

Evaluación de las variaciones de las características de la Torre Médica con la altura

- Variación de áreas de plantas entre pisos consecutivos

Considerando los límites indicados en el punto 3.2.2.1 del capítulo 3 y las variaciones del área de planta indicadas en la tabla 5.16, se puede decir que todas ellas se encuentran dentro del rango de bueno ($0.8 \leq A_{p_i}/A_{p_{i+1}} \leq 1.4$), a excepción de la variación del segundo con el tercer piso que cae en el rango de regular. Esto se debe a que la planta del tercer piso se reduce en un 50% aproximadamente.

- Variación de la resistencia entre pisos consecutivos

Considerando los límites indicados en el punto 3.2.2.2 del capítulo 3 y las variaciones de la resistencia indicadas en la tabla 5.17, se puede decir que todas ellas caen dentro del rango de bueno ($0.8 \leq R_i/R_{i+1}$), en ambas direcciones. Esto se produce debido a que los elementos que desaparecen en la estrangulación del tercer piso son columnas, no alcanzando a alterar en gran medida la resistencia en este piso. Además, se puede ver que la resistencia va disminuyendo en altura.

- Variación de la rigidez

Considerando los límites indicados en el punto 3.2.2.3 del capítulo 3 y las variaciones de la rigidez indicadas en la tabla 5.18, se puede decir que todas ellas, tanto las variaciones por piso como las que incluyen el promedio de los tres pisos superiores, caen dentro del rango de buenas.

- Excentricidad de plantas

Considerando los límites indicados en el punto 3.2.2.4 del capítulo 3 y la excentricidad de plantas indicadas en la tabla

5.19, se puede decir que todas ellas caen dentro del rango de buenas ($e_i/l_i \leq 0.1$), en ambas direcciones.

- Variación del peso entre pisos consecutivos

Considerando los límites indicados en el punto 3.2.2.5 del capítulo 3 y la variación del peso indicadas en la tabla 5.20, se puede decir que todas ellas caen en el rango de buenas ($0.85 \leq W_i/W_{i-1} \leq 1.15$), a excepción de la variación del segundo con el tercer piso que cae en el rango de malo ($1.5 \leq W_i/W_{i-1}$). Esto se debe a que el peso del tercer piso se reduce en un 45% aproximadamente producto de la estrangulación que se produce en este nivel.

Grado de vulnerabilidad de la estructura

Para determinar el grado de vulnerabilidad estructural de la Torre Médica, se debe considerar lo siguiente:

- a) El índice de Hirosawa da un grado de vulnerabilidad MEDIA de la estructura, cuando se aplica el primer nivel de análisis.
- b) El índice de Shiga se debe considerar poco representativo en el caso de la Torre Médica debido a que es un edificio en donde el área de columnas es mayor o igual a la de muros.
- c) La variación de las características del edificio en altura permiten calificar la estructura como regular en la mayoría de los pisos. Esta regularidad de la estructuración sólo se atera en el tercer piso.
- d) Para el sismo del 3 de marzo de 1985, que tuvo una intensidad de 7.5 en la escala de intensidades de Mercalli Modificada en el sector en donde se ubica el hospital, la estructura no sufrió daños estructurales, como se describe en el punto 5.2.1.1. De esta forma la estrangulación del tercer piso no ha producido una condición especial de riesgo para intensidades

como la indicada.

Teniendo en cuenta esta información es recomendable hacer un estudio mas detallado para analizar el comportamiento para un sismo cuya intensidad máxima probable corresponde a un grado entre 8 y 8.5 de la escala de Mercalli Modificada, como se indica en la figura 2.10 del capítulo 2.

Tomando en cuenta las consideraciones detalladas anteriormente se puede calificar preliminarmente a la estructura de la Torre Médica con un grado de vulnerabilidad MEDIA.

5.2.1.2.2 Torre Quirúrgica

Siguiendo la metodología de recolección de datos utilizada para la Torre Médica, se tiene:

Según los planos, este edificio está construido con un hormigón tipo D, con una resistencia a los 28 días $R_{28} \geq 225 \text{ kg/cm}^2$, lo que equivale a una resistencia cilíndrica a la compresión $f'_c = 172 \text{ kg/cm}^2$, según la tabla 19 de la norma Nch 170.Of85.

