

**CAPITULO 5**  
**RECOLECCION Y ANALISIS DE DATOS PRELIMINARES**

## **CAPITULO 5**

### **RECOLECCION Y ANALISIS DE DATOS PRELIMINARES**

#### **5.1 INTRODUCCION**

En este capítulo se entrega la información que permitirá evaluar la vulnerabilidad estructural y no estructural de los hospitales analizados.

Para cada cuerpo se evalúan los índices estructurales detallados en el capítulo 3, además se determina la variación de las características estructurales entre pisos consecutivos.

Para los elementos no estructurales se detalla su tipo de apoyo y disposición, con el propósito de analizar la interacción de estos elementos con la estructura durante un sismo.

El comportamiento de los hospitales en sismos anteriores se entrega teniendo en cuenta los informes de daño existentes y la información recopilada en terreno durante las visitas.

#### **5.2 RECOLECCION DE DATOS**

La primera etapa de recolección de datos se realiza con los planos disponibles en el Departamento de Recursos Físicos del Ministerio de Salud, principalmente se utilizan los planos de estructuras.

La información que se encuentra en estos planos permite calcular los índices y determinar las características estructurales de los cuerpos analizados. En los anexos A y D se entregan las plantas estructurales y en los anexos B y E se muestran las elevaciones de los cuerpos en estudio.

La segunda etapa de recolección de datos corresponde al trabajo realizado durante 15 días en los hospitales, en esta etapa se compara la información que entregan los planos con lo que existe en terreno para detectar modificaciones que puedan alterar los cálculos. Además en esta etapa se recolecta la información correspondiente a los elementos no estructurales

La forma de reunir la información es mediante una serie de encuestas.

### **5.3 CONSIDERACIONES GENERALES**

Para el cálculo de los índices y de las características estructurales se realizó una serie de aproximaciones considerando la falta de información que existe para algunos aspectos. Entre ellas se destacan:

i) Para determinar los pesos sísmicos se consideró:

Un 25% de la sobrecarga de diseño. El valor de la sobrecarga corresponde al recomendado por la norma NCh1537,  $300 \text{ kgf/m}^2$ .

Un peso de los tabiques por unidad de área de  $55 \text{ kgf/m}^2$ .

Un peso de los pisos de baldosas de  $100 \text{ kgf/m}^2$ .

Un peso específico del hormigón armado de  $2.5 \text{ Ton/m}^3$ .

Un peso específico de la albañilería de  $1.8 \text{ Ton/m}^3$ .

En el cálculo del peso sísmico del techo se consideró una sobrecarga sísmica nula.

ii) En la determinación de las rigideces se usaron las fórmulas aproximadas indicadas en el capítulo 3.

iii) Para el cálculo del centro de gravedad se descuenta las perforaciones existentes en los pisos.

## 5.4 CALCULO Y EVALUACION DE LOS INDICES ESTRUCTURALES

### 5.4.1 HOSPITAL SAN JUAN DE DIOS DE CURICO

#### 5.4.1.1 HOSPITAL NUEVO

##### Consideraciones particulares

El edificio analizado corresponde al que forman los cuerpos A y B. Este edificio tiene una sala de máquinas sobre el quinto piso, la que se considera como un apéndice y para efecto de las cubricaciones se agrega su peso en el nivel del quinto piso.

La sobrecarga de la sala de máquinas se consideró de  $400 \text{ kgf/m}^2$  de acuerdo a la apreciación realizada en la visita al hospital

El peso de la techumbre se estima en  $35 \text{ kgf/m}^2$

##### Características de los materiales

Para los cuerpos A y B, las propiedades de los materiales que se necesitan para los cálculos se obtienen de los planos de estructuras de estos cuerpos. Para ambos cuerpos los valores son iguales y son los siguientes:

- i) Hormigón clase D, resistencia cilíndrica a la compresión  $f_c = 172 \text{ kgf/cm}^2$ .
- ii) Módulo elástico hormigón  $E = 2850000 \text{ Ton/m}^2$ .
- iii) Acero de refuerzo A56-34H
- iv) Albañilería con espesor de 17.5 cm hecha a máquina, resistencia básica de corte  $\tau_o = 5 \text{ kgf/cm}^2$ .
- v) Módulo elástico albañilería  $E = 600000 \text{ Ton/m}^2$ .

## Indices a calcular

Los cuerpos A y B están estructurados con columnas de hormigón armado, debido a esto el índice que corresponde evaluar es el índice de Hirosawa ( $I_h$ ), sin embargo se calcularán los índices de Shiga ( $I_e, I_l$ ) como referencia para compararlos con los valores de áreas de columnas requeridas y resistencias de corte que se obtienen utilizando los valores límites del índice de Hirosawa.

### A. CUERPO A

De acuerdo con las consideraciones mencionadas, las áreas y pesos sísmicos de los pisos de este cuerpo son las indicadas en la tabla 5.1. El área corresponde al área total de la planta y el área neta es el área total menos las perforaciones de la planta; el peso unitario se calcula sobre el área neta.

**Tabla 5.1.** Cuerpo A, Areas de Plantas y Pesos Sísmicos por piso.

Piso	Area [m <sup>2</sup> ]	Area Neta [m <sup>2</sup> ]	Peso [kgf]	Peso [Kgf/m <sup>2</sup> ]
1	1658.60	1319.30	1474180	1117.4
2	1735.98	1525.90	1759749	1153.3
3	1615.66	1415.23	1534446	1084.2
4	1615.66	1415.23	1595168	1127.2
5	1615.66	1415.23	1413624	998.9

## INDICE DE HIROSAWA ( $I_h$ )

De acuerdo con lo señalado en el capítulo 3, el índice de Hiroswawa está dado por la expresión :

$$I_h = E_o * S_d * T$$

A continuación se determinan los términos que forman este índice.

### a. Cálculo de $E_o$ , índice sísmico básico de comportamiento estructural

En edificios estructurados con marcos y sin columnas cortas, en que las columnas de hormigón controlan la falla, la expresión de  $E_o$  se reduce a

$$E_o = \frac{(n_p + 1)}{(n_p + i)} * C_c * F$$

donde:

- Número de pisos  $n_p = 5$ .
- El valor de F es 1, ya que  $C_{mar} = C_a = C_{sc} = 0$ .

$$C_c = \left( \frac{f_c}{200} \right) * \frac{(10 * \sum A_{c1} + 7 * \sum A_{c2})}{\sum_{j=1}^n W_j}$$

en que :

$f_c = 172 \text{ kgf/cm}^2$ , resistencia cilíndrica a la compresión del hormigón.

$W_j$  : Peso del nivel j

## Tipo de columnas

El tipo de columna ( $A_{c1}, A_{c2}$ ) se determina de acuerdo con la relación entre la altura libre ( $h_o$ ) y el ancho ( $d$ ).

Si  $h_o/d < 6$ , la columna es  $A_{c1}$ .

Si  $h_o/d \geq 6$ , la columna es  $A_{c2}$ .

El tipo de columnas para el cuerpo A, se indica en la tabla 5.2. Conocido el tipo de columnas se tienen todos los datos que permiten determinar el valor del índice básico de comportamiento estructural  $E_o$ , los valores de  $E_o$  se entregan en la tabla 5.3.

**Tabla 5.2.** Cuerpo A, Tipo de Columnas.

Piso	$h_o$ [m]	$d$ [m]	$h_o/d$	Tipo Columna
1-5	2.9	0.6	4.83	$A_{c1}$
1	2.5	0.6	4.17	$A_{c1}$

**Tabla 5.3.** Cuerpo A, Valores de  $E_o$ .

Piso	Peso W [kgf]	$A_{c1}$ [cm <sup>2</sup> ]	$C_c$	$E_o$
1	1474180	172800	0.191	0.191
2	1759749	172800	0.236	0.202
3	1534446	172800	0.327	0.245
4	1595168	172800	0.494	0.329
5	1413624	172800	1.051	0.631

## b. Cálculo de $S_d$ , índice de la configuración estructural

El valor de  $S_d$  está dado por la siguiente expresión :

$$S_d = q_1 * q_2 * q_3 \dots * q_8$$

donde:

$$q_i = (1.0 - (1 - G_i) * R_i) \text{ para } i = 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8$$

$$q_i = (1.2 - (1 - G_i) * R_i) \text{ para } i = 6$$

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

i) Regularidad de Planta :  $q_1$

Planta simétrica en cada dirección, lo que corresponde a planta regular,  $G_1 = 1$ ,  $R_1 = 1$ ,  $q_1 = 1$ .

ii) Relación Largo-Ancho (B) :  $q_2$

Dimensión mayor : 40.2 m.

