

CAPITULO 3

CRITERIOS DE ANALISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA DE HOSPITALES

CAPITULO 3
CRITERIOS DE ANALISIS
DE VULNERABILIDAD SISMICA DE HOSPITALES

3.1 Introducción

En este capítulo se describen los métodos utilizados para hacer la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica, tanto de sus componentes estructurales como no estructurales.

En relación con la vulnerabilidad sísmica del sistema estructural, se establecen los métodos para evaluarla. Los métodos que se seleccionaron son los de Hirosawa, Shiga y Meli. Además se indican los criterios para calificar la regularidad del edificio a partir de las variaciones de algunas de sus características en altura, como son: la variación del área de la planta entre pisos consecutivos, variación de la resistencia entre pisos consecutivos, variación de la rigidez entre piso, excentricidad del piso y variación del peso entre pisos consecutivos.

En la parte no estructural, se detallan los elementos en estudio y el procedimiento elegido para efectuar la evaluación de su vulnerabilidad sísmica.

3.2 Vulnerabilidad sísmica del sistema estructural

En general existe una gran cantidad de métodos para evaluar la vulnerabilidad estructural ante un sismo. Estas metodologías pueden ser de tipo cuantitativo o cualitativo.

Los métodos cuantitativos son generalmente extensiones propias de los procedimientos de análisis y diseño antisísmico recomendados por las normas modernas, mientras que los métodos cualitativos están asociados a criterios de evaluación que utilizan índices globales que consideran las características generales de la estructura.

Teniendo en cuenta el carácter preliminar de este estudio, se ha escogido el uso de este último grupo de métodos, reconociendo que los métodos cuantitativos deben aplicarse en sistemas considerados vulnerables después de un estudio preliminar.

Los métodos de evaluación tienen distintos niveles de exactitud y su utilización depende del tipo de estructura, teniendo limitaciones que dependen del número de pisos de la estructuras y del material con el que está construida.

Los métodos utilizados en este estudio se basan en el cálculo de índice que relacionan de alguna forma la capacidad resistente de la estructura y el nivel de sollicitación que produce la acción de los sismos. Para ello toman en consideración diversos factores tales como : la forma de la planta (grado de simetría), densidad de elementos resistentes, configuración estructural, variación de la estructura en altura, rigidez y ductilidad de los elementos, entre otros. Es necesario aclarar que estos índices no consideran la totalidad de las variables que influyen en el comportamiento sísmico del edificio, pero toman la información suficiente para hacer un diagnóstico de la vulnerabilidad.

El hecho de aplicar estos índices en estructuras que han sido afectadas por sismos, ha servido para calibrarlos y establecer límites y rangos de valores dentro de los que el edificio puede ser calificado desde el punto de vista de su vulnerabilidad.

De los índices existente se han escogido aquellos aplicables a estructuras como las chilenas y que sean de fácil determinación.

El valor de los índices se complementa con la variación que presentan las características del edificio con la altura, para juzgar de mejor manera su vulnerabilidad.

A continuación se resumen los índices utilizados en este estudio y se detallan las características del edificio que se han

considerado para verificar su regularidad:

3.2.1 Índices de comportamiento sísmico.

3.2.1.1 Índice de Hirosawa.

El método de Hirosawa [Hirosawa, 1992] es utilizado oficialmente en Japón por el Ministerio de Construcción en la evaluación de la seguridad sísmica de edificios de hormigón armado. El método recomienda tres niveles de evaluación, que van de lo simple a lo detallado, y se basa en el análisis del comportamiento sísmico de cada nivel del edificio en las direcciones principales de la planta, direcciones en las que se orientan los ejes sismorresistentes del edificio.

El método fue propuesto originalmente para utilizarlo en edificios de hormigón armado de altura media existentes o dañados, del orden de seis a ocho pisos estructurados principalmente con muros. En estudios más recientes, el método se ha aplicado a edificios mixtos de hormigón armado y albañilería [Iglesias, 1989], lo que será aprovechado en el presente estudio considerando que estas estructuraciones mixtas son frecuentes en Chile en los edificios de altura media estructurados con muros.

La vulnerabilidad estructural se establece considerando que:

- i) Si $I_2 \geq I_{s0}$, el edificio se puede considerar que tiene un comportamiento sísmico seguro frente a un evento sísmico.
- ii) Si $I_2 < I_{s0}$, el edificio se puede considerar que tiene un comportamiento incierto frente a un evento sísmico, lo que requiere un estudio más detallado.

Cálculo del índice I_2 .

Este índice se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$I_2 = E_o \times S_D \times T \quad \text{Ec. 3.1}$$

donde

E_o : índice sísmico básico de comportamiento estructural.

S_D : índice de configuración estructural.

T : índice de deterioro de la edificación.

Cálculo de E_o .

Al aplicar el primer nivel de evaluación, el término E_o se determina a partir de un cálculo simple de la resistencia última de corte de cada piso. Esta resistencia se calcula para cada dirección de la planta por la suma de los productos del área de la sección transversal de un muro o columna y de su resistencia de corte, reduciendo este producto por un factor (α_1) que considera la presencia de elementos que alcanzan su resistencia a un nivel de deformación menor que el resto de los elementos sismorresistentes, por ejemplo columnas cortas o muros de albañilería, reforzados o no, si se comparan con muros o columnas de hormigón armado.

El índice E_o es proporcional al producto del coeficiente de resistencia (C) y del de ductilidad (F).

$$E_o \propto C \times F \quad \text{Ec. 3.2}$$

Para el cálculo de E_o , todo elemento o subestructura vertical que forma parte de la estructura sismorresistente debe clasificarse en algunas de las siguientes categorías:

i) Columnas cortas de hormigón armado. Son todas las columnas en las que la relación h_0 / D , entre la altura libre (h_0) y el ancho de la sección transversal (D), es igual o menor que 2. El comportamiento sísmico de estas columnas está controlado por una falla de corte frágil que se caracteriza por el reducido nivel de deformación en el que se alcanza la resistencia y por la baja capacidad de deformación inelástica.

Para establecer la altura libre se ha considerado la presencia de los elementos arquitectónicos que reducen la altura de la columna en la medida que no se aíslen de ella.

ii) Columnas de hormigón armado: Son todas las columnas en las que la relación h_0 / D es mayor que 2.

iii) Muros de hormigón armado: Son los elementos de hormigón armado con una sección transversal en que la relación entre el lado mayor y el lado menor de la sección transversal es mayor que 3.

iv) Muros de relleno de albañilería: Son aquellos muros de albañilería, normalmente con escaso o ningún refuerzo, ubicados en el interior de los vanos de la subestructura resistente (pórticos) sin aislarlos de ella.

v) Muros de albañilería armada o muros de albañilería confinada con elementos esbeltos de hormigón armado, pilares y cadenas.

Los muros considerados corresponden a aquellos muros que se han diseñado y construido en forma tal que puedan transmitir cargas horizontales y verticales de un nivel al nivel inferior y a la fundación; no se consideran aquellos muros que sólo resisten las

cargas provenientes de su propio peso como son: parapetos y tabiques de relleno o divisorios aislados de la estructura sismorresistente.

Esta clasificación debe hacerse para determinar la resistencia y para atender la menor capacidad de deformación inelástica y capacidad de disipación de energía que presentan algunos elementos, por ejemplo las columnas cortas y los muros de albañilería de relleno sin refuerzo, cuando el comportamiento sísmico está controlado por ellos.