El módulo de elasticidad del hormigón de la Torre Quirúrgica tiene un valor $E = 2850000 \text{ [T/m}^2 \text{]}$.

Determinación de índices a calcular

Considerando que este edificio no tiene elementos resistentes de albañilería, el factor FC_i es igual a uno en todos los pisos y en todas las direcciones, debiéndose calcular los índices de Shiga (I_1 , I_2 e I_3) y el de Hirosawa (I_4), además de las características propias del edificio.

Índice de Hirosawa (I_4)

- Áreas transversales

Estas áreas se califican en $\sum A_{m1}$, $\sum A_{m2}$, $\sum A_{m3}$, $\sum A_{m4}$, $\sum A_{c1}$, $\sum A_{c2}$ y $\sum A_{ec}$.

Tabla 5.21 Areas de los muros de hormigón armado de la Torre Quirúrgica en la dirección X.

Piso	$\sum A_{m1}$ [cm ²]	$\sum A_{m2}$ [cm ²]	$\sum A_{m3}$ [cm ²]	$\sum A_{m4}$ [cm ²]
1		127330	322430	
2		59250	83440	
3		3000	120990	3000
4		3000	120990	3000
5		3000	120990	3000
6		3000	120990	3000
7			27910	21960

Tabla 5.22 Areas de las columnas de hormigón armado de la Torre Quirúrgica en la dirección X.

Piso	$\sum A_{c1}$ [cm ²]	$\sum A_{c2}$ [cm ²]	$\sum A_{c3}$ [cm ²]
1	85200		
2	231000		
3		141300	
4		141300	
5		141300	
6		141300	
7	50400	47550	

Tabla 5.23 Areas de los muros de hormigón armado de la Torre Quirúrgica en la dirección Y.

Piso	$\sum A_{m1}$ [cm ²]	$\sum A_{m2}$ [cm ²]	$\sum A_{m3}$ [cm ²]	$\sum A_{m4}$ [cm ²]
1		191980	37310	
2		32250	144200	9000
3		21450	150400	13950
4		21450	150400	13950
5		21450	150400	13950
6		21450	150400	13950
7		16500	127600	9000

Tabla 5.24 Areas de las columnas de hormigón armado de la Torre Quirúrgica en la dirección Y.

Piso	$\sum A_{c1}$ [cm ²]	$\sum A_{c2}$ [cm ²]	$\sum A_{c3}$ [cm ²]
1	226200		
2	199400		
3	72000		
4	72000		
5	72000		
6	72000		
7	72460		

- Peso sísmico por piso

Las consideraciones indicadas se aplican en todos los pisos, con excepción del último. En este piso se suma el peso de la sala de máquinas, por considerarse un apéndice del edificio, además se

suma el peso de la techumbre considerando un valor de 60 kg/m² el que no incluye la sobrecarga de uso.

Tabla 5.25 Peso sísmico por piso de la Torre Quirúrgica.

Piso	Peso W_i [Kg]	Peso acumulado $W_{i \dots np}$ [Kg]
1	1378391.0	10224377
2	1572069.0	8845986
3	1438118.0	7273917
4	1438118.0	5835799
5	1438118.0	4397681
6	1511039.0	2959563
7	1448523.8	1448524

- Indices de resistencia

Aplicando las ecuaciones del capítulo 3 se tiene:

Tabla 5.26 Valores de los índices de resistencia de la Torre Quirúrgica en la dirección X.

Piso	C_{ma}	C_{mar}	C_{ec}	C_r	C_c
1				0.5396	0.0717
2				0.2125	0.2246
3				0.1823	0.1169
4				0.2272	0.1458
5				0.3015	0.1934
6				0.4480	0.2874
7				0.3292	0.4968

Tabla 5.27 Valores de los índices de resistencia de la Torre Quirúrgica en la dirección Y.