Dimensión menor : 40.2 m.

$$B = 40.2/40.2 = 1, B < 5, G_2 = 1, R_2 = 0.5, q_2 = 1.$$

iii) Continuidad de Planta :  $q_3$ .

No hay estrangulaciones en este cuerpo,  $q_3 = 1$ .

iv) Atrio o Patio Interior :  $q_4$ .

$R_{ap}$  : Razón entre el área del atrio y el área total de la planta.

Area Patio interior =  $12.6 \text{ m} \times 12.6 \text{ m} = 158.76 \text{ m}^2$ .

En la tabla 5.4 se da el valor de la razón entre el área del patio interior y el área del piso para cada nivel.

**Tabla 5.4.** Cuerpo A, Razón entre área del patio interior y área del piso.

Piso	Area Piso [m <sup>2</sup> ]	$R_{ap}$
1	1658.597	0.096
2	1735.978	0.091
3	1615.660	0.098
4	1615.660	0.098
5	1615.660	0.098

Como  $R_{ap} \leq 0.1$ ,  $G_4 = 1$ ,  $R_4 = 0.5$ ,  $q_4 = 1$ .

v) Excentricidad de Atrio o Patio Interior :  $q_5$ .

El patio interior se encuentra centrado en la planta del cuerpo por lo que no existe excentricidad,  $q_5 = 1$ .

vi) Subterráneos :  $q_6$ .

No hay subterráneo en este cuerpo,  $q_6 = 1$ .

vii) Junta de Dilatación  $q_7$ .

$s$  : Razón entre la menor dimensión de la junta de dilatación del cuerpo y la altura desde el terreno al piso más alto del cuerpo donde se ubica la junta

Dimensión de la junta = 5 cm = 0.05 m.

Altura máxima desde el nivel de terreno = 17.5 m.

$s = 0.05/17.5 = 0.003$ ,  $s < 0.005$ ,  $G_7 = 0.8$ ,  $R_7 = 0.5$ ,  $q_7 = 0.9$ .

viii) Uniformidad de altura de piso :  $q_8$ .

$R_h = h_i/h_{i+1}$ , (se invierte para el último piso).

$h_i$  : altura del piso  $i$ .

Dado que todos los pisos tienen la misma altura (3.5 m) la razón  $R_h$  vale uno.

Como  $R_h \geq 0.8$ ,  $G_8 = 1$ ,  $R_8 = 0.5$ ,  $q_8 = 1$  para todos los pisos.

El resumen de los valores obtenidos para los distintos ítems se entrega en la tabla 5.5.

La multiplicación de los valores obtenidos entrega el valor de  $S_d$  para el edificio según Hirosawa (Hirosawa 1981), resultando  $S_d = 0.9$ .

**Tabla 5.5.** Cuerpo A, Valores de  $G_i$  y  $R_i$ .

ITEMS	$G_i$	$R_i$	$q_i$	Observaciones.
1. Regularidad	1.0	1.0	1.0	Planta regular
2. Relación Largo-Ancho	1.0	0.5	1.0	$B = 1 < 5$
3. Contracción de planta			1.0	No hay estrangulamientos
4. Atrio o patio interior	1.0	0.5	1.0	$R_{ap} < 0.1$
5. Excentricidad de Atrio o patio interior			1.0	No hay excentricidad del patio interior.
6. Subterráneo			1.0	No hay subterráneo
7. Junta de dilatación	0.8	0.5	0.9	$s = 0.003 < 0.005$
8. Uniformidad de altura de piso	1.0	0.5	1.0	$R_h = 1$

**c. Cálculo de T, índice de deterioro de la edificación**

Los valores que presentan los distintos items que se relacionan con el deterioro de la edificación se entregan en la tabla 5.6. Con los valores obtenidos se determina el índice T como:

$$T = \min (T_1, T_2, \dots, T_5)$$

**Tabla 5.6.** Cuerpo A, Valores de  $T_i$ .

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 se obtiene que  $T=1$ .

## Valores obtenidos para el 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 piso, los resultados se entregan en la tabla 5.7.

Tabla 5.7. Cuerpo A, Índice de Hirosawa Direcciones X, Y.

Piso	$I_h$
1	0.172
2	0.182
3	0.221
4	0.296
5	0.568

### Evaluación del índice de Hirosawa

La evaluación de este índice se realiza comparando la capacidad disponible ( $I_h$ ) con los requerimientos dados por el índice  $I_{so}$ . Los valores para  $I_{so}$  se obtienen de acuerdo a lo indicado en el capítulo 3 en el punto 3.2.1.2.

Los valores que se obtienen según la ubicación y características del cuerpo son:

- $A_o = 0.3$
- $T_o = 0.3$
- $S = 1.0$
- $T = 0.1 \cdot 5 = 0.5$

De acuerdo con las ecuaciones 3.11 y 3.12, para  $T > T_o$  se tienen los siguientes valores de  $I_{so}$ :

- $(I_{so})_{ser} = 0.13$
- $(I_{so})_{\acute{u}lt} (R=2) = 0.39$       -  $(I_{so})_{\acute{u}lt} (R=7) = 0.11$

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

$I_h > 0.39$	Vulnerabilidad baja.
$0.39 \geq I_h > 0.32$	Vulnerabilidad media-baja
$0.32 \geq I_h > 0.18$	Vulnerabilidad media.
$0.18 \geq I_h > 0.11$	Vulnerabilidad media-alta.
$I_h \leq 0.11$	Vulnerabilidad alta.

De acuerdo con los valores de  $I_h$  de la tabla 5.7 este cuerpo presenta una vulnerabilidad media-alta en el piso 1, una vulnerabilidad media en los pisos 2-3-4, y una vulnerabilidad baja en el piso 5, considerándose para el cuerpo una vulnerabilidad media-alta que corresponde al valor más crítico.

### **Análisis de sensibilidad del índice de Hirosawa ( $I_h$ )**

#### **a. Factor de Resistencia : $C_c$**

Como se mencionó en la sección 3.2.7 del capítulo 3, este factor depende de:

#### **i) Resistencia a la compresión para el hormigón ( $f_c$ )**

De acuerdo con la norma NCh170 y las especificaciones de los planos del proyecto, el valor especificado corresponde a  $f_c=172 \text{ kgf/cm}^2$  para los cuerpos A y B del hospital de Curicó. Sin embargo pruebas realizadas con el martillo Schmidt en las visitas a terreno entregaron los siguientes valores de  $f_c$ :

Cuerpo Escalera  $f_c = 250 \text{ kgf/cm}^2$

Escalera  $f_c = 445 \text{ kgf/cm}^2$

Estos valores se tomaron en lugares en que el hormigón se encontraba a la vista y en construcciones que pertenecen a los cuerpos analizados o de la misma etapa constructiva como los cuerpos de escaleras.

Los valores que se obtienen para  $I_h$  considerando el cambio de la resistencia del hormigón se muestra en la tabla 5.8.

**Tabla 5.8.** Cuerpo A, Variación de  $I_h$  con  $f_c$ .

Valores de $I_h$					
$f_c$	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
172	0.172	0.182	0.221	0.296	0.568
250	0.250	0.264	0.321	0.431	0.825
445	0.445	0.471	0.571	0.767	1.469

ii) Tipo de columnas :  $A_{c1}$  ,  $A_{c2}$

En el cuerpo A del hospital de Curicó todas las columnas son del tipo  $A_{c1}$  que corresponde al tipo que tiene asignada una mayor resistencia (10 kgf/cm<sup>2</sup>), en la tabla 5.9 se entregan los valores del índice considerando todas las columnas como tipo  $A_{c2}$ .