El índice E_o se calcula con la ecuación siguiente:

$$E_o = \frac{(n_p + 1)}{(n_p + i)} \times [\alpha_1 \times (C_{mar} + C_{sc} + C_a + C_{ma}) + \alpha_2 \times C_w + \alpha_3 \times C_c] \times F \quad \text{Ec.3.3}$$

donde

- α_1 : factor de reducción de la capacidad resistente de acuerdo con el nivel de deformación en que alcanzan la resistencia los elementos que controlan el comportamiento sísmico [Murakami et al., 1992]. Los valores de estos factores se entregan en la tabla 3.1 cuando la capacidad sísmica está controlada por los elementos más frágiles (Tipo A), los menos frágiles (Tipo B) y los dúctiles (Tipo C) respectivamente.
- n_p : número de pisos del edificio.
- i : nivel que se evalúa.
- C_{mar} : índice de resistencia proporcionada por los muros de relleno de albañilería.
- C_{sc} : índice de resistencia proporcionada por las columnas cortas de hormigón armado.
- C_a : índice de resistencia proporcionada por los muros de albañilería no reforzada o parcialmente confinada.
- C_{ma} : índice de resistencia proporcionada por los muros de albañilería confinada.

- C_w : índice de resistencia proporcionada por los muros de hormigón armado.
- C_c : índice de resistencia proporcionada por las columnas no cortas de hormigón armado.
- F : índice de ductilidad asociados a los elementos verticales.

$$F = 1.0 \quad \text{si } C_{mwr}, C_w \text{ y } C_{cc} \text{ son iguales a cero}$$

$$F = 0.8 \quad \text{si } C_{mwr}, C_w \text{ y } C_{cc} \text{ son distintos de cero}$$

En caso que los muros de albañilería confinada controlen la capacidad resistente, el valor de F es igual a 1.0 considerando la capacidad de deformación inelástica que se logra con los elementos de confinamiento.

La capacidad sísmica debe calcularse en primer lugar considerando la falla del grupo de elementos más frágiles; sin embargo si la falla de este grupo no produce inestabilidad del sistema, la capacidad sísmica debe calcularse considerando el próximo grupo despreciando la resistencia de los elementos que han fallado.

Tabla 3.1 Valores de los coeficientes α_i .

TIPO	α_1	α_2	α_3	MODO DE FALLA
A	1.0	0.7	0.5	Muros de rellenos de albañilería o columnas cortas o muros de albañilería no reforzada y parcialmente confinada o muros de albañilería confinada controlan la falla.
B	0.0	1.0	0.7	Muros de hormigón armado controlan la falla.
C	0.0	0.0	1.0	Columnas de hormigón armado controlan la falla.

El término $(n_p+1)/(n_p+i)$ considera la relación entre el coeficiente de corte basal y el coeficiente de corte del piso i

[Unemura, 1980], cuando estos esfuerzos de corte se establecen en función del peso del edificio por sobre el nivel considerado.

Los índices de resistencia (C_i) se han determinado considerando las características de refuerzo de los muros de hormigón armado construidos en Chile (cuantía y modalidad de refuerzo), lo que incorpora modificaciones en las expresiones propuestas por Hiroswawa e Iglesias. Para los muros de albañilería se usa la resistencia propuesta por Iglesias para los muros de relleno (muros tipo diafragma) y la resistencia de agrietamiento diagonal recomendada por Raymondí (1990) para los muros de albañilería confinada.

Las ecuaciones usadas son:

$$C_{mar} = \frac{0.6 * 0.85 * \tau_o * \sum A_{mar}}{\sum_{j=1}^{n_p} W_j} \quad \text{Ec. 3.4}$$

$$C_{sc} = \left(\frac{f_c}{200} \right) * \left(\frac{15 * \sum A_{sc}}{\sum_{j=1}^{n_p} W_j} \right) \quad \text{Ec. 3.5}$$

$$C_{ma} = \frac{0.6 * (0.45 * \tau_o + 0.25 * \sigma_o) * \sum A_{ma}}{\sum_{j=1}^{n_p} W_j} \quad \text{Ec. 3.6}$$

$$C_a = C_{ma} \quad \text{Ec. 3.7}$$

$$C_w = \left(\frac{f_c}{200} \right) * \left(\frac{30 * \sum A_{m1} + 20 * \sum A_{m2} + 12 * \sum A_{m3} + 10 * \sum A_{m4}}{\sum_{j=1}^{n_p} W_j} \right) \quad \text{Ec. 3.8}$$

$$C_c = \left(\frac{f_c}{200} \right) * \left(\frac{10 * \sum A_{c1} + 7 * \sum A_{c2}}{\sum_{j=1}^{n_p} W_j} \right) \quad \text{Ec. 3.9}$$

donde

- f_c = Resistencia cilíndrica a la compresión del hormigón.
- $\sum A_{m,r}$ = Suma de las áreas de los muros de relleno de albañilería del piso en evaluación en la dirección analizada.
- $\sum A_{m,c}$ = Suma del área de las columnas cortas de hormigón armado del piso en evaluación.
- $\sum A_{m,a}$ = Suma de las áreas de los muros de albañilería confinada del piso en evaluación en la dirección analizada.
- $\sum A_{m,1}$ = Suma de las áreas de los muros de hormigón armado del piso en evaluación con columnas en ambos extremos, con cuantía de refuerzo horizontal igual o mayor que 1.2% y una esbeltez (H/L) del muro mayor que 2. En estos muros la resistencia al corte está controlada por la resistencia de aplastamiento de la diagonal comprimida debido a su alta cuantía de refuerzo horizontal [Wakabayashi, 1986].
- $\sum A_{m,2}$ = Suma de las áreas de los muros de hormigón armado del piso en evaluación, que cumplan con alguna de las siguientes características:
- i) Muros con columnas en ambos extremos, cuantía de refuerzo horizontal menor que 1.2% y una esbeltez mayor que 2.
 - ii) Muros con columnas en ambos extremos y una esbeltez del muro igual o menor que 2. En estos muros la resistencia al corte es proporcionada principalmente por la armadura horizontal [Wakabayashi, 1986].
- $\sum A_{m,3}$ = Suma de las áreas de los muros de hormigón armado del piso en evaluación, sin columnas o con una columna en alguno de sus extremos y una esbeltez del

muro igual o menor que 2. En estos muros la resistencia al corte está definida por la carga de agrietamiento diagonal del hormigón debido a su reducida cuantía de armadura de refuerzo [Wakabayashi, 1986].

- $\sum A_{m,1} =$ Suma de las áreas de los muros de hormigón armado del piso en evaluación, sin columnas o con una columna en alguno de sus extremos y una esbeltez del muro mayor a 2. En estos muros la resistencia al corte está dada por las ecuaciones de la norma ACI-318 [ACI, 1984].
- $\sum A_{c,1} =$ Suma de las áreas de las columnas de hormigón armado donde la relación entre la altura libre (h_o) y el ancho (D) es menor que 6 [Hirosawa, 1992].
- $\sum A_{c,2} =$ Suma de las áreas de las columnas de hormigón armado donde la relación entre la altura libre (h_o) y el ancho (D) es igual o mayor que 6 [Hirosawa, 1992].
- $W_j =$ Peso del piso j.
- $\tau_o =$ Resistencia básica de corte de la albañilería.
- $\sigma_o =$ Tensión normal debido al esfuerzo axial que producen las cargas verticales de peso propio y la sobrecarga de uso.
- $L =$ Largo del muro.
- $H =$ Altura del piso si L es mayor o igual que 3 m o altura libre del muro si L es menor que 3 m.