Piso	C_{na}	C_{mac}	C_{uc}	C_v	C_c
1				0.3606	0.1903
2				0.2397	0.1939
3				0.2806	0.0851
4				0.3497	0.1061
5				0.4641	0.1408
6				0.6896	0.2092
7				1.1584	0.4302

- Valores de α_1 y F

Considerando que los elementos que determinan la capacidad resistente de la Torre Quirúrgica son muros y columnas de hormigón armado para cada piso y en las dos direcciones de análisis, los coeficientes toman los siguientes valores:

$$\alpha_1 = 0.0$$

$$\alpha_2 = 1.0$$

$$\alpha_3 = 0.7$$

$$F = 1.0$$

- Cálculo del índice sísmico básico de comportamiento estructural, E_o .

Tabla 5.28 Valores de E_o para cada dirección de la Torre Quirúrgica.

Piso	E_o	
	Según X	Según Y
1	0.5898	0.4938
2	0.3287	0.3337
3	0.2113	0.2721
4	0.2395	0.3084
5	0.2913	0.3751
6	0.3995	0.5145
7	0.3869	0.8340

- Cálculo del índice de configuración estructural, S_o .

Considerando lo descrito en el punto 3.2.1.1, se tienen los valores de la tabla 5.29.

Tabla 5.29 Valores de q_i para la Torre Quirúrgica.

	G_i	R_i	q_i	Observaciones
q_1	1.0	1.0	1.0	<u>Regularidad:</u> a_1 = regular
q_2	1.0	0.5	1.0	<u>Relación Largo-Ancho:</u> $B = 66.1/18.7 = 3.5$, en todos los pisos.
q_3	1.0	0.5	1.0	<u>Contracción de planta:</u> $c = 1.0$, en todos los pisos
q_4	1.0	0.5	1.0	<u>Patio interior:</u> No tiene.
q_5	1.0	0.25	1.0	<u>Excentricidad patio interior:</u> No tiene.
q_6	0.8	1.0	1.0	<u>Subterráneo:</u> No tiene.
q_7	1.0	0.5	1.0	<u>Junta de dilatación:</u> No tiene.
q_8	1.0	0.5	1.0	<u>Uniformidad de altura de piso:</u> $R_n = 1.0$, para todos los pisos.

Reemplazando los valores de la tabla 5.29 en la ecuación 3.10, se obtiene:

$S_0 = 1.0$ en todos los pisos.

- Cálculo del índice de deterioro de la edificación, T.

Tabla 5.30 Valores de los índices T_i , Torre Quirúrgica.

1	T_i	Observaciones
1	1.0	No presenta signos de deformación.
2	0.9	Presenta grietas visibles en columnas.
3	1.0	No ha experimentado incendio.
4	1.0	No contiene sustancias Químicas.
5	0.9	Tiene daños estructurales fuertes

Como el valor de T es el mínimo de estos factores, se tiene:

$T = 0.9$

Basandose en los datos anteriores, con la ecuación 3.1 se obtiene el índice de Hirosawa para cada una de las direcciones de la planta.

Tabla 5.31 Valores del índice de Hirosawa (I_2) para ambas direcciones de la planta de la Torre Quirúrgica.

Piso	I_2	
	Según X	Según Y
1	0.5308	0.4444
2	0.2958	0.3003
3	0.1902	0.2449
4	0.2155	0.2775
5	0.2622	0.3376
6	0.3596	0.4631
7	0.3482	0.7506

Evaluación del índice de Hirosawa

Las características de zona sísmica y suelo de fundación de la Torre Quirúrgica son las mismas que se consideraron en la Torre Médica, por lo que se obtiene:

- $T_0 = 0.30$
- $T = 0.05 * 7 = 0.35$
- $A_0 = 0.4$
- $S = 1.0$

Al evaluar la ecuación 3.11 descrita en el capítulo 3 para $T \leq T_0$, resulta el siguiente valor para el límite del índice de Hirosawa en estado de servicio:

$$I_{20}(\text{servicio}) = 0.19$$

Al evaluar los valores de R de la tabla 3.5 del capítulo 3 con la ecuación 3.12, se obtienen los siguientes valores para los rangos del grado de vulnerabilidad en el estado último para la Torre Quirúrgica:

