

CAPITULO 5 INCOMPLETO

CAPÍTULO 5
RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS
PRELIMINARES

5. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS PRELIMINARES

5.1 INTRODUCCIÓN

Todos los datos necesarios para poder evaluar la vulnerabilidad del hospital, ya sea desde el punto de vista estructural como no estructural, se presentan y analizan en este capítulo. El capítulo se divide en dos partes, una para el Hospital Regional de Rancagua y la otra para el Hospital Dr. Sótero del Río, y cada una de ellas se divide en una evaluación de la vulnerabilidad estructural, donde se analizan los cuerpos seleccionados; y una evaluación de la vulnerabilidad no estructural. También se incorporan en este capítulo los datos recopilados sobre el comportamiento del hospital en sismos anteriores, destacando los efectos que se produjeron sin evaluar las causas de los mismos.

5.2 HOSPITAL REGIONAL DE RANCAGUA

En este hospital los edificios seleccionados son los cuerpos A, B y F. Los dos primeros poseen 7 pisos sobre el nivel del terreno, mientras que el tercero tiene dos pisos. Esta numeración de pisos considera un piso bajo en los tres edificios.

Debido a la carencia de datos precisos, la calidad de los materiales se estima teniendo en cuenta la fecha y tipo de construcción de los edificios. De esta forma, para los tres cuerpos, la calidad de los materiales utilizada es:

Hormigón armado: Hormigón clase D, lo que de acuerdo a los factores de conversión de la norma NCh170.Of85 equivale a una resistencia cilíndrica a la compresión de $f'_c=172 \text{ kg/cm}^2$ y a una resistencia cúbica de $R_{c28}=225 \text{ kg/cm}^2$. Con esto, el módulo de elasticidad es $E_h=285.000 \text{ kg/cm}^2$.

Albañilería: La albañilería es de unidades cerámicas hechas a máquina con una resistencia básica de corte de $\tau_0=5 \text{ kg/cm}^2$.

5.2.1 CUERPO A

Para este cuerpo las direcciones principales de análisis son: Longitudinal que está orientada Este-Oeste y la Transversal orientada Norte-Sur, esto se puede apreciar en las figuras de las plantas estructurales del cuerpo en el Anexo A.1. Por la presencia de un estanque superior, se hace una análisis de vulnerabilidad específico para esta estructura.

Las fachadas del cuerpo se presentan en el Anexo D.1 con las fotos 1 a 7.

5.2.1.1 DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES A CALCULAR

Para la determinación de los índices de vulnerabilidad estructural se consideran los factores de predominancia de material FC_j y las áreas de los elementos resistentes que se presentan en la Tabla 5.1. También se incluye el factor FR_i para transformar una sección de albañilería a una de hormigón de igual resistencia.

Tabla 5.1: Área de elementos resistentes y valores del factor FC_j . Cuerpo A.

Piso	Dirección Longitudinal		Dirección Transversal	
	Suma Norm. (m ²)	Suma Alb. (m ²)	Suma Norm. (m ²)	Suma Alb. (m ²)
PB	39.58	0	30.63	0
P1	24.34	0	29.87	0
P2	17.64	0	26.70	0.99
P3	16.91	0	18.81	0
P4	16.30	0	18.96	0
P5	12.83	0	11.59	0
P6	10.71	0	8.00	0

Piso	α	FR _i	Dirección Longitudinal		Dirección Transversal	
			FC _{long}	Índices	FC _{trans}	Índices
PB	7	0.523	1.00	Ih, Ism, Isc, Ist	1.00	Ih, Ism, Isc, Ist
P1	6	0.492	1.00	Ih, Ism, Isc, Ist	1.00	Ih, Ism, Isc, Ist
P2	5	0.460	1.00	Ih, Ism, Isc, Ist	0.98	Ih, Ism, Isc, Ist
P3	4	0.429	1.00	Ih, Ism, Isc, Ist	1.00	Ih, Ism, Isc, Ist
P4	3	0.397	1.00	Ih, Ism, Isc, Ist	1.00	Ih, Ism, Isc, Ist
P5	2	0.365	1.00	Ih, Ism, Isc, Ist	1.00	Ih, Ism, Isc, Ist
P6	1	0.334	1.00	Ih, Ism, Isc, Ist	1.00	Ih, Ism, Isc, Ist

De acuerdo con los datos proporcionados por la tabla anterior, se aprecia que el factor FC_j es mayor que 0.8 en todos los pisos y en ambas direcciones. Por lo tanto, los índices a calcular son los tres índices de Shiga y el índice de Hirosawa, ya que existe un predominio de los elementos de hormigón armado por sobre los de albañilería.

5.2.1.2 ÍNDICE DE HIROSAWA

Para la determinación del índice de Hirosawa se requiere de un índice sísmico básico de comportamiento estructural (E_n), los índices asociados a las características del edificio (S_D y T) y un índice mínimo límite de calificación (I_{so}). Los cálculos de estos índices se basan en las fórmulas del Capítulo 3.

5.2.1.2.1 Índice sísmico básico de comportamiento estructural (E_n)

i) Áreas de elementos resistentes

En la Tabla 5.2 se detallan las áreas de los elementos resistentes, en ambas direcciones de análisis, separados de acuerdo con la clasificación expuesta en el Capítulo 3.

