

iv. Valores de α_1 y F

Los valores de los coeficientes α_1 y F se entregan en la tabla 5.28.

Tabla 5.28 Valores de α_1 y F del cuerpo B.

Nivel	Dirección Longitudinal				Dirección Transversal			
	α_1	α_2	α_3	F	α_1	α_2	α_3	F
1	0	1	0.7	1	0	1	0.7	1
2	0	1	0.7	1	0	1	0.7	1
3	0	1	0.7	1	0	1	0.7	1
4	0	1	0.7	1	0	1	0.7	1
5 M.R.Horm	0	1	0.7	1	0	0	1	1
6 M.R.Horm	0	0	1	1	0	0	1	1
5 M.R.Alb	1	0.7	0.5	0.8	1	0.7	0.5	1
6 M.R.Alb	1	0.7	0.5	0.8	1	0.7	0.5	1

De la tabla anterior se destacan los siguientes comentarios:

i.- Para los cuatro primeros niveles, los elementos de hormigón armado son los que controlan la estabilidad estructural de la edificación.

ii.- Para los dos últimos niveles, la contribución de los elementos de albañilería es importante y hace necesario estimar la vulnerabilidad estructural tanto en el caso de que la estabilidad estructural depende de estos elementos como en el caso de que depende sólo de los elementos de hormigón. Los factores F difieren debido a que en la dirección longitudinal, los elementos de albañilería son no confinados mientras que en la dirección transversal estos son confinados.

v. Cálculo de E_o

De acuerdo con lo expuesto en el capítulo 3, los valores que resultan del índice sísmico básico de comportamiento estructural son los indicados en la tabla 5.29.

Tabla 5.29 Valores de E_o del cuerpo B.

Nivel	E_o	
	Dirección Longitudinal	Dirección Transversal
1	0.925	0.583
2	1.023	0.745
3	0.798	0.782
4	1.141	0.959
5 M.R.Horm	0.281	0.104
6 M.R.Horm	0.220	0.141
5 M.R.Alb	0.215	0.165
6 M.R.Alb	0.209	0.310

B. Índice de configuración estructural (S_p)

Los valores de q_i representan el efecto de las distintas características de la configuración estructural y su determinación se detalla a continuación.

Tabla 5.30 Valores de q_i del cuerpo B.

ITEMS	G_i	R_i	q_i	Observaciones.
1. Regularidad de planta	0.9	1.0	0.9	$A_{saliente} > 10\%$ A_{planta}
2. Relación Largo-Ancho	1.0	0.5	1.0	$B = 30 / 12 = 2.5 < 5$
3. Contracción de planta			1.0	No hay estrangulamientos
4. Atrio o patio interior			1.0	No hay atrio o patio interior
5. Excentricidad de Atrio o patio interior			1.0	No hay atrio o patio interior.
6. Subterráneo			1.0	No hay subterráneo
7. Junta de dilatación	0.8	0.5	0.9	$s = 0.03 / 16 =$ $0.019 < 0.005$
8. Uniformidad de altura de piso	1.0	0.5	1.0	$R_h = 1$

Con los valores de la tabla 5.30, el valor que resulta del índice S_n , al aplicar la ecuación 3.10, es igual a 0.81.

C. Índice de deterioro de la edificación (T)

Los distintos aspectos considerados para determinar el estado de deterioro de la estructura así como los valores para cada uno de estos se indican en la tabla 5.31.

Tabla 5.31 Valores de T_i del cuerpo B.

ITEMS	T_i	CARACTERISTICA
1. Deformación Permanente	1	No presenta signos de deformación
2. Grietas en Muros o Columnas	1	No presenta grietas en columnas
3. Daños debido a Incendios	1	No ha experimentado incendio

4. Uso del Cuerpo	1	No contiene sustancias químicas
5. Tipo de Daño Estructural	1	Daño ligero

De la tabla anterior y considerando que el índice de deterioro de la edificación corresponde al valor del ítem más desfavorable, para este cuerpo se tiene que: $T = 1.0$

D. Cálculo del índice de Hirosawa (I_h)

Con los valores de E_o de cada piso y los valores de S_d y T , se calcula el índice de Hirosawa para cada nivel y dirección del cuerpo B, los resultados obtenidos se entregan en la tabla 5.32.

Tabla 5.32 Valores del índice I_h del cuerpo B.