Rango	Grado de Vulnerabilidad
$I_2 \geq 0.58$	BAJA
$0.58 > I_2 \geq 0.17$	MEDIA
$0.17 > I_2$	ALTA

Comparando esta tabla con los valores del índice de Hirosawa para la Torre Quirúrgica, indicados en la tabla 5.31, se obtiene:

- i) En ambas direcciones de la planta (ver figuras del anexo C), se cumple con lo requerido en el estado de servicio.
- ii) El mínimo valor del índice de Hirosawa se encuentra en el tercer piso ($I_2=0.1902$), lo que le da un grado de vulnerabilidad de MEDIA a ALTA a la estructura de la Torre Quirúrgica en el estado último.
- iii) La variación que presenta el índice en altura se debe a la disminución de los elementos resistentes verticales por el cambio de estructuración en el segundo y tercer piso (ver figuras del anexo C).
- iv) Al considerar la presencia de la albañilería de relleno en el tercer, cuarto, quinto y sexto piso en la dirección Y (ver figuras del anexo D) se produce una disminución del valor del índice de Hirosawa de la tabla 5.31 debido a que en esta nueva condición se reduce la contribución de los muros y columnas de hormigón armado al disminuir los coeficientes α_1 y α_2 , respectivamente, además el índice de ductilidad baja en un 20%.

Los valores del índice de Hirosawa considerando la albañilería de relleno se entregan en la tabla 5.32.

Tabla 5.32

Valores del índice de Hirosawa (I_2) para ambas direcciones de la planta de la Torre Quirúrgica considerando albañilería de relleno.

Piso	I_2	
	Según X	Según Y
1	0.5308	0.4444
2	0.2958	0.3003
3	0.1902	0.1577
4	0.2155	0.1787
5	0.2622	0.2174
6	0.3596	0.2982
7	0.3482	0.7506

Esto se puede interpretar como que el daño en los muros de relleno es probable que ocurra.

Indices de Shiga (I_1, I_c, I_t)

- Area de Muros ($\sum A_m$), columnas ($\sum A_c$) y áreas de plantas

El área total de muros en la dirección X e Y esta dada por la suma de las áreas Am_1, Am_2, Am_3 y Am_4 de la tabla 5.21 y 5.23 respectivamente, mientras que el área total de columnas en la dirección X e Y esta dada por la suma de las áreas Ac_1, Ac_2 y Ac_c de la tabla 5.22 y 5.24 respectivamente.

Tabla 5.33 Area total de muros ($\sum A_m$) y columnas ($\sum A_c$), T.Q.

Piso	Según X		Según Y	
	$\sum A_m$ [cm ²]	$\sum A_c$ [cm ²]	$\sum A_m$ [cm ²]	$\sum A_c$ [cm ²]
1	449760	85200	229290	226200
2	142690	231000	185450	199400
3	126990	141300	185800	72000
4	126990	141300	185800	72000
5	126990	141300	185800	72000
6	126990	141300	185800	72000
7	49870	97950	153100	72460

Tabla 5.34 Areas de plantas y área acumulada de plantas sobre el nivel considerado, T.Q.

Piso	Area planta A_{p_i} [m ²]	Ap acumulado $\sum_{j=1}^{n_p} A_{pj}$ [m ²]
1	1231.83	8622.83
2	1231.83	7391.00
3	1231.83	6159.17
4	1231.83	4927.33
5	1231.83	3695.50
6	1231.83	2163.67
7	1231.83	1231.83

- Cálculo de I_1 , I_c y I_e

Basándose en los datos de las tablas 5.33 y 5.34 y en las ecuaciones 3.13, 3.14 y 3.15, descritas en el capítulo 3, se obtiene:

Tabla 5.35 Valores de los índices I_1 , I_c y I_t para ambas direcciones de la planta de la Torre Quirúrgica.

