

**INFORME DE AVANCE
ESTUDIO DE VULNERABILIDAD
DEL
HOSPITAL SAN MARTIN DE QUILLOTA**

RESUMEN

El presente informe de avance corresponde a la segunda entrega del estudio de Vulnerabilidad Física del Hospital San Martín de Quillota.

En esta etapa se han realizado los puntos 3 y 4 del proyecto a cargo de la Fundación para la Transferencia Tecnológica de la Universidad de Chile, lo cual corresponde a:

3. Estudio preliminar de la vulnerabilidad estructural
4. Estudio preliminar de la vulnerabilidad no-estructural.

Como resultado de esta etapa se ha:

- Identificado y calificado el sistema estructural.
- Elaborado una lista de sistemas, subsistemas y equipos.
- Clasificado y calificado los sistemas, subsistemas y equipos seleccionados.

La evaluación de esta etapa permite concluir preliminarmente que la calidad estructural sismorresistente global del edificio analizado es buena. Por lo anterior se puede esperar que el nivel de daño el estructural sea menor durante el sismo de la magnitud máxima esperada. En conclusión se califica la vulnerabilidad estructural como "baja".

Por el contrario, la evaluación preliminar de los aspectos no-estructurales indica una vulnerabilidad media a alta. Esto se debe principalmente a que los sistemas básicos de equipos, muebles, suministros y terminaciones no presentan dispositivos adecuados para limitar su daño durante sismos. Esta situación implica que existe un alto riesgo asociado a daños, pérdidas de función y atrasos de servicios para el sismo máximo esperado en la zona. Esta vulnerabilidad ya ha sido observada en el hospital en sismos anteriores. Las consecuencias de estos sismos no han sido serias y han significado salidas de servicio de los sistemas de pocas horas. Los daños económicos han sido relativamente menores y no se ha tenido que lamentar heridos o pérdidas de vidas humanas a causa de esta vulnerabilidad. Esto es alentador, sin embargo se debe tomar en cuenta que varias de las vulnerabilidades presentadas en este informe no estaban presentes en los sismos a los cuales se ha visto sometido el hospital.

CAPITULO 3

ESTUDIO PRELIMINAR DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

El objetivo de este capítulo es estimar si el hospital presenta problemas serios de riesgo sísmico, debido a su configuración estructural y a las características de los materiales utilizados y a las condiciones locales donde se ubica el hospital.

Con este propósito se realizaron dos visitas al hospital y se revisaron los planos estructurales y de arquitectura identificando los aspectos cualitativos determinantes en la calidad estructural sismorresistente, cualidades que se califican numéricamente con un criterio muy simple de buena, regular o mala al contrastarlas con lo que serían condiciones ideales.

De acuerdo con los alcances del estudio preliminar, no se realiza un análisis estructural detallado, ni se comprueban las capacidades de resistencia y ductilidad de elementos específicos.

Con la calificación de los aspectos cualitativos determinantes, se evalúa la vulnerabilidad estructural del sistema en términos generales considerando principalmente:

- i. Características del sismo de magnitud máxima esperada para la zona.
- ii. Condiciones locales del lugar de ubicación del hospital (topografía, calidad de suelo, profundidad del nivel freático).
- iii. Configuración estructural.
- iv. Características de la planta y elevación del edificio.

3.1 Características del edificio

El edificio del hospital está dividido en seis cuerpos, de los cuales cinco poseen una planta de forma rectangular y uno en forma de L. Estos cuerpos están separados por una junta de dilatación de 2,5 cm de espesor y se distribuyen como se indica esquemáticamente en la figura 3.1.

Las dimensiones de las plantas de los cuerpos que forman el edificio se indican en las tablas 3.1 y 3.2 junto con la altura de entre piso, número de pisos y área de la planta.