Nivel	I_h ($S_D=0.81$, $T=1.0$)	
	Dirección Longitudinal	Dirección Transversal
1	0.749	0.472
2	0.828	0.604
3	0.647	0.634
4	0.924	0.777
5 M.R.Horm.	0.227	0.085
6 M.R.Horm.	0.178	0.114
5 M.R.Alb.	0.174	0.134
6 M.R.Alb.	0.169	0.251

E. Evaluación de la vulnerabilidad estructural con el índice de Hirosawa

Este cuerpo es una estructura mixta de muros y marcos de hormigón armado de 6 pisos, ubicado en suelo de tipo II; de acuerdo con esta información se obtiene:

$$T_o = 0.30 \text{ s.} \quad T = 0.05 * 6 = 0.30 \text{ s. (Período del edificio)}$$

$$S = 1.0$$

$$A_o = 0.3 \text{ g}$$

De acuerdo con las ecuaciones 3.12 y 3.16 para $T \leq T_o$, se obtiene:

$$(I_{so})_{serv} = 0.15$$

$$(I_{so})_{dlt}(R=2) = 0.441$$

$$(I_{so})_{dlt}(R=7) = 0.126$$

Con los valores de $(I_{so})_{dlt}$ se obtienen los siguientes rangos para evaluar la vulnerabilidad estructural de este cuerpo:

$I_h > 0.441$	Vulnerabilidad baja.
$0.441 \geq I_h > 0.362$	Vulnerabilidad media-baja.
$0.362 \geq I_h > 0.205$	Vulnerabilidad media.
$0.205 \geq I_h > 0.126$	Vulnerabilidad media-alta.
$I_h \leq 0.126$	Vulnerabilidad alta.

De los valores de la tabla 5.32, puede verse que este cuerpo no cumple con el valor mínimo para el estado de servicio en la dirección transversal de los dos últimos niveles (suponiendo el modo de falla dependiente de los elementos de hormigón armado).

Considerando los requisitos para el estado límite último, la vulnerabilidad para los cuatro primeros niveles de este cuerpo es baja. En cambio, la vulnerabilidad de los dos últimos niveles se estima como media-alta; sin embargo, debe destacarse que en el caso de la dirección transversal, la resistencia está definida por los elementos estructurales de albañilería confinada, la resistencia proporcionada por los elementos de hormigón armado es significativamente menor y si se considera sólo ella, se tiene una vulnerabilidad estructural alta.

Para este cuerpo se sugiere la necesidad de un análisis más exhaustivo de la vulnerabilidad estructural de los dos últimos pisos.

5.3.1.2.1.2 INDICES DE SHIGA

A. Cálculo de los índices

Estos índices se calculan para los cuatro primeros niveles; debido a que en los pisos superiores hay una mayor contribución en la resistencia por parte de los elementos de albañilería.

i. Area de muros ($\sum A_m$) y columnas ($\sum A_c$)

En la tabla 5.33 se indican las áreas totales de muros y columnas de los niveles y direcciones en que se evalúan los índices de Shiga.

Tabla 5.33 Area total de muros ($\sum A_m$) y columnas ($\sum A_c$) del cuerpo B.

Nivel	Dirección Longitudinal		Dirección Transversal	
	$\sum A_m$ (cm ²)	$\sum A_c$ (cm ²)	$\sum A_m$ (cm ²)	$\sum A_c$ (cm ²)
1	286050	15810	150750	16950
2	241225	10450	162500	11250
3	143600	22700	126100	21450
4	118928	18500	83955	29100

ii. Areas de planta

En la tabla 5.34 se detallan las áreas de las plantas y las áreas acumuladas de planta para los niveles analizados.

Tabla 5.34 Areas de planta y áreas acumuladas del cuerpo B.

Nivel	Area de Planta (m ²)	Area de planta acumulada (m ²)
1	572.44	2394.74
2	511.99	1822.30
3	511.21	1310.31
4	520.71	799.10

iii. Cálculo de I_m , I_c e I_t

Los valores que se obtienen de los índices de Shiga se detallan en la tabla 5.35.

Tabla 5.35 Valores de los índices I_m [cm²/m²], I_c [cm²/m²] e I_t [Kg/cm²] del cuerpo B.

Nivel	Dirección Longitudinal			Dirección Transversal		
	I_m	I_c	I_t	I_m	I_c	I_t
1	119.45	6.60	8.63	62.95	7.08	15.54
2	132.37	5.73	7.48	89.17	6.17	10.83
3	109.59	17.32	7.47	96.24	16.37	8.42
4	148.83	23.15	4.68	105.06	36.42	5.69

B. Evaluación de la vulnerabilidad estructural con el índice de Shiga

Con las expresiones y requerimientos establecidos en el capítulo 3, los valores mínimos requeridos para el índice I_m que están de acuerdo con los valores límite del índice de Hirose, para $R=2$, son los indicados en la tabla 5.36.