Piso	Según X			Según Y		
	I_1 [cm ² /m ²]	I_c [cm ² /m ²]	I_t [kg/cm ²]	I_1 [cm ² /m ²]	I_c [cm ² /m ²]	I_t [kg/cm ²]
1	52.16	9.88	19.11	26.59	26.23	22.44
2	19.31	31.25	23.67	25.09	26.98	22.99
3	20.62	22.94	27.11	30.17	11.69	28.22
4	25.77	28.68	21.75	37.71	14.61	22.63
5	34.36	38.24	16.39	50.28	19.48	17.06
6	51.55	57.35	11.03	75.42	29.22	11.48
7	40.48	79.52	9.80	124.28	58.82	6.42

Evaluación de los índices de Shiga

Ubicando los puntos de coordenadas de I_1 (índice de área de muros) e I_t (índice de tensión media de corte nominal) de la tabla 5.35, en el gráfico 3.1 del capítulo 3, se obtiene la siguiente situación para los distintos pisos (ver figura H.3 y H.4 del anexo H).

Tabla 5.36

Nivel de daño de acuerdo a las coordenadas I_1 v/s I_2 de la Torre Quirúrgica.

Piso	Nivel de daño	
	Según X	Según Y
1	C	B
2	A	B
3	A	C
4	B	C
5	C	C
6	C	C
7	C	C

El hecho que los puntos que representan el segundo y tercer piso en la dirección X (dirección longitudinal), caigan en la zona A se puede explicar como consecuencia del cambio de estructuración de los ejes de fachada en esta dirección, siendo el primer piso mayoritariamente de muros y cambiando a partir del segundo piso a uno de columnas.

Al considerar la albañilería de relleno se produce un aumento en las áreas de muros en la dirección transversal del edificio (la albañilería de relleno aporta con un área de 16.56 m^2), afectando directamente al índice de muros (I_1) e inversamente el índice de corte nominal (I_2) sin cambiar la situación en los niveles de daños descritos en la tabla 5.36. Los valores de los índices de Shiga considerando la albañilería de relleno se entrega en la tabla 5.37.

Tabla 5.37

Valores de los índices I_1 , I_c y I_t para ambas direcciones de la planta de la Torre Quirúrgica considerando albañilería de relleno.

Piso	Según X			Según Y		
	I_1 [cm ² /m ²]	I_c [cm ² /m ²]	I_t [kg/cm ²]	I_1 [cm ² /m ²]	I_c [cm ² /m ²]	I_t [kg/cm ²]
1	52.16	9.88	19.11	26.59	26.23	22.44
2	19.31	31.25	23.67	25.09	26.98	22.99
3	20.62	22.94	27.11	39.29	11.69	23.17
4	25.77	28.68	21.75	48.05	14.61	18.90
5	34.36	38.24	16.39	62.64	19.48	14.50
6	51.55	57.35	11.03	91.85	29.22	9.92
7	40.48	79.52	9.80	124.28	58.82	6.42

Para determinar el grado de vulnerabilidad de la estructura se desestiman los antecedentes entregados por los índices de Shiga, debido a que en la Torre Quirúrgica el área de columnas es igual o superior al área de muros a partir del segundo piso, en donde se produce el cambio de estructuración, dando un grado de vulnerabilidad no distinto a la realidad observada.

Variación de la características del edificio de la Torre Quirúrgica con la altura

- Variación del área de la planta entre pisos consecutivos

Observando la tabla 5.34, se puede ver que el área de planta es igual en todos los pisos, por lo que la razón A_i/A_{i+1} no varía, y es igual a uno.

- Variación de la resistencia entre pisos consecutivos

Los valores de la resistencia por piso (R_i) y los de la razón (R_i/R_{i+1}) en la Torre Quirúrgica, están dados por:

Tabla 5.38 Variación de la resistencia entre pisos consecutivos, T.Q.