En estas ecuaciones las áreas se deben expresar en cm^2 , las resistencias y tensiones en kgf/cm^2 y los pesos en kgf . Los coeficientes que acompañan a las áreas corresponden a la resistencia al corte de los diferentes tipos de elementos que forman el sistema sismorresistente, expresadas en kgf/cm^2 .

Considerando las características de los edificios de albañilería construidos en Chile, la tensión normal debido al esfuerzo axial se calcula como $1.0 \cdot n$, donde n es el número de pisos por sobre el piso analizado [Küpfer, 1993].

Cálculo de S_b .

Este coeficiente cuantifica la influencia de las irregularidades de la configuración estructural y de la distribución de rigidez y de masa en el comportamiento sísmico de la edificación.

La información para calcular S_b se obtiene principalmente de los planos estructurales y se complementa con visitas a terreno. Las características del edificio que se consideran en la determinación de este coeficiente son: regularidad de la planta, relación largo-ancho de la planta, estrangulaciones de la planta, espesor de las juntas de dilatación, dimensiones y ubicación de patios interiores, existencia de subterráneo, uniformidad de la altura de los pisos, excentricidad de rigidez en planta, irregularidades de la distribución de las masas y de la rigidez de entrepiso de los pisos en altura, etc.

Hirosawa propone calcular S_b cuando se usa el primer nivel de evaluación de vulnerabilidad con la ecuación siguiente:

$$S_b = q_1 * q_2 * \dots * q_8 \quad \text{Ec. 3.10}$$

donde

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

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

Al revisar la ecuación 3.10 se observa que en la medida que se pierde la regularidad en las características de la estructura se castiga al sistema reduciendo su capacidad resistente con G_i y para cuantificar el efecto o influencia que pueda tener la irregularidad en la respuesta, el que no es igual para cada uno de los factores considerados, se usa el término R_i .

Los valores de G_i y R_i recomendados por Hirosawa se indican en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Valores de G_i y R_i .

ITEMS	G_i			R_i
	1.0	0.9	0.8	
1. Regularidad	regular (a_1)	mediano (a_2)	irregular (a_3)	1.0
2. Relación Largo-Ancho	$B \leq 5$	$5 < B \leq 8$	$B > 8$	0.5
3. Contracción de planta	$0.8 \leq c$	$0.5 \leq c < 0.8$	$c < 0.5$	0.5
4. Atrio o Patio interior	$R_{ap} = 0.1$	$0.1 < R_{ap} \leq 0.3$	$0.3 < R_{ap}$	0.5
5. Excentricidad de Atrio o patio interior	$f_1 = 0.4$ $f_2 = 0.1$	$f_1 \leq 0.4$ $0.1 < f_2 \leq 0.3$	$0.4 < f_1$ $0.3 < f_2$	0.25
6. Subterráneo	$1.0 \leq R_{as}$	$0.5 \leq R_{as} < 1.0$	$R_{as} < 0.5$	1.0
7. Junta de dilatación	$0.01 \leq s$	$0.005 \leq s < 0.01$	$s < 0.005$	0.5
8. Uniformidad de altura de piso	$0.8 \leq R_h$	$0.7 \leq R_h < 0.8$	$R_h < 0.7$	0.5

La descripción de cada una de las características se entrega en el Anexo A.

Según Hirosawa, el valor de S_p se calcula usando el valor más desfavorable entre los obtenidos para la característica en los diferentes pisos, valor que se asume como representativo del edificio completo.

Cálculo de T

Este índice cuantifica los efectos que produce el deterioro de la estructura debido al paso de tiempo o bien a la acción de sismos pasados u otras acciones que puedan haberla afectado. El índice se calcula a partir de la información obtenida de las visitas al edificio y de la información que proporcione el propietario.

El índice T se determina con la tabla 3.3; considerando que se usa un valor único del índice T para el edificio, este valor debe corresponder al menor valor obtenido de la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Valores del índice T para diferentes causas y tipos de deterioro.

DEFORMACION PERMANENTE (T_1)

CARACTERISTICA	T_1
El edificio presenta inclinación debido a asentamiento diferencial	0.7
El edificio está construido sobre relleno artificial	0.9
El edificio ha sido reparado debido a deformaciones presentadas anteriormente.	0.9
Visible deformación de vigas o columnas	0.9
No presenta signos de deformación	1.0

GRIETAS EN MUROS O COLUMNAS (T_2)

CARACTERISTICA	T_2
Presenta filtraciones con corrosión visible de armaduras	0.8
Grietas inclinadas visibles en columnas	0.9
Grietas visibles en muros	0.9
Presenta filtraciones, pero sin corrosión de armaduras	0.9
Nada de lo anterior	1.0

INCENDIOS (T₃)

CARACTERISTICA	T ₃
Ha experimentado incendio, pero no fue reparado	0.7
Ha experimentado incendio y fue adecuadamente reparado	0.8
No ha experimentado incendio	1.0

USO DEL CUERPO (T₄)

CARACTERISTICA	T ₄
Almacena sustancias químicas	0.8
No contiene sustancias químicas	1.0

TIPO DE DAÑO ESTRUCTURAL (T₅)

CARACTERISTICA	T ₅
Daño Estructural Grave	0.8
Daño Estructural Fuerte	0.9
Daño Estructural Ligero o No Estructural	1.0

El criterio de la clasificación del daño asociado a la estructura es el de la tabla 3.4

Tabla 3.4 Clasificación de daños causados por sismo [Iglesias et al., 1987].

TIPO DE DAÑO	DESCRIPCION
No Estructural	Daños únicamente en elementos no estructurales
Estructural Ligero	Grietas de menos de 0.5 mm de espesor en elementos de Hormigón Armado. Grietas de menos de 3 mm de espesor en muros de Albañilería
Estructural Fuerte	Grietas de 0.5 a 1 mm de espesor en elementos de Hormigón Armado. Grietas de 3 a 10 mm de espesor en muros de Albañilería.
Estructural Grave	Grietas de más de 1 mm de espesor en elementos de Hormigón Armado. Aberturas en muros de Albañilería. Aplastamiento del Hormigón, rotura de estribos y pandeo del refuerzo en vigas, columnas y muros de Hormigón Armado. Agrietamiento de capiteles y consolas. Desplome de columnas. Desplome del edificio en más de 1% de su altura. Asentamiento de más de 20 cm

Cálculo del índice I...

Para determinar este índice es conveniente utilizar dos niveles de verificación :

i. Nivel de servicio

En este estado el edificio, independiente de su uso, no debe experimentar daño de ningún tipo, en sus componentes estructurales y no estructurales.

En el caso de los edificios estructurados con marcos, los índices no son aplicables directamente debiéndose con una estimación de las deformaciones elásticas que se puedan producir para sismos del orden de VII grados en la escala de Mercalli

Modificada.

Teniendo en cuenta la falta de detalles constructivos en los planos de diseño, es difícil juzgar las estructuraciones de marcos en este estado de servicio. En edificios de muros aún existiendo esta falta de información, no es crítica porque las deformaciones son muy pequeñas para las acciones que representan a este estado de servicio, como se ha comprobado al revisar los efectos durante sismos moderados o durante sismos severos en edificios ubicados distante de la zona epicentral en suelos duros (suelos tipo I y II según la clasificación de la norma NCh433.Of93 (INN.1993)).

Los desplazamientos elásticos relativos de entre pisos de edificios de marcos pueden ser calculados en una etapa preliminar con métodos aproximados, utilizando las fuerzas que representan los niveles de la acción sísmica para este estado de servicio. Estas fuerzas se pueden considerar del orden de 2.0 a 2.4 veces los niveles que establece la NCh433.Of72 (INN,1972) para zonas 3, y de 1.5 a 1.8 veces para zona 2.

Usando este nivel de acción sísmica se puede obtener el valor mínimo requerido del índice de Hirosawa para satisfacer este estado en cualquier piso del edificio, considerando que los efectos que tiene la flexibilidad de la estructura en los requerimientos de resistencia se evalúan como lo establecen las normas de diseño sísmico de edificios. En particular, si se utiliza la normativa chilena para evaluar los efectos de la flexibilidad, se obtiene:

- Para $T \leq T_o$:

$$I_{so})_{serv} = 0.5 \times A_o$$

- Para $T > T_o$:

Ec. 3.11

$$I_{so})_{serv} = 0.5 \times A_o + \frac{(2 \times T \times T_o)}{(T^2 + T_o^2)}$$

donde:

$A_0 = 0.4$ para zona sísmica 3.

T = período fundamental del edificio.

= $0.10 * n$ para edificios estructurados con marcos (Midorikawa).

= $0.035 * n$ para edificios estructurados con muros (Baeza, 1963).

= $0.05 * n$ para edificios estructurados entre marcos y muro

n = número de pisos del edificio sin incluir estanques o apéndices.

T_0 = parámetro que depende del tipo de suelo de fundación.

= 0.15 para suelo tipo I, según NCh433.Of93.

= 0.30 para suelo tipo II, según NCh433.Of93.

= 0.75 para suelo tipo III, según NCh433.Of93.

= 1.20 para suelo tipo IV, según NCh433.Of93.

ii. Estado límite último

Este estado se produce cuando ocurre un terremoto, es decir un sismo de gran magnitud y baja probabilidad de ocurrencia, por ejemplo un sismo de subducción de magnitud $M_s = 8.5$ frente a las costas de Chile en la zona en que se ubican los hospitales de este estudio.

En particular, para los edificios de un hospital el objetivo es mantener su condición de funcionamiento durante e inmediatamente después de ocurrido este tipo de evento, lo que obliga a reducir al mínimo los daños tanto de los elementos estructurales como no estructurales. Para cumplir esta condición la capacidad resistente debe garantizar casi una respuesta elástica del edificio lo que obliga a cumplir con un alto nivel de resistencia, normalmente muy superior al requerido para edificios habitacionales de los que se espera solamente que no colapsen en un evento como éste (INN, 1993).

Teniendo en cuenta lo anterior, el valor mínimo del índice de Hirosawa para calificar los edificios desde el punto de vista de este estado, se puede establecer a partir del nivel de diseño elástico que recomienda la norma NCh433 con una reducción mínima de él, reducción similar a la recomendada para sistemas de comportamiento frágil, $R = 2$. Así resulta:

- Para $T \leq T_o$:

$$I_{so})_{ult} = Fac * \left(\frac{2.1 * S * A_o}{R} \right)$$

Ec. 3.12

Para $T > T_o$:

$$I_{so})_{ult} = Fac * \left(\frac{2.1 * S * A_o}{R} \right) * \left(\frac{2 * T * T_o}{T^2 + T_o^2} \right)$$

donde:

S = efecto de amplificación del suelo.

= 0.9, 1.0, 1.2 y 1.3 para los suelos tipos I, II, III y IV, respectivamente.

R = 2

El valor 2.1 se ha obtenido como el valor promedio de los valores que resultan de amplificar por el correspondiente valor de R los valores de $C_{max} * g / (S * A_o)$ indicados en la tabla 6.4 de la norma NCh433.R95 (INN, 1995).

Teniendo en cuenta que los valores de la capacidad resistente al corte de los distintos tipos de elementos que forman la estructura sismorresistente se han obtenido considerando factores de reducción de esta capacidad que varían entre 0.6 y 0.8, valores que son del orden de los recomendados por las normas de diseño de albañilería y de hormigón armado (ACI 318, Norma Mexicana), las resistencias requeridas deben determinarse amplificando la acción sísmica por $Fac = 1.4$ (NCh433 Of93).

Con el fin de discretizar el valor mínimo del índice de Hiroswawa, y poder determinar en mejor forma el grado de vulnerabilidad de la estructura, se consideran los siguientes rangos para distintos valores de R (Boroschek R., Astroza M., 1995).

Tabla 3.5 Grados de vulnerabilidad

Rango	Grado de Vulnerabilidad
$I_2 \geq I_{so})_{ultimo} (R=2)$	BAJA
$I_{so})_{ultimo} (R=2) > I_2 \geq I_{so})_{ultimo} (R=7)$	MEDIA
$I_{so})_{ultimo} (R=7) > I_2$	ALTA

3.2.1.2 Indices de Shiga.

Shiga (1977) propone un criterio para calificar los edificios de hormigón armado de altura media aprovechando la información obtenida en 52 edificios de este tipo de la ciudad de Hachinoha, dañados durante el terremoto de Tokachi-Okii en 1968 en Japón.

Según Shiga en este tipo de estructura el nivel de daño depende de la densidad de muros y del nivel de la tensión de corte media que se produce. Para establecer el posible daño sísmico que pueda experimentar un edificio de este tipo, Shiga recomienda calcular los tres índices siguientes: Índice de área de muros (I_1), Índice de área de columnas (I_c) e Índice de tensión media de corte nominal (I_s).

El índice I_1 representa el área de muros de hormigón armado disponible en el piso y en cada dirección de la planta para resistir las fuerzas reactivas que actúan en este piso. Este índice se calcula a partir de la relación entre el área de muros en cada dirección del piso del edificio ($\sum A_m$) y el área de las plantas ubicadas sobre el nivel considerado ($\sum A_{pi}$). La expresión del índice I_1 es la siguiente:

$$I_1 = \frac{\sum_{m=1}^n A_m}{\sum_{j=1}^n A_{pj}} \quad \text{en } (cm^2/m^2) \quad \text{Ec. 3.13}$$

