

CAPITULO 5

RECOLECCION Y ANALISIS DE DATOS PRELIMINARES

CAPITULO 5

RECOLECCION Y ANALISIS DE DATOS PRELIMINARES

5.1 INTRODUCCION

En este capítulo se realiza el cálculo de los índices y de las características básicas para la evaluación sismorresistente de las estructuras seleccionadas en cada hospital. Además se describen las disposiciones y estado actual de los elementos no estructurales basándose en la información extraídas de los planos y la recopilada en las visitas a terreno.

Con estos resultados se estima la vulnerabilidad sísmica tanto de los elementos estructurales como de los no estructurales de los cuerpos seleccionados en cada hospital. Para los elementos estructurales la evaluación se realiza comparando los valores obtenidos con los límites indicados en el capítulo 3.

La metodología utilizada para la recolección de los datos que se requieren tanto para el cálculo de los índices como para la descripción de las condiciones de los elementos no estructurales es la misma para todas las estructuras de ambos centros hospitalarios.

5.2 CONSIDERACIONES GENERALES

Para el cálculo de los índices fue necesario reunir antecedentes estructurales de los hospitales, lo que obligó a contar con todos los planos disponibles de los edificios seleccionados para el análisis de la vulnerabilidad estructural. Esta labor fue apoyada por el Departamento de Recursos Físicos del Ministerio de Salud, quién entregó fotocopia de todos los planos existentes, tanto estructurales como arquitectónicos, de cada hospital. Una vez obtenidos los planos se procedió a realizar los siguientes trabajos:

Se dibujaron a escala las plantas de cada piso y las elevaciones de los cuerpos seleccionados con el objeto de entender el sistema estructural y visualizar irregularidades que se puedan presentar tanto en planta como en elevación.

Una vez entendido el sistema estructural se determinó la importancia de cada elemento desde el punto de vista sismorresistente para caracterizar los ejes resistentes que conforman el sistema estructural.

Se determinaron los datos básicos necesarios para la evaluación sismorresistente: área de planta, área, inercia y rigidez de los elementos que conforman el sistema estructural (muros y columnas), excentricidades en planta y cubicación del edificio.

Por último, se realizó una visita a los centros hospitalarios con el propósito de reunir información adicional no contenida en los planos e identificar las posibles modificaciones y ampliaciones realizadas con posterioridad a la fecha de construcción del edificio que puedan afectar los resultados.

Es importante destacar que el índice de Hiroswawa se determina en un principio considerando en estricto rigor todos los términos de la ecuación 3.3. Posteriormente en los cuerpos que sea necesario, se incluirán las posibles variaciones de este índice que resultan al despreñar los elementos de la estructura sismorresistentes cuya falla no influye en la estabilidad parcial o total de la estructura.

Para el cálculo de los índices y de las variaciones de las características de los edificios en altura existen algunas consideraciones que son comunes para ambos centros hospitalarios las cuales se detallan a continuación:

- a) En el análisis de la vulnerabilidad sísmica se consideran todos los pisos que están sobre el nivel de terreno, incluidos los pisos zócalos que están parcialmente enterrados y que son muy usados en los edificios hospitalarios de la época.
- b) Para el cálculo de los índices se considera como área de planta aquella que queda limitada por los ejes resistentes, en cambio, para la cubicación del peso sísmico de cada piso se considera el área real de la planta incluyendo todos los elementos en voladizo.

c) Todos los cálculos se basaron en los datos proporcionados por los planos existentes exceptuando el cuarto piso del cuerpo A del Hospital de Temuco del cual no se dispuso de los planos por lo que fue necesario realizar, en terreno, un levantamiento aproximado de este piso.

d) Para calcular el peso sísmico por piso, se consideran los siguientes factores:

Peso propio de la losa de cielo y vigas más la mitad de los pesos de los elementos verticales superiores e inferiores. Para ello se acepta como peso propio del hormigón el valor de $\gamma_{hor} = 2.5 \text{ Ton/m}^3$ y de la albañilería como $\gamma_{alb} = 1.8 \text{ Ton/m}^3$.

Un 25% de sobrecarga de diseño, que para los hospitales chilenos se recomienda 300 kg/m^2 (Norma NCh1537.Of86).