Piso	Según X		Según Y	
	R_i [m ²]	R_i/R_{i+1}	R_i [m ²]	R_i/R_{i+1}
1	53.50	1.43	45.55	1.18
2	37.37	1.39	38.49	1.49
3	26.83	1.00	25.78	1.00
4	26.83	1.00	25.78	1.00
5	26.83	1.00	25.78	1.00
6	26.83	1.82	25.78	1.14
7	14.78		22.56	

- Variación de la rigidez entrepiso

En el estudio de este edificio, se incluye el cálculo de la rigidez entrepiso considerando que los muros perimetrales en la dirección longitudinal del primer piso se deforman sólo por efecto del esfuerzo de corte, esto quiere decir que la rigidez de estos elementos esta dada por:

$$K = \frac{G \cdot A}{h}$$

$$G = 0.4 \cdot E$$

donde

G = Módulo de corte.

E = Módulo elástico o de Young.

h = Altura del elemento.

A = Area de corte del elemento.

La tabla 3.39 entrega la rigidez entre piso dada por la suma de las rigideces de los elementos resistentes que participan en la dirección analizada (K_1), y la variación de la rigidez, dada por la razón $(K_{1,1})/(K_1)$, considerando que todos los muros se deforman sólo por flexión, mientras que la tabla 5.40 entrega la rigidez y la variación de esta considerando que los muros perimetrales del primer piso se deforman sólo por corte.

Tabla 5.39

Variación de la Rigidez considerando sólo las deformaciones por flexión, T.Q.

Piso	Según X			Según Y		
	K_i [T/cm]	$\frac{K_{i+1}}{K_i}$	$\frac{1}{3} * \sum_{j=i+1}^{i+3} \frac{K_j}{K_i}$	K_i [T/cm]	$\frac{K_{i+1}}{K_i}$	$\frac{1}{3} * \sum_{j=i+1}^{i+3} \frac{K_j}{K_i}$
1	4337617.15	0.09	0.06	1725206.92	0.50	0.45
2	403570.08	0.53	0.53	855499.68	0.86	0.86
3	212026.52	1.00	1.00	731703.32	1.00	1.00
4	212026.52	1.00	0.84	731703.32	1.00	0.90
5	212026.52	1.00		731703.32	1.00	
6	212026.52	0.51		731703.32	0.69	
7	108385.97			503194.98		

Tabla 5.40 Variación de la Rigidez considerando que los muros del primer piso sólo se deforman por corte, T.Q.

Piso	Según X			Según Y		
	K_i [T/cm]	$\frac{K_{i+1}}{K_i}$	$\frac{1}{3} * \sum_{j=i+3}^{i-1} K_j$ K_i	K_i [T/cm]	$\frac{K_{i+1}}{K_i}$	$\frac{1}{3} * \sum_{j=i+1}^{i+3} K_j$ K_i
1	591220.38	0.68	0.47	1725206.92	0.50	0.45
2	403570.08	0.53	0.53	855499.68	0.86	0.86
3	212026.52	1.00	1.00	731703.32	1.00	1.00
4	212026.52	1.00	0.84	731703.32	1.00	0.90
5	212026.52	1.00		731703.32	1.00	
6	212026.52	0.51		731703.32	0.69	
7	108385.97			503194.98		

- Excentricidad del piso

Determinadas las coordenadas del centro de masa y el centro de rigidez, considerando el caso en que los muros se deforman sólo por flexión o por corte, se calcula la excentricidad como la diferencia entre estas coordenadas.

Tabla 5.41 Excentricidad cuando los muros sólo se deforman por flexión, T.Q.

Piso	Centro de Masa		Centro de Rigidez		Excentricidad			
	X_c [m]	Y_c [m]	X_r [m]	Y_r [m]	e_x [m]	e_y [m]	e_x/l_x	e_y/l_y
1	32.67	9.61	32.35	3.09	0.32	6.52	0.00	0.35
2	31.93	9.53	35.75	8.36	-3.82	1.18	0.06	0.06
3	32.18	9.61	32.31	6.63	-0.13	2.98	0.00	0.16
4	32.18	9.61	32.31	6.63	-0.13	2.98	0.00	0.16
5	32.18	9.61	32.31	6.63	-0.13	2.98	0.00	0.16
6	32.27	8.48	32.31	6.63	-0.04	1.86	0.00	0.10
7	32.28	8.37	31.97	12.03	0.30	-3.66	0.00	0.20

Tabla 5.42 Excentricidad cuando los muros del primer piso sólo se deforman por corte, T.Q.