Tabla 5.2: Áreas de elementos resistentes en ambas direcciones de análisis. Cuerpo A.

Dirección Longitudinal

Piso	Am2 (cm ²)	Am3 (cm ²)	Am4 (cm ²)	Ac1 (cm ²)	Ac2 (cm ²)	Ac3 (cm ²)	Amn (cm ²)	As (cm ²)	Asar (cm ²)
PB	31400	305550	7350	16650	1225	33600	0	0	0
P1	21500	144000	24300	52500	1050	0	0	0	18500
P2	12300	113400	0	48000	0	2700	0	0	25600
P3	12300	117600	0	38000	1200	0	0	0	29500
P4	10250	110000	0	41500	1200	0	0	0	34100
P5	12300	81050	0	29700	5250	0	0	0	43500
P6	12300	61050	0	26200	7500	0	0	0	24700

Dirección Transversal

Piso	Am2 (cm ²)	Am3 (cm ²)	Am4 (cm ²)	Ac1 (cm ²)	Ac2 (cm ²)	Ac3 (cm ²)	Amn (cm ²)	As (cm ²)	Asar (cm ²)
PB	152900	109600	16600	15500	4525	7200	0	0	0
P1	68450	174850	21200	10900	13950	9300	0	0	23000
P2	64800	154500	12100	26300	3600	5700	9900	0	17800
P3	39150	100350	9500	36400	2700	0	0	0	58600
P4	39150	100350	9500	37900	2700	0	0	0	58600
P5	14250	60950	7000	5400	28250	0	0	0	65000
P6	9500	46700	7000	8700	8125	0	0	0	69300

ii) Peso sísmico por piso

En la Tabla 5.3 se entregan los pesos por piso, pesos acumulativos y pesos por unidad de área en cada piso. La determinación de los pesos incluye el peso de los tabiques (55 kg/cm^2) y el de las baldosas (100 kg/cm^2). Para el último piso se incluye el peso del estanque superior.

Tabla 5.3: Pesos sísmicos por piso. Cuerpo A.

Piso	Peso (Kw)	Peso acumulado (Kw)	Peso por área planta (Ton/m ²)
PB	1.07E+06	6.30E+06	1.41
P1	9.96E+05	5.23E+06	1.31
P2	8.89E+05	4.24E+06	1.19
P3	8.53E+05	3.35E+06	1.14
P4	8.06E+05	2.50E+06	1.08
P5	7.55E+05	1.69E+06	1.01
P6	9.35E+05	9.35E+05	1.25

De acuerdo con esta tabla, se observa que los pesos por unidad de área en los distintos pisos sobrepasan en aproximadamente un 19%, en promedio, al peso utilizado como base en el índice de Hirosawa (1000 kg/m^2) [Hirosawa, 1992]. Sin embargo, para el cálculo del índice se toman los pesos reales del edificio.

iii) Valores de los índices de resistencia

En la tabla 5.4 se presentan los índices de resistencia detallados en el Capítulo 3 para cada tipo de elemento y en cada una de las direcciones de análisis.

Tabla 5.4: Índices de resistencia en ambas direcciones de análisis. Cuerpo A.

Dirección Longitudinal						
Piso	C_{ma}	C_a	C_{mar}	C_{sc}	E_w	E_c
PB	0	0	0	0.069	0.596	0.024
P1	0	0	0.009	0	0.395	0.087
P2	0	0	0.015	0.008	0.326	0.097
P3	0	0	0.022	0	0.426	0.100
P4	0	0	0.035	0	0.525	0.146
P5	0	0	0.066	0	0.620	0.170
P6	0	0	0.067	0	0.900	0.289

Dirección Transversal						
Piso	C_{ma}	C_a	C_{mar}	C_{sc}	E_w	E_c
PB	0	0	0	0.015	0.619	0.025
P1	0	0	0.011	0.023	0.605	0.034
P2	0.005	0	0.011	0.017	0.664	0.058
P3	0	0	0.045	0	0.535	0.098
P4	0	0	0.060	0	0.717	0.137
P5	0	0	0.098	0	0.553	0.128
P6	0	0	0.189	0	0.754	0.132

iv) Valores de α_i y F

En la Tabla 5.5 se presentan los valores de α_i y F para cada piso y dirección considerada.

Tabla 5.5: Valores de α_i y F en cada piso y dirección. Cuerpo A.

Dirección Longitudinal				
Piso	α_1	α_2	α_3	F
PB	1.000	0.700	0.500	0.800
P1	1.000	0.700	0.500	0.800
P2	1.000	0.700	0.500	0.800
P3	1.000	0.700	0.500	0.800
P4	1.000	0.700	0.500	0.800
P5	1.000	0.700	0.500	0.800
P6	1.000	0.700	0.500	0.800

Dirección Transversal				
Piso	α_1	α_2	α_3	F
PB	1.000	0.700	0.500	0.800
P1	1.000	0.700	0.500	0.800
P2	1.000	0.700	0.500	0.800
P3	1.000	0.700	0.500	0.800
P4	1.000	0.700	0.500	0.800
P5	1.000	0.700	0.500	0.800
P6	1.000	0.700	0.500	0.800

Debido a la presencia de muros de albañilería de relleno en todos los pisos, con excepción del piso bajo donde existen columnas cortas, las que son equivalentes a los muros de relleno desde el punto de vista de estos factores, los valores de α_i y F para todos los casos son los mismos. Por lo tanto, el modo de falla queda controlado por los muros de albañilería de relleno desde el primer piso hacia arriba, y por las columnas cortas en el piso bajo. En cuanto a la ductilidad (F), estos tipos de elementos reducen este factor en un 20%, es decir, $F=0.8$.

v) Cálculo de E_o

Para el cálculo del índice sísmico básico de comportamiento estructural, se utiliza la fórmula que se presenta en el Capítulo 3 y los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5.6: Índice sísmico básico de comportamiento estructural. Cuerpo A.