El peso de los tabiques se considera uniforme: 55 kg/m^2 .

Peso de la baldosa y mortero: 100 kg/m^2 .

Estos factores se consideran en todos los pisos, con excepción del último al cual no se le considera la sobrecarga de uso ni el peso de las baldosas.

Para la descripción de la disposición y de las condiciones actuales de los elementos no estructurales de cada hospital se consideraron los antecedentes reunidos en las visitas a terreno, los que fueron apoyados por las encuestas que se llenaron durante estas visitas. Las encuestas utilizadas fueron: encuesta de arquitectura, encuesta de equipos médicos, encuesta de incendio y encuesta de líneas vitales. Todos estos antecedentes permitirán evaluar la vulnerabilidad no estructural de cada centro hospitalario analizado.

5.3 HOSPITAL REGIONAL DE TEMUCO

En este hospital los edificios seleccionados para la evaluación estructural son los cuerpos A y B, de ocho pisos cada uno, y los cuerpos D1 y D2, de dos pisos cada uno. Es importante destacar que todos estos cuerpos poseen un piso bajo que para efecto de este estudio se consideraron como piso 1.

La calidad de los materiales supuesta en el capítulo 4 para todos los cuerpos del Hospital de Temuco se detallan a continuación:

- a) Se considerará un hormigón tipo D con resistencia cúbica a los 28 días $R_{28} \geq 225 \text{ kg/cm}^2$, que equivale a una resistencia cilíndrica a la compresión $f'_c = 172 \text{ kg/cm}^2$, según la tabla 19 de la norma NCh.170Of85 (INN, 1985).
- b) Albañilería tipo artesanal cuya resistencia básica de corte (τ_o), se estima en 3 kg/cm^2 (INN, 1990).
- c) El valor del módulo de elasticidad de este hormigón corresponde a $E_{\text{hor}} = 2850000 \text{ T/m}^2$, mientras que el valor del módulo de elasticidad de la albañilería es $E_{\text{alb}} = 150000 \text{ T/m}^2$.

Para efecto de identificar los elementos resistentes que fueron considerados en el cálculo de los índices de cada cuerpo analizado, en el anexo A se incluyen las plantas estructurales de todos los pisos.

En el cálculo del índice de Hirosawa se analizará la influencia de la resistencia cilíndrica a la compresión del hormigón (f'_c), debido a que con los ensayos del martillo Schmidt, realizados en otros hospitales de la misma época de construcción, se obtuvieron valores mayores para la resistencia cilíndrica que los detallados en los planos originales de los edificios.

En todos los cuerpos de este hospital se han considerado como las direcciones principales para el análisis en planta la dirección este - oeste (dirección longitudinal, eje x) y la dirección

norte - sur (dirección transversal, eje y).

5.3.1 Cuerpo A

Para el análisis de este cuerpo se han considerado los datos extraídos de los planos originales disponibles, de los cuales sólo faltaron los planos del 4º piso por lo que para obtener los datos fue necesario realizar, durante la visita que se hizo al hospital, un levantamiento aproximado de la planta.

5.3.1.1 Cálculo del peso sísmico

En la tabla 5.1 se indica el peso sísmico para cada piso, el peso acumulado en altura del cuerpo A y el área real de cada piso (A_{Ri}) a partir de la cual se calculó el peso por unidad de área. Además en la tabla 5.2 se detalla la distribución del peso por elemento y el porcentaje que del peso total del piso.

Tabla 5.1 Peso sísmico para cada piso del Cuerpo A

Piso	Peso W_i (Kgf)	Peso acumulado $\sum_{j=1}^{n_p} w_j$ (Kgf)	Area real de planta A_{Ri} (m ²)	Peso por unidad de área de planta $\frac{w_i}{A_{Ri}}$ (Kgf/m ²)
1	1157888	5378387	762.34	1518.86
2	981915	4220499	763.63	1285.85
3	751638	3238584	617.54	1217.15
4	760987	2486946	617.54	1232.29
5	742231	1725959	617.54	1201.92
6	558483	983728	569.26	981.07
7	248599	425245	272.79	911.32
8	176646	176646	272.65	647.89