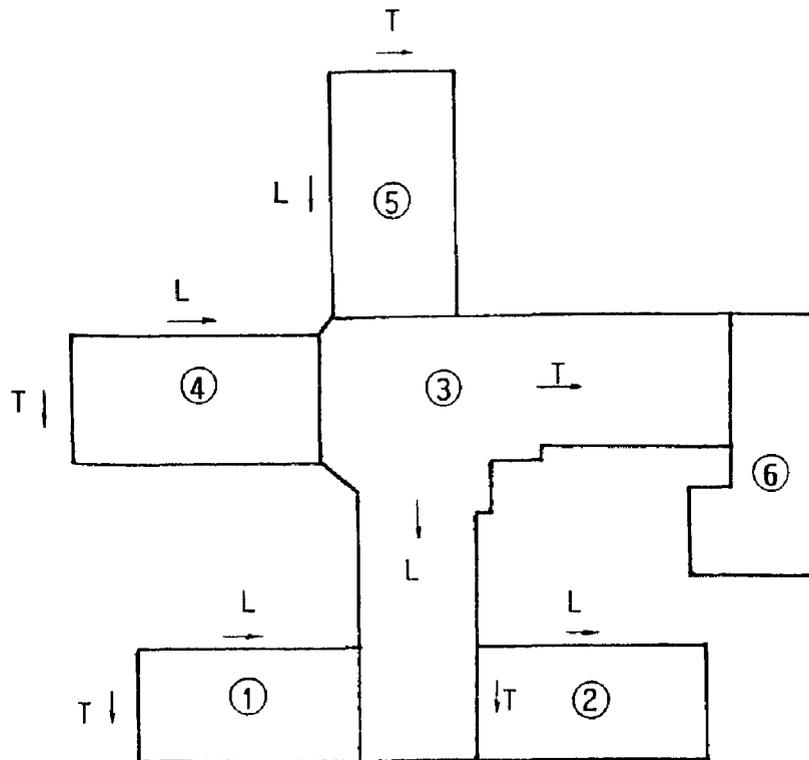


Fig. 3.1 Distribución de los cuerpos que forman el edificio del Hospital San Martín de Quillota

Tabla 3.1 Dimensiones de los cuerpos de forma rectangular.

Cuerpo	Nº de Pisos	Planta			Altura de Entrepiso (m)
		Largo, L (m)	Ancho, T (m)	Area (m ²)	
1	2	23.0	11.2	257.6	3.50
2	2	22.0	11.2	246.4	3.50
4	3	28.2	12.5	344.02	3.50
5	3	28.2	12.5	346.02	3.50

Tabla 3.2 Dimensiones del cuerpo 3.

Cuerpo	Planta					Altura de Entrepiso (m)
	Largo		Ancho		Area	
	l_1	l_2	b_1	b_2	(m ²)	
3	43.33	29.33	37.18	26.38	893.4 (*)	3.5
	32.43	18.43	37.18	26.38	764.7 (**)	3.5

(*) Pisos 1 y 2

(**) Piso 3

Los cuerpos 1, 2, 3, 4 y 5 corresponden al proyecto original del edificio y fueron construidos en la década de los cuarenta. Las modificaciones introducidas a estos cuerpos no han variado su configuración original ni la estructura sismorresistente de cada cuerpo. El cuerpo 6 fue construido en la década de los cincuenta. En particular, el análisis de la vulnerabilidad estructural del cuerpo 6 se ha dejado fuera de esta etapa por no contar con los planos de diseño estructural.

3.1.1 Sistema estructural sismorresistente del edificio.

Los cuerpos que forman el edificio están estructurados con muros de hormigón armado y de albañilería de ladrillos cerámicos confinada con elementos esbeltos de hormigón armado, pilares y cadenas. Los muros de hormigón armado se ubican en el primer piso de cada uno de los cuerpos y en la zona del hall central del edificio (zona de escalera y ascensor), en los tres pisos de los cuerpos 3, 4 y 5. Los espesores de los muros son de 30 y 20 cm.