Piso	E_o Longitudinal	E_o Transversal
PB	0.398	0.369
P1	0.234	0.337
P2	0.192	0.337
P3	0.215	0.272
P4	0.254	0.336
P5	0.288	0.270
P6	0.385	0.358

5.2.1.2.2 Índice de configuración estructural (S_D)

El índice de configuración estructural se calcula de acuerdo con lo establecido en el Capítulo 3 y para ello los valores de q_i son los que se indican en la tabla siguiente:

Tabla 5.7: Valores de q_i para el cálculo de S_D . Cuerpo A.

I	R	Q_1	Q_2
1	1.00	0.90	0.90
2	0.50	1.00	1.00
3	0.50	1.00	1.00
4	0.50	1.00	1.00
5	0.25	1.00	1.00
6	1.00	0.80	1.00
7	0.50	0.80	0.90
8	0.50	1.00	1.00

Para tener una visión completa de la tabla anterior, se detallan las características del cuerpo que determinan estos valores calculados de acuerdo al Anexo B.

Para q_1 , la relación entre el área saliente y el área de planta es de un 13%, por lo tanto clasifica como a_2 . El área saliente es considerada en el cálculo debido a que la razón entre sus lados es mayor que 0.5. Por su parte, la relación largo - ancho tiene un valor de $3.86 < 5.0$, por lo que $G_2=1.0$. Los valores de G_3 , G_4 , G_5 y G_6 son iguales a 1.0 debido a que en el cuerpo no existe contracción de planta, no posee atrio o patio interior y no hay subterráneos. Por su parte, ya que la razón entre la dimensión de la junta de dilatación y la altura por sobre el nivel de terreno es menor que 0.005 ($0.03/23.4 = 0.0013$), $G_7=0.8$

Para q_8 , que corresponde a la razón entre las alturas de pisos consecutivos, R_h es 1.0 para todos los pisos, a excepción del primer piso que posee una altura mayor. Por lo tanto, en este piso $R_h=0.76$ lo que implica un $G_8=0.9$ y un $q_8=0.95$. Entonces, $S_D=0.770$ para el primer piso y $S_D=0.810$ para el resto del edificio.

5.2.1.2.3 Índice de deterioro de la edificación (T)

Este índice, que cuantifica el deterioro de la estructura, se ha calculado de acuerdo con la información obtenida en la visita a terreno y se basa en lo descrito en el Capítulo 3. Los valores se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 5.8: Valores de T_1 .Cuerpo A.

1	1.00
2	1.00
3	1.00
4	1.00
5	1.00

Estos valores reflejan el no deterioro de la estructura, es decir, no hay signos de deformación y no hay grietas visibles, por lo que los valores de T_1 y T_2 son iguales a 1.0. En este sentido, los daños que se aprecian pueden clasificarse como ligeros, por lo que $T_3=1.0$. Por otro lado, este es un cuerpo donde se encuentran servicios administrativos y de hospitalización principalmente, por lo que no hay un almacenamiento de sustancias químicas a gran escala, entonces $T_4=1.0$. Finalmente, no se han experimentado incendios en este cuerpo, por lo que $T_5=1.0$.

Por lo tanto, para el cálculo del índice de Hirosawa, se toma el mínimo de los T_i , lo que equivale a $T=1.0$.

5.2.1.2.4 Cálculo del índice I_h

Con todos los datos presentados, se obtienen los siguientes índices de Hirosawa para este cuerpo, en cada piso y dirección considerada.

Tabla 5.9: Valores del índice de Hirosawa. Cuerpo A.

Piso	I_h Longitudinal	I_h Transversal
PB	0.323	0.299
P1	0.180	0.260
P2	0.156	0.273
P3	0.174	0.221
P4	0.205	0.272
P5	0.233	0.219
P6	0.312	0.290

5.2.1.2.5 Cálculo de I_{so}

Para evaluar la vulnerabilidad estructural se debe tener un valor mínimo del índice para poder calificar el comportamiento de la estructura. Estos valores se establecen de acuerdo con lo indicado en el Capítulo 3 y los datos necesarios para el cálculo de I_{so} se muestran en la tabla 5.10.

Tabla 5.10: Datos para el cálculo de I_{so} . Cuerpo A.

T	T_o	S	A
0.245	0.3	1.0	0.3

Los datos anteriores se basan en los siguientes aspectos:

- T , período fundamental del cuerpo, se calcula como $0.035n$, lo que al considerar 7 pisos del cuerpo se tiene $T=0.245$.
- T_o depende del tipo de suelo, lo que para suelo tipo II que es donde se encuentra el hospital significa un $T_o=0.3$. Por lo tanto, al tener $T < T_o$ el análisis se realiza con la ecuación 3.12.