Tabla 5.2 Distribución del peso por elemento. Cuerpo A

PISO	DISTRIBUCION DEL PESO POR ELEMENTO (Ton) - PORCENTAJE DEL PESO TOTAL DEL PISO														Total (Ton)
	Peso propio losa		Sobre carga losa		M. Albañilería		Muros Hormigón		Peso propio vigas		Pp. tabiquería		Pp. baldosas		
	(Ton)	(%)	(Ton)	(%)	(Ton)	(%)	(Ton)	(%)	(Ton)	(%)	(Ton)	(%)	(Ton)	(%)	
1	284.145	24.5	56.829	4.9	18.627	1.6	560.892	48.4	130.540	11.3	37.650	3.3	69.205	6.0	1,157.9
2	309.450	31.5	56.540	5.8	8.556	0.9	385.908	39.3	129.720	13.2	34.714	3.5	57.027	5.8	981.9
3	236.300	31.4	45.390	6.0	16.762	2.2	243.400	32.4	122.510	16.3	31.124	4.1	56.152	7.5	751.6
4	236.300	31.1	45.390	6.0	26.438	3.5	240.075	31.5	122.510	16.1	31.582	4.2	58.692	7.7	761.0
5	235.600	31.7	46.260	6.2	34.475	4.6	210.841	28.4	130.603	17.6	30.874	4.2	53.578	7.2	742.2
6	178.980	32.0	42.630	7.6	54.547	9.8	128.655	23.0	106.360	19.0	21.760	3.9	25.551	4.6	558.5
7	80.630	32.4	20.400	8.2	63.140	25.4	36.551	14.7	8.020	3.2	14.108	5.7	25.750	10.4	248.6
8	73.850	41.8	0.000	0.0	29.864	16.9	14.161	8.0	51.690	29.3	7.081	4.0	0.000	0.0	176.6

5.3.1.2 Determinación de los índices a calcular

Utilizando lo descrito en el punto 3.2.5 y las áreas de los elementos resistentes contenidos en la tabla 5.3 se determinan los índices a calcular en cada piso y en cada dirección de análisis de acuerdo a los valores del factor FC_j que se indican en la tabla 5.4.

Tabla 5.3 Area de elementos resistentes de hormigón y albañilería. Cuerpo A

Piso	Dirección longitudinal		Dirección transversal	
	A_{bli} (m ²)	A_{ali} (m ²)	A_{bti} (m ²)	A_{ati} (m ²)
1	38.718	2.440	41.293	3.095
2	31.675	0.560	33.123	1.340
3	14.501	0	22.358	1.290
4	19.018	0	24.845	2.580
5	10.825	1.290	15.450	0
6	12.310	4.800	14.070	2.310
7	2.708	2.145	2.760	9.225
8	1.725	1.788	2.150	9.098

donde:

A_{bli} = Suma de áreas de elementos resistentes de hormigón armado en la dirección longitudinal del nivel i.

A_{ali} = Suma de áreas de elementos resistentes de albañilería en la dirección longitudinal del nivel i.

A_{bti} = Suma de áreas de elementos resistentes de hormigón armado en la dirección transversal del nivel i.

A_{ati} = Suma de áreas de elementos resistentes de albañilería en la dirección transversal del nivel i.

Piso	σ_o	FR ₂	Dirección longitudinal FC _{jl}	Dirección transversal FC _{jt}
1	8	2.305	0.973	0.969
2	7	2.486	0.993	0.984
3	6	2.697	1.000	0.979
4	5	2.948	1.000	0.966
5	4	3.251	0.965	1.000
6	3	3.622	0.903	0.957
7	2	4.090	0.838	0.550
8	1	4.695	0.819	0.526

donde:

FR₂ = Factor de reducción de sección de hormigón armado a una sección de albañilería de igual resistencia al corte.

De acuerdo a los valores del factor FC_j que se indican en la tabla anterior los índices a calcular en este cuerpo son:

Dirección longitudinal:

En todos los pisos se calcularán el Índice de Hirosawa (I₂) y los Índices de Shiga (I_m, I_c e I_t).