Los pisos de los distintos niveles (incluyendo el techo) están constituidos por losas de hormigón armado cuyo espesor varía entre 10 y 17 cm en los cuerpos del edificio original.

Las fundaciones de las subestructuras verticales que forman el sistema sismorresistente, son cimientos corridos con un ancho que varía entre un 0.4 y 0.60 m. y con un sello de fundación ubicado a una profundidad media aproximada de 1.7 m. bajo el nivel del terreno natural. La fundación de los muros ubicados en la junta de dilatación es común para ambos muros y su

ancho varía entre los 0.70 y 1.0 m.

Sobre el Hall Central se ubica un apéndice de planta de forma aproximadamente cuadrada de 15.2 m de arista y una altura de 2.75 m. La estructura sismorresistente de este apéndice está formada por muros de hormigón armado de 20 y 30 cm de espesor y muros de albañilería de ladrillo cerámicos confinada con elementos esbeltos de hormigón armado. Los paños de albañilería se colocan con un aparejo de pandereta doble, logrando con ello un espesor de 20 cm. Forman parte de este apéndice tres estanques de hormigón armado estructurados con muros de 20 cm. de espesor, los que se ubican sobre los muros de los cuerpos 3, 4 y 5 y por lo tanto sometidos sólo a las solicitaciones que se producen en cada cuerpo en forma aislada.

Los cambios de uso de los espacios interiores han introducido algunas modificaciones de los cuerpos que forman el edificio original. Las modificaciones han consistido en el cierre de perforaciones de puertas y ventanas, la eliminación de los antepechos de ventanas y la abertura de nuevas perforaciones de puertas en algunos muros de albañilería. Estas últimas se concentran principalmente en los muros divisorios de 10 cm o 15 cm de espesor, lo que ha permitido conservar prácticamente la estructura sismorresistente del proyecto original.

3.1.2 Elementos no estructurales del edificio.

Los cuerpos 1 al 5 del proyecto original poseen elementos divisorios (tabiques) de albañilería de ladrillos cerámicos estucados, construidos con un aparejo en pandereta, de espesor igual a 10 ó 15 cm. La densidad de

estos muros divisorios disminuye desde el tercer piso hacia abajo, experimentando una reducción importante de estos elementos en el piso inferior.

La estructura de techo está constituida por cerchas de madera recubiertas con planchas de asbeto cemento, toda esta estructura se apoya sobre la losa del nivel del techo.

3.1.3 Configuración y estructuración del edificio.

Los cuerpos que forman el edificio del Hospital San Martín de Quillota poseen una configuración sencilla y por ello no se han presentado problemas de respuesta estructural durante los sismos pasados.

En particular los cuerpos 1, 2, 4 y 5 poseen una planta rectangular con una relación entre sus lados menor que 3,0 y una relación entre la altura y el lado menor de la planta (esbeltez), menor que 1.0.

El cuerpo 3 posee una planta en forma de L con una relación máxima entre los lados, $b_2/b_1 = 0.71$ y $l_2/l_1 = 0,68$.

La estructura resistente tanto de las acciones verticales (peso propio y sobrecargas) como de la acción sísmica, está formada principalmente por muros de hormigón armado y de albañilería confinada. Debido a la presencia de losas de hormigón armado, las que forman diafragmas rígidos a nivel de los pisos, estos muros resisten en forma conjunta la acción sísmica. Esta acción conjunta de los muros y la densidad de muros existentes en cada una de las direcciones principales de las plantas,

permiten que la resistencia a la acción sísmica no dependa de un número reducido de elementos. Una parte reducida de las acciones verticales son resistidas por algunos ejes de vigas y columnas de hormigón armado.

Desde el punto de vista de la configuración estructural se aprecia una distribución de los elementos sismorresistente casi simétrica en la dirección de ambos ejes principales de las plantas. Parte de los elementos resistentes están ubicados en el perímetro de cada cuerpo y el tipo de estructuración es la misma en ambas direcciones. En la altura se presenta continuidad de las líneas resistentes lo que garantiza una continuidad en la transmisión de las acciones hasta las fundaciones.