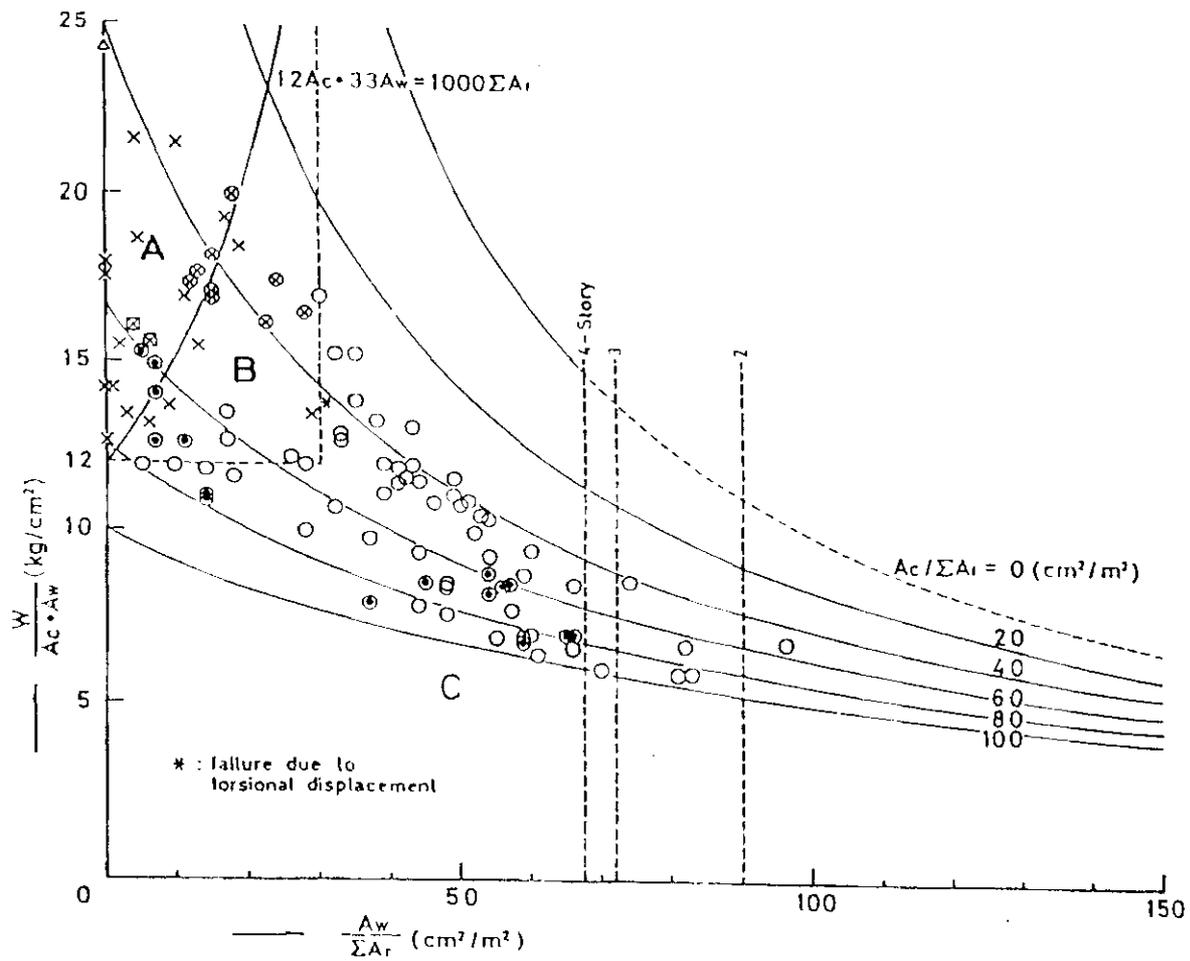
El índice de área de columnas, I_c , se calcula en forma análoga al índice I_1 , sólo que en este índice se considera el área de las columnas del piso del edificio ($\sum A_c$), quedando expresado por:

$$I_c = \frac{\sum_{c=1}^n A_c}{\sum_{j=1}^n A_{pj}} \quad \text{en } (cm^2/m^2) \quad \text{Ec. 3.14}$$

El índice I_s es una medida de la tensión de corte nominal promedio que actúa en el piso y se define por la relación entre el peso sísmico nominal total del edificio sobre el piso ($\sum W_j$) y el área total de muros y columnas en una dirección determinada del piso, resultando:

$$I_s = \frac{\sum_{j=1}^n W_j}{\sum_{m=1}^n A_m + A_c} \quad \text{Ec. 3.15}$$

Del estudio de los daños de la muestra de edificios seleccionada y suponiendo un peso por unidad de área de planta de 1000 kgf/m², Shiga concluye que aquellos edificios con $I_s < 30$ cm²/m² e $I_s > 12$ kgf/cm² a nivel del primer piso, sufrieron daño sísmico y corresponden a los casos ubicados en la zona delimitada por las líneas segmentadas del extremo superior izquierdo de la figura 3.1. Estos resultados dependen de las características de los edificios japoneses y de la demanda del sismo usado para hacer la evaluación de daños, teniendo en cuenta estas limitaciones se deben revisar los límites indicados para las condiciones existentes en cada país.



Relación entre los índices de áreas de muros, de áreas de columnas y la tensión media de corte con el daño, Shiga 1977

Figura 3.1

Estos índices se utilizan en este trabajo para establecer la vulnerabilidad de los pisos donde predominan los muros de hormigón armado, los pocos muros de albañilería que puedan existir se incluyen como muros equivalentes de hormigón de igual resistencia al corte, transformando el área de su sección transversal de acuerdo con lo indicado en 3.2.2.2.

3.2.1.3 Índice de densidad de muros de Meli.

Meli (1991) relacionó el nivel de daños producido por el sismo de México de 1985 en los edificios de albañilería de 3 a 5 pisos con el índice de densidad de muros por unidad de piso del edificio. Los edificios analizados se caracterizan por cumplir ciertas condiciones de altura, de simetría de la planta, de rigidez torsional, de regularidad de la elevación y de la existencia de la acción de diafragma rígido a nivel de los pisos y techo; estas condiciones corresponden a las que la norma mexicana de diseño sísmico exige para aplicar el método simplificado de diseño.

El índice de densidad de muros por unidad de piso se calcula con la ecuación:

$$I_3 = \frac{\sum A_t}{\sum_{j=1}^{n_p} A_{pj}} \quad \text{Ec. 3.16}$$

donde:

$\sum A_t$ = Área total de muros de albañilería equivalente en la dirección y nivel considerado.

A_{pj} = Área de la planta del nivel j .

Seleccionando una muestra de 23 edificios, Meli relacionó el nivel de daños observado con la densidad de muros por unidad de piso del edificio, de los resultados obtenidos por Meli se puede establecer la relación que se indica en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Relación entre la densidad de muros (I_3) y el nivel de daños.

I_3	Nivel de daños
≤ 0.0075	Grave
$0.0075 < I_3 \leq 0.015$	Intermedio
> 0.015	Mínimo

Utilizando el trabajo de Meli, Astroza et al. (1993) establecen un criterio para calificar sísmicamente los edificios de albañilería. La calificación se hace a partir de la relación empírica entre el nivel de daño observado y el índice de densidad de muros propuesto por Meli (1991).

Para determinar la relación indicada se utilizaron los daños observados en este tipo de edificios durante el sismo de Chile del 3 de marzo de 1985, junto con la información usada por Meli. La base de datos son 17 edificios ubicados en la ciudad de Santiago, los que experimentaron distintos niveles de daño durante el sismo del 3 de marzo de 1985. Estos edificios se ubican en distintos sectores de la ciudad donde el grado de intensidad varió entre 8 y 7 grados de la escala de Mercalli Modificada.

La relación entre el nivel de daños y la densidad de muros por unidad de piso propuesta por Astroza et al. 1993, se indica en la tabla 3.7. La descripción de las diferentes categorías de daño se entrega en el anexo B.

Tabla 3.7. Relación entre el nivel de daños y la densidad de muros, [Astroza et al.,1993].