Dirección transversal :

Del 1º al 6º piso se calcularán el Índice de Hirosawa (I₂) y los Índices de Shiga (I_m, I_c e I_t) y en los dos últimos pisos el Índice de Hirosawa y el Índice de Meli (I_{mm})

5.3.1.3 Índice de Hirosawa (I_2)

a) Cálculo del Índice Sísmico Básico de Comportamiento Estructural (E_o)

Para el cálculo E_o es necesario calcular el área transversal de los elementos de hormigón (muros y columnas) y de albañilería que se consideran que participan en la capacidad resistente del cuerpo en cada dirección analizada y son identificadas como A_{m1} , A_{m2} , A_{m3} , A_{m4} , A_{c1} , A_{c2} , A_{sc} , A_a , A_{ma} y A_{mar} de acuerdo a las consideraciones descritas en el capítulo 3.

En las tablas 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8 se entregan las áreas de los muros de hormigón, de los muros de albañilería y de las columnas en las dos direcciones analizadas

Tabla 5.5 Áreas de muros de hormigón armado y muros de albañilería, Cuerpo A dirección longitudinal

Piso	A_{m1} (cm ²)	A_{m2} (cm ²)	A_{m3} (cm ²)	A_{m4} (cm ²)	A_a (cm ²)	A_{ma} (cm ²)	A_{mar} (cm ²)
1	0	37280	293180	18780	18800	5600	0
2	0	8750	233280	28180	0	5600	0
3	0	21450	84200	14880	0	0	0
4	0	0	151850	20280	0	0	0
5	0	18000	54250	6450	6000	6900	0
6	0	21450	93850	0	44100	3900	0
7	0	6250	16880	3200	21450	0	0
8	0	0	14750	0	17880	0	0

Tabla 5.6 Areas de columnas de hormigón armado, Cuerpo A dirección longitudinal

Piso	A_{c1} (cm ²)	A_{c2} (cm ²)	A_{sc} (cm ²)
1	29030	1930	7000
2	35350	4200	7000
3	22680	1800	0
4	17150	900	0
5	26250	3300	0
6	6900	900	0
7	0	750	0
8	1750	750	0

Tabla 5.7 Areas de muros de hormigón armado y muros de albañilería, Cuerpo A dirección transversal

Piso	A_{m1} (cm ²)	A_{m2} (cm ²)	A_{m3} (cm ²)	A_{m4} (cm ²)	A_a (cm ²)	A_{ma} (cm ²)	A_{mar} (cm ²)
1	0	64400	306700	31330	5400	25550	0
2	0	30100	233800	33230	5000	8400	0
3	0	0	191500	16800	0	12900	0
4	0	0	229700	7500	0	25800	0
5	0	0	109500	33900	0	0	0
6	0	0	117000	18300	23100	0	0
7	0	0	8400	16800	92250	0	0
8	0	0	8150	12150	90980	0	0

Tabla 5.8 Areas de columnas de hormigón armado, Cuerpo A dirección Transversal

Piso	A_{c1} (cm ²)	A_{c2} (cm ²)	A_{sc} (cm ²)
1	10500	0	0
2	33200	900	0
3	13780	1500	0
4	7950	3300	0
5	8100	3000	0
6	4200	1200	0
7	0	2400	0
8	0	1200	0

Indices de resistencia

Las ecuaciones para el cálculo de los índices de resistencia se detallan en el punto 3.2.1.1 del capítulo 3 y los valores de éstos para cada una de las direcciones analizadas de este cuerpo se entregan en las tablas 5.9 y 5.10.

Tabla 5.9 Indices de resistencia del Cuerpo A, dirección longitudinal.

Piso	C_a	C_{ma}	C_{mar}	C_{sc}	C_w	C_c
1	0.00703	0.00209	0	0.01679	0.71180	0.04858
2	0	0.00247	0	0.02140	0.66350	0.07802
3	0	0	0	0	0.42174	0.06357
4	0	0	0	0	0.70026	0.06148
5	0.00490	0.00564	0	0	0.53589	0.14231
6	0.05649	0.00500	0	0	1.35960	0.06583
7	0.05599	0	0	0	0.72716	0.01062
8	0.09717	0	0	0	0.86172	0.11076

Tabla 5.10 Índices de resistencia del Cuerpo A, dirección transversal.

Piso	C_a	C_{ma}	C_{mar}	C_{sc}	C_w	C_c
1	0.00202	0.00955	0	0	0.84454	0.01679
2	0.00220	0.00370	0	0	0.76207	0.06893
3	0	0.00681	0	0	0.65484	0.03938
4	0	0.01618	0	0	0.97911	0.03548
5	0	0	0	0	0.82365	0.05082
6	0.02959	0	0	0	1.38740	0.04406
7	0.24080	0	0	0	0.54361	0.03398
8	0.49444	0	0	0	1.06766	0.04090

Valores de los coeficientes α_i y F

Los valores y características de los coeficientes α_i se detallan en la tabla 3.1 del capítulo 3.

En la tabla 5.11 se resumen los valores de los coeficientes α_i y el valor del índice de ductilidad F, para cada piso y dirección de análisis. Estos valores se determinaron considerando que los elementos que controlan el modo de falla en cada piso son los siguientes:

Dirección Longitudinal : En los dos primeros pisos las columnas cortas controlan el modo de falla, en el 3º y 4º piso los muros de hormigón controlan el modo de falla y desde el 5º al 7º piso los muros de albañilería simple controlan el modo de falla.

Dirección Transversal : En todos los pisos, con excepción del 5º piso donde los muros de hormigón controlan el modo de falla, los muros de albañilería simple o confinada controlan el modo de falla.

Tabla 5.11 Valores de α , y F, Cuerpo A.

Piso	Dirección longitudinal				Dirección Transversal			
	α_1	α_2	α_3	F	α_1	α_2	α_3	F
1	1.0	0.7	0.5	0.8	1.0	0.7	0.5	0.8
2	1.0	0.7	0.5	0.8	1.0	0.7	0.5	0.8
3	0.0	1.0	0.7	1.0	1.0	0.7	0.5	1.0
4	0.0	1.0	0.7	1.0	1.0	0.7	0.5	1.0
5	1.0	0.7	0.5	0.8	0.0	1.0	0.7	1.0
6	1.0	0.7	0.5	0.8	1.0	0.7	0.5	0.8
7	1.0	0.7	0.5	0.8	1.0	0.7	0.5	0.8
8	1.0	0.7	0.5	0.8	1.0	0.7	0.5	0.8

El valor del índice sísmico básico del comportamiento estructural (E_o) se calcula con la ecuación 3.3 y los valores obtenidos para este cuerpo se entregan en la tabla 5.12.

Tabla 5.12 Valores de E_o del Cuerpo A

Piso	E_o	
	Dirección longitudinal	Dirección Transversal
1	0.439	0.489
2	0.380	0.413
3	0.381	0.397
4	0.557	0.539
5	0.253	0.595
6	0.538	0.526
7	0.274	0.306
8	0.340	0.568

b) Cálculo del Índice de configuración Estructural (S_D)

Considerando lo descrito en el punto 3.2.1.1 para el cálculo del coeficiente S_D , se tienen los siguientes valores para cada uno de los coeficientes q_i .

1.- Regularidad de planta (q_1): planta en forma de T, luego $G_1=0.9$ y $R_1=1.0$

$$q_1 = 0.9$$

2.- Relación largo - ancho (q_2): el caso más desfavorable para el cuerpo esta dado por el coeficiente $B = 46.55/11.3 = 4.1 < 5$, luego $G_1=1.0$ y $R_1=0.5$

$$q_2 = 1.0$$

3.- Contracción de planta (q_3): la influencia de esta característica fue considerada en q_1 .

$$q_3 = 1.0$$

4.- Atrio o patio interior (q_4): no tiene. $q_4 = 1.0$

5.- Excentricidad de atrio o patio interior (q_5): no tiene atrio.

$$q_5 = 1.0$$

6.- Subterráneo (q_6): no tiene $q_6 = 1.0$

7.- Junta de dilatación (q_7): el caso más desfavorable para el cuerpo es el cociente entre el espesor de la junta (0.05 m.) y la altura total del cuerpo (27.35 m.), cuyo valor es:

$$S = 0.05/27.35 = 0.00182 < 0.005, \text{ luego } G_1=0.8 \text{ y } R_1=0.5$$

$$q_7 = 0.9$$

8.- Uniformidad de altura de piso (q_8): el caso más desfavorable del cuerpo esta dado por el cociente

$$R_n = 3.2/3.45 = 0.93 > 0.8, \text{ luego } G_1=1.0 \text{ y } R_1=0.5$$

$$q_8 = 1.0$$

Reemplazando estos valores en la ecuación 3.10, se obtiene el índice de configuración estructural:

$$S_D = 0.81 \text{ para todos los pisos}$$

c) Cálculo del Índice de deterioro de la Edificación (T)

El índice T se determina con los valores de la tabla 3.3 del capítulo 3 de acuerdo con la información obtenida de la visita a terreno. Los valores de los factores T_i para este cuerpo se indican en la tabla 5.13.

