

## Valores mínimos del Índice de Meli

Considerando que en los edificios seleccionados las albañilerías se construyen en su mayoría con unidades de fabricación artesanal y con un confinamiento muchas veces imperfecto, el límite para calificar la vulnerabilidad se establece usando la relación entre el índice  $E_o$  de la expresión del índice de Hirosawa ( $I_h$  cuando  $S_d$  y  $T$  son iguales a 1) y el índice  $I_{mm}$  dada por la ecuación 3.17, y los valores límites de  $I_h$  indicados en la sección 3.2.1.

$$(E_{om}) = \frac{[0.6 * (0.45\tau_o + 0.25*n)]}{w_o} \frac{(n+1)}{(n+i)} I_{mm} \quad \text{Ec. 3.17}$$

donde:

$i$  = número del piso analizado.

$w_o$  = peso promedio por unidad de planta del edificio por sobre el nivel considerado.

$\tau_o$  = resistencia básica de corte de la albañilería.

$n$  = número de pisos del edificio.

De la ecuación 3.17 se despeja  $I_{mm}$  obteniéndose:

$$I_{mm} = \frac{w_o}{[0.6 * (0.45\tau_o + 0.25*n)]} \frac{(n+i)}{(n+1)} (E_{om}) \quad \text{Ec. 3.18}$$

Los valores de  $I_{mm}$  y las relaciones empíricas se utilizarán en este trabajo para establecer la vulnerabilidad de los pisos en 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 3.2.4.2. 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.

### 3.2.4. VARIACION DE LAS CARACTERISTICAS 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  $S_D$  del índice  $I_n$  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.

### 3.2.4.1 VARIACION DEL AREA DE LA PLANTA ENTRE PISOS CONSECUTIVOS

Esta variación deja en evidencia las posibles estrangulaciones (setback) 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:

$$\begin{aligned} 0.8 \leq \frac{A_{pi}}{A_{pi+1}} \leq 1.4 & \quad \text{Buena} \\ 0.6 \leq \frac{A_{pi}}{A_{pi+1}} < 0.8 \quad \text{o} \quad 1.4 < \frac{A_{pi}}{A_{pi+1}} \leq 2.4 & \quad \text{Regular} \\ \frac{A_{pi}}{A_{pi+1}} < 0.6 \quad \text{o} \quad \frac{A_{pi}}{A_{pi+1}} > 2.4 & \quad \text{Mala} \end{aligned}$$

### 3.2.4.2 VARIACION 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:

$$FR_1 = \frac{(0.23 * \tau_o + 0.12 * \sigma_o)}{0.29 * f_c^{0.5}} \quad \text{Ec. 3.19}$$

donde:

$f_c$  = resistencia cilíndrica a la compresión del hormigón, en kgf/cm<sup>2</sup>.

$\tau_o$  = resistencia básica de corte de la albañilería, en kgf/cm<sup>2</sup>.

$\sigma_o$  = tensión normal debido a la acción de las cargas verticales, en kgf/cm<sup>2</sup>.

$$FR_2 = \frac{1}{FR_1} \quad \text{Ec. 3.20}$$

Para establecer el predominio de los elementos de 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:

$$FC = \frac{A_b * FR_2}{A_b * FR_2 + A_a} \quad \text{Ec. 3.21}$$

en que:

$A_b$ : Suma de área de elementos resistentes de hormigón en la dirección y nivel analizado.

$A_a$ : 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.

### 3.2.4.3 VARIACION DE LA RIGIDEZ

En la mayoría de los casos la rigidez de entrepiso de los muros y columnas se calculan a flexión de manera simplificada mediante la ecuación:

$$k = \frac{12 * E * I}{h^3} \quad \text{Ec. 3.22}$$

donde:

h : altura libre del elemento.

E : módulo de elasticidad del material del elemento.

I : momento de inercia de la sección transversal bruta.

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.

En algunos casos cuando los elementos verticales fallan por corte, es más conveniente calcular una rigidez de corte dada por la siguiente expresión:

$$k = \frac{G * A}{h} \quad \text{Ec. 3.23}$$

$$G = 0.4 * E \quad \text{Ec. 3.24}$$

donde:

G : módulo de corte del material del elemento.

A : área transversal del elemento.

h : altura libre del elemento.

E : módulo de elasticidad del material del elemento.

En los muros de albañilería de relleno de un marco de hormigón armado, cuando no hay un detalle que permita estar seguro que el muro esté aislado del marco, se debe aceptar que el muro interactúa con el marco produciendo un cambio en la rigidez del eje resistente, ya que los elementos del marco (vigas y columnas) no podrán deformarse libremente.

Para este último caso se considera que el conjunto columnas-muro de relleno de albañilería forman un sistema estructural equivalente a un marco arriostrado, en el cual el muro de relleno actúa como una diagonal de compresión. Esta diagonal que modela al muro de relleno tiene las siguientes propiedades:

- i. Actúa como una barra birrotulada en sus extremos
- ii. El módulo de elasticidad es el del muro de albañilería.
- iii. Su sección transversal es rectangular de ancho igual al espesor del muro ( $t$ ) y alto  $w_o$  (Bazán y Meli).

$$w_o = (0.35 + 0.022 * K) * h_r \quad \text{Ec. 3.25}$$

donde:

$$K = \frac{E_c * A_c}{G_m * A_m} \quad \text{Ec. 3.26}$$

en que

$E_c$ : módulo de elasticidad del hormigón.

$A_c$ : área sección transversal de la menor de las columnas

$G_m$ : módulo de corte de la albañilería, para este efecto Bazan y Meli recomiendan considerarlo igual a:  $0.4 * E_m$ .

$A_m$ : área de la sección transversal del muro de albañilería

La ecuación de  $w_o$  es válida para:

$$0.9 < K < 11$$

$$0.75 < h_r / l_r < 2.5$$

donde:

$h_r$ : altura entre los ejes de las vigas del marco.

$l_r$ : distancia entre los ejes de las columnas del marco.

De esta manera el área de la sección transversal de la diagonal está dada por:

$$A_d = t * w_o \quad \text{Ec. 3.27}$$

Conocidas las propiedades del marco arriostrado equivalente se considerará que su rigidez lateral esta dada por la rigidez al esfuerzo de corte (Monge):

$$K_{mr} = \frac{E_d * A_d * \cos^2(\alpha)}{L_d} \quad \text{Ec. 3.28}$$

donde:

$l_d$ : largo de la diagonal.

$$L_d = \sqrt{h_r^2 + l_r^2} \quad \text{Ec. 3.29}$$

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

$$K_{xx} \text{ o } K_{yy} = \sum k_{xx} \text{ o } \sum k_{yy} \quad \text{Ec. 3.30}$$

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:

$$0.5 < \frac{K_{i+1}}{K_i} \leq 1.5 \quad \text{Ec. 3.31}$$

y

$$\frac{\frac{1}{3} \cdot \sum_{j=i+1}^{i+3} K_j}{K_i} \leq 1.25 \quad \text{Ec. 3.32}$$

#### 3.2.4.4 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 (no acoplado). Los límites para calificar el edificio desde este punto de vista se establecen en función de la relación de la excentricidad ( $e_x$  o  $e_y$ ) 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 ( $l$ ). Para calificar la situación se considera que si:

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

### 3.2.4.6 VARIACION 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/m<sup>2</sup> 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:

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

### 3.2.5 DETERMINACION DE LOS INDICES A CALCULAR

Dependiendo de las características del piso en la dirección considerada, los índices que se determinan para evaluar la vulnerabilidad estructural son los siguientes.

i. Predominio de los muros de hormigón armado ( $F_c \geq 0.8$ )

En estos casos se calculan los índices:  $I_{sm}$ ,  $I_c$ ,  $I_t$  e  $I_h$

ii. Predominio de los muros de albañilería ( $F_c \leq 0.2$ ).

En estos casos se calculan los índices:  $I_h$  e  $I_m$ .

iii. Predominio de los pórticos de hormigón armado o cuando no predominan ni los muros de hormigón armado ni los muros de albañilería ( $0.2 < F_c < 0.8$ ).

En estos casos se calcula el índice:  $I_h$

### 3.2.6 EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Teniendo en cuenta que este trabajo es un estudio preliminar de la vulnerabilidad sísmica, los métodos que se han seleccionado corresponden a aquellos que califican la calidad sismorresistente de un edificio a partir de las características más relevantes utilizando índices de fácil determinación.

Los métodos seleccionados no establecen lo que debe hacerse en el caso de que la estructura resulte sísmicamente vulnerable. Para estos casos se debe realizar un estudio más detallado, estudiando las características dinámicas, resistentes y de deformación mediante métodos refinados de cálculo estructural que están fuera del alcance del presente estudio.

La vulnerabilidad estructural de cada edificio se determina con los índices detallados en los puntos 3.2.1, 3.2.2 y 3.2.3 de este capítulo y se complementa con las variaciones que presentan las propiedades de acuerdo con el punto 3.2.4.

### 3.2.7 ANALISIS DEL INDICE DE COMPORTAMIENTO SISMICO PARA EDIFICIOS ESTRUCTURADOS CON MARCOS

En el capítulo 5 se realiza una serie de variaciones al índice de Hirosawa ( $I_h$ ) para los edificios de marco considerando los factores que influyen en él de acuerdo al análisis que se realiza a continuación.

Para los edificios estructurados con marcos la capacidad resistente queda definida por la ecuación 3.33.

$$E_o = \frac{(n+1)}{(n+i)} * C_c * F \quad \text{Ec. 3.33}$$

Analizando esta expresión se observa que los factores que intervienen en ella son:

**a. Factor de piso :  $(n+1)/(n+i)$**

Este factor representa la relación entre el corte que actúa en el piso  $i$  ( $Q_i$ ) y la suma de los pesos de los pisos ubicados sobre el piso  $i$  ( $W_i = \sum w_j$ ) en que  $w_j$  es el peso sísmico del piso  $j$ .

**b. Factor de Resistencia :  $C_c$**

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

De la expresión de  $C_c$  se observa que este factor depende de:

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

A falta de ensayos disponibles se establece  $f_c$  con el criterio sugerido por la norma NCh170 y las especificaciones de los planos de cada proyecto.

Sin embargo también se analizará como varía el índice al ocupar los valores de  $f_c$  obtenidos en pruebas realizadas con el martillo Schmidt en las visitas a terreno.

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

El método de Hirosawa establece una clasificación de las columnas de acuerdo con su esbeltez, separándolas en dos grupos ( $A_{c1}$ ,  $A_{c2}$ ), considera para ello una esbeltez límite igual a 6.0.

Las columnas menos esbeltas ( $h/b \leq 6.0$ ) corresponden a la designación  $A_{c1}$  y se les asigna una resistencia al corte promedio de  $10 \text{ kg/cm}^2$ , las más esbeltas ( $h/b \geq 6$ ) designadas como  $A_{c2}$  tienen una resistencia al corte de  $7 \text{ kg/cm}^2$

El valor de resistencia que corresponde a cada tipo de columna puede ser mayor que el establecido, para ello habría que realizar un análisis más detallado de como estimar la resistencia

Teniendo en cuenta lo anterior se evalúa el índice considerando los dos tipos de columnas y también se determina la resistencia según la norma ACI.

### **Resistencia de corte según la norma ACI**

Se determina la resistencia al corte de acuerdo a las recomendaciones de la norma ACI considerando la contribución del hormigón y la armadura de los estribos utilizada.

Las expresiones utilizadas son:

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

$$V_a = (A_v \cdot F_y \cdot d) / s \text{ [kgf]}$$

en que:

$V_c$  : Resistencia proporcionada por el hormigón

$V_a$  : Resistencia proporcionada por el acero.

$f_c$  : Resistencia a la compresión del hormigón [ $\text{kgf/cm}^2$ ].

$b$  : Ancho de la columna [cm].

$d$  : Altura útil de la columna [cm].

$A_v$  : Área de estribos [ $\text{cm}^2$ ].

$F_y$  : Fluencia del acero [ $\text{kgf/cm}^2$ ].

$s$  : Separación entre estribos [cm]

## **b. Factor de Ductilidad : F**

En el caso de estructuras de este tipo y teniendo en cuenta que no hay columnas cortas, Hirosawa recomienda conservadoramente un valor de  $F=1.0$ .

De acuerdo al trabajo de Murakami et al. (1992) este valor de  $F$  puede ser mayor, entre 1.27 y 3.2 dependiendo del modo de falla que controle el comportamiento del marco. El mayor valor se recomienda para marcos dúctiles (falla de flexión en marcos diseñados con columna fuerte, vigas débiles).

El valor de  $F=1.0$  considerado por Hirosawa se fundamenta en que la falla que controla el comportamiento de las columnas es el corte.

En relación a lo antes mencionado se concluye que el factor de ductilidad  $F$  sólo depende del modo de falla que esta controlando y para conocer el modo de falla se debe hacer un análisis más profundo como el desarrollado por Proust (1990) para el hospital de San Antonio.

Teniendo en cuenta el alcance de este trabajo se aceptará que  $F=1.0$ .

### 3.2.8 COMENTARIOS AL CALCULO DE LA VULNERABILIDAD

#### 3.2.8.1 METODO DE HIROSAWA

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

##### a. Término $E_o$

Al revisar los términos que intervienen en la expresión con la que se calcula  $E_o$ , 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  $A_{m1}$
- 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  $1000 \text{ kgf/m}^2$ . 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 más inseguro en la medida que el peso por piso sea mayor debido al aumento de las fuerzas de reactivas.

iii. En la ecuación de  $E_o$  interviene un factor de reducción ( $\alpha_j$ ), cuya magnitud depende de las características de las subestructuras verticales que forman el sistema simorresistente 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  $E_o$  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  $E_o$  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  $E_o$  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  $E_o$  que pueda resultar muy conservador.

### 3.3 VULNERABILIDAD DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Los daños producidos por un gran número de los eventos sísmicos ocurridos en los últimos 15 años ponen de manifiesto que las pérdidas debidas al daño de elementos no estructurales representan una parte importante de los costos de reparación y una de las principales causas de la pérdida del servicio de algunos edificios, estos daños se pueden presentar tanto en sismos severos como en sismos de características moderadas.

La información recogida desde el punto de vista de las pérdidas causadas por daños en elementos no estructurales de edificios modernos de hormigón armado o acero, permite establecer que éstas representan más del 70% del costo de reparación para el caso de terremotos destructivos y que pueden llegar a sobrepasar el 90% del costo de reparación para el caso de terremotos de moderada intensidad (Decanini et al.,1994)

Se debe analizar principalmente la disposición de los elementos no estructurales en los servicios que son fundamentales durante y después del sismo, visualizando riesgos y posibles acciones para mitigarlos.

A continuación se detallan los elementos no estructurales en estudio y se establecen los procedimientos y etapas de la evaluación. Además se entregan los criterios y aspectos utilizados para realizar la evaluación de la vulnerabilidad.

### **3.3.1 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES EN ESTUDIO**

Las componentes no estructurales que se analizarán se agrupan en tres grupos básicos, los cuales son:

- i) Componentes arquitectónicos: Cielo falso, tabiques, parapetos, cornisas, ventanas, chimeneas, etc.
  
- ii) Equipamiento:
  - a. Sistemas eléctricos y mecánicos: Ascensores, calderas, transformadores, grupos electrógenos, compresores, motobombas, etc.
  - b. Equipos Médicos y de Apoyo al Diagnóstico: Equipos, utensilios clínicos, recipientes, etc.
  
- iii) Líneas vitales: Red de agua potable, red eléctrica, red de aguas servidas, red de gases clínicos.

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

### **3.3.2 PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION**

La clasificación de sistemas y subsistemas utilizados para la evaluación de la vulnerabilidad no estructural es una versión modificada de la propuesta por McGavin (1981), y corresponde a las siguientes cinco tipos de 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 requeridos 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.

McGavin recomienda dos metodologías básicas de calificación, ellas son: Criterio I, la especificación de diseño, asociado a equipo o sistema clasificados como A y B y la especificación de diseño, Criterio II, asociado a las categorías C, D y E.

Según McGavin, la clasificación utilizando el criterio I se debe basar en los siguientes procedimientos:

- a) Pruebas en Masa Vibradora.
- b) Análisis Matemático (estático y dinámico).
- c) Experiencia previa.
- d) Criterio de grupo de expertos
- e) Combinación de lo anterior

El objetivo del criterio II es asegurar que el equipo analizado permanecerá fijo durante la emergencia. Para esta evaluación se recomienda el uso de un coeficiente sísmico y un análisis estático. En situaciones especiales se puede requerir los procedimientos establecidos en el criterio I.

En este estudio preliminar se utilizará como criterio de evaluación la experiencia previa en combinación con el criterio de un grupo de expertos.

### **Experiencias pasadas**

En muchas ocasiones el equipo y principalmente los elementos arquitectónicos y las redes de líneas vitales, 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 criterio de un 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 no estructurales a través de inspecciones, estudio de detalles arquitectónicos y sