es muy vulnerable
LORENZO PONCE	Vulnerabilidad comparable con la del Hospital Vernaza, antigüedad y deterioro de elementos secundarios.

### Vulnerabilidad No Estructural

El Cuadro No. 12 contiene los Diagnósticos de Vulnerabilidad No Estructural. Los de tipo cualitativo se basan en la participación de éstos elementos en la respuesta sísmica, riesgo de resonancia, tipo y calidad de la estructura. Los diagnósticos cuantitativos se basan en las distorsiones máximas de piso  $\gamma_{\max}$ , y en la estimación del nivel de daño producido por éstas distorsiones según la clasificación que a continuación se propone:

Vulnerabilidad                      Nivel de Daño No - Estructural                      Rango de Distorsiones Máximas  $\gamma_{\text{máx}}$  (‰)  
)

A	No se produce daño o el daño es despreciable	0 a 1.0
B	Daños pequeños que no afectan la operatividad del hospital	1.0 a 2.5
C	Daños moderados que afectan parcialmente la operatividad del hospital	2.5 a 5.0
D	Grandes daños, inoperatividad total del hospital despues del sismo	> 5.0

### CUADRO No. 12: DIAGNOSTICOS DE VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL

VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL COMO FUNCION DEL NIVEL DE DAÑO PRODUCIDO EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES				
NOMBRE DEL HOSPITAL	INTENSIDAD M.M. = VI	INTENSIDAD M.M. = VII	INTENSIDAD M.M. = VIII	INTENSIDAD M.M. = IX
GUAYAQUIL	A o B	C	D	D
VALENZUELA	A	B		
SOLCA	A o B	C	D	D
IESS	A o B	C	D	
VERNAZA	B o C	C	D	D
NIÑO	A o B	C	D	
POLICIA	A	B	C	D
MILITAR	A	B	C	
NAVAL	B o C	C	D	D
ALBORADA	A	B	C	C
BECERRA	B	C		
GUASMO	A	A o B	B	C
ALEJ. MANN	B o C	C	D	D
SOTOMAYOR	B o C	C	D	D
KENNEDY	A	B	C	D
ALCIVAR	A	B	C	D
PANAMERICANA	A o B	C	D	D
INFECTOLOGIA	A	B	B	C
DERMATOLOGICO	A	B	B	C
LORENZO PONCE	B o C	C	D	D



Algunos hospitales como el "Naval" poseen baja vulnerabilidad estructural, no obstante debido a su gran flexibilidad sus elementos no estructurales son muy vulnerables. Se aprecia el agrietamiento de un enlucido colocado indebidamente en una junta sísmica de dilatación.

## CAPACITACION AL PERSONAL TECNICO DE LOS HOSPITALES

Una de las actividades del proyecto fue capacitar al personal técnico de los hospitales. Este objetivo se cumplió mediante encuentros de difusión de las actividades y resultados preliminares del proyecto, algunas de las cuales contaron con el acompañamiento de funcionarios del Ministerio de Salud del Ecuador.

### CATEGORIZACION DE LA SEGURIDAD SISMO-RESISTENTE Y NIVEL DE OPERATIVIDAD DEL SISTEMA HOSPITALARIO DE GUAYAQUIL

Como una aplicación de la utilización de los diagnósticos de vulnerabilidad estructural y no-estructural y como un elemento que podría usarse como herramienta para un sistema de acreditación hospitalaria se propone una clasificación de los hospitales según su seguridad sismo-resistente y su nivel de operatividad después de un determinado desastre. Se eligió el escenario un sismo de intensidad M.M. = VIII y se han usado términos probabilísticos para hacer énfasis y recordar el tipo de fenómeno que se ha analizado. No obstante lo razonable de una metodología de evaluación, la naturaleza siempre podrá ofrecer situaciones imprevisibles.

<u>CATEGORIA</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>HOSPITALES</u>
1	Probabilidad de experimentar pequeños daños no estructurales que no afecten la operatividad del hospital. Ningún tipo de daño estructural	GUASMO
2	Probabilidad de experimentar daños no estructurales moderados que afecten parcial y/o transitoriamente la operatividad del hospital. Pequeños daños de tipo estructural que no ponen en peligro la seguridad de las personas. Daños de fácil reparación, sin evacuación.	POLICIA ALBORADA KENNEDY ALCIVAR
3	Probabilidad de experimentar daños no estructurales severos que afecten temporalmente la operatividad del hospital no permitiéndolo la atención de la emergencia. Pequeños daños de tipo estructural que no ponen en peligro la seguridad de las personas.	VERNAZA NAVAL SOTOMAYOR LORENZO PONCE ALEJ. MANN <sup>(*)</sup>
4	Probabilidad de experimentar daños no estructurales severos y daños de tipo estructural moderado que requieren evacuación de las instalaciones y una reparación de la estructura con reforzamiento o técnicas similares.	SOLCA GUAYAQUIL NIÑO PANAMERICANA
5.	Probabilidad de experimentar daños de tipo estructural severos que incluyen: colapso de estructuras vitales como tanques, colapso de sub-estructuras o partes más vulnerables de la estructura de pequeña extensión respecto del conjunto de las instalaciones con riesgo para la vida de las personas.	MILITAR BECERRA IESS INFECTOLOGIA DERMATOLOGICO
6.	Probabilidad de experimentar un colapso total o de una gran extensión de la estructura con alto riesgo de pérdida de vida de las personas.	VALENZUELA