- c) S tiene valor 1.0 para suelo tipo II y corresponde al efecto de amplificación del suelo.
- d) A_0 corresponde a 0.3 para zona sísmica 2.

Con estos datos, el valor mínimo del índice de Hirosawa para que la vulnerabilidad estructural del edificio sea baja, corresponde a $I_{so}=0.441$. Por lo tanto, los índices mayores que este límite serán calificados como seguro y los índices que queden por debajo de éste indican que es necesario hacer una evaluación más detallada. Para una evaluación preliminar, la vulnerabilidad estructural es media - alta para valores de I_h menores que 0.126 ($R=7$) e intermedia para valores entre 0.126 y 0.441.

5.2.1.2.6 Evaluación de la estructura

Para realizar la evaluación de la vulnerabilidad estructural del cuerpo, se comparan los índices calculados con los valores de I_{so} y se determina el grado de vulnerabilidad del edificio (baja, media, alta). También se hace un análisis de sensibilidad del índice de acuerdo con algunas características particulares del edificio que puedan afectarlo y finalmente se evalúa el estanco del edificio como una subestructura del cuerpo.

- a) Cálculo Original: De acuerdo con los índices calculados para cada piso y dirección considerada, se aprecian índices bajos en todos los pisos. Uno de los factores que afecta en mayor medida el valor del índice es la albañilería de relleno, que por su falla frágil representa un mayor riesgo para la estructura.
- b) Sensibilidad sin considerar los muros de albañilería de relleno: Como se destacó anteriormente estos elementos determinan el modo de falla en el cálculo del índice, sin embargo, debido a que esta falla no afecta la estabilidad de la estructura en sí y debido a que la presencia de los muros de hormigón armado determina en gran medida las deformaciones que se producirán en la estructura, se analiza el edificio sin considerar estos elementos y los resultados son los indicados en la tabla 5.11.

Tabla 5.11: Sensibilidad con respecto a los muros de albañilería de relleno. Cuerpo A.

Piso	I_h Longit.	% de I_h	I_h Transv.	% de I_h
PB	0.323	73%	0.299	68%
P1	0.312	71%	0.253	57%
P2	0.148	34%	0.268	61%
P3	0.292	66%	0.356	81%
P4	0.339	77%	0.439	100%
P5	0.368	83%	0.320	73%
P6	0.510	116%	0.392	89%

Por lo tanto, al eliminar los muros de albañilería de relleno se aprecia un aumento de los índices, sin embargo, este aumento no logra mejorar en forma considerable la seguridad del edificio, quedando sólo el quinto piso en la dirección longitudinal y el cuarto piso en la dirección transversal con índices correspondientes a una baja vulnerabilidad estructural.

- c) Sensibilidad sin las columnas cortas: En este caso, además de eliminar los muros de albañilería de relleno se eliminan las columnas cortas presentes en el edificio, ya que, en relación con el área de muros de hormigón armado, su cantidad representa entre un 2% y un 9% del total. De esta forma, los valores del índice I_h que resultan se indican en la tabla 5.12.

Tabla 5.12: Sensibilidad con respecto a las columnas cortas. Cuerpo A.

Piso	I_h Longit.	% de I_h	I_h Transv.	% de I_h
PB	0.496	112%	0.516	117%
P1	0.312	71%	0.430	98%
P2	0.255	58%	0.457	104%
P3	0.292	66%	0.356	81%
P4	0.339	77%	0.439	100%
P5	0.368	83%	0.320	73%
P6	0.510	116%	0.392	89%

Al sacar del cálculo todos los elementos frágiles que puedan determinar el modo de falla de la estructura se observa un aumento en los índices de todo el cuerpo, manteniéndose el valor más bajo en la dirección longitudinal del segundo piso. De esta forma se puede destacar que las columnas cortas, presentes en escasa cantidad en el cuerpo y principalmente en los pisos inferiores donde la densidad de muros es mucho mayor, no controlan la falla

del edificio completo, ya que en caso de que estos elementos lleguen al límite de su resistencia los muros de hormigón armado seguirían controlando el comportamiento del edificio; sin embargo, se debe tener presente que al estar eliminando las columnas cortas y los muros de albañilería de relleno del análisis, existe la posibilidad de que estos elementos se agrieten en el sismo severo esperado, sin comprometer la estabilidad de la estructura completa.

- d) Sensibilidad a la resistencia del hormigón: Si luego de sacar los elementos frágiles del análisis se considera que la resistencia del hormigón armado es mayor a la estimada originalmente, lo que se puede aceptar por el endurecimiento que tiene este material con la edad, y se supone un $f'_c=200 \text{ kg/cm}^2$ lo que equivale a un 14% de aumento, con lo que se obtienen los valores de la tabla 5.13.

Tabla 5.13: Sensibilidad con respecto a la calidad de los materiales. Cuerpo A.

Piso	h longit.	% de h	h transv.	% de h
PB	0.577	131%	0.600	136%
P1	0.362	82%	0.500	113%
P2	0.297	67%	0.531	120%
P3	0.339	77%	0.413	94%
P4	0.394	89%	0.511	116%
P5	0.428	97%	0.372	84%
P6	0.593	134%	0.456	103%

Al considerar este aumento de resistencia del hormigón, el grado de vulnerabilidad del edificio disminuye de acuerdo con el índice de Hirosawa, sin embargo la dirección longitudinal del 2º piso continúa siendo el caso más crítico. Esto se debe a que existen muros de hormigón que pierden su continuidad en este piso por la existencia de una sala de reuniones y de un auditorio que poseen espacios libres de dimensiones importantes.