**Tabla 5.9.** Cuerpo A, Variación de  $I_h$  con el tipo de columna.

Valores de $I_h$					
Tipo de Columna	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
$A_{c1}$	0.172	0.182	0.221	0.296	0.568
$A_{c2}$	0.120	0.127	0.155	0.207	0.397

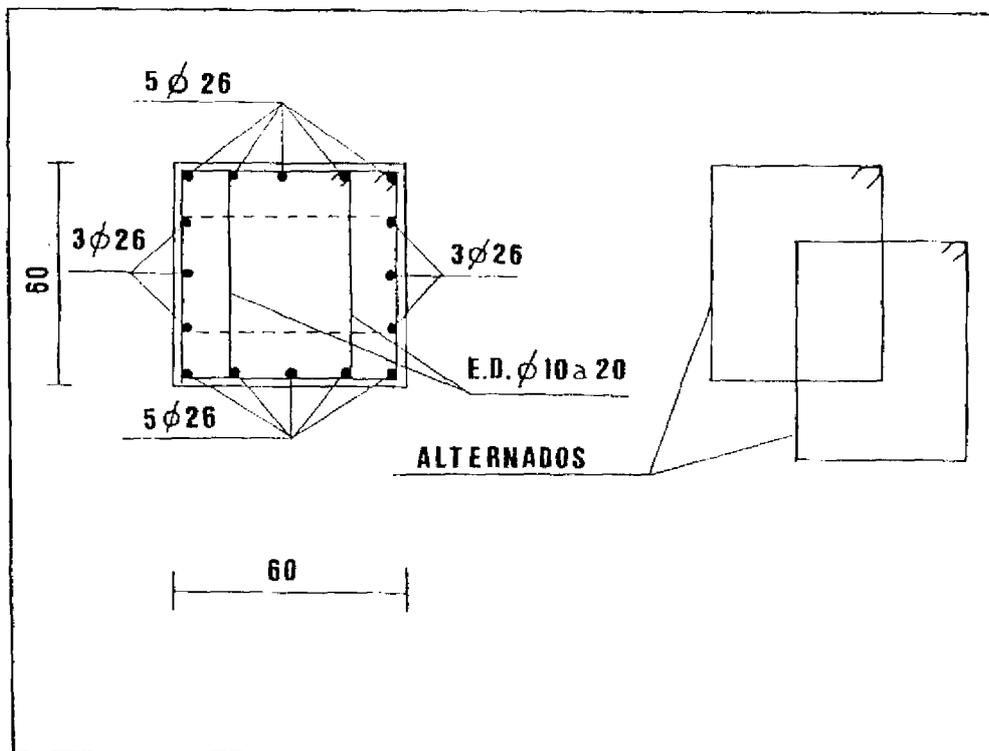
De las variaciones del índice, se observa que en el caso de considerar las columnas como tipo  $A_{c2}$  bajan un poco los valores, quedando de todas maneras los índices con la misma calificación, al variar  $f_c$  el índice llega incluso a rangos de

vulnerabilidad baja para el mayor valor de  $f_c$ , sin embargo la diferencia entre los valores obtenidos con el martillo Schmidt es notoria por lo que no se puede asegurar que valor es más válido.

De acuerdo con lo anterior se puede decir que el valor de  $f_c$  afecta en gran medida a este índice y por lo tanto es conveniente establecerlo de manera apropiada.

**b. Resistencia de corte según la norma ACI**

De acuerdo a lo indicado en el capítulo 3, se determinan los índices considerando la resistencia de corte que proporcionan el hormigón y el acero. En la figura 5.1 se observa el detalle de los refuerzos de las columnas de los cuerpos A y B.



**Figura 5.1.** Refuerzos de columnas, Cuerpos A y B.

Las expresiones usadas son:

Hormigón :  $V_c = 0.53 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d$  [kgf]

Acero :  $V_a = (A_v \cdot F_y \cdot d) / s$  [kgf]

Los parámetros de este cuerpo son:

- $f_c = 172 \text{ kgf/cm}^2$
- $b = 60 \text{ cm.}$
- $d = 56 \text{ cm.}$
- $A_v = 6 \cdot 0.7854 = 4.712 \text{ cm}^2$  (estribos de 1 cm de diámetro).
- $F_y = 3400 \text{ kgf/cm}^2$ .
- $s = 40 \text{ cm.}$

Evaluando las expresiones anteriores se obtiene que  $V_c = 23355 \text{ kgf}$ , que por área de columna corresponde a  $6.5 \text{ kgf/cm}^2$  y  $V_a = 22429 \text{ kgf}$ , lo que equivale a  $6.23 \text{ kgf/cm}^2$ .

La tabla 5.10 entrega los resultados obtenidos al ocupar estas resistencias para las columnas en la determinación del índice  $I_h$ .

**Tabla 5.10.** Cuerpo A, Variación de  $I_h$  con distintas resistencia de corte.

Valores de $I_h$					
Resistencia [kgf/cm <sup>2</sup> ]	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Hirosawa 10	0.172	0.182	0.221	0.296	0.568
$V_c$ (Hormigón) 6.50	0.112	0.118	0.144	0.193	0.369
$V_a$ (Acero) 6.23	0.107	0.113	0.138	0.185	0.354
$V_c + V_a$ 12.73	0.219	0.231	0.281	0.377	0.722

## INDICES DE SHIGA

### Indice de Area de Columnas ( $I_c$ )

Como se indicó en el capítulo 3, este índice se calcula como la razón entre el área de columnas en cada dirección del piso y el área de las plantas ubicadas sobre el nivel considerado.

$$I_c = \frac{\sum A_c}{\sum A_{pj}}$$

El área de columnas de este cuerpo es igual en las dos direcciones y corresponde a 172800 cm<sup>2</sup> por piso.

Para este cuerpo se considera el área de piso como el área neta debido a que posee un patio interior de dimensiones importantes que podría distorsionar el índice.

Los valores obtenidos para  $I_c$  se entregan en la tabla 5.11.

**Tabla 5.11.** Cuerpo A, Índice columnas Direcciones X e Y.

Piso	Area Piso $A_i$ [m <sup>2</sup> ]	Sum $A_j$ [m <sup>2</sup> ]	Area Columnas [cm <sup>2</sup> ]	$I_c$ [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
1	1319.300	7090.874	172800	24.369
2	1525.896	5771.574	172800	29.940
3	1415.226	4245.678	172800	40.700
4	1415.226	2830.452	172800	61.050
5	1415.226	1415.226	172800	122.101

### Índice de tensión de corte nominal promedio, $I_t$

Este índice se calcula como la razón entre el peso sísmico nominal total del edificio sobre el piso y el área total de muros y columnas en una dirección determinada del piso.

$$I_t = \frac{\sum W_j}{\sum A_m + \sum A_c}$$

En este cuerpo se considera sólo el aporte de las columnas, cuyo número no varía piso a piso y que constituyen un área de 172800 cm<sup>2</sup>.

Los valores obtenidos para  $I_t$  se entregan en la tabla 5.12.

**Tabla 5.12.** Cuerpo A, Índice de Corte Direcciones X e Y.

Piso	Peso [kgf]	sum $W_j$ [kgf]	sum $A_c$ [cm <sup>2</sup> ]	$I_t$ [kgf/cm <sup>2</sup> ]
1	1474180	7777167	172800	45.007
2	1759749	6302987	172800	36.476
3	1534446	4543238	172800	26.292
4	1595168	3008792	172800	17.412
5	1413624	1413624	172800	8.181

### Evaluación de los índices de Shiga

Relacionando los índices de Shiga con los requerimientos de Hirosawa se obtienen los valores de área de columna y corte en columnas en el primer piso.

Area de columnas requerida:

- Nivel de servicio : 18.42 [ $\text{cm}^2/\text{m}^2$ ]
- Estado último (R=2) : 55.26 [ $\text{cm}^2/\text{m}^2$ ]
- Estado último (R=7) : 15.59 [ $\text{cm}^2/\text{m}^2$ ]

Corte de columna:

- Nivel de servicio : 7.56 [ $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ]
- Estado último (R=2) : 22.68 [ $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ]
- Estado último (R=7) : 6.40 [ $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ]

Si se compara el índice  $I_c$  con los valores requeridos según Hirosawa se obtiene que el índice queda dentro del rango de valores con vulnerabilidad media y los valores de  $I_c$  parecen ser grandes para los niveles de resistencias que se están aceptando para las columnas.