Piso	Centro de Masa		Centro de Rigidez		Excentricidad			
	X_c [m]	Y_c [m]	X_r [m]	Y_r [m]	e_x [m]	e_y [m]	e_x/l_x	e_y/l_y
1	32.67	9.61	32.35	8.53	0.32	1.07	0.00	0.06
2	31.93	9.53	35.75	8.36	-3.82	1.18	0.06	0.06
3	32.18	9.61	32.31	6.63	-0.13	2.98	0.00	0.16
4	32.18	9.61	32.31	6.63	-0.13	2.98	0.00	0.16
5	32.18	9.61	32.31	6.63	-0.13	2.98	0.00	0.16
6	32.27	8.48	32.31	6.63	-0.04	1.86	0.00	0.10
7	32.28	8.37	31.97	12.03	0.30	-3.66	0.00	0.20

- Variación del peso entre pisos consecutivos

Considerando los datos obtenidos en la tabla 5.25, se obtiene la variación de los pesos entre pisos consecutivos, dada por la relación entre el peso del piso analizado y el peso del piso superior (W_i/W_{i+1}).

Tabla 5.43 Variación del peso entre pisos consecutivos, T.Q.

Piso	Peso W_i [Ton]	Area planta A_{p_i} [m ²]	Peso del piso [Ton/m ²]	W_i/W_{i-1}
1	1378.39	1231.83	1.12	0.88
2	1572.07	1231.83	1.28	1.09
3	1438.12	1231.83	1.17	1.00
4	1438.12	1231.83	1.17	1.00
5	1438.12	1231.83	1.17	1.01
6	1511.04	1312.78	1.15	1.04
7	1448.52	1312.78	1.10	

Evaluación de las variaciones de las características de la Torre Quirúrgica con la altura

- Variación de áreas de plantas entre pisos consecutivos

Al revisar las áreas de plantas indicadas en la tabla 5.34, se puede comprobar que su variación se encuentra dentro del rango de bueno ($0.8 \leq A_{p_i}/A_{p_{i-1}} \leq 1.4$) debido a que este edificio no presenta estrangulaciones en altura.

- Variación de la resistencia entre pisos consecutivos

Al revisar las variaciones de la resistencia indicadas en la tabla 5.38, se puede comprobar que todas ellas caen dentro del rango de bueno ($0.8 \leq R_i/R_{i-1}$), en ambas direcciones. Además, se puede apreciar que la resistencia va disminuyendo en altura.

- Variación de la rigidez

Al revisar las variaciones de la rigidez indicadas en la tabla 5.39, considerando que todos los muros se deforman sólo por flexión, se concluye que todas las variaciones por piso caen dentro del rango de buenas, con excepción de la variación entre el primer

y segundo en ambas direcciones, en donde los muros del primer piso aportan en gran medida al aumento de la rigidez. En cambio la variación de la rigidez considerando el promedio de los tres pisos superiores cae dentro del rango de bueno en todos los casos y en ambas direcciones.

Considerando que los muros perimetrales en la dirección X se deforman sólo por corte y a juzgar por las variaciones expuestas en la tabla 5.40, se concluye que todas las variaciones por piso caen dentro del rango de buenos, con excepción de la variación entre el primer y segundo piso en la dirección Y que cae en el rango de malo.

- Excentricidad de plantas

Considerando la excentricidad de plantas indicadas en la tabla 5.41 y la tabla 5.42, se tiene la situación indicada en la tabla 5.44 por piso, tanto en el caso en que los muros se deforman sólo por flexión como cuando los muros perimetrales en el sentido longitudinal del primer piso se deforman sólo por corte:

Tabla 5.44 Calificación de la excentricidad por piso, Torre Quirúrgica.

Piso	Flexión		Corte	
	ex/lx	ey/ly	ex/lx	ey/ly
1	B	M	B	B
2	B	B	B	B
3	B	R	B	R
4	B	R	B	R
5	B	R	B	R
6	B	B	B	B
7	B	R	B	R

donde

B: Bueno

R: Regular

M: Malo

- Variación del peso entre pisos consecutivos

Al revisar la variación del peso indicadas en la tabla 5.43, se puede decir que todas ellas caen en el rango de buenas.

Grado de vulnerabilidad de la estructura

Para determinar el grado de vulnerabilidad estructural de la Torre Quirúrgica, se debe considerar lo siguiente:

- a) El índice de Hirosawa da un grado de vulnerabilidad de MEDIA a ALTA a la estructura, cuando se aplica el primer nivel de análisis.

Con respecto a la variación que se produce en el valor de este índice al considerar la albañilería de relleno, se puede destacar que estos elementos son susceptibles de agrietarse al interactuar con el sistema y la capacidad resistente de la estructura no se ve incrementada como para reducir su vulnerabilidad.

- b) El índice de Shiga presenta las mismas limitaciones que la Torre Médica, desestimándose para determinar el grado de vulnerabilidad de la estructura.
- c) El edificio es más bien regular, las variaciones de las características del edificio en altura caen dentro de los límites aceptables en la mayoría de los casos siendo la variación de la rigidez entre el primer y segundo piso y la variación de la excentricidad los casos más desfavorables.

- d) A juzgar por los daños existentes en el edificio, se comprueba que las deformaciones mayores se producen en su dirección longitudinal (según X) con concentración de esfuerzos en la zona central, lo que es evidente por las grietas que se observan. Este agrietamiento produce una flexibilización de la estructura, por consiguiente durante sismos severos se produce un aumento de los desplazamientos.
- e) Un aspecto favorable de este edificio, es la proximidad a la ladera del cerro, lo que permite suponer que la roca no se encuentra a gran profundidad.

Tomando en cuenta estos antecedentes, se puede decir que es una estructura con VULNERABILIDAD de MEDIA a ALTA, debiéndose hacer un estudio más detallado para analizar el comportamiento para un sismo cuya intensidad máxima probable corresponde a un grado entre 8 y 8.5 de la escala de Mercalli Modificada, como se indica en la figura 2.10 del capítulo 2.

5.2.1.3 Puente de unión

A juzgar por los antecedentes y la información de daños de la Torre Médica y la Torre Quirúrgica, se puede decir que el puente de unión entre estas dos torres presenta un alto grado de vulnerabilidad, debiéndose estudiar las soluciones adoptadas en su reparación para evitar que vuelvan a ocurrir los mismos daños.

5.2.2 Hospital Dr. Gustavo Fricke

5.2.2.1 Comportamiento del Hospital Dr. Gustavo Fricke en sismos anteriores.

El hospital continuó trabajando una vez ocurrido el sismo, sin presentarse problemas de evacuación ni atochamientos en las salidas de emergencia.

Los edificios que existían en ese tiempo como el Edificio Principal, la sala de calderas, lavandería y el edificio de la Unidad de Emergencia Infantil (sólo estaba la obra gruesa del Edificio Normalización), no sufrieron mayores daños.

El hospital sufrió un corte de agua que se solucionó colocando una bomba en un pozo cercano, desde el cual se bombeaba agua a los estanques bajos (cuerpo Q, figura 4.2). Este abastecimiento se complementaba con el agua traída por los camiones cisternas. De acuerdo con las declaraciones de funcionarios del hospital, este sistema auxiliar de abastecimiento se prolongó por dos a tres semanas.

Comportamiento del Edificio Principal en sismos anteriores.

De acuerdo con declaraciones de los funcionarios del hospital que se encontraban para el sismo del 3 de Marzo de 1985 y a lo observado en las visitas a terreno, se puede destacar:

i) El Edificio Principal no sufrió daños en su estructura, con excepción de las chimeneas que se encuentran en la azotea del edificio, las cuales presentan una grieta horizontal en sus bases (foto G.9).

ii) La tabiquería interior no presentó daños para el sismo de Marzo de 1985, pero hay que recordar que existen ampliaciones recientes que no han sido probadas, como es el caso de la