La distribución de masas y rigideces en la elevación de cada cuerpo es continua y uniforme debido a que no hay cambios en las dimensiones de la planta y las líneas resistentes son continuas a lo alto de cada cuerpo. En particular el cuerpo 3 se aparta un poco de esta característica al reducirse el largo de una de sus alas al pasar del segundo al tercer piso, lo que representa una disminución del largo de un 25% y del área en elevación de un 16.7%.

Producto de estas condiciones y de la alta densidad de muros existentes en cada dirección, los desplazamientos no han sido una condición crítica en el comportamiento sísmico observado del edificio. Esto ha quedado confirmado por la ausencia de daños severos en las divisiones de albañilería y en la zona de las juntas de dilatación durante los sismos que han afectado al edificio.

Con el propósito de tener un orden de magnitud de los desplazamientos que se han presentado hasta ahora en el edificio, debe considerarse que los antecedentes experimentales indican que el agrietamiento en los muros de albañilería confinada se producen para un desplazamiento horizontal relativo entre sus extremos del orden de $1/800$ de la altura del muro (Gallegos, 1991). De este modo los desplazamientos relativos en los pisos donde existen mayoritariamente estos muros no han superado los 0.5 cm.

Esta situación garantiza una condición de servicio aceptable del edificio y además permite adosar los elementos no estructurales, tales como muros y paneles divisorios, ventanas, puertas, etc, a la estructura principal sin producir daños debido a la fragilidad usual de los materiales usados en la construcción de los elementos, tales como albañilería, vidrio, planchas de yeso/cartón, etc., durante sismos de intensidad moderada como los que han afectado al hospital.

3.1.4 Calidad de los materiales.

La información disponible sobre la calidad de los materiales es escasa. De acuerdo con los antecedentes recogidos en terreno y de los planos de diseño se tiene:

a. Suelo de fundación

De las excavaciones efectuadas en el área donde se ubica el hospital se ha podido identificar un perfil de suelo, correspondiente a una profundidad de 2 m., con las siguientes características.

0.0 a 0.3 m	Capa vegetal
0.3 a 1,0 m	Grava en matriz de arena
10 a 2,0	Grava con mayor cantidad de árido grueso (del tipo bolón) en matriz de arena.

b. Hormigones y acero de refuerzo.

En los planos del proyecto final no existen especificaciones sobre la calidad de los materiales usados en la construcción. Sin embargo se dispone de planos preliminares para proyectos en el área del hospital, diseñados por el mismo ingeniero, los cuales entregan la siguiente información:

- i. Fundaciones. Cimientos corridos y zapatas aisladas de columnas.
170 kgs de cemento por m³ de hormigón elaborado, más 20% de bolón desplazador.
- ii. Sobrecimientos, pilares, muros de hormigón, cadenas y dinteles.
225 kgs de cemento por m³ de hormigón elaborado.
- iii. Columnas aisladas.
283 kgs de cemento por m³ de hormigón elaborado.
- iv. Vigas, losas, escaleras y muros de estanques.
340 kgs de cemento por m³ de hormigón elaborado.

Por la falta de otro tipo de información, para esta versión preliminar se supondrá que éstas representan la calidad de los materiales.

En relación con la calidad del acero de refuerzo no se entrega información en los planos. Las barras usadas corresponden a barras lisas, lo que se pudo apreciar en las losas de la sala de calderas.

3.1.5 Detalle de refuerzo.

a. Muros de hormigón armado.

Los muros de hormigón armado de longitud mayor que 1,6 m están reforzados con una malla doble.

En el primer piso la malla está fabricada con armaduras verticales y horizontales de 3/8 pulgadas de diámetro distanciadas a 20 cm. En el resto de los pisos las mallas se fabrican con las armaduras distanciadas a 25 cm.