## **VARIACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL EDIFICIO CON LA ALTURA**

Las tablas 5.13 a 5.22 detallan las características estructurales del cuerpo A y la variación de estas características piso a piso.

En el caso de las rigideces y de la excentricidad del piso además de los valores obtenidos considerando sólo el aporte de las columnas, se dan los valores obtenidos al agregar al análisis los muros de ascensores, escaleras y shaft.

Cuando se analiza la variación de peso en altura se entrega además una tabla que muestra como se distribuye el peso entre los elementos del cuerpo.

La calificación de estas características se realiza según los criterios señalados en el capítulo 3

**Tabla 5.13.** Cuerpo A, Variación del área de planta entre pisos consecutivos.

Piso	Area de Planta $A_{pi}$ [m <sup>2</sup> ]	Razón de Areas de Plantas de pisos consecutivos. $\frac{A_{pi}}{A_{p(i+1)}}$	Situación
1	1658.60	0.955	Bueno
2	1735.98	1.074	Bueno
3	1615.66	1.00	Bueno
4	1615.66	1.00	Bueno
5	1615.66		

**Tabla 5.14.** Cuerpo A, Variación de resistencia entre pisos consecutivos.  
Direcciones X,Y.

Piso	Area Elementos Resistentes $R_i$ [m <sup>2</sup> ]	Variación con piso inmediatamente superior $\frac{R_i}{R_{i+1}}$	Situación
1	17.280	1	Bueno
2	17.280	1	Bueno
3	17.280	1	Bueno
4	17.280	1	Bueno
5	17.280		

**Tabla 5.15.** Cuerpo A, Variación de la rigidez de entrepiso sólo columnas.  
Dirección Longitudinal (Y).

Piso	Rigidez $K_i$ [Ton/cm]	Variación entre pisos $\frac{K_{i+1}}{K_i}$	Situación	Variación con los tres pisos superiores $\frac{\frac{1}{3} * \sum_{j=i+1}^{i+3} K_j}{K_i}$	Situación
1	6663.59	1.12	Bueno	1.10	Bueno
2	7496.50	0.97	Bueno	0.97	Bueno
3	7269.37	1.00	Bueno		
4	7269.37	1.00	Bueno		
5	7269.37				

**Tabla 5.16.** Cuerpo A, Variación de la rigidez de entrepiso.  
Dirección Longitudinal (Y).

Piso	Rigidez $K_i$ [Ton/cm]	Variación entre pisos $\frac{K_{i+1}}{K_i}$	Situación	Variación con los tres pisos superiores $\frac{\frac{1}{3} * \sum_{j=i+1}^{i+3} K_j}{K_i}$	Situación
1	20693.08	1.03	Bueno	1.03	Bueno
2	21379.22	0.99	Bueno	0.99	Bueno
3	21152.09	1.00	Bueno		
4	21152.09	1.00	Bueno		
5	21152.09				

**Tabla 5.17.** Cuerpo A, Variación de la rigidez de entrepiso sólo columnas.

Dirección Transversal (X).

Piso	Rigidez $K_i$ [Ton/cm]	Variación entre pisos $\frac{K_{i+1}}{K_i}$	Situación	Variación con los tres pisos superiores $\frac{\frac{1}{3} * \sum_{j=i+1}^{i+3} K_j}{K_i}$	Situación
1	6663.59	1.21	Bueno	1.13	Bueno
2	8091.12	0.90	Bueno	0.90	Bueno
3	7269.37	1.00	Bueno		
4	7269.37	1.00	Bueno		
5	7269.37				

**Tabla 5.18.** Cuerpo A, Variación de la rigidez de entrepiso.

Dirección Transversal (X).

Piso	Rigidez $K_i$ [Ton/cm]	Variación entre pisos $\frac{K_{i+1}}{K_i}$	Situación	Variación con los tres pisos superiores $\frac{\frac{1}{3} * \sum_{j=i+1}^{i+3} K_j}{K_i}$	Situación
1	23407.87	0.97	Bueno	0.95	Bueno
2	22691.13	0.96	Bueno	0.96	Bueno
3	21869.39	1.00	Bueno		
4	21869.39	1.00	Bueno		
5	21869.39				

**Tabla 5.19.** Cuerpo A, Excentricidad del piso sólo columnas.

Piso	Centro de Gravedad		Centro de Rigidez		Excentricidad					
	$X_g$ [m]	$Y_g$ [m]	$X_r$ [m]	$Y_r$ [m]	$e_x$ [m]	$e_y$ [m]	$e_x/l_x$	Situación	$e_y/l_y$	Situación
1	18.16	17.38	21.60	18.00	3.44	0.62	0.085	Bueno	0.015	Bueno
2	18.67	19.02	20.55	17.65	1.88	1.37	0.047	Bueno	0.034	Bueno
3	19.38	19.88	19.80	19.80	0.42	0.08	0.010	Bueno	0.002	Bueno
4	19.38	19.88	19.80	19.80	0.42	0.08	0.010	Bueno	0.002	Bueno
5	19.38	19.88	19.80	19.80	0.42	0.08	0.010	Bueno	0.002	Bueno

$L_x$ : 40.2 m.

$L_y$ : 40.2 m.

**Tabla 5.20.** Cuerpo A, Excentricidad del piso.

Piso	Centro de Gravedad		Centro de Rigidez		Excentricidad					
	$X_g$ [m]	$Y_g$ [m]	$X_r$ [m]	$Y_r$ [m]	$e_x$ [m]	$e_y$ [m]	$e_x/l_x$	Situación	$e_y/l_y$	Situación
1	18.16	17.38	30.43	16.72	12.27	0.66	0.305	Malo	0.016	Bueno
2	18.67	19.02	30.22	16.44	11.56	2.58	0.287	Malo	0.064	Bueno
3	19.38	19.88	30.07	17.11	10.69	2.77	0.266	Malo	0.069	Bueno
4	19.38	19.88	30.07	17.11	10.69	2.77	0.266	Malo	0.069	Bueno
5	19.38	19.88	30.07	17.11	10.69	2.77	0.266	Malo	0.069	Bueno

$L_x$ : 40.2 m.

$L_y$ : 40.2 m.

**Tabla 5.21.** Cuerpo A, Variación del peso entre pisos consecutivos.

Piso	Peso $W_i$ [Ton]	Variación entre pisos $\frac{W_j}{W_{j+1}}$	Situación
1	1474.180	0.838	Regular
2	1759.749	1.147	Bueno
3	1534.446	0.962	Bueno
4	1595.168	1.128	Bueno
5	1413.624		

**Tabla 5.22.** Cuerpo A, Distribución de Peso.

Elemento	Distribución de peso en toneladas y porcentaje del total (%)				
	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Losas	593.7 (40.3)	674.9 (38.3)	636.9 (41.5)	636.9 (39.9)	636.9 (45.1)
Sobre Carga	98.9 (6.7)	105.7 (6.0)	106.1 (6.9)	106.1 (6.7)	0.0
Baldosas	131.9 (8.9)	140.9 (8.0)	141.5 (9.2)	141.5 (8.9)	0.0
Techo	0.0	0.0	0.0	0.0	44.4 (3.14)
Vigas	317.0 (21.5)	402.1 (22.9)	277.1 (18.1)	277.1 (17.4)	277.1 (19.6)
Tabiques Livianos	72.6 (4.9)	77.5 (4.4)	77.8 (5.1)	77.8 (4.9)	38.9 (2.7)
Tabiques Albañilería	81.8 (5.5)	64.1 (3.6)	33.9 (2.2)	33.9 (2.1)	16.9 (1.2)
Fachadas	15.2 (1.0)	134.5 (7.6)	100.9 (6.6)	161.6 (10.1)	97.2 (6.9)
Columnas	143.7 (9.7)	143.4 (8.1)	143.4 (9.3)	143.4 (9.0)	71.7 (5.1)
Total elementos Verticales	313.3 (21.2)	419.5 (23.8)	356.0 (23.2)	416.7 (26.1)	224.8 (15.9)
Escaleras	19.3 (1.3)	16.8 (0.9)	16.8 (1.1)	16.8 (1.0)	8.4 (0.6)
Sala de máquinas	0.0	0.0	0.0	0.0	222.1 (15.7)
Total	1474.2	1759.8	1534.5	1595.2	1413.6

## **Evaluación de las características del edificio con la altura**

Este cuerpo presenta buenas características en cuanto a regularidad en planta y en altura

Se observa que no existen variaciones importantes entre pisos en las magnitudes de las rigideces, tanto cuando se consideran sólo las columnas, como cuando se agregan al análisis los muros de ascensores, shaft y escaleras. Además las magnitudes de las rigideces en las direcciones X e Y son similares.

En el caso de la excentricidad, la calificación cambia cuando se toman en cuenta los muros de ascensores, shaft y escaleras. Estos elementos al ubicarse hacia un extremo en la dirección transversal provocan el traslado del centro de rigidez originando una mayor excentricidad.

La distribución de masa es buena ya que se observa una distribución uniforme del peso. La mayor diferencia se origina entre el primer y segundo nivel, lo que se explica entre otras cosas por la presencia de vigas de mayor dimensión en este último nivel.

En la distribución de peso se observa que a nivel de la losa se concentra la mayor parte del peso de cada nivel.

## VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

De acuerdo con la evaluación de los índices estructurales este cuerpo presenta una vulnerabilidad estructural media-alta.

En cuanto a las características estructurales del cuerpo en general pueden calificarse como buenas, salvo que los muros de los shaft, escaleras y ascensores participen como parte de la estructura sismorresistente, en cuyo caso se producirían problemas debido a la mayor excentricidad. El tipo de daños que experimentaron estos elementos durante el sismo del 3 de Marzo de 1985 indicaría sin embargo, que no interactuaron con la estructura sismorresistente.

Un aspecto que aumenta la vulnerabilidad estructural de este cuerpo es la disposición de sus dos escaleras interiores. Estas escaleras poseen apoyos en todos los niveles y un apoyo intermedio entre pisos. Todos estos apoyos son continuos originando elementos rígidos que con el sismo originan esfuerzos que afectan principalmente a los elementos de apoyo intermedios, además se produce una torsión en el piso que no ha sido considerada en este estudio. En el informe de daños del sismo del 3 de Marzo de 1985 se constata que hubo daños en las albañilerías del núcleo de escaleras en los pisos 2 y 3.

En relación a daños estructurales, durante la visita a terreno sólo se pudo apreciar una leve fisura en la columna del primer piso ubicada en el encuentro de los ejes B y 5, sin embargo este daño debe ser evaluado para determinar si es de tipo estructural o corresponde al estuco o a una junta de hormigonado.

También debe considerarse al evaluar la vulnerabilidad estructural, que en los planos disponibles no se aprecia un detallamiento especial de refuerzos para las sollicitaciones sísmicas de acuerdo a las recomendaciones de los códigos de diseño

En resumen, considerando todos los antecedentes mencionados se concluye que de acuerdo con esta evaluación preliminar, la vulnerabilidad estructural de este cuerpo es del tipo "Media-Alta". Además se concluye que es necesario evaluar en forma más detallada la vulnerabilidad estructural de este cuerpo, principalmente debido al tipo de daños que tuvo en el sismo de 1985.

## B. Cuerpo B

De acuerdo con las consideraciones mencionadas para realizar los cálculos, las áreas y pesos sísmicos de los pisos de este cuerpo son las indicadas en la tabla 5.23. El área corresponde al área total de la planta y el área neta es el área total menos las perforaciones de la planta, el peso unitario se calcula sobre el área neta.

**Tabla 5.23.** Cuerpo B, Areas de Plantas y Pesos Sísmicos.

Piso	Area [m <sup>2</sup> ]	Area Neta [m <sup>2</sup> ]	Peso [kgf]	Peso [Kgf/m <sup>2</sup> ]
1	1023.51	1015.08	999596	984.7
2	959.44	943.71	1021106	1082.0
3	820.08	812.00	915417	1127.4
4	820.08	812.00	880346	1084.2
5	820.08	812.00	910806	1121.7

## INDICE DE HIROSAWA ( $I_h$ )

Para la determinación del índice de Hirosawa se siguen los mismos pasos realizados para el cuerpo A.

### a. Cálculo de $E_o$ , índice sísmico básico de comportamiento estructural

El número de pisos (5) y la característica de los materiales son las mismas del cuerpo A. El tipo de columnas se indica en la tabla 5.24. Los valores de  $E_o$  para cada nivel de este cuerpo se entregan en la tabla 5.25.

**Tabla 5.24.** Cuerpo B, Tipo de Columnas.

Piso	$h_o$ [m]	$d$ [m]	$h_o/d$	Tipo Columna
1-5	2.9	0.6	4.83	$A_{c1}$
1	2.5	0.6	4.17	$A_{c1}$

**Tabla 5.25.** Cuerpo B, Valores de  $E_o$ .

Piso	Peso $W$ [kgf]	$A_{c1}$ [cm <sup>2</sup> ]	$C_c$	$E_o$
1	999596	100800	0.183	0.183
2	1021106	100800	0.233	0.199
3	915417	100800	0.320	0.240
4	880346	100800	0.484	0.323
5	910806	100800	0.952	0.571

## b. Cálculo de $S_q$ , índice de la configuración estructural

Las características de la configuración estructural del cuerpo B se reflejan en los siguientes aspectos.

i) Regularidad de Planta :  $q_1$ .

Planta simétrica en cada dirección, lo que corresponde a planta regular,  $G_1 = 1$ ,  $R_1 = 1$ ,  $q_1 = 1$ .

ii) Relación Largo-Ancho (B) :  $q_2$ .

Dimensión mayor : 40.2 m.

Dimensión menor : 20.4 m.

$B = 40.2/20.4 = 1.97$ ,  $B < 5$ ,  $G_2 = 1$ ,  $R_2 = 0.5$ ,  $q_2 = 1$ .

iii) Continuidad de Planta :  $q_3$ .

No hay estrangulamientos en este cuerpo,  $q_3 = 1$ .

iv) Atrio o Patio Interior :  $q_4$ .

No hay atrio o patio interior,  $q_4 = 1$ .

v) Excentricidad de Atrio o Patio Interior :  $q_5$ .

No hay atrio o patio interior,  $q_5 = 1$ .

vi) Subterráneos :  $q_6$ .

No hay subterráneo en este cuerpo,  $q_6 = 1$ .

vii) Junta de Dilatación  $q_7$ .

$s$  : Razón entre la menor dimensión de la junta de dilatación del cuerpo y la altura desde el terreno al piso más alto del cuerpo donde se ubica la junta.

Dimensión de la junta = 5 cm = 0.05 m.

Altura máxima desde el nivel de terreno = 17.5 m.

$s = 0.05/17.5 = 0.003$ ,  $s < 0.005$ ,  $G_7 = 0.8$ ,  $R_7 = 0.5$ ,  $q_7 = 0.9$

viii) Uniformidad de altura de piso  $q_8$ .

$R_n = h_i/h_{i+1}$ , (se invierte para el último piso).

$h_i$  : altura del piso  $i$ .

Dado que todos los pisos tienen la misma altura (3.5 m) la razón  $R_n$  vale uno.

Como  $R_n \geq 0.8$ ,  $G_8 = 1$ ,  $R_8 = 0.5$ ,  $q_8 = 1$  para todos los pisos.

El resumen de los valores obtenidos para los distintos ítems se muestra en la tabla

5.26

La multiplicación de los valores obtenidos entrega el valor de  $S_d$  para el edificio, resultando  $S_d = 0.9$ .

**Tabla 5.26.** Cuerpo B, Valores de  $G_i$  y  $R_i$ .

ITEMS	$G_i$	$R_i$	$q_i$	Observaciones.
1. Regularidad	1.0	1.0	1.0	Planta regular
2. Relación Largo-Ancho	1.0	0.5	1.0	$B = 1.97 < 5$
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	$s = 0.003 < 0.005$
8. Uniformidad de altura de piso	1.0	0.5	1.0	$R_h = 1$

**c. Cálculo de T, índice de deterioro de la edificación**

Los valores que presentan los distintos ítems que se relacionan con el deterioro de la edificación se entregan en la tabla 5.27. Con los valores obtenidos se determina el índice T como:

$$T = \min (T_1, T_2, \dots, T_5)$$

**Tabla 5.27.** Cuerpo B, Valores de  $T_i$ .

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 se obtiene que  $T=1$

## Valores obtenidos para el índice de Hirosawa ( $I_h$ )

Con los valores de  $E_c$  de cada piso y los valores de  $S_d$  y  $T$ , se calcula el índice de Hirosawa para cada piso, los resultados se entregan en la tabla 5.28.

**Tabla 5.28.** Cuerpo B, Índice de Hirosawa Direcciones X, Y.

Piso	$I_h$
1	0.165
2	0.179
3	0.216
4	0.290
5	0.514

## Evaluación del índice de Hirosawa

La evaluación de este índice se realiza comparando la capacidad disponible ( $I_h$ ) con los requerimientos dados por el índice  $I_{so}$ . Los valores de  $I_{so}$  se obtienen de acuerdo a lo indicado en el capítulo 3 en el punto 3.2.1.2.

Los valores que se obtienen según la ubicación y características del cuerpo son:

- $A_o = 0.3$
- $T_o = 0.3$
- $S = 1.0$
- $T = 0.1 \cdot 5 = 0.5$

De acuerdo con las ecuaciones 3.11 y 3.12, para  $T > T_o$  se tienen los siguientes valores de  $I_{so}$ :

- $(I_{so})_{ser} = 0.13$
- $(I_{so})_{ult} (R=2) = 0.39$       -  $(I_{so})_{ult} (R=7) = 0.11$

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

$I_h > 0.39$	Vulnerabilidad baja.
$0.39 \geq I_h > 0.32$	Vulnerabilidad media-baja.
$0.32 \geq I_h > 0.18$	Vulnerabilidad media.
$0.18 \geq I_h > 0.11$	Vulnerabilidad media-alta.
$I_h \leq 0.11$	Vulnerabilidad alta

De acuerdo con los valores de  $I_h$  de la tabla 5.28 este cuerpo presenta una vulnerabilidad media-alta en los pisos 1 y 2, una vulnerabilidad media en los pisos 3 y 4, y una vulnerabilidad baja en el piso 5, considerándose para el cuerpo una vulnerabilidad media-alta que corresponde al valor más crítico.

### **Análisis de sensibilidad del índice de Hirosawa ( $I_h$ )**

#### **a. Factor de Resistencia : $C_c$**

Como se mencionó en la sección 3.2.7 del capítulo 3 este factor depende de:

#### **i) Resistencia a la compresión para el hormigón ( $f_c$ )**

La variación de  $I_h$  considerando el cambio de la resistencia del hormigón ( $f_c$ ) de acuerdo con los valores obtenidos en terreno con el martillo Schmidt se muestra en la tabla 5.29.

**Tabla 5.29.** Cuerpo B, Variación de  $I_h$  con  $f_c$ .

Valores de $I_h$					
$f_c$	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
172	0.165	0.179	0.216	0.290	0.514
250	0.240	0.261	0.314	0.422	0.747
445	0.427	0.464	0.559	0.751	1.330

**ii) Tipo de columnas :  $A_{c1}$ ,  $A_{c2}$**

En la tabla 5.30 se entrega la variación del índice considerando los dos tipos de columnas.

**Tabla 5.30.** Cuerpo B, Variación de  $I_h$  con el tipo de columna.

Valores de $I_h$					
Tipo de Columna	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
$A_{c1}$	0.165	0.179	0.216	0.290	0.514
$A_{c2}$	0.116	0.126	0.151	0.203	0.360

De igual modo que para el cuerpo A, en este caso la mayor variación del índice se produce al cambiar  $f_c$ , por lo que es conveniente determinar este valor de una forma precisa.

**b. Resistencia de corte según la norma ACI**

De acuerdo a lo indicado en el capítulo 3, se determinan los índices considerando la resistencia de corte que proporcionan el hormigón y el acero.

Hormigón :  $V_c = 0.53 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d$  [kgf]

Acero :  $V_a = (A_v \cdot F_y \cdot d) / s$  [kgf]

Los parámetros de este cuerpo son:

- $f_c = 172 \text{ kgf/cm}^2$
- $b = 60 \text{ cm.}$
- $d = 56 \text{ cm.}$
- $A_v = 6 \cdot 0.7854 = 4.712 \text{ cm}^2$  (estribos de 1 cm de diámetro).
- $F_y = 3400 \text{ kgf/cm}^2$ .
- $s = 40 \text{ cm.}$

Evaluando las expresiones anteriores se obtiene que  $V_c = 23355 \text{ kgf}$ , que por área de columna corresponde a  $6.5 \text{ kgf/cm}^2$  y  $V_a = 22429 \text{ kgf}$ , lo que equivale a  $6.23 \text{ kgf/cm}^2$ .

La tabla 5.31 entrega los resultados de ocupar estas resistencias para las columnas en la determinación del índice  $I_h$ .

**Tabla 5.31.** Cuerpo B, Variación de  $I_h$  con distintas resistencias de corte.

Valores de $I_h$					
Resistencia [kgf/cm <sup>2</sup> ]	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Hirosawa 10	0.165	0.179	0.216	0.290	0.514
$V_c$ (Hormigón) 6.50	0.107	0.117	0.141	0.189	0.334
$V_a$ (Acero) 6.23	0.103	0.112	0.135	0.181	0.320
$V_c + V_a$ 12.73	0.210	0.228	0.275	0.369	0.654

## INDICES DE SHIGA

### Indice de Area de Columnas ( $I_c$ )

Como se indicó en el capítulo 3 este índice se calcula como la razón entre el área de columnas en cada dirección del piso y el área de las plantas ubicadas sobre el nivel considerado.

El área de columnas de este cuerpo es igual en las dos direcciones y corresponde a 100800 cm<sup>2</sup> por piso.

Los valores obtenidos para  $I_c$  se entregan en la tabla 5.32.

**Tabla 5.32.** Cuerpo B, Indice columnas Direcciones X e Y.

Piso	Area Piso $A_i$ [m <sup>2</sup> ]	Sum $A_j$ [m <sup>2</sup> ]	Area Columnas [cm <sup>2</sup> ]	$I_c$ [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
1	1023.508	4443.190	100800	22.686
2	959.442	3419.682	100800	29.476
3	820.080	2460.240	100800	40.972
4	820.080	1640.160	100800	61.457
5	820.080	820.080	100800	122.915

### Indice de tensión de corte nominal promedio, $I_t$

$I_t$  se calcula como la razón entre el peso sísmico nominal total del edificio sobre el piso y el área total de muros y columnas en una dirección determinada del piso.

En este cuerpo se considera sólo el aporte de las columnas, cuyo número no varía piso a piso y que constituyen un área de 100800 cm<sup>2</sup>.

Los valores obtenidos para  $I_t$  se entregan en la tabla 5.33.

**Tabla 5.33** Cuerpo B, Índice de Corte Direcciones X e Y.

Piso	Peso [kgf]	sum $W_j$ [kgf]	sum $A_c$ [cm <sup>2</sup> ]	$I_t$ [kgf/cm <sup>2</sup> ]
1	999596	4727273	100800	46.898
2	1021106	3727677	100800	36.981
3	915417	2706571	100800	26.851
4	880346	1791154	100800	17.769
5	910808	910808	100800	9.036

### Evaluación de los índices de Shiga

Relacionando los índices de Shiga con los requerimientos de Hirosawa se obtienen los valores de área de columna y corte en columnas en el primer piso.

Área de columnas requerida:

- Nivel de servicio : 17.87 [cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>]
- Estado último (R=2) : 53.61 [cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>]
- Estado último (R=7) : 15.12 [cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>]

Corte de columna:

- Nivel de servicio : 7.88 [kgf/cm<sup>2</sup>]
- Estado último (R=2) : 23.63 [kgf/cm<sup>2</sup>]
- Estado último (R=7) : 6.67 [kgf/cm<sup>2</sup>]

Si se compara el índice  $I_c$  con los valores requeridos según Hirosawa se puede decir que el índice queda dentro del rango de valores con vulnerabilidad media, además los valores de  $I_t$  son altos en los primeros pisos.

## VARIACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL EDIFICIO CON LA ALTURA

Las tablas 5.34 a 5.43 muestran las características estructurales del cuerpo B y la variación de estas características piso a piso. En el caso de las rigideces y de la excentricidad del piso además de los valores que se determinan considerando sólo el aporte de las columnas, se dan los valores obtenidos al agregar al análisis los muros del shaft. Además cuando se analiza la variación de peso en altura se entrega también una tabla que muestra como se distribuye el peso entre los elementos del cuerpo.

**Tabla 5.34.** Cuerpo B, Variación del área de planta entre pisos consecutivos.

Piso	Area de Planta $A_{pi}$ [m <sup>2</sup> ]	Razón de Areas de Plantas de pisos consecutivos $\frac{A_{pi}}{A_{p(i+1)}}$	Situación
1	1023.51	1.07	Bueno
2	959.44	1.17	Bueno
3	820.08	1.00	Bueno
4	820.08	1.00	Bueno
5	820.08		

**Tabla 5.35.** Cuerpo B, Variación de resistencia entre pisos consecutivos.  
Direcciones X,Y.

Piso	Area Elementos Resistentes $R_i$ [m <sup>2</sup> ]	Variación con piso inmediatamente superior $\frac{R_i}{R_{i+1}}$	Situación
1	10.08	1	Bueno
2	10.08	1	Bueno
3	10.08	1	Bueno
4	10.08	1	Bueno
5	10.08		

**Tabla 5.36.** Cuerpo B, Variación de la rigidez de entrepiso sólo columnas.  
Dirección Longitudinal (Y).

Piso	Rigidez $K_i$ [Ton/cm]	Variación entre pisos $\frac{K_{i+1}}{K_i}$	Situación	Variación con los tres pisos superiores $\frac{\frac{1}{3} * \sum_{j=i+1}^{i+3} K_j}{K_i}$	Situación
1	4240.47	1.14	Bueno	1.05	Bueno
2	4835.08	0.88	Bueno	0.88	Bueno
3	4240.47	1.00	Bueno		
4	4240.47	1.00	Bueno		
5	4240.47				

**Tabla 5.37.** Cuerpo B, Variación de la rigidez de entrepiso.

Dirección Longitudinal (Y).

Piso	Rigidez $K_i$ [Ton/cm]	Variación entre pisos $\frac{K_{i+1}}{K_i}$	Situación	Variación con los tres pisos superiores $\frac{\frac{1}{3} * \sum_{j=i+1}^{i+3} K_j}{K_i}$	Situación
1	12560.25	1.05	Bueno	1.02	Bueno
2	13154.87	0.95	Bueno	0.95	Bueno
3	12560.25	1.00	Bueno		
4	12560.25	1.00	Bueno		
5	12560.25				

**Tabla 5.38.** Cuerpo B, Variación de la rigidez de entrepiso sólo columnas.

Dirección Transversal (X).

Piso	Rigidez $K_i$ [Ton/cm]	Variación entre pisos $\frac{K_{i+1}}{K_i}$	Situación	Variación con los tres pisos superiores $\frac{\frac{1}{3} * \sum_{j=i+1}^{i+3} K_j}{K_i}$	Situación
1	4240.47	1.16	Bueno	1.05	Bueno
2	4920.03	0.86	Bueno	0.86	Bueno
3	4240.47	1.00	Bueno		
4	4240.47	1.00	Bueno		
5	4240.47				

**Tabla 5.39** Cuerpo B, Variación de la rigidez de entrepiso.

Dirección Transversal (X).

Piso	Rigidez $K_i$ [Ton/cm]	Variación entre pisos $\frac{K_{i+1}}{K_i}$	Situación	Variación con los tres pisos superiores $\frac{\frac{1}{3} * \sum_{j=i+1}^{i+3} K_j}{K_i}$	Situación
1	12863.37	1.05	Bueno	1.02	Bueno
2	13542.93	0.95	Bueno	0.95	Bueno
3	12863.37	1.00	Bueno		
4	12863.37	1.00	Bueno		
5	12863.37				

**Tabla 5.40.** Cuerpo B, Excentricidad del piso sólo columnas.

Piso	Centro de Gravedad		Centro de Rigidez		Excentricidad					
	$X_g$ [m]	$Y_g$ [m]	$X_r$ [m]	$Y_r$ [m]	$e_x$ [m]	$e_y$ [m]	$e_x/l_x$	Situación	$e_y/l_y$	Situación
1	11.57	19.28	9.90	19.80	1.67	0.52	0.082	Bueno	0.013	Bueno
2	11.20	20.06	11.12	19.80	0.08	0.26	0.004	Bueno	0.006	Bueno
3	9.95	19.78	9.90	19.80	0.05	0.02	0.002	Bueno	0.000	Bueno
4	9.95	19.78	9.90	19.80	0.05	0.02	0.002	Bueno	0.000	Bueno
5	9.95	19.78	9.90	19.80	0.05	0.02	0.002	Bueno	0.000	Bueno

$L_x$ : 20.4 m.

$L_y$ : 40.2 m.

**Tabla 5.41.** Cuerpo B, Excentricidad del piso.

Piso	Centro de Gravedad		Centro de Rigidez		Excentricidad					
	$X_g$ [m]	$Y_g$ [m]	$X_r$ [m]	$Y_r$ [m]	$e_x$ [m]	$e_y$ [m]	$e_x/l_x$	Situación	$e_y/l_y$	Situación
1	11.57	19.28	6.84	20.69	4.73	1.40	0.232	Malo	0.035	Bueno
2	11.20	20.06	7.43	20.64	3.77	0.58	0.185	Regular	0.014	Bueno
3	9.95	19.78	6.84	20.69	3.11	0.90	0.152	Regular	0.022	Bueno
4	9.95	19.78	6.84	20.69	3.11	0.90	0.152	Regular	0.022	Bueno
5	9.95	19.78	6.84	20.69	3.11	0.90	0.152	Regular	0.022	Bueno

$L_x$ : 20.4 m.

$L_y$ : 40.2 m.

**Tabla 5.42.** Cuerpo B, Variación del peso entre pisos consecutivos.

Piso	Peso $W_i$ [Ton]	Variación entre pisos $\frac{W_i}{W_{i+1}}$	Situación
1	999.596	0.98	Bueno
2	1021.106	1.12	Bueno
3	915.417	1.04	Bueno
4	880.346	0.97	Bueno
5	910.806		

**Tabla 5.43. Cuerpo B, Distribución de Peso.**

Elemento	Distribución de peso en toneladas y porcentaje del total (%)				
	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Losas	456.8 (45.7)	414.5 (40.6)	365.4 (39.9)	365.4 (41.5)	365.4 (40.1)
Sobre Carga	76.1 (7.6)	63.1 (16.2)	60.9 (6.7)	60.9 (6.9)	0.0
Baldosas	101.5 (10.2)	84.2 (8.2)	81.2 (8.9)	81.2 (9.2)	0.0
Techo	0.0	0.0	0.0	0.0	23.3 (2.6)
Vigas	201.4 (20.2)	225.3 (22.1)	171.1 (18.7)	171.1 (19.4)	171.1 (18.8)
Tabiques Livianos	55.8 (5.6)	46.3 (4.5)	44.7 (4.9)	44.7 (5.1)	22.3 (2.5)
Tabiques Albañilería	11.9 (1.2)	11.9 (1.2)	11.9 (1.3)	11.9 (1.4)	6.0 (0.7)
Fachadas	12.3 (1.2)	92.2 (9.0)	96.5 (10.6)	61.5 (7.0)	46.9 (5.2)
Columnas	83.7 (8.4)	83.7 (8.2)	83.7 (91.1)	83.7 (9.5)	41.8 (4.6)
Total elementos Verticales	163.8 (16.4)	234.0 (22.9)	236.8 (25.9)	201.7 (22.9)	117.0 (12.9)
Sala de máquinas	0.0	0.0	0.0	0.0	234.0 (25.7)
Total	999.6	1021.1	915.4	880.4	910.8

**Evaluación de las características del edificio con la altura**

En este cuerpo las variaciones de la planta no son significativas y debido a que no existe variación de los elementos resistentes la calificación es buena en estos aspectos.