Tabla 5.13 Valores de los factores T_i , Cuerpo A.

i	T_i	Observaciones
1	1.0	No presenta signos de deformación.
2	1.0	No presenta grietas ni filtraciones.
3	0.8	El 6º piso sufrió un incendio y fue reparado adecuadamente.
4	1.0	No contiene sustancias Químicas.
5	1.0	No presenta daños por choque con edificios vecinos.

Como el valor del Índice de deterioro de la edificación corresponde al mínimo de los T_i se tiene que:

$$T = 0.8$$

d) Cálculo del índice I_2

Basándose en los datos anteriores y en la ecuación 3.1 capítulo 3, se determinan los valores del Índice de Hirosawa (I_2) para ambas direcciones analizadas, los que se detallan en la tabla 5.14.

Tabla 5.14 Valores del índice I_2 , Cuerpo A

Piso	I_2	
	Dirección longitudinal	Dirección transversal
1	0.28	0.32
2	0.25	0.27
3	0.25	0.26
4	0.36	0.35
5	0.16	0.39
6	0.35	0.34
7	0.18	0.20
8	0.22	0.37

e) Modificaciones a los valores del índice I_2

En el cálculo de este índice se consideró que en ambas direcciones y en casi todos los pisos las columnas cortas o los muros de albañilería simple o confinada controlan el modo de falla de la estructura. Esta consideración es muy severa debido a que la cantidad de estos elementos es escasa en comparación con los muros de hormigón armado lo que permite deducir que la falla de los primeros elementos no producirá inestabilidad del sistema.

Por lo tanto es posible considerar que los muros de hormigón controlan el modo de falla y despreciar la resistencia de los elementos que han fallado.

Este análisis se traduce en una variación de los coeficientes α_i y del índice de ductilidad F por los valores de la tabla 5.15.

Tabla 5.15 Valores modificados de α_i y F, Cuerpo A.

Piso	Dirección longitudinal				Dirección Transversal			
	α_1	α_2	α_3	F	α_1	α_2	α_3	F
1	0.0	1.0	0.7	1.0	0.0	1.0	0.7	1.0
2	0.0	1.0	0.7	1.0	0.0	1.0	0.7	1.0
3	0.0	1.0	0.7	1.0	0.0	1.0	0.7	1.0
4	0.0	1.0	0.7	1.0	0.0	1.0	0.7	1.0
5	0.0	1.0	0.7	1.0	0.0	1.0	0.7	1.0
6	0.0	1.0	0.7	1.0	0.0	1.0	0.7	1.0
7	0.0	1.0	0.7	1.0	1.0	0.7	0.5	0.8
8	0.0	1.0	0.7	1.0	1.0	0.7	0.5	0.8

De acuerdo con los valores de la tabla 5.15, los valores de los índices de resistencia de las tablas 5.9 y 5.10 y los valores de S_D y T obtenidos para el cuerpo A, se determinan los nuevos valores para E_o y I_2 que se indican en la tabla 5.16.

Tabla 5.16 Valores modificados de E_o e I_2 , Cuerpo A

PISO	Dirección longitudinal		Dirección transversal	
	E_o	I_2	E_o	I_2
1	0.746	0.48	0.856	0.55
2	0.646	0.42	0.729	0.47
3	0.381	0.25	0.558	0.36
4	0.557	0.36	0.753	0.49
5	0.440	0.29	0.595	0.39
6	0.904	0.59	0.912	0.59
7	0.441	0.29	0.306	0.20
8	0.528	0.34	0.568	0.37

f) Análisis de sensibilidad del Índice de Hirosawa

De acuerdo con lo indicado en el punto 5.2 se analizará la influencia de f_c en el valor del Índice de Hirosawa.