De acuerdo con los índices calculados, la vulnerabilidad estructural se puede calificar de grado "MEDIA". El piso más comprometido corresponde a la dirección longitudinal del segundo piso lo que se ve reflejado en las fisuraciones que se observan en los muros de albañilería de relleno en ese piso. A pesar de que en los pisos superiores también se presentan estos daños en los mismos elementos, es más comprensible y esperado, ya que en

los pisos altos las aceleraciones son mayores y los elementos frágiles son más sensibles.

5.2.1.2.7 Evaluación del estanque elevado

Debido a la presencia de un estanque elevado sobre el último piso de este cuerpo (Foto 8, Anexo D.1), se realiza un análisis de la estructura soportante de éste de tal manera de poder evaluar su vulnerabilidad estructural. Los datos necesarios y los resultados obtenidos del índice de Hirosawa se presentan en la tabla 5.14.

Tabla 5.14: Evaluación del estanque elevado ($F_c = 172 \text{ kg/cm}^2$). Cuerpo A.

Dirección	A_w cm	α_1	α_2	α_3	F	C_u	S_u	T	I_h
Longitudinal	53600	0	1.0	0.7	1.0	3.016	1.0	1.0	1.723
Transversal	30600	0	1.0	0.7	1.0	1.722	1.0	1.0	0.984

Estos datos y cálculos están realizados con los muros soportantes del estanque, los que se apoyan sobre la losa del sexto piso, y se considera un peso de 305684 kg. Sin embargo, y ya que los índices llegan a valores bastante altos, lo que indicaría una clasificación segura de acuerdo con los valores del límite de I_{s0} , se debe considerar que los muros soportantes del estanque descansan en una estructura no tan rígida en el sexto piso. Para evaluar el efecto que esto tiene, se calcula el índice para estos elementos y los resultados que se obtienen se presentan en la tabla 5.15.

Tabla 5.15: Evaluación de la estructura del estanque. Cuerpo A.

Dirección	A_w cm	A_w cm ²	α_1	α_2	α_3	F	C_u	C_r	S_u	T	I_h
Longitudinal	30450	0.425	0	1.0	0.7	1.0	1.713	0.084	1.0	1.0	1.013
Transversal	14375	0.425	0	1.0	0.7	1.0	0.809	0.084	1.0	1.0	0.477

De acuerdo con los valores de I_h que se obtienen, y en comparación con el índice de Hirosawa mínimo para obtener una baja vulnerabilidad, la estructura soportante del estanque es segura en ambas direcciones. Por su parte, los índices calculados para la estructura que se encuentra en el sexto piso y sobre la que descansa el estanque también reflejan seguridad de acuerdo a I_{s0} . La diferencia que se aprecia entre los índices de ambas direcciones, aproximadamente un 50%, se debe a que en la dirección transversal la cantidad de muros de hormigón

en el sexto piso es mucho menor. Además se debe mencionar que los muros se encuentran sólo en un lado del estanque lo que puede producir problemas de torsión en el estanque. Sin embargo, se debe destacar que para este nivel la fórmula de Hirosawa no considera los efectos torsionales (Foto 8, Anexo D.1).

5.2.1.3 ÍNDICE DE SHIGA

Como complemento del índice de Hirosawa se presenta la evaluación de los tres índices de Shiga: I_{sm} , índice de densidad de muros, I_{sc} , índice de densidad de columnas e I_{st} , índice de tensión media de corte nominal.

5.2.1.3.1 Áreas de planta

En la Tabla 5.16 se entregan las áreas acumuladas de las plantas de todos los pisos del cuerpo, junto con el factor FR_1 , que transforma una sección de albañilería a una equivalente de hormigón, y los pesos acumulados por sobre los pisos.

Tabla 5.16: Áreas y pesos acumulados. Cuerpo A.

Piso	FR_1	Área Acumulada (m ²)	Peso Acumulado (Kg)
PB	0.523	5254.640	6.30E+06
P1	0.492	4496.120	5.23E+06
P2	0.460	3737.600	4.24E+06
P3	0.429	2990.080	3.35E+06
P4	0.397	2242.560	2.50E+06
P5	0.365	1495.040	1.69E+06
P6	0.334	747.520	9.35E+05

5.2.1.3.2 Área de muros y columnas

En la Tabla 5.17 se presentan las sumas de áreas de muros y columnas en cada piso y dirección considerada. Estas áreas corresponden a áreas equivalentes de hormigón, es decir, todos los muros estructurales de albañilería se han transformado mediante los factores correspondientes.

Tabla 5.17: Áreas de muros y columnas por piso y dirección. Cuerpo A.

Dirección Longitudinal

Piso	SUMA Am (cm ²)	SUMA Ac (cm ²)	SUMA Am+Ac (cm ²)
PB	344300	51475	395775
P1	198896	53550	252446
P2	137479.2	50700	188179.2
P3	142542.9	39200	181742.9
P4	133788.5	42700	176488.5
P5	109248	34950	144198
P6	81597.81	33700	115297.8

Dirección Transversal

Piso	SUMA Am (cm ²)	SUMA Ac (cm ²)	SUMA Am+Ac (cm ²)
PB	279100	27225	306325
P1	275808.6	34150	309958.6
P2	244145.5	35600	279745.5
P3	174114.4	39100	213214.4
P4	172265.5	40600	212865.5
P5	105955.6	33650	139605.6
P6	86340.61	16825	103165.6

5.2.1.3.3 Cálculo de I_{sm} , I_{sc} e I_{st}

A continuación se presentan los índices de Shiga calculados para cada piso y dirección considerada. El método de cálculo es el detallado en el Capítulo 3.

Tabla 5.18: Valores de los índices de Shiga. Cuerpo A.

Dirección Longitudinal

Piso	I_{sm} (cm ² /m ²)	I_{sc} (cm ² /m ²)	I_{st} (Kgf/cm ²)
PB	65.523	9.796	15.927
P1	44.237	11.910	20.732
P2	36.783	13.565	22.521
P3	47.672	13.110	18.427
P4	59.659	19.041	14.143
P5	73.074	23.377	11.719
P6	109.158	45.082	8.112

Dirección Transversal

Piso	I_{sm} (cm ² /m ²)	I_{sc} (cm ² /m ²)	I_{st} (Kgf/cm ²)
PB	53.115	5.181	20.578
P1	61.344	7.595	16.885
P2	65.321	9.525	15.149
P3	58.231	13.077	15.707
P4	76.816	18.104	11.726
P5	70.871	22.508	12.104
P6	115.503	22.508	9.066

5.2.1.3.4 Evaluación de la estructura

Para poder realizar una evaluación de los resultados obtenidos se deben calcular los índices mínimos de muros en cada piso con los que se deben comparar los valores de la tabla 5.18. Para ello, y de acuerdo con la ecuación 3.17 del Capítulo 3, los datos necesarios para el cálculo y sus resultados se presentan en la tabla 5.19.

Tabla 5.19: Valores mínimos de densidades de muros para tener una vulnerabilidad estructural baja. Cuerpo A.

Piso	I_n+II/I_n+II	Área Acumulada lm^2	Peso Acumulado (kg)	I_{sm} cm^2/m^2
PB	1.000	5254.640	6.30E+06	33.05
P1	1.125	4496.120	5.23E+06	36.07
P2	1.250	3737.600	4.24E+06	39.08
P3	1.375	2990.080	3.35E+06	42.46
P4	1.500	2242.560	2.50E+06	46.09
P5	1.625	1495.040	1.69E+06	50.63
P6	1.750	747.520	9.35E+05	60.33

Estos son los índices mínimos de densidad de muros calculados con una tensión nominal máxima de $I_{st}=16 \text{ kg/cm}^2$.

En la dirección longitudinal se puede apreciar que los elementos del piso bajo y de los pisos 4°, 5° y 6° tienen tensiones promedio (I_{sm}) bajo la máxima por lo que están bien estructurados. Esto difiere en los pisos 1°, 2° y 3° donde las tensiones sobrepasan el límite de 16 kg/cm^2 . Para explicar esto se debe considerar que el peso acumulado va bajando con la altura y que en los pisos donde se excede el valor límite existen disminuciones de los elementos resistentes de un piso a otro, es decir, algunos muros presentes en el piso bajo no continúan en el primer piso y así sucesivamente. Por lo tanto, frente a una menor área resistente y una disminución no proporcional en el peso, los elementos tienen tensiones tangenciales medias mayores.

En esta dirección longitudinal los índices de densidad de muros (I_{sm}) cumplen con el mínimo requerido en la tabla 5.19, por lo que el exceso de tensión se debe no a la falta de elementos, sino a un exceso en el peso del edificio. La excepción en esta dirección correspon-

de nuevamente al 2° piso, que no tiene la densidad de muros mínima, con un 6% de diferencia. Esto ratifica la conclusión dada por el índice de Hirosawa, lo que significa que esa dirección de ese piso es la más vulnerable del cuerpo.

Transversalmente, las tensiones sobre los elementos no sobrepasan el límite e incluso el primer piso se puede considerar como una tensión aceptable, pero el piso bajo es el que tiene una tensión mucho mayor que el mínimo pudiéndose explicar porque el peso de todo el edificio descansa sobre estos elementos y su cantidad no logra distribuir la fuerza para llegar a un máximo de 16 kg/cm^2 .

Por su lado, las densidades de muros existentes sobrepasan al mínimo requerido lo que nuevamente refleja que la cantidad de elementos resistentes no es insuficiente.

Se debe también mencionar que al establecer las tensiones sobre los elementos en ambas direcciones de un determinado piso se considera el peso total del edificio sobre el piso para cada una de ellas lo que sobrestima las tensiones. Por lo tanto, las tensiones reales del edificio en cada piso y dirección considerada deben ser bastante menores que las calculadas y si éstas cumplen, con mayor razón lo harán las tensiones reales.

Desde el punto de vista de los índices de Shiga, el edificio es seguro tanto en su densidad de muros como en las tensiones medias sobre los elementos resistentes. Analizando los daños que se han producido, nuevamente el 2° piso muestra deficiencia en su dirección longitudinal, ya que las tensiones medias en los elementos sobrepasan en un 40% al límite de 16 kg/cm^2 establecido como límite. Por lo tanto, nuevamente deficiencias de la estructura se reflejan en los índices de Shiga.

5.2.1.4 VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO CON LA ALTURA

Como se establece en el Capítulo 3, además de evaluar la vulnerabilidad de las estructuras mediante índices de comportamiento, se realiza una evaluación de la regularidad de algunas características importantes en una estructura para que su respuesta frente a un evento

sísmico sea lo más favorable posible. Estas características son las que se presentan en el Capítulo 3 y se evalúan para todos los cuerpos seleccionados.

5.2.1.4.1 Variación del área de planta entre pisos consecutivos

De acuerdo con los datos proporcionados por los planos, las áreas de los distintos pisos y su variación respectiva se detallan en la tabla 5.20.

Tabla 5.20: Variación del área de planta entre pisos consecutivos. Cuerpo A.

Piso	Área A _{pi} (m ²)	Razón A _{pi} /A _{pi+1}	Situación
PB	758.52	1.00	BUENO
P1	758.52	1.01	BUENO
P2	747.52	1.00	BUENO
P3	747.52	1.00	BUENO
P4	747.52	1.00	BUENO
P5	747.52	1.00	BUENO
P6	747.52		

Las plantas del cuerpo se mantienen constantes en toda su altura salvo en los dos primeros pisos donde existen 2 apéndices que suman 11 m². Por esta regularidad de plantas, cuya variación máxima es de 1%, y de acuerdo con los límites establecidos en el Capítulo 3 para su calificación, el cuerpo es considerado bueno en este aspecto.

5.2.1.4.2 Variación de la resistencia entre pisos consecutivos

Los datos de las áreas de elementos resistentes se presentan en la tabla 5.21.

Tabla 5.21: Variación de la resistencia entre pisos consecutivos. Cuerpo A.

Piso	Long. R _x (m ²)	Variación R _i /R _{i+1}	Situación	Transv. R _y (m ²)	Variación R _i /R _{i+1}	Situación
PB	39.578	1.63	BUENO	30.633	1.03	BUENO
P1	24.335	1.38	BUENO	29.865	1.10	BUENO
P2	17.640	1.04	BUENO	27.156	1.44	BUENO
P3	16.910	1.04	BUENO	18.810	0.99	BUENO
P4	16.295	1.27	BUENO	18.960	1.64	BUENO
P5	12.830	1.20	BUENO	11.585	1.45	BUENO
P6	10.705			8.003		

La cantidad de elementos resistentes en ambas direcciones cumplen los requisitos

de variación de resistencia mínima entre pisos consecutivos. Con ello, el cuerpo queda bien calificado en este aspecto observándose una disminución gradual de la resistencia con la altura y cantidades comparables en ambas direcciones de análisis. El caso más crítico se da en la dirección transversal del tercer piso donde la variación de resistencia es un 24% mayor al mínimo necesario. Por lo tanto, no existen pisos débiles en resistencia en el cuerpo y no deberían presentarse daños considerables desde este punto de vista, lo que se ve reflejado con lo que ha ocurrido hasta ahora, ya que los daños estructurales prácticamente no existen, sino que son daños asociados a elementos no estructurales principalmente.

5.2.1.4.3 Variación de la rigidez

Las rigideces de los elementos, calculadas de acuerdo con las fórmulas establecidas en el Capítulo 3, se presentan en la tabla 5.22.

Tabla 5.22: Variación de la rigidez. Cuerpo A.

Dirección Longitudinal					
Piso	Long. K _x (Ton/cm)	Variación entre pisos	Situación	Variación con tres superiores	Situación
PB	1.32E+06	0.18	MALO	0.20	BUENO
P1	2.43E+05	1.06	BUENO	1.11	BUENO
P2	2.58E+05	1.07	BUENO	0.99	BUENO
P3	2.76E+05	0.99	BUENO	0.80	BUENO
P4	2.73E+05	0.79	BUENO		
P5	2.15E+05	0.80	BUENO		
P6	1.71E+05				

Dirección Transversal					
Piso	Transv. K _y (Ton/cm)	Variación entre pisos	Situación	Variación con tres superiores	Situación
PB	1.55E+06	0.30	MALO	0.37	BUENO
P1	4.56E+05	1.60	MALO	1.29	MALO
P2	7.31E+05	0.71	BUENO	0.60	BUENO
P3	5.17E+05	1.00	BUENO	0.67	BUENO
P4	5.17E+05	0.54	BUENO		
P5	2.80E+05	0.88	BUENO		
P6	2.47E+05				

Para poder evaluar este aspecto el análisis se hace de dos formas. La primera con

la variación de rigidez entre pisos consecutivos y la segunda con la variación entre el piso analizado y el promedio de los tres pisos superiores.

Longitudinalmente se observa una calificación “mala” en el piso bajo lo que se debe a que en este piso existe una alta cantidad de muros que no continúan en toda la altura del edificio por lo que al hacer la comparación con el primer piso se refleja una variación considerable. Por otro lado, en cuanto a la comparación con los tres pisos superiores, se ve una situación favorable, dándose el caso más crítico en el segundo piso con una holgura de 11% bajo el límite.

En la dirección transversal se aprecia el mismo efecto mencionado en la dirección longitudinal pero en este caso se extiende hasta el primer piso. Sin embargo, en el primer piso la variación de la rigidez no refleja una mayor cantidad de muros sino que una disminución de los mismos con respecto al piso superior. Esto se explica porque, a pesar de que el primer piso posee una mayor cantidad de elementos resistentes, la altura de éste es mayor que la del segundo piso lo que le proporciona una mayor flexibilidad a la estructura y lo puede transformar en un piso blando en esta dirección. Análogamente, la razón con el promedio de los tres pisos superiores también refleja la misma situación para ese piso.

Por lo tanto, desde el punto de vista de la rigidez del cuerpo, los dos pisos inferiores son los que poseen alguna singularidad. Sin embargo, aunque el primer piso posee una mayor flexibilidad transversalmente, no se puede calificar en forma tan estricta el cuerpo ya que posee una cantidad importante de muros los que controlarán las deformaciones y, si bien es cierto que va a existir una mayor deformación relativa en el primer piso, esta puede no llegar a ser crítica. Además, al analizar los daños que se han presentado en sismos pasados, el primer piso no ha sufrido daños graves ni en elementos estructurales ni en no estructurales, lo que indica que esta variación de rigidez no ha afectado mayormente al edificio.

5.2.1.4.4 Excentricidad

En la tabla 5.23 se presenta la ubicación de los centros de gravedad y de rigidez de las

plantas en los distintos pisos, junto con las excentricidades que posee el edificio en cada piso y dirección considerada.

Tabla 5.23: Centros de gravedad y rigidez. Excentricidades. Cuerpo A.

Largo Longitudinal [m] Lx: 43.40
Largo Transversal [m]: Ly: 22.60

Piso	Centro de Gravedad		Centro de Rigidez	
	Xg (m)	Yg (m)	Xr (m)	Yr (m)
PB	23.309	6.270	18.426	7.068
P1	23.309	6.270	26.204	4.260
P2	23.616	6.386	25.201	8.225
P3	23.616	6.386	23.612	2.381
P4	23.616	6.386	23.611	2.500
P5	23.291	6.300	10.678	1.738
P6	23.291	6.300	10.949	0.280

Piso	Excentricidad Long.		Situación	Excentricidad Transv.		Situación
	(m)	ex/Lx		(m)	ey/Ly	
PB	4.883	0.11	REGULAR	0.798	0.04	BUENO
P1	2.895	0.07	BUENO	2.010	0.09	BUENO
P2	1.585	0.04	BUENO	1.839	0.08	BUENO
P3	0.004	0.00	BUENO	4.005	0.18	REGULAR
P4	0.005	0.00	BUENO	3.886	0.17	REGULAR
P5	12.613	0.29	MALO	4.562	0.20	MALO
P6	12.342	0.28	MALO	6.019	0.27	MALO

Las excentricidades de todos los pisos se ven afectadas por la desaparición de muros en la altura que no obedece a una disminución simétrica u ordenada de los elementos, sino mas bien a una necesidad debido a los requerimientos de uso del cuerpo. Por ello, la variación de las excentricidades son bastante erráticas en los distintos pisos, dándose el caso más desfavorable en el quinto y sexto piso debiéndose principalmente a que los muros, elementos predominantes en la determinación del centro de rigidez, son mínimos y dispuestos con poca simetría. Esto puede afectar de manera importante si se considera que este cuerpo posee un estanque superior de 90 m³ y que ya presenta algunos daños en uno de sus vértices.

Al observar los daños y los datos que se poseen se puede decir que en los pisos superiores los daños, que son de elementos no estructurales como fisuraciones de albañilerías de relleno, se pueden deber a estas excentricidades. Esto se acentúa más al considerar que en estos pisos, a pesar de tener los elementos resistentes adecuados de acuerdo a la

distribución de resistencias y de rigidez, la distribución de estos elementos posee poca simetría y la cantidad de muros disminuye en forma considerable. También se debe considerar que por este motivo han existido choques entre los cuerpos A y B, lo que perjudica aún más el comportamiento de los elementos no estructurales.

5.2.1.4.5 Variación de pesos entre pisos consecutivos

Los pesos de los distintos pisos y su variación en altura se detallan en la tabla 5.24.

Tabla 5.24: Variación de los pesos entre pisos consecutivos. Cuerpo A.

Piso	Peso [Kg]	Variación W _i /W _{i+1}	Situación
P8	1.07E+06	1.07	BUENO
P1	9.96E+05	1.12	BUENO
P2	8.89E+05	1.04	BUENO
P3	8.53E+05	1.06	BUENO
P4	8.06E+05	1.07	BUENO
P5	7.55E+05	0.81	REGULAR
P6	9.35E+05		

Esta variación, que se considera entre pisos consecutivos, ha sido evaluada como buena debido a la homogeneidad de los pesos en toda la altura, teniendo un 6% de variación, como promedio, entre los distintos pisos. La única excepción es el quinto piso donde ese porcentaje aumenta a 19% debido principalmente a la masa del estanque superior que lo afecta.

5.2.2 CUERPO B

Para este cuerpo las direcciones principales de análisis son: Longitudinal que está orientada Este-Oeste y la Transversal orientada Norte-Sur. Las fotos 9 y 10 del Anexo D.1 muestran las fachadas de este cuerpo.