Tabla 5.36 Valores de $(I_m)_{mín}$ [cm^2/m^2] para el cuerpo B.

Nivel	$(I_m)_{mín}$
1	29.64
2	32.14
3	33.20
4	31.34

Puede comprobarse que de acuerdo con los valores del índice de Shiga de las tablas 5.35 y 5.36, la situación de estos cuatro niveles es favorable si se considera que los valores del índice de muros y de la tensión media están sobre los valores de $(I_m)_{mín}$ y bajo la tensión límite de 16 Kg/cm^2 , respectivamente.

5.3.1.2.1.3 INDICE DE MELI (I_{mm})

Para los dos últimos pisos del cuerpo B la contribución de los elementos de albañilería hace necesario evaluar la vulnerabilidad estructural con el índice de Meli.

A. Cálculo del índice I_{mm}

i. Areas totales de elementos resistentes verticales

Las áreas de los elementos resistentes verticales, con las reducciones recomendadas para los casos de esbeltez mayor a 1.33, se indican en la tabla 5.37.

Tabla 5.37 Áreas totales, corregidas por esbeltez, de elementos resistentes verticales del cuerpo B.

Nivel	$\sum A_{TL}$ (cm ²)	$\sum A_{TT}$ (cm ²)
5	51047.2	37950
6	16495.7	37800

donde:

$\sum A_{TL}$: Área total de muros de albañilería equivalente en la dirección longitudinal.

$\sum A_{TT}$: Área total de muros de albañilería equivalente en la dirección transversal.

ii. Áreas de planta

En la tabla 5.38 se entregan las áreas de planta y áreas de planta acumulada para los dos últimos niveles del cuerpo B.

Tabla 5.38 Áreas de planta y áreas de planta acumulada del cuerpo B.

Nivel	Área de Planta (m ²)	Área de planta acumulada (m ²)
5	139	278
6	139	139

iii. Cálculo de I_{mm}

Los valores del índice de Meli se determinan con la ecuación 3.22 y se detallan en la tabla 5.39.

Tabla 5.39 Valores del índice de Meli I_{mm} del cuerpo B.

Nivel	I_{mm}	
	Dirección Longitudinal	Dirección Transversal
5	0.0183	0.0136
6	0.0118	0.0271

B. Evaluación de la vulnerabilidad estructural con el índice de Meli

La evaluación de la vulnerabilidad estructural con el índice de Meli se realiza estableciendo un valor mínimo de acuerdo con el valor mínimo del índice de Hirosawa, para $R=2$; los valores mínimos que se obtienen se indican en la tabla 5.40.

Tabla 5.40 Valores mínimos para el índice de Meli ($I_{mm \text{ mín}}$).

Nivel	$I_{mm \text{ mín}}$
5	0.053
6	0.050

Este índice refleja la situación vista con el índice de Hirosawa en que se tiene una calificación de vulnerabilidad media-alta para estos dos niveles.

5.3.1.2.2 VARIACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL EDIFICIO CON LA ALTURA

Para este cuerpo se analiza la variación de el área de planta, la resistencia y el peso por piso entre pisos consecutivos. Además se determina la calificación de acuerdo a la excentricidad de planta para los dos últimos niveles; debido a que estos pisos son los más débiles de acuerdo a los índices de Hirosawa y Meli y a que una primera impresión del estudio de planos detecta la posibilidad

de problemas de excentricidad de planta. La determinación se realiza de acuerdo a los puntos 3.2.2.1, 3.2.2.2, 3.2.2.3 y 3.2.2.4 respectivamente.

A. Variación del área de planta entre pisos consecutivos

Los valores de las áreas de planta y la variación de las áreas entre pisos consecutivos se entregan en la tabla 5.41. Además se incluye la calificación resultante de evaluar este aspecto.

Tabla 5.41 Variación del área de planta entre pisos consecutivos del cuerpo B.

Piso	Area de Planta (m ²)	Variación con piso inmediatamente superior $\frac{A_{pi}}{A_{p(i-1)}}$	Calificación
1	572.44	1.12	Bueno
2	511.99	1.00	Bueno
3	511.21	0.98	Bueno
4	520.71	3.75	Malo
5	139.00	1.00	Bueno
6	139.00		

Se detecta claramente la estrangulación de la planta que se produce entre el cuarto y quinto nivel.

B. Variación de la resistencia entre pisos consecutivos

Los valores de áreas resistentes totales para los distintos niveles y direcciones analizadas así como la variación de estas áreas entre pisos consecutivos y la calificación de acuerdo a esta característica se establece en la tabla 5.42.