(\*) No está siendo considerado el riesgo de incendio asociado a terremotos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA REDUCIR VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y NO ESTRUCTURAL

1. Sobre el diseño estructural de las nuevas instalaciones hospitalarias se recomienda actualizar los códigos. Controlar más estrictamente las deformaciones laterales que producen daños No Estructurales y elevar el estándar de seguridad de los hospitales. Sería recomendable que los hospitales tuvieran la capacidad de resistir sismos de intensidad VIII con daño no estructural moderado y daño estructural menor (categoría 2).

Adicionalmente, es recomendable utilizar formas arquitectónicas más simples que garanticen un mejor comportamiento sísmico.

2. Se recomienda reforzar los hospitales clasificados dentro de las categorías 5 y 6 e incrementar su seguridad..

3. El comportamiento sísmico de los hospitales más modernos es satisfactorio. Las estructuras más antiguas diseñadas antes de los 70 sin mecanismo de falla dúctil son las que reportan el menor estándar de seguridad. En algunos casos, pequeñas inversiones pueden contribuir a mejorar el comportamiento sismo-resistente. Por ejemplo, en los hospitales Becerra y Militar se pueden crear juntas sísmicas para controlar torsiones liberando conexiones rígidas entre edificios que deberían estar totalmente independizados.

4. Para reducir la vulnerabilidad No-Estructural de los hospitales clasificados en las categorías 3 y 4, en los cuales se producen grandes distorsiones laterales durante los sismos severos, se recomienda adoptar las siguientes medidas:

- a) Proteger equipos de laboratorio y sustancias químicas, etc; manteniéndolos en posición estable y de ser posible asegurando el mobiliario contra las paredes o los elementos estructurales.
- b) Incorporar uniones deformables en las instalaciones vitales principalmente cuando atraviesan juntas sísmicas.
- c) Mantener las juntas sísmicas de dilatación selladas con materiales flexibles y deformables.
- d) Proteger las maquinarias y equipos vitales de las vibraciones sísmicas emplazándolos fuera del edificio o aislándolos de las vibraciones sísmicas mediante dispositivos diseñados para el efecto.

5. Durante las actividades de capacitación se advirtió la necesidad de impulsar el desarrollo de planes de emergencia que definan el rol de los hospitales durante la atención de los desastres.



*Hospital Becerra: Los bloques de hospitalización están unidos por débiles corredores. Podría mejorarse el comportamiento sísmico si se construyen juntas de dilatación que separen los bloques.*

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a las siguientes instituciones y personas:

Al Departamento para la Ayuda Humanitaria de la Comunidad Europea ECHO y a la Organización Panamericana de la Salud OPS/OMS.

Al Ministerio de Salud del Ecuador, Junta de Beneficencia de Guayaquil, IESS, F.F.A.A., SOLCA, Policía y a las clínicas privadas por apoyar y facilitar la realización de éste estudio. A la Dirección Nacional de Defensa Civil del Ecuador, a su Director Gral. Laercio Almeida, y al Sr Eduardo Estrada , Director Provincial de Defensa Civil del Guayas, por la asesoría y colaboración brindada.

A la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, su Rector: Dr. Gustavo Noboa B, Vicerrectora: Dra. Nila Velásquez, Decano de Ingeniería: Ing. Antonio Beltrán y Sub-Decano de Ingeniería: Ing. Walter Mera por el invaluable apoyo institucional . Así como también, a los ingenieros Alex Villacrés, Octavio Yépez y Fausto Bravo, asesores especialistas en distintas áreas; y al Ing. Fernando Nuñez, Srta. Maribel Aldás, Sr. Jaime Bravo y Sr. Ernesto Torres, ayudantes de investigación del proyecto.

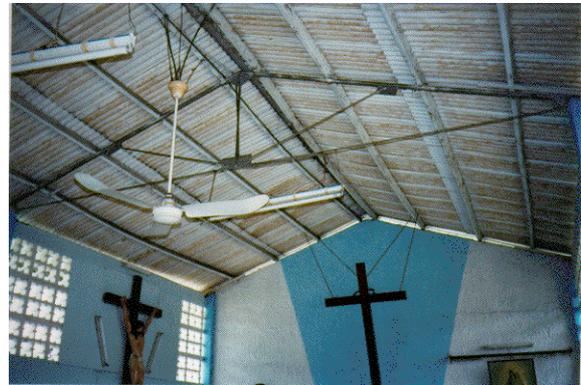
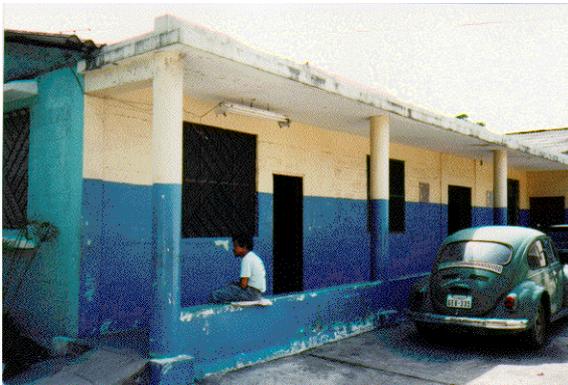
## REFERENCIAS