En la tabla 5.17 se entregan los valores del Índice de Hirosawa considerando un hormigón con una resistencia cilíndrica a la compresión de $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$ y los valores modificados de α_i y F de la tabla 5.15

Tabla 5.17 Valores de E_o e I_2 del cuerpo A con $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$.

PISO	Dirección longitudinal		Dirección transversal	
	E_o	I_2	E_o	I_2
1	0.867	0.56	0.996	0.65
2	0.752	0.49	0.848	0.55
3	0.444	0.29	0.649	0.42
4	0.648	0.42	0.876	0.57
5	0.512	0.33	0.692	0.45
6	1.051	0.68	1.060	0.69
7	0.513	0.33	0.337	0.22
8	0.614	0.40	0.624	0.40

Al comparar los valores de la tabla 5.16 con los de la tabla 5.17 se puede apreciar que el índice I_2 aumenta aproximadamente en un 15% en la dirección longitudinal y en más de un 10% en la dirección transversal.

Otro factor que se puede considerar en el análisis de la sensibilidad del Índice de Hirosawa es el valor del índice de deterioro de la edificación (T). Los valores del índice I_2 se calcularon considerando que el 6° piso sufrió un incendio, luego $T_3 = 0.8$, lo que se traduce en que $T = 0.8$.

El valor de $T = 0.8$ significa una disminución del 20% en la capacidad sismorresistente de la estructura a causa del incendio lo que es exagerado, dado que al visitar el hospital se pudo comprobar que el incendio sólo provocó daños no estructurales que fueron adecuadamente reparados y que no alteran la capacidad sismorresistente de la estructura.

5.3.1.3.1 Evaluación del Índice de Hirosawa.

El índice de Hirosawa se evalúa comparando el valor de I_2 con el valor del índice I_{so} que se establece de acuerdo a lo descrito en el punto 3.2.1.2.

Este cuerpo de 8 pisos tiene un sistema estructural de muros de hormigón armado, por lo tanto los valores que resultan según la ubicación y características de este cuerpo son:

Zona sísmica 2 (NCh 433.Of93), luego: $A_o = 0.3$

Suelo tipo II, luego: $T_o = 0.3$

$S = 1.0$

$T = 0.035 * 8 = 0.28$

De acuerdo con la ecuación 3.12 para $T \leq T_o$, se tienen los siguientes valores para I_{so} :

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

$$(I_{so})_{ult} (R=2) = 0.44$$

$$(I_{so})_{ult} (R=7) = 0.13$$

Para el estado de servicio este cuerpo cumple con el valor mínimo requerido $(I_{so})_{serv}$.

De acuerdo con los valores de $(I_{so})_{ult}$ y con la tabla 3.6, se obtienen los siguientes rangos de valores para determinar la vulnerabilidad estructural de este cuerpo:

Rango	Vulnerabilidad
$I_2 > 0.44$	Baja
$0.44 \geq I_2 > 0.34$	Media - Baja
$0.34 \geq I_2 > 0.23$	Media
$0.23 > I_2 > 0.13$	Media - Alta
$I_2 \leq 0.13$	Alta

De acuerdo con la tabla anterior, para el estado límite último, este cuerpo presenta una vulnerabilidad "Media - Alta" tanto para el caso donde se considera el menor valor de I_2 de la tabla 5.16, $(I_2)_{\min} = 0.20$ (piso 7º dirección transversal), como para el caso en que se considera el menor valor de la tabla 5.17, $(I_2)_{\min} = 0.22$ (piso 7º dirección transversal).

Es importante destacar que los valores de los índices en la dirección transversal son levemente mayores que los de la dirección longitudinal, con excepción del 7º piso donde la situación es inversa, lo que se manifiesta con los valores de las tablas 5.16 y 5.17. Esta singularidad se debe a la mayor cantidad de ejes resistentes en la dirección transversal lo que genera una mayor área de elementos.

Los valores de I_2 obtenidos para el piso 1, son mayores a los de los pisos que están sobre él, esto se debe a que este piso presenta una mayor cantidad de muros de hormigón armado.

En general los valores de I_2 de este cuerpo presentan fluctuaciones en altura lo que se puede explicar por los cambios en las dimensiones de las plantas que produce disminución de los ejes resistentes y por los cambios en el material de los elementos resistentes.