Tabla 5.42 Variación de la resistencia entre pisos consecutivos del cuerpo B.

Nivel	Dirección Longitudinal			Dirección Transversal		
	R_i (m ²)	$\frac{R_i}{R_{i-1}}$	Situación	R_i (m ²)	$\frac{R_i}{R_{i-1}}$	Situación
1	30.19	1.20	Bueno	16.77	0.97	Bueno
2	25.17	1.51	Bueno	17.38	1.18	Bueno
3	16.63	1.21	Bueno	14.76	1.31	Bueno
4	13.74	5.66	Bueno	11.31	6.07	Bueno
5	2.43	1.91	Bueno	1.86	1.37	Bueno
6	1.27			1.36		

De acuerdo con esta característica, la calificación de este cuerpo es buena. La situación más desfavorable ocurre en el primer nivel en la dirección transversal en que la suma de elementos resistentes verticales del primer nivel corresponde a un 97% de los elementos resistentes del segundo nivel, situación que sigue considerándose como buena.

C. Variación del peso entre pisos consecutivos

Los pesos sísmicos de los distintos niveles del cuerpo B así como la relación entre los pesos de pisos consecutivos y la calificación resultante de considerar este aspecto, se detalla en la tabla 5.43.

Tabla 5.43 Variación del peso entre pisos consecutivos del cuerpo B.

Piso	Peso piso W_i (ton)	Variación con piso inmediatamente superior	Calificación
		$\frac{W_i}{W_{i-1}}$	
1	724.50	1.13	Bueno
2	639.18	1.07	Bueno
3	598.53	1.48	Regular
4	405.68	2.72	Malo
5	149.31	1.69	Malo
6	88.54		

Analizando los valores obtenidos para la variación del peso entre pesos consecutivos, puede verse que se detecta los efectos producidos por la estrangulación de la planta de una manera más estricta; obteniéndose calificaciones desfavorables desde el tercer nivel hasta los últimos niveles.

E. Excentricidad del piso

La ubicación de los centros de masa y de rigidez y las excentricidades en planta entre ambos centros y la calificación de los niveles de acuerdo con esta característica se indican en la tabla 5.44.

Tabla 5.44 Excentricidad de piso del cuerpo B.

Nivel	Centro de masa		Centro de rigidez		Excentricidad							
	X_0	Y_0	X_1	Y_1	e_x	e_y	l_x	l_y	e_x/l_x	Situación	e_y/l_y	Situación
5	6.95	5	3.94	4.57	3.01	0.43	13.9	10	0.22	Malo	0.04	Bueno
6	6.95	5	3.88	3.26	3.07	1.74	13.9	10	0.22	Malo	0.17	Malo

Analizando esta característica se puede establecer que la estructuración de los dos últimos niveles no es buena por presentar excentricidades relativamente altas. Sin embargo, debe contrastarse detalladamente estas conclusiones con el comportamiento de esta estructura en sismos anteriores ya que en los cálculos se han despreciado los elementos que se consideran como no resistentes y que en la realidad podrían contribuir a disminuir los problemas de excentricidad cuando interactúan con el sistema resistente.

5.3.1.2.3 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

De acuerdo con la evaluación que se obtiene al aplicar el método de Hirose, y que se corrobora con los índices de Shiga y Meli, se puede establecer que la vulnerabilidad estructural de los primeros cuatro niveles de este cuerpo es baja mientras que la de los dos últimos niveles es media-alta.

La variación de las características en altura muestra una relativa regularidad del sistema; salvo la significativa estrangulación del área de planta entre el cuarto y quinto nivel. El análisis de excentricidad de piso de los niveles 5° y 6° muestra también la situación estructuralmente desfavorable de estos niveles.

Todos estas consideraciones hacen necesario realizar un estudio más detallado de los dos últimos niveles para estimar de una manera más precisa la vulnerabilidad estructural del cuerpo B.

5.3.1.3 ESTANQUE ELEVADO SOBRE CUERPO A

Esta estructura perteneciente al cuerpo A, se analizará en forma aislada del resto del edificio. La estructura que se analiza corresponde a los elementos resistentes sobre los que se apoya la estructura de los estanques de agua.

Para el análisis de esta estructura se supone la misma calidad de los materiales que los asumidos para el resto de los cuerpos estudiados.

La estructura de apoyo de los estanques está compuesta sólo por elementos de hormigón armado y de estos, la contribución principal es de los muros clasificados como tipo 3, de acuerdo con las consideraciones destacadas en el capítulo 3. Sólo se calcula el índice de Hirosawa.