Nivel de Daños	Categoría de Daños	Densidad de muros I_s
Daño Leve	0 y 1	$I_s > 0.0115$
Daño Moderado	2	$0.085 < I_s \leq 0.0115$
Daño Severo	3	$0.005 < I_s \leq 0.085$
Daño Grave	4 y 5	$I_s \leq 0.005$

Estas relaciones empíricas se utilizarán en este trabajo para establecer la vulnerabilidad de los pisos en que predominan los muros de albañilería. De esta forma, en los pisos que predominan los muros de albañilería, los pocos muros de hormigón armado que existen se incluyen como muros equivalentes de albañilería de igual resistencia al corte, transformando el área de su sección transversal de acuerdo con lo indicado en 3.2.2.2. Tanto en el cálculo del área de los muros de albañilería como de los de hormigón armado se incluye el factor de reducción recomendado por Meli (1991), con lo cual se considera la menor rigidez de los muros en los que la relación entre la altura (H) y la longitud (L) excede de 1.33.

3.2.2 Variación de las características del edificio con la altura.

La determinación de la variación de las cualidades estructurales a lo alto del edificio se realiza como un dato adicional para detectar las irregularidades que representan ciertos riesgos ante la acción de un sismo.

Con este propósito y complementando las características consideradas en el término S_0 del índice I_s del método de Hirosawa, se reúne información sobre:

- i) Variación del área de planta entre pisos consecutivos.
- ii) Variación de la resistencia entre pisos consecutivos.
- iii) Variación de la rigidez de entrepiso.
- iv) Excentricidad del piso.
- v) Variación del peso entre pisos consecutivos.

Para evaluar cualitativamente estas variaciones se hace uso de los límites que establecen las normas de diseño sísmico [Costa Rica, 1986; México, 1987; FEMA, 1989] para identificar los sistemas regulares. Estos límites deben ser evaluados en conjunto para calificar la regularidad de la estructura.

La forma de calcular estas propiedades y los límites con los que se hace la calificación de cada una de ellas, se detallan a continuación.

3.2.2.1 Variación del área de la planta entre pisos consecutivos.

Esta variación deja en evidencia las posibles estrangulaciones que puede presentar la planta de la estructura. El área de la planta se calcula a partir del área encerrada por los ejes sismorresistentes exteriores.

La calificación del edificio desde este punto de vista se realiza con la relación entre el área de la planta del piso analizado (A_{pi}) y el área del piso inmediatamente superior (A_{pi+1}), siempre y cuando exista éste, y considerando:

$$\begin{array}{ll}
 0.8 \leq \frac{A_{pi}}{A_{pi+1}} \leq 1.4 & \text{Bueno} \\
 0.6 \leq \frac{A_{pi}}{A_{pi+1}} < 0.8 \text{ o } 1.4 < \frac{A_{pi}}{A_{pi+1}} \leq 2.4 & \text{Regular} \\
 \frac{A_{pi}}{A_{pi+1}} < 0.6 \text{ o } \frac{A_{pi}}{A_{pi+1}} > 2.4 & \text{Malo}
 \end{array}$$

3.2.2.2 Variación de la resistencia entre pisos consecutivos.

Para determinar esta variación se considera que la resistencia es proporcional al área de la sección transversal de los elementos que resisten la acción sísmica en la dirección analizada. Para calcular las áreas se trabaja con el material que predomina en el piso y en la dirección analizada, para lo cual se hace uso de los factores de transformación FR_1 y FR_2 , con los que se transforma una sección de albañilería a una de hormigón armado de igual resistencia al corte y una sección de hormigón a una de albañilería de igual resistencia al corte respectivamente. Las expresiones de estos factores son las siguientes:

$$FR_1 = \frac{(0.23 \times \tau_o + 0.12 \times \sigma_o)}{0.29 \times f_c^{0.5}} \quad \text{Ec. 3.17}$$

donde:

- f_c = resistencia cilíndrica a la compresión del hormigón, en kgf/cm^2 .
- τ_o = resistencia básica de corte de la albañilería, en kgf/cm^2 .
- σ_o = tensión normal debido a la acción de las cargas verticales, en kgf/cm^2 .

El valor de la tensión normal se calcula como se describe en el índice de Hirosawa.

Para establecer el predominio de los elementos verticales de hormigón armado o de albañilería en un piso y una dirección dada, se usa el siguiente criterio:

- i. Si $FC \leq 0.2$ predominan los muros de albañilería.
- ii. Si $FC \geq 0.8$ predominan los muros de hormigón armado.

donde

$$FC = \frac{\sum A_h * FR_2}{\sum A_h * FR_2 + \sum A_a} \quad \text{Ec. 3.18}$$

$$FR_2 = \frac{1}{FR_1} \quad \text{Ec. 3.19}$$

en que

$\sum A_h$ = Suma de área de elementos resistentes de hormigón en la dirección y nivel analizado.

$\sum A_a$ = Suma de área de elementos resistentes de albañilería en la dirección y nivel analizado.

La calificación del edificio desde este punto de vista se realiza con la relación entre la resistencia del piso (R_i) y la resistencia del piso inmediatamente superior (R_{i+1}). La calificación es buena cuando la relación cumple:

$$\frac{R_i}{R_{i+1}} \geq 0.8$$

en caso contrario es considerada mala.

3.2.2.3 Variación de la rigidez.

La rigidez de entrepiso de los muros y columnas se calculan de manera simplificada mediante la ecuación:

$$k = \frac{12 * E * I}{h^3} \quad \text{ó} \quad \frac{G * A}{h} \quad \text{Ec. 3.20}$$

donde

h = altura libre del elemento.

E = módulo de elasticidad del material del elemento.

I = momento de inercia de la sección transversal bruta.

G = módulo de corte.

A = área de corte del elemento.

En el cálculo del momento de inercia de la sección transversal de los muros de hormigón armado, se considera la contribución de los muros perpendiculares según las recomendaciones de la norma ACI-318 [ACI, 1984]. La inercia de los muros de albañilería confinada se calcula aplicando el método de la sección transformada para considerar la heterogeneidad de la sección, trabajando con una sección equivalente de albañilería.

La rigidez del entrepiso en cada una de las direcciones en que se orientan los elementos que forman la estructura sismorresistente está dada por:

$$K_{xx} \text{ o } K_{yy} = \sum k_{xx} \text{ o } \sum k_{yy} \quad \text{Ec. 3.21}$$

Para calificar el edificio desde este punto de vista se calcula la relación entre la rigidez del piso inmediatamente superior al analizado (K_{i+1}) y la del piso (K_i) y la relación entre el promedio de la rigidez de los tres pisos consecutivos ($1/3 \cdot \sum K_j$) al piso analizado y la rigidez del piso (K_i). Se considera que el edificio es bueno cuando:

$$0.5 < \frac{K_{i+1}}{K_i} \leq 1.5$$

y

$$\frac{\frac{1}{3} \cdot \sum_{j=i+1}^{i+3} K_j}{K_i} \leq 1.25$$

3.2.2.4 Excentricidad

La excentricidad de cada piso se calcula con las rigideces traslacional y torsional de entrepiso utilizando un solo piso a la vez y aceptando un comportamiento del tipo corte. Los límites para calificar el edificio desde este punto de vista se establecen en función de la relación de la excentricidad (e_{ix} o e_{iy}) entre el centro de gravedad y el centro de rigidez en una de las direcciones de la planta y el largo de la planta en la dirección de la excentricidad (l_i). Para calificar la situación se considera que si:

$$\begin{aligned} \frac{e_i}{l_i} &\leq 0.1 && \text{Bueno} \\ 0.1 < \frac{e_i}{l_i} < 0.2 && \text{Regular} \\ \frac{e_i}{l_i} &\geq 0.2 && \text{Malo} \end{aligned}$$

3.2.2.5 Variación del peso.

El peso de los pisos se calcula considerando las cargas de peso propio y un 25% de la sobrecarga de diseño. Para el caso de los hospitales chilenos se usa la sobrecarga de 300 kgf/m² recomendada por la norma NCh1537.Of86 [INN, 1986].