- 1.- Mera Walter, Argudo Jaime, Freire Alfredo, Villacrés Alex. Vulnerabilidad Sísmica de Estructuras Importantes de la Ciudad de Guayaquil. Instituto de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (IIFI-UC). Estudio auspiciado por las Naciones Unidas, Defensa Civil del Ecuador y Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (1994).
- 2.- De Velasco Juan. Historia del Reino de Quito en la América Meridional, Tomo II y parte II, 1789. Ediciones Clásicos Ariel, "La Historia Moderna, I Tomo", libro 15.
- 3.- Estrada Ycaza Julio. El puerto de Guayaquil, crónica portuaria. Banco Central del Ecuador, Centro de Investigación y Cultura, Guayaquil. Archivo histórico del Guayas. Segunda edición, 1990.
- 4.- Lee Pablo. Historia de la Arquitectura del Guayaquil Antiguo, Universidad Católica de Guayaquil - Ecuador. 1994
- 5.- Villacrés Alex. Determination of mean annual rates of intensities for Ecuadorian western coast cities. Tokyo - Japón, Septiembre de 1995. Instituto Kajima de la Construcción.
- 6.- Argudo Jaime, Yela Rommel. Microzonificación Sísmica de Guayaquil. Instituto de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (IIFI-UC). Presentado a las VIII Jornadas de Ingeniería Estructural. Quito, 1994.
- 7.- Chávez Franco Modesto. "Crónicas del Guayaquil Antiguo". Ediciones Clásicos Ariel, libro 41.
- 8.- Villacrés Alex. Análisis espectral de acelerogramas de movimientos fuertes del terreno y estructuras. Tesis de Grado de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Guayaquil (1993).
- 9.- Cardona Omar Darío. Mitigación de desastres en las instalaciones de la salud. Aspectos de Ingeniería (Vol. 4). Organización Panamericana de la Salud.
- 10.- Yela Rommel y Bravo Fausto. Estudio Comparativo entre las metodologías de diseño sismo-resistentes en el rango elástico y una propuesta de diseño inelástico para edificios de hormigón armado. Universidad Católica de Guayaquil, 1993.
- 11.- Ruffilli Arnaldo. Lecciones de Estructuras (los terremotos de Guayaquil). Universidad de Guayaquil, departamento de publicaciones (1949).
- 12.- Villacrés Alex. El Sismo de Guayaquil de 1942, evidencias recientes. Presentado a las IX Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural. Escuela Politécnica del Ejército (ESPE), Quito, Mayo de 1995.
- 13.- Argudo Jaime. Determinación experimental de períodos de vibración de edificios y suelos de Guayaquil, para estimación de vulnerabilidad sísmica. Memorias del Curso Internacional: Uso de información de peligros naturales en la preparación de proyectos de inversión, CISMID - Lima, Perú. 1992.
- 14.- Argudo Jaime, Yela Rommel y Bravo Fausto. Metodología para la reducción de la vulnerabilidad sísmica de escuelas y bibliotecas de Guayaquil. Revista "La Educación" de la Organización de Estados Americanos OEA. 1993
- 15.- Argudo Jaime. Evaluación de los daños producidos en el hospital Velasco Ibarra por el sismo del 2 de Octubre de 1995. Memorias de la Conferencia Internacional sobre Riesgo Sísmico, Universidad Católica de Guayaquil. 1996.

## ANEXO 1



**HOSPITAL GENERAL LUIS VERNAZA:** *Desprendimiento de recubrimiento en losas y vigas secundarias y deterioro en las instalaciones de las líneas vitales.*



**HOSPITAL DERMATOLOGICO:** *Deterioro de la estructura metálica de la Capilla*



**HOSPITAL DE INFECTOLOGIA:** *Daño estructural en el tanque de suministro de agua (columna corta)*



**HOSPITAL DE NIÑOS ALEJANDRO MANN:** *Deterioro de estructura e instalaciones expuestas.*

## ANEXO 1 (CONTINUACION)



*HOSPITAL GUAYAQUIL: Asentamientos diferenciales entre bloques de una sola planta y torre de 8 pisos*



*HOSPITAL ALFREDO VALENZUELA: Fisuras en vigas del pabellón de varones por el sismo 1980*



*HOSPITAL DEL IESS: Deterioro gradual de los cimientos de la estructura. Sótanos inundados por mareas*

## ANEXO 2