5.3.1.3.1 INDICE DE HIROSAWA (I_h)

A. Índice sísmico básico de comportamiento estructural (E_o)

i. Areas de las secciones transversales

En la tabla 5.45 se detallan las áreas de los elementos resistentes verticales de la estructura de apoyo de los estanques de agua.

Tabla 5.45 Areas de elementos resistentes verticales del estanque del cuerpo A en las direcciones Longitudinal y Transversal (cm^2).

Nivel	Dirección Longitudinal		Dirección Transversal	
	A_{M1}	A_{SC}	A_{M1}	A_{SC}
1	41600	1200	28000	1200

ii. Peso sísmico

En la tabla 5.46 se entrega el peso sísmico resistido por esta estructura. Este peso incluye el peso total del agua contenida en los estanques y que corresponde a 80 toneladas.

Tabla 5.46 Peso sísmico del estanque elevado del cuerpo A.

Nivel	Peso (Kg)	Peso Acumulado (Kg)
1	177440	177440

iii. Indices de resistencia

Utilizando las expresiones del capítulo 3, se calculan los índices de resistencia de la tabla 5.47.

Tabla 5.47 Indices de resistencia del estanque elevado del cuerpo A.

Nivel	Dirección Longitudinal		Dirección Transversal	
	C_w	C_{sc}	C_w	C_{sc}
1	1.91	0.069	1.29	0.069

iv. Valores de α_i y F

Los valores de los parámetros α_i y F se determinan considerando que la estabilidad estructural del estanque elevado depende principalmente de los muros de hormigón armado y se desprecia el efecto que pueda tener la única columna (corta) presente en la estructura. Los valores se indican en la tabla 5.48.

Tabla 5.48 Valores de α_1 y F del estanque elevado del cuerpo A.

Nivel	Dirección Longitudinal			Dirección Transversal		
	α_1	α_2	F	α_1	α_2	F
1	0	1.0	1.0	0	1.0	1.0

v. Cálculo de E_o

Los valores del índice sísmico básico de comportamiento estructural se entregan en la tabla 5.49. Estos valores han sido determinados con las ecuaciones del capítulo 3 considerando que el número de pisos es igual a 8 ya que el estanque se ubica sobre el séptimo piso del cuerpo A.

Tabla 5.49 Valores de E_o del estanque del cuerpo A.

Nivel	E_o	
	Dirección Longitudinal	Dirección Transversal
1	1.07	0.73

B. Índice de configuración estructural (S_D)

Como esta estructura se analiza en forma independiente del cuerpo A, se acepta que el índice de configuración estructural vale 1.0.

C. Índice de deterioro de la edificación (T)

El estado de deterioro de la estructura del estanque de agua ubicado en el cuerpo A es similar al resto de la edificación; por este motivo se adoptará el valor $T = 1.0$ para este índice.

D. Cálculo del índice I_h

Los valores del índice de Hirosawa para ambas direcciones analizadas se entregan en la tabla 5.50.

Tabla 5.50 Valores del índice de Hirosawa del estanque elevado del cuerpo A.

Nivel	$I_h (S_D=1.0, T=1.0)$	
	Dirección Longitudinal	Dirección Transversal
1	1.07	0.73

E. Evaluación de la vulnerabilidad estructural con el índice de Hirosawa

Esta estructura se ha considerado como una estructura independiente y estructurada principalmente con muros de hormigón armado. Los valores de los parámetros que intervienen en el cálculo de I_{so} , de acuerdo con la ubicación y características del estanque, son los siguientes:

$$T_o = 0.30 \text{ s.} \quad T = 0.035 * 1 = 0.035 \text{ s. (Período del estanque)}$$

$$S = 1.0$$

$$A_o = 0.3 \text{ g}$$

De acuerdo a las expresiones válidas para $T \leq T_o$, se tiene:

$$(I_{so})_{serv} = 0.15$$

$$(I_{so})_{ult} (R=2) = 0.441$$

$$(I_{so})_{ult} (R=7) = 0.126$$

Con los valores de $(I_{so})_{ult}$ se obtienen los siguientes rangos para evaluar la vulnerabilidad estructural de este cuerpo:

$I_h > 0.441$	Vulnerabilidad baja.
$0.441 \geq I_h > 0.362$	Vulnerabilidad media-baja.
$0.362 \geq I_h > 0.205$	Vulnerabilidad media.
$0.205 \geq I_h > 0.126$	Vulnerabilidad media-alta.
$I_h \leq 0.126$	Vulnerabilidad alta.

Si se comparan los valores de I_{so} con los valores de la tabla 5.50, puede concluirse que esta estructura tiene una vulnerabilidad estructural baja.