Para calificar el edificio desde este punto de vista se calcula la relación entre el peso del piso analizado (W_i) y el peso del piso inmediatamente superior (W_{i+1}), considerando que:

$$\begin{aligned} 0.85 \leq \frac{W_i}{W_{i+1}} \leq 1.15 &&& \text{Bueno} \\ 0.5 \leq \frac{W_i}{W_{i-1}} < 0.85 \text{ o } 1.15 < \frac{W_i}{W_{i-1}} \leq 1.5 &&& \text{Regular} \\ \frac{W_i}{W_{i+1}} < 0.5 \text{ o } \frac{W_i}{W_{i+1}} > 1.5 &&& \text{Malo} \end{aligned}$$

3.2.3 Determinación de índices de comportamiento sísmico a calcular

Como los índices descritos en los puntos 3.2.1.1, 3.2.1.2 y 3.2.1.3, dependen del tipo de material del edificio, es necesario determinar cual predomina. Para esto se calcula el factor FC , definido en el punto 3.2.2.2, que define que índices son aplicables en cada piso y dirección de análisis.

Dependiendo de las características del piso en la dirección considerada, los índices que se determinan son los siguientes:

- i) Predominio de los muros de hormigón armado.
En estos casos se calculan los índices: I_1 , I_c , I_i e I_2 .
- ii) Predominio de los muros de albañilería.
En estos casos se calculan los índices: I_2 e I_3 .
- iii) Predominio de los pórticos de hormigón armado o cuando no predominan ni los muros de hormigón armado ni los muros de albañilería ($0.2 < FC < 0.8$).
En estos casos se calculan el índice: I_2 .

Independientemente de los índices que se utilicen, a todas las estructuras se les analiza la características descritas en el punto 3.2.2.

3.2.4 Comentarios al cálculo de la vulnerabilidad.

3.2.4.1 Índice de Hirosawa

Es conveniente destacar algunos aspectos relacionados con el cálculo del índice I_2 , que establece la capacidad que el edificio proporciona para calificarlo desde el punto de vista de su vulnerabilidad estructural.

Término E_0

Al revisar los términos que intervienen en la expresión con la que se calcula E_0 , es conveniente comentar lo siguiente:

- i) De acuerdo con los detalles de diseño usados en los muros de los edificios de hormigón armado construidos en Chile, se observa que en los edificios revisados no se encuentran muros que correspondan al tipo ΣA_{m1} .
- ii) La cubicación de los edificios seleccionados permite observar que en los edificios estructurados con muros de hormigón armado y albañilería, los pesos por unidad de área en los distintos niveles de la edificación superan los 1000 kgf/m². Esta característica se debe a la magnitud del espesor de los muros que forman la estructura sismorresistente, al uso de tabique divisorios pesados (albañilerías estucadas), recubrimiento de baldosas de cemento en los pisos, etc.

Esta característica de los edificios seleccionados se indica con el propósito de destacar que cualquier índice que se utilice para calificar la vulnerabilidad estructural deberá considerar esta característica para entender que a igualdad de áreas de muros el comportamiento será menos seguro en la medida que el peso por piso sea mayor debido al aumento de las fuerzas de reactivas.

- iii) En la ecuación de E_0 interviene un factor de reducción (α_1), cuya magnitud depende de las características de las subestructuras verticales que forman el sistema sismorresistente en cada dirección de la planta y cuya falla controla la estabilidad del edificio.

Revisando los valores de este factor se comprueba que lo más desfavorable para una edificación es que existan columnas cortas,

muros de relleno de albañilería sin refuerzos o muros de albañilería sin refuerzos (por ejemplo sin sus dos columnas de confinamiento cuando se trata de un muro de albañilería confinada). Teniendo en cuenta lo desfavorable que puede resultar en la magnitud de E_s , la presencia de este tipo de elementos, es necesario considerar el efecto que puede tener su falla en la estabilidad del edificio, total o parcial.

Sobre el particular, Murakami et al. (1992) reconocen que si la falla de estos elementos no compromete la estabilidad de la estructura, el cálculo de E_s debe hacerse despreciándolos. Esto ocurre cuando este tipo de elementos se presenta en pequeña cantidad y su ubicación en la planta permite la transmisión de las cargas gravitacionales por el resto de los elementos sismorresistentes.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el cálculo de E_s se debe hacer un análisis de los efectos que tiene la presencia de elementos con falla frágil (columnas cortas, muros de relleno de albañilería sin refuerzo y muros de albañilería reforzados inadecuadamente) para evitar un cálculo del valor de E_s que pueda resultar muy conservador.

3.3 Vulnerabilidad de los elementos no estructurales

3.3.1 Introducción

Los daños que produce un sismo en los elementos no estructurales de un hospital pueden producir variados trastornos, tales como la obstrucción de accesos, daños a pacientes o funcionarios del hospital debido a caída de objetos pesados, paralización de actividades esenciales debido a la pérdida de equipos y cortes de suministros básicos como agua y energía eléctrica, entre otros. Para evitar que estos daños se produzcan, hay que analizar aquellas actividades que se requieran que funcionen una vez terminado el sismo, y detectar los posibles riesgos.

Para cada tipo de riesgo se selecciona un método apropiado y sencillo de protección. Estos métodos deben considerarse en términos de aplicabilidad, aunque en muchos casos parezcan innecesarios en condiciones normales del hospital.

3.3.2 Elementos no estructurales en estudio

Las componentes no estructurales se pueden agrupar en tres grupos básicos, los cuales son:

- i) Componentes arquitectónicas: Cielo falso, tabiques, parapetos, cornisas, ventanas, chimeneas, etc.
- ii) Equipamiento: Ascensores, calderas, transformadores, grupos electrógenos, compresores, motobombas, equipo de lavandería y cocina, Equipos médicos, utensilios clínicos, recipientes, muebles, etc.
- iii) Líneas vitales: Red de agua potable, red eléctrica, red de aguas servidas, red de gases clínicos, incluyendo los cilindros de gases.

La vulnerabilidad sísmica de cada uno de estos grupos se debe analizar por separado, debido a la función que desempeñan y a la forma en que se encuentran dispuestos en la estructura, sin embargo el criterio de evaluación es similar para los tres grupos.

3.3.3 Métodos de evaluación sísmica

Los elementos no estructurales y especialmente los equipos y maquinarias, se pueden calificar sísmicamente en vulnerables o no a través de cinco métodos básicos [McGavin, Gary L., 1981]:

Pruebas sísmicas

Las pruebas dinámicas se consideran necesarias en equipo que necesitan estar funcionando antes, durante y después del sismo, equipos de mayor importancia dentro del hospital, o aquellos equipos que son muy complicados para un análisis matemático.

El objetivo de este tipo de pruebas es producir un movimiento sísmico en laboratorio, que simula el movimiento del piso del edificio que esta definido por el espectro de respuesta provisto en los requerimientos de diseño.

Los dos principales tipos de pruebas sísmicas son las pruebas de comprobación y las pruebas de fragilidad.

Las pruebas de comprobación se usan para estudiar el comportamiento de equipos bajo requerimientos y condiciones específicas.