Los muros de los estanques, ubicados en la parte superior del edificio, están contruidos con una malla doble de barras de 3/8 pulgadas de diámetro distanciadas a 12 cm.

Los muros de hormigón de longitud menor o igual a 1.6 m se construyen con armaduras verticales de diámetros que varían entre 1/2 ó 3/4 de pulgadas.

Los rasgos de puertas y ventanas en estos muros, se refuerzan horizontalmente y verticalmente con 2 barras de 1/2 pulgada de diámetro.

b. Columnas de hormigón armado.

Estos elementos, de longitudes menores que 80 cm, están reforzados con cuatro armaduras longitudinales cuyo diámetro es de 1/2 ó 3/4 pulgadas y con estribos de 5/16 pulgadas de diámetro distanciados a 20 cm.

c. Muros de albañilería confinada.

Los elementos de confinamiento vertical corresponden a pilares de hormigón armado con una sección transversal de 30 x 30 ó 30 x 20 cm. El refuerzo mínimo de armaduras de estos elementos son cuatro barras longitudinales de 1/2 pulgada de diámetro y estribos de 1/4 pulgada de diámetro distanciados a 25 cm.

Los elementos de confinamiento horizontal corresponden a cadenas de hormigón armado construidas monolíticamente con las losas de piso. Las dimensiones de la sección transversal de estos elementos de confinamiento son 30 x 50 ó 20 x 50 cm. Las armaduras de refuerzo mínima corresponden a 4 barras longitudinales de 1/2 pulgada de diámetro y estribos de 1/4 pulgada de diámetro distanciados a 30 cm.

Algunos muros interiores y los muros de las fachadas, debido a las aberturas de puertas y ventanas respectivamente, carecen de confinamiento por la falta del pilar vecino al rasgo de la puerta o ventana.

d. Comentario sobre el detalle de refuerzo.

Las cuantías de armaduras utilizadas tanto en las mallas de los muros de hormigón armado como en los elementos de confinamiento de los muros de albañilería y los detalles de refuerzo de los bordes verticales de ambos tipos de muros, permiten calificar la ductilidad de deformación de estos elementos. La evidencia experimental indica que esta ductilidad es reducida, especialmente para los muros de albañilería sin elementos de confinamiento vertical en uno de sus bordes.

Las consecuencias de disponer de una ductilidad reducida debe juzgarse en función de la capacidad resistente. En particular esta capacidad es alta (alta densidad de muros), así los requerimientos de ductilidad de desplazamiento serán reducidos y edificios que presentan estas condiciones han mostrado un buen comportamiento para intensidades como la máxima esperada para la ciudad de Quillota.

3.2 Evaluación de la vulnerabilidad estructural del Hospital San Martín de Quillota.

El análisis y diseño de edificios hospitalarios nuevos puede hacerse de acuerdo con teorías y criterios de diseño que reconozcan aspectos vitales para el funcionamiento de este tipo de servicio aún después de un sismo destructor, reduciendo los problemas de vulnerabilidad estructural y funcional.

La situación de los hospitales existentes es radicalmente diferente ya que su diseño normalmente no está enmarcado en la filosofía de diseño reconocida actualmente como la más correcta. Esto obliga a hacer una revisión de la capacidad de la estructura para soportar sismos moderados y fuertes, utilizando métodos que se apoyen en la experiencia siniestral de los edificios construidos con los materiales y modalidades de refuerzo del sistema que se verifica y en el propio comportamiento observado de la estructura desde su construcción.

Con el propósito de calificar la calidad estructural sismorresistente del hospital, se cuantifica lo cualitativo, sin llegar a una etapa de cálculo estructural y se evalúan los índices que permiten juzgar los niveles de daños que podrían producirse para el sismo de magnitud máxima esperada. Con este último propósito se utilizan los índices propuestos por Shiga, 1977, para edificios bajos de hormigón armado estructurados con muros, y por Meli, 1991, para edificios de albañilería confinada.