5.3.1.3.2 VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

De acuerdo con la evaluación realizada con el índice de Hirosawa, se concluye que la vulnerabilidad que presenta el estanque de agua es "BAJA".

Como esta estructura no es realmente independiente del cuerpo A, se estima que la vulnerabilidad del estanque está acotada por la vulnerabilidad del cuerpo A; cuerpo que requiere de un análisis más riguroso debido a la inexistencia de los planos estructurales del primer piso y de su ala Oriente-Poniente.

5.3.2 HOSPITAL DE SAN ANTONIO

El estudio preliminar de la vulnerabilidad sísmica del Hospital de San Antonio se centra en los dos cuerpos principales y se deja de lado el cuerpo de un piso en que funciona el policlínico. Los cuerpos analizados, a pesar de ser prácticamente simétricos, tuvieron un comportamiento diferente durante el terremoto de 1985; es así como el cuerpo 3 (lado sur) no tuvo daños estructurales de consideración y el cuerpo 2 quedó en un estado que hizo necesario su desalojo para ejecutar extensas obras de reparación.

Como ya se ha mencionado, el análisis de la estructura en el estado anterior al sismo y los daños producidos por el mismo serán usados junto con los datos de otras estructuras de marcos de hormigón armado para establecer rangos para evaluar la vulnerabilidad estructural de este tipo de edificación con el índice de Hiroswawa.

Características de los materiales

Debido a la finalidad perseguida con el estudio de este hospital, es necesario conocer las calidades de los materiales; tanto las especificadas en el proyecto estructural como la calidad de los materiales presentes en las zonas dañadas durante el terremoto del 3 de Marzo de 1985. En relación con esto se tiene:

- i) La información disponible en los planos estructurales del hospital especifica un hormigón clase D, que corresponde a un hormigón con resistencia cilíndrica a la compresión $f'_c = 172 \text{ kg/cm}^2$.
- ii) Para las zonas siniestradas durante el terremoto del 85 se ha conseguido en forma extraoficial el dato de una resistencia del hormigón de $f'_c = 100 \text{ kg/cm}^2$.

5.3.2.1 CUERPO 3

De acuerdo con la finalidad de este estudio se calculará solamente el índice de Hirosawa. Además se evaluarán las variaciones en altura de las características que permiten detectar irregularidades en la estructura.

5.3.2.1.1 DETERMINACION DEL INDICE DE HIROSAWA (I_h)

A. Índice sísmico básico de comportamiento estructural (E_o)

i. Areas de las secciones transversales

En la tabla 5.51 se detallan las áreas de las secciones transversales de los elementos resistentes verticales del cuerpo 3, que sólo son columnas de hormigón armado. Las divisiones interiores de la caja de escalas corresponden a tabiquerías discontinuas en la altura de piso y que no constituyen elementos estructurales.

Tabla 5.51 Areas de los elementos resistentes verticales del cuerpo 3 (m^2).

Nivel	Dirección Longitudinal		Dirección Transversal	
	A_{Cl}	A_{SC}	A_{Cl}	A_{SC}
1	27.44		27.44	
2	14.7	12.74	10.29	17.15
3	11.88		11.88	
4	11.88		11.88	
5	11.88		11.88	

ii. Peso sísmico por piso

En la tabla 5.52 se detallan las áreas de planta, pesos sísmicos por piso y peso sísmico por unidad de área de planta para los niveles del cuerpo 3. Puede notarse que los pesos sísmicos por unidad de área de planta para este tipo de estructuraciones es menor que los valores típicos determinados para los hospitales estructurados con muros de hormigón armado.

Tabla 5.52 Pesos sísmicos por piso del cuerpo 3.

Nivel	Area de Planta (m ²)	Peso sísmico total (ton)	Peso Acumulado	Peso por m ² de planta
1	1853.28	1856.04	6597228	1.00
2	1853.28	1727.29	4741191	0.93
3	1028.16	1040.39	3013906	1.01
4	993.96	1014.53	1973514	1.02
5	993.96	958.99	958987	0.96

En la tabla 5.53 se detalla el desglose de los pesos sísmicos para todos los pisos del cuerpo 3; para el último piso se ha agregado como sobre carga el peso de la estructura destinada a albergar los equipos mecánicos de los ascensores, que sólo ha sido considerada como un apéndice y no un piso propiamente tal.

Tabla 5.53 Distribución de pesos del cuerpo 3.