Las pruebas de fragilidad determinan la capacidad máxima del equipo para formas de ondas simples y múltiples, en una forma de mostrar la complacencia con futuros requerimientos. Las pruebas de fragilidad concluyen cuando el equipo falla por uno u otro mecanismo.

Para realizar estas pruebas se necesita saber las condiciones de servicio del equipo para poder simularlas en laboratorio, descripción de la orientación del equipo, espectro de respuesta del edificio y duración del movimiento entre otras cosas.

Este tipo de prueba puede ser demasiado caro, por lo que se recomienda usarlo cuando se requiere un conocimiento completo del equipo.

Análisis matemático

Este sistema se puede utilizar para casi todos los tipos de equipos y maquinarias, sin importar la categoría del equipo dentro del hospital.

Este método se utiliza principalmente cuando se requiere que el equipo funcione después del sismo, es decir, durante el terremoto se debe garantizar su integridad estructural.

Se puede realizar un análisis estático o dinámico de los equipos o maquinaria, esto depende de lo rígido que sea el equipo, recomendándose un análisis estático en aquellos equipos rígidos y que sólo necesitan un sistema adecuado de anclajes.

Experiencias pasadas

En muchas ocasiones el equipo y principalmente los elementos arquitectónicos y las redes de líneas vitales del hospital, pueden ser calificados de vulnerables o no por su comportamiento en sismos pasados o por el comportamiento de sistemas similares en otros centros hospitalarios.

Criterio de un grupo de expertos

El grupo de expertos es un método excelente para ser usado en la revisión de centros hospitalarios existentes que no han recibido

un detallamiento sísmico adecuado.

Este grupo puede calificar los elementos estructurales a través de inspecciones, estudio de detalles arquitectónicos y sugerir mecanismos o instalaciones para reducir la vulnerabilidad de estos elementos.

Combinación de los anteriores

Dependiendo de la complejidad de los elementos y del dinero destinado a estos estudios, es posible hacer una combinación de los métodos anteriores.

3.3.4 Procedimientos de evaluación sísmica del hospital

Por el carácter preliminar del estudio, se usa el último método de evaluación sísmica propuesto anteriormente, es decir se ve si los elementos son vulnerables o no analizando su comportamiento en sismos anteriores y considerando los criterios de un grupo de expertos. El estudio se resume básicamente en seis pasos:

Selección de Servicios Clínicos

En primer lugar se deben determinar aquellos servicios que son indispensables para la atención de público una vez ocurrido el sismo, entre estos se encuentra :

- Servicio de urgencia.
- Esterilización.
- Pabellones y salas de recuperaciones.
- Laboratorio.
- Banco de sangre.
- Servicio de rayos.
- Sala de calderas.
- Farmacia.

- Lavandería.
- Hemodiálisis.
- Movilización y transporte.
- Alimentación.
- Servicios de suministros de agua potable, electricidad, vapor y evacuación de aguas servidas.

Selección de equipos clínicos y maquinaria

En esta etapa se seleccionan aquellos equipos y maquinaria indispensables para mantener funcionando los servicios (Pacheco, 1995):

Servicio de urgencia:

- Monitores Electrocardiógrafo Desfibrilador.
- Capnógrafo.
- Oxímetro de Pulso.
- Bomba de Aspiración.
- Bomba de Infusión.
- Estufa Radiante.
- Respiradores.

Servicio de Esterilización:

- Autoclave.
- Pupinel.
- Esterilizador en Oxido Etileno.

Servicio de Recuperación y Pabellones:

- Lámpara de Pabellón.
- Monitores de Signos Vitales.
- Máquina de anestesia con Ventilador.
- Electrobisturí.
- Equipo de Laparoscopia.
- Intensificador de Imágenes.
- Laringoscopio.

- Electroestimulador.
- Electroditermia.
- Mesa Quirúrgica.

Servicios de Laboratorios Clínicos y Banco de Sangre:

- Analizador Bioquímico.
- Analizador de Gases.
- Analizador de Orina.
- Analizador de Funcionamiento Pulmonar.
- Bilirrubinómetro.
- Centrífuga Refrigerada.
- Contador Hematíes Automático.
- Analizador Elisa.
- Equipo Iontofor.
- Electrofotómetro.
- Estufa Cultivo.
- Fotómetro de Llama.
- Freezer Banco de Sangre.
- Gamma Cámara.
- Contador Geiger.
- Microscopio Inmunoflujo.
- Microscopio Oportorio.
- Microscopio Universal.
- Microcentrífuga.
- Refrigerador Banco de Sangre.
- Refrigerador Industrial.
- Osmómetro.
- Phmetro.

Servicio de Rayos:

- Equipo de rayos X
- Ecotomógrafo o Ultrasonido.
- T.A.C.
- Equipo Procesador y Revelador de Placas.

Servicios Generales:

- Calderas.
- Extractores de Aire.
- Ascensores y/o Montacarga.

Clasificación de equipos

Una vez identificados los equipos, se clasifican considerando lo propuesto por Mc Given (1981) que los distingue en cinco categorías:

- Tipo A: Sistema, subsistema o equipo requerido para el funcionamiento del sistema principal o para el apoyo de la vida, o que en su falla puede afectar directamente o adversamente el funcionamiento de otro sistema o equipo crítico.
- Tipo B: Sistemas, subsistemas o equipos requeridos para el apoyo de funciones básicas. La unidad que depende de este sistema puede funcionar en forma limitada si ocurre una falla.
- Tipo C: Sistemas, subsistemas o equipos requerido para el funcionamiento prolongado de la unidad.
- Tipo D: Sistemas, subsistemas o equipos portátiles que no se encuentran en la categoría A.
- Tipo E: Sistemas, subsistemas o equipos misceláneos o de apoyo de diagnóstico.

Visualización de posibles riesgos

En esta parte del estudio se ven los posibles riesgos y daños típicos que se pueden encontrar en los centros hospitalarios por causas de sismos.

Entre los posibles riesgos se encuentra:

- Recipientes con sustancias ácidas o contaminantes sin un sistema de anclajes o de topes en los bordes de la mesa.
- Ubicación de equipos sobre otros equipos sin un sistema de amarre o colocados sobre estructuras inestables.
- La gran cantidad de artefactos de vidrios y cajas pesadas que se colocan en la parte superior de estantes sin un sistema de soporte.
- Equipos pesados portátiles ubicados sin frenos ni anclajes en corredores obstruyendo el paso.
- Equipos o muebles pesados que se pueden mover o volcar por el movimiento del piso o deformación de los muros.

Entre los daños que se presentan en los hospitales después de un sismo, se pueden mencionar:

- Desplazamiento de camas, de equipos pesados y caída de objetos, obstruyendo las salidas.
- Volcamiento y vaciamiento de estantes esbeltos, especialmente en bodegas.
- Caída de equipos que no están debidamente anclados.
- Corte de comunicaciones, agua potable, electricidad, etc.

Visita a terreno

Conociendo el comportamiento que pueden tener los elementos no estructurales en caso de sismo, se programan visitas a los centros hospitalarios con el fin de verificar si están preparados para

soportar un evento de este tipo.

Recomendaciones

Después de analizar el estado en que se encuentran los elementos no estructurales, se procede a calificarlos como vulnerables o no vulnerables.

Dependiendo de la calificación del equipo, se recomiendan dispositivos de seguridad para aquellos que los requieran y se dan recomendaciones que aseguren un buen comportamiento de los distintos elementos durante el sismo.