Se observa que no existen variaciones importantes entre pisos en las magnitudes de las rigideces tanto cuando se consideran sólo las columnas como cuando se agregan al análisis los muros del shaft.

La excentricidad varía cuando se toman en cuenta los muros del shaft. Estos elementos al ubicarse hacia un extremo en la dirección transversal provocan el traslado del centro de rigidez originando una mayor excentricidad. Debido a lo anterior el comportamiento de la estructura es más desfavorable y por lo tanto la calificación cambia de bueno a regular y malo. En el sentido longitudinal el agregar los muros no influye en gran medida por que éstos se encuentran centrados en la planta en esta dirección.

En relación a la masa del cuerpo, de acuerdo con la tabla 5.42 se observa una buena distribución del peso en altura y en la tabla 5.43 se aprecia que la mayor cantidad del peso se concentra a nivel de losa.

## VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

En forma similar al cuerpo A, este cuerpo queda evaluado según los índices con una vulnerabilidad media-alta.

Las características estructurales en altura son buenas, además de acuerdo al tipo de daño de las albañilerías de relleno, éstas no participarían en el sistema estructural.

También debe tomarse en cuenta en la evaluación que en los planos disponibles no se aprecia un detallamiento especial de acuerdo a un código de diseño que considere aspectos específicos de diseño sísmico.

Considerando principalmente la evaluación de los índices se concluye que de acuerdo con esta evaluación preliminar la vulnerabilidad estructural de este cuerpo es del tipo "Media-Alta", siendo necesario evaluar en forma más detallada la vulnerabilidad estructural de este cuerpo.

## **5.4.2 HOSPITAL DR. CESAR GARAVAGNO BUROTTO DE TALCA**

Los cuerpos analizados corresponden a los del Hospital Nuevo, osea los que conforman la Placa Técnica (cuerpos C, D) y los Servicios Generales (cuerpos H, I).

### **5.4.2.1 PLACA TECNICA**

#### **Consideraciones particulares**

El tercer piso de la Placa Técnica corresponde a un piso mecánico que dado que es más liviano, más bajo y que no tiene un diafragma rígido a nivel de cielo se considera como un apéndice. El peso del Piso Mecánico se agrega al nivel del segundo piso.

La sobrecarga debido a las máquinas que hay en el piso mecánico se considera de 200 kgf/m<sup>2</sup> de acuerdo a una estimación realizada en la visita a terreno.

#### **Características de los materiales**

Los cuerpos C y D tienen las mismas propiedades de los materiales, las que se obtienen de los planos de estructuras de estos cuerpos.

- i) Hormigón con  $R_{28} \geq 300 \text{ kgf/cm}^2$ , resistencia cilíndrica a la compresión  $f_c = 230 \text{ kgf/cm}^2$ .
- ii) Módulo elástico hormigón  $E = 3290897 \text{ Ton/m}^2$ .
- iii) Acero de refuerzo A63-42H.
- iv) Estructuras metálicas Acero A37-24ES.

## Indices a calcular

Los cuerpos que forman la Placa Técnica (C, D) están estructurados con columnas de hormigón armado por lo que el índice a evaluar es el Índice de Hirosawa ( $I_h$ ), sin embargo se calcularán los índices de Shiga ( $I_s, I_t$ ) como referencia para compararlos con los valores de áreas de columnas requeridas y resistencias de corte que se obtienen con los valores límites de Hirosawa.

### A. Cuerpo C

De acuerdo con las consideraciones realizadas los valores del área de planta y del peso por piso son los indicados en la tabla 5.44. En el caso de este cuerpo no existen perforaciones significativas en las plantas.

Tabla 5.44. Cuerpo C, Areas de Plantas y Pesos Sísmicos.

Piso	Area [m <sup>2</sup> ]	Peso [kgf]	Peso [kgf/m <sup>2</sup> ]
1	1081.44	1065372	985.14
2	1003.75	1045554	1041.65

### INDICE DE HIROSAWA ( $I_h$ )

De acuerdo con lo señalado en el capítulo 3, el índice de Hirosawa está dado por la expresión :

$$I_h = E_o * S_d * T$$

A continuación se determinan los términos que forman este índice.

**a. Cálculo de  $E_o$ , índice sísmico básico de comportamiento estructural**

En edificios de marcos y sin columnas cortas, en que las columnas de hormigón controlan la falla, la expresión  $E_o$  se reduce a:

$$E_o = \frac{(n_p + 1)}{(n_p + 1)} * C_c * F$$

donde:

- Número de pisos  $n_p = 2$ .
- El valor de F es 1, ya que  $C_{mar} = C_a = C_{sc} = 0$ .

$$C_c = \left(\frac{f_c}{200}\right) * \frac{(10 * \sum A_{c1} + 7 * \sum A_{c2})}{\sum_{j=1}^n W_j}$$

en que :

$f_c = 230 \text{ kgf/cm}^2$ , resistencia cilíndrica a la compresión del hormigón.

$W_j$  : Peso del nivel j.

El tipo de columnas se detalla en la tabla 5.45.

Los valores obtenidos al usar la expresión para  $E_o$  se entregan en la tabla 5.46.

**Tabla 5.45.** Cuerpo C, Tipo de Columnas.

Piso	$h_o$ [m]	d [m]	$h_o/d$	Tipo Columna
1	3.16	0.5	6.32	$A_{c2}$
2	3.11	0.5	6.22	$A_{c2}$

**Tabla 5.46.** Cuerpo C, Valores de  $E_o$ .

Piso	Peso W [kgf]	$A_{c2}$ [cm <sup>2</sup> ]	$C_c$	$E_o$
1	1065372	87500	0.334	0.334
2	1045554	87500	0.674	0.505

**b. Cálculo de  $S_d$ , índice de la configuración estructural**

$$S_d = q_1 * q_2 * q_3 * \dots * q_8$$

Las características de la configuración estructural del cuerpo C se reflejan en los siguientes aspectos.

i) Regularidad de Planta :  $q_1$ .

Planta simétrica en cada dirección, lo que corresponde a planta regular,  $G_1 = 1$ ,  $R_1 = 1$ ,  $q_1 = 1$ .

ii) Relación Largo-Ancho (B) :  $q_2$ .

Dimensión mayor : 39.325 m.

Dimensión menor : 27.5 m.

$B = 39.325/27.5 = 1.43$ ,  $B < 5$ ,  $G_2 = 1$ ,  $R_2 = 0.5$ ,  $q_2 = 1$ .

iii) Continuidad de Planta :  $q_3$

No hay estrangulamientos en este cuerpo,  $q_3 = 1$ .

iv) Atrio o Patio Interior :  $q_4$ .

No hay atrio o patio interior,  $q_4 = 1$ .

v) Excentricidad de Atrio o Patio Interior :  $q_5$ .

No hay atrio o patio interior,  $q_5 = 1$ .

vi) Subterráneos :  $q_6$

No hay subterráneo en este cuerpo,  $q_6 = 1$ .

vii) Junta de Dilatación :  $q_7$ .

$s$  : Razón entre la menor dimensión de la junta de dilatación del cuerpo y la altura desde el terreno al piso más alto del cuerpo donde se ubica la junta.

Dimensión de la junta = 5 cm = 0.05 m.

Altura máxima desde el nivel de terreno = 10.35 m.

$s = 0.05/10.35 = 0.005$ ,  $0.005 \leq s < 0.01$ ,  $G_7 = 0.9$ ,  $R_7 = 0.5$ ,

$q_7 = 0.95$

viii) Uniformidad de altura de piso :  $q_8$ .

$R_h = h_i/h_{i+1}$ , (se invierte para el último piso).

$h_i$  : altura del piso  $i$ .

La tabla 5.47 muestra la razón  $R_h$