Elemento	Distribución de peso en toneladas y porcentaje del total (%)				
	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Losas	676.98 (36.5)	716.90 (41.5)	411.22 (39.5)	404.38 (39.9)	423.78 (44.1)
Sobre Carga	139.0 (7.5)	77.10 (4.5)	77.10 (7.4)	75.82 (7.5)	120.75 (12.6)
Baldosas	185.33 (10.0)	185.33 (10.7)	102.81 (9.9)	101.10 (10.0)	12.62 (1.3)
Techo	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	55.99 (5.8)
Vigas	562.52 (30.3)	553.67 (32.1)	290.26 (27.9)	277.54 (27.4)	280.30 (29.2)
Tabiquería	101.93 (5.5)	56.54 (3.3)	56.54 (5.4)	55.60 (5.5)	6.94 (0.7)
Columnas	190.28 (10.3)	137.74 (8.0)	102.47 (9.8)	100.09 (9.9)	58.60 (6.1)
Muros	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)
Muros Albañilería	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)
Total Elementos Verticales	292.21 (15.7)	194.28 (11.2)	159.01 (15.3)	155.69 (15.3)	65.55 (6.8)
Total	1856.04 (100.0)	1727.29 (100.0)	1040.39 (100.0)	1014.53 (100.0)	958.99 (100.0)

iii. Índices de resistencia

Los índices de resistencia están calculados de acuerdo con el capítulo 3 y se detallan en la tabla 5.54.

Tabla 5.54 Índices de resistencia del cuerpo 3.

Nivel	Dirección Longitudinal		Dirección Transversal	
	C_c	C_{sc}	C_c	C_{sc}
1	0.358		0.358	
2	0.267	0.347	0.187	0.467
3	0.339		0.339	
4	0.518		0.518	
5	1.065		1.065	

iv. Valores de α_i y F

Los valores de los coeficientes α_i y F están determinados en función del tipo de elemento que controla la estabilidad estructural de la edificación; para todos los niveles excepto el segundo, los elementos que controlan la estabilidad son las columnas de hormigón armado. En el caso del segundo nivel, se supone el caso de que la estabilidad estructural esté además controlada por las columnas cortas, este caso corresponde al identificado como M.R.A (modo de rotura A) y el caso general queda denotado como M.R.C (modo de rotura C); de acuerdo a la tabla 3.1 del capítulo 3. En la tabla 5.55 se detallan los valores de α_i y F, determinados de acuerdo a los antecedentes expuestos anteriormente.

Tabla 5.55 Valores de α_i y F del cuerpo 3.

Nivel	Dirección Longitudinal			Dirección Transversal		
	α_1	α_3	F	α_1	α_3	F
1	0	1	1	0	1	1
2 M.R.A	1	0.5	0.8	1	0.5	0.8
2 M.R.C	0	1	1	0	1	1
3	0	1	1	0	1	1
4	0	1	1	0	1	1
5	0	1	1	0	1	1

v. Cálculo de E_o

Los valores de E_o , calculados de acuerdo a la ecuación 3.3, se detallan en la tabla 5.56.

Tabla 5.56 Valores de E_c del cuerpo 3 ($f'_c = 172 \text{ kgf/cm}^2$).

Nivel	E_c	
	Dirección Longitudinal	Dirección Transversal
1	0.358	0.358
2 M.R.A	0.329	0.384
2 M.R:C	0.229	0.160
3	0.254	0.254
4	0.345	0.345
5	0.639	0.639

B. Índice de configuración estructural (S_p)

Los valores de q_i , que representan el efecto de las distintas características de la configuración estructural, se detallan a continuación.

Tabla 5.57 Valores de q_i del cuerpo 3.

Item	G_i	R_i	q_i	Observaciones.
1. Regularidad	1.0	1.0	1.0	Planta regular
2. Relación Largo-Ancho	1.0	0.5	1.0	$B = 41 / 25 = 1.64$
3. Contracción de planta			1.0	$c = 1.0$
4. Atrio o patio interior	1.0	0.5	1.0	No hay atrio o patio interior.
5. Excentricidad de Atrio o patio interior	1.0	0.25	1.0	No hay atrio o patio interior.
6. Subterráneo	0.8	1.0	1.0	No hay subterráneo
7. Junta de dilatación	0.8	0.5	0.9	$s = 0.04 / 17.05 = 0.0024$
8. Uniformidad de altura de piso	0.9	0.5	0.95	$R_h = 2.63 / 3.53 = 0.745$

Con los valores anteriormente señalados y de acuerdo a la ecuación 3.10, el valor para el índice S_p es igual a 0.855.

C. Índice de deterioro de la edificación (T)

Considerando que el estudio del hospital de San Antonio tiene la finalidad de calibrar el índice de Hirosawa para las estructuras de marcos de hormigón armado, el índice de deterioro de la edificación para evaluar la vulnerabilidad estructural de la estructura debe reflejar su estado anterior al terremoto de 1985 y por consiguiente se ha definido que se asumirá que esta edificación no presentaba ninguno de los defectos considerados en este índice.