5.3.1.4 Índices de Shiga (I_m , I_c e I_l).

Dados los valores de FC_j , detallados en la tabla 5.4, se calculan los Índices de Shiga para todos los pisos en la dirección longitudinal, pero en la dirección transversal sólo se calcularán para los 6 primeros pisos.

a) Área de muros, columnas y planta de cada piso

El área total de muros en la dirección longitudinal y transversal está dada por la suma de las áreas de muros de hormigón armado A_{m_1} , A_{m_2} , A_{m_3} , A_{m_4} y la de muros de albañilería A_{ma} , A_{ma} y A_{mar} , que se transforman a una de hormigón equivalente desde el punto de vista de la resistencia mediante el factor de transformación FR_1 , indicadas en las tablas 5.5 y 5.7 respectivamente, mientras que el área total de columnas en la dirección longitudinal y transversal está dada por la suma de las áreas A_{c_1} , A_{c_2} y A_{sc} de la tabla 5.6 y 5.8 respectivamente.

Los valores del área total de muros de hormigón (A_m) y el área total de columnas (A_c) para cada dirección analizada se encuentran en la tabla 5.18.

Tabla 5.18 Área total de muros (ΣA_m) y columnas (ΣA_c), Cuerpo A.

Piso	Dirección longitudinal		Dirección transversal	
	ΣA_m (cm ²)	ΣA_c (cm ²)	ΣA_m (cm ²)	ΣA_c (cm ²)
1	359825.5	37960.0	415857.1	10500.0
2	272462.8	46550.0	302520.6	34100.0
3	120530.0	24480.0	213082.4	15280.0
4	172130.0	18050.0	245950.8	11250.0
5	82668.4	29550.0	143400.0	11100.0
6	128551.6	7800.0	141677.3	5400.0
7	31575.0	750.0	47757.3	2400.0
8	18557.9	2500.0	39676.2	1200.0

Para el cálculo de los índices de Shiga es necesario determinar el área de planta (A_p), que corresponde al área encerrada por los ejes resistentes sin considerar balcones y voladizos y el área acumulada. Estos valores se encuentran contenidos en la tabla 5.19.

Tabla 5.19 Area de planta, Cuerpo A.

Piso	Area planta A_{p_i} (m ²)	Area de planta acumulada $\sum_{j=i}^{n_p} A_{p_j}$ (m ²)
1	716.380	4273.680
2	716.380	3557.300
3	572.310	2840.920
4	572.310	2268.610
5	572.310	1696.300
6	572.310	1123.990
7	275.840	551.680
8	275.840	275.840

b) Cálculo de I_m , I_c e I_t

Los valores de los índices I_m , I_c e I_t para todos los pisos y para ambas direcciones de análisis se calculan considerando las ecuaciones 3.13, 3.14 y 3.15. Estos valores se indican en la tabla 5.20.

Tabla 5.20 Valores de los índices I_m , I_c e I_t . Cuerpo A.

Piso	Dirección longitudinal			Dirección transversal		
	I_m (cm ² /m ²)	I_c (cm ² /m ²)	I_t (Kgf/cm ²)	I_m (cm ² /m ²)	I_c (cm ² /m ²)	I_t (Kgf/cm ²)
1	84.20	8.88	13.52	97.31	2.46	12.61
2	76.59	13.09	13.23	85.04	9.59	12.54
3	42.43	8.62	22.33	75.00	5.38	14.18
4	75.87	7.96	13.08	108.41	4.96	9.67
5	48.73	17.42	15.38	84.54	6.54	11.17
6	114.37	6.94	7.21	126.05	4.80	6.69
7	57.23	1.36	13.16			
8	67.28	9.06	8.39			

5.3.1.4.1 Evaluación de los índice de Shiga

Este índice se evalúa de acuerdo con lo dispuesto en el punto 3.2.2 donde se explica la forma de obtener el valor mínimo requerido para el índice de área de muros (I_m)_{min}.

Considerando los valores del peso acumulado de la tabla 5.1, los valores del área de planta acumulada de la tabla 5.19 y el valor encontrado para (I_w)_{ult} (R=2) y reemplazando en las ecuaciones 3.22 y 3.23 se obtienen los valores mínimos requeridos para el índice I_m que se indican en la tabla 5.21.