3.2.1 Cuantificación de lo cualitativo.

La cuantificación de las características sismorresistente del edificio del Hospital San Martín de Quillota, se hace identificando aquellos aspectos cualitativos determinantes, aceptando que ellos son los siguientes:

a) Forma:

1. Planta: Simetría, proporción y continuidad.
2. Elevación: Simetría, proporción y continuidad.

b) **Sistema Estructural:**

1. **Componentes:** Densidad, continuidad.
2. **Configuración:** Simetría, uniformidad y relación con elementos no estructurales.

Estas cualidades se pueden calificar con un criterio muy simple de buena, regular o mala contrastándolas con lo que serían condiciones ideales.

3.2.1.1 Forma.

a. Planta.

Con excepción del cuerpo 3, la planta de los cuerpos tiene forma rectangular y su calificación se hará separadamente.

i. Plantas rectangulares.

Estas plantas tienen una buena "simetría" al no presentar perforaciones ni apéndices excéntricos. Además poseen una buena "proporción" si se considera que la relación entre los lados de la planta es menor que 3. En relación con la "continuidad", ésta es buena al no existir perforaciones de importancia en los pisos.

ii. Plantas en forma de L.

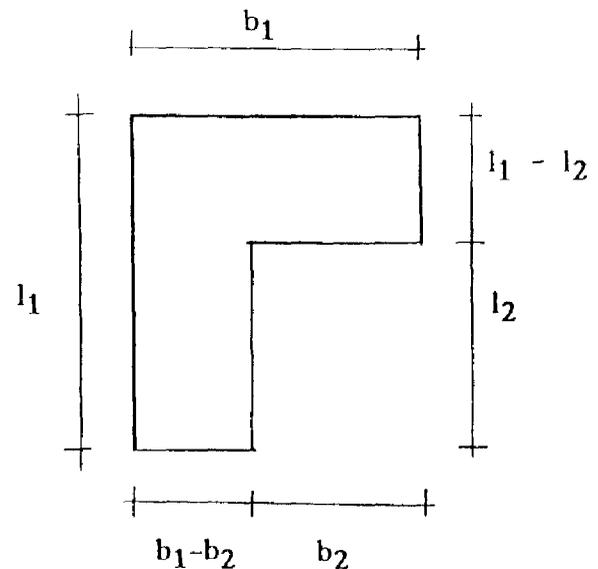
Para calificar esta forma de planta desde el punto de vista de su "simetría", "proporción" y "continuidad" se utilizan las relaciones destacadas en la figura 3.2, cuyos valores se indican en la tabla 3.3.

i. Simetría:
$$S_1 = \frac{(l_1 \cdot b_1 - l_2 \cdot b_2)}{l_1 \cdot b_1}$$

ii. Proporción:
$$P_1 = \frac{(2b_2)}{(l_1 - l_2)}$$

$$P_2 = \frac{(b_1 - b_2)}{b_2}$$

$$P_3 = \frac{(2l_2)}{(b_1 - b_2)}$$



iii. Continuidad:
$$C_1 = \frac{(l_2 \cdot b_2)}{b_1 \cdot l_1}$$

Fig. 3.2 Relaciones para calificar la forma de una planta L, según Gallegos y Ríos (1986).

Tabla 3.3 Valores de las relaciones S_1 , P_1 , P_2 , P_3 y C_1 para la planta del cuerpo 3 del Hospital San Martín de Quillota.

Piso	Dimensiones (m)				Relación				
	l_1	l_2	b_1	b_2	S_1	P_1	P_2	P_3	C_1
1 y 2	43.33	29.33	37.18	26.38	0.55	3.77	0.41	5.43	0.48
3	32.43	18.43	37.18	26.38	0.63	3.77	0.41	3.41	0.40

Según Gallegos y Ríos, 1986, con los valores de la tabla 3.3 la forma de esta planta se puede calificar de la siguiente forma:

- i. Simetría : Regular
- ii. Proporción : Regular
- iii. Continuidad: Regular a mala

b. Elevación.