Considerando los antecedentes expuestos, el índice de deterioro de la edificación adoptado para el hospital de San Antonio vale 1.0.

D. Cálculo del índice de Hirosawa (I_h)

A partir de los valores calculados para los índices E_o y S_D y el valor asumido para el índice T, se calculan los valores del índice de Hirosawa. Los valores obtenidos se indican en la tabla 5.59.

Tabla 5.58 Valores del índice I_h del cuerpo 3.

Nivel	I_h ($S_D=0.855$, $T=1.0$)	
	Dirección Longitudinal	Dirección Transversal
1	0.306	0.306
2 M.R.A	0.281	0.328
2 M.R.C	0.195	0.137
3	0.217	0.217
4	0.295	0.295
5	0.547	0.547

E. Evaluación de la vulnerabilidad estructural con el índice de Hirosawa

La evaluación de la vulnerabilidad estructural de este cuerpo se hace aplicando la metodología detallada en el capítulo 3.

Este cuerpo corresponde a una estructura de marcos de hormigón armado ubicado en suelo de tipo II y zona sísmica 3; con esta información, los parámetros a considerar para calcular I_{so} son:

$$\begin{aligned} T_o &= 0.30 \text{ s.} & T &= 0.10 * 5 = 0.50 \text{ s.} & (\text{Período del edificio}) \\ S &= 1.0 & A_o &= 0.4 \text{ g} \end{aligned}$$

De acuerdo con las expresiones válidas para $T > T_o$, se tiene:

$$\begin{aligned} (I_{so})_{serv} &= 0.176 \\ (I_{so})_{ult}(R=2) &= 0.519 \\ (I_{so})_{ult}(R=7) &= 0.148 \end{aligned}$$

Con los valores de $(I_{so})_{ult}$ se obtienen los siguientes rangos para evaluar la vulnerabilidad estructural de este cuerpo:

$I_h > 0.519$	Vulnerabilidad baja.
$0.519 \geq I_h > 0.426$	Vulnerabilidad media-baja.
$0.426 \geq I_h > 0.241$	Vulnerabilidad media.
$0.241 \geq I_h > 0.148$	Vulnerabilidad media-alta.
$I_h \leq 0.148$	Vulnerabilidad alta.

De acuerdo con los valores de I_n de la tabla 5.58, se comprueba que este cuerpo cumple con el valor mínimo requerido para el estado de servicio. El caso de la dirección transversal del segundo piso no representa problemas ya que la estabilidad estructural depende de las columnas cortas y el índice correspondiente a esta situación cumple los requisitos del estado de servicio.

Considerando los requisitos impuestos para el estado límite último puede verse que todos los pisos, con la excepción del tercero, tienen valores de I_n que se sitúan entre 0.426 y 0.241 por lo que son evaluados con una vulnerabilidad media; para el tercer nivel la vulnerabilidad resultante es media-alta.

Análogamente al estado de servicio, se establece que la estabilidad del segundo piso sólo tiene una vulnerabilidad alta en el caso de que las columnas cortas agotan su capacidad resistente, pero esta situación se descarta en consideración que el índice resultante al suponer el modo de falla dependiente de las columnas cortas cumple los requisitos de este estado límite.

Todas estas consideraciones permiten asignar preliminarmente, de acuerdo con los límites del índice de Hirosawa, una vulnerabilidad estructural "media-alta" al cuerpo 3.

5.3.2.1.2 VARIACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL EDIFICIO CON LA ALTURA

Para obtener una caracterización más completa de esta estructura, se analizará la variación entre pisos consecutivos del área de planta, de la resistencia y del peso por piso.

A. Variación del área de planta entre pisos consecutivos

Los valores de las áreas de planta así como de la variación entre pisos consecutivos y la calificación de este aspecto se indica en la tabla 5.59.

Tabla 5.59 Variación del área de planta entre pisos consecutivos del cuerpo 3.

Nivel	Area de planta A_{pi} (m^2)	Variación del área de planta entre pisos consecutivos $\frac{A_{pi}}{A_{p(i-1)}}$	Situación
1	1853.3	1.00	Bueno
2	1853.3	1.80	Regular
3	1028.2	1.03	Bueno
4	993.9	1.00	Bueno
5	993.9		

En general la variación del área de planta para este cuerpo en general es buena; el caso más desfavorable se produce en la disminución de área de planta entre los niveles 2° a 3°, pero sólo alcanza una calificación de regular.