La evaluación de cada uno de los edificios que forman el Hospital San Martín de Quillota se efectúa considerando que cada uno de ellos tiene una elevación con un sólo cuerpo y para calificarla desde el punto de vista de su "simetría", "proporción" y "continuidad" se utilizan las relaciones indicadas en la figura 3.3. De acuerdo con las dimensiones de las elevaciones longitudinal y transversal de cada edificio y de los apéndices existentes (estanques), los valores de las relaciones se indican en la tabla 3.4.

- i. Simetría : $S_1 = \frac{t \cdot H_t}{B \cdot H}$
- ii. Proporción: $P_1 = \frac{B}{H}$
- iii. Continuidad: $C_1 = \frac{t}{B}$
- $C_2 = \frac{H_t}{H + H_t}$

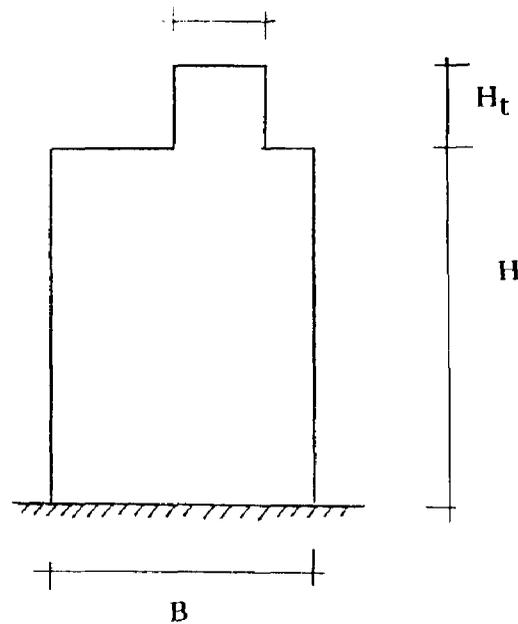


Fig. 3.3 Relaciones para calificar la elevación de los edificios que forman el Hospital San Martín de Quillota, según Gallegos y Ríos (1986).

Tabla 3.4 Valores de las relaciones S_1 , P_1 , C_1 y C_2 para cada uno de los edificios (cuerpos).

Cuerpo	Dirección	H (m)	B (m)	t (m)	H_t (m)	S_1	P_1	C_1	C_2
1	Long.	7.0	23.0	--	--	0	3.29	--	--
	Trans.	7.0	11.2	--	--	0	1.60	--	--
2	Long.	7.0	22.0	--	--	0	3.14	--	--
	Trans.	7.0	11.2	--	--	0	1.60	--	--
3	Long.	10.5	37.18	--	--	0	3.54	--	--
	Trans.	10.5	10.80	--	--	0	1.03	--	--
4	Long.	10.5	28.2	3.7	2.75	0.034	2.69	0.13	0.21
	Trans.	10.5	12.5	--	--	0	1.19	--	--
5	Long.	10.5	28.2	3.7	2.75	0.034	2.69	0.13	0.21
	Trans.	10.5	12.5	--	--	0	1.19	--	--

De acuerdo con los valores de la tabla 3.4, la elevación de los distintos cuerpos se puede calificar según Gallegos y Ríos como:

- i. Simetría : Buena
- ii. Proporción : Buena
- iii. Continuidad : Buena (cuerpos 1, 2 y 3)
Regular (cuerpos 4 y 5)

3.2.1.2 Sistema estructural

a. Componentes

Para calificar los componentes del sistema estructural del Hospital San Martín de Quillota se debe considerar la densidad de elementos verticales y la continuidad de las líneas resistentes en elevación.

La continuidad vertical del sistema estructural es "buena", ya que no presenta discontinuidades como las mostradas en la figura 3.4. La figura 3.5 muestra algunas fachadas típicas del hospital.

La densidad de elementos verticales, muros y columnas, se califica en función de los índices recomendados por Shiga, 1977, y Meli, 1991. Esta característica tiene gran importancia en edificios de hormigón armado y de albañilería diseñados con ductilidad reducida, como es el caso de los edificios que componen el hospital. La calificación se hace en detalle en los puntos 3.2.2 y 3.2.3.

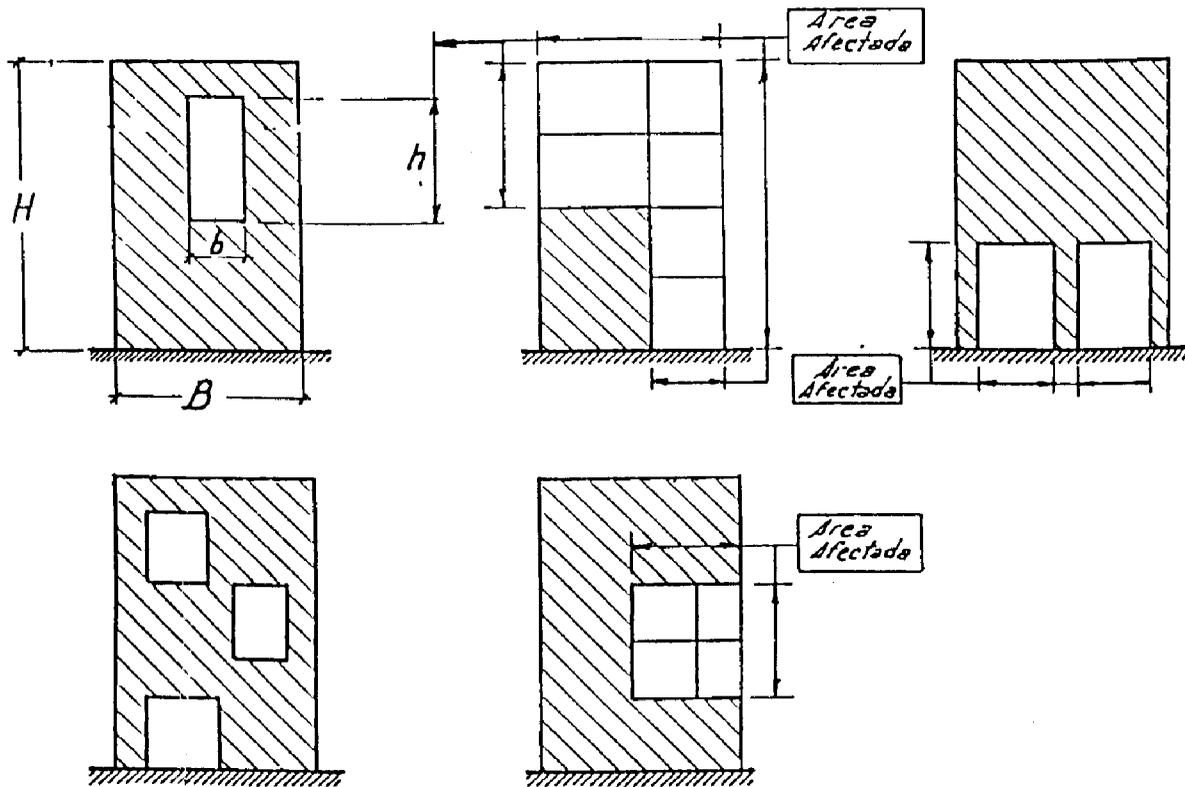


Fig. 3.4 Ilustración de discontinuidades de muros.

b. Configuración.

Los edificios tienen una buena configuración estructural ya que presentan las siguientes características:

- i. muros dispuestos casi simétricos en relación a ambos ejes principales de las plantas.
- ii. parte importante de los elementos resistentes se ubican en el perímetro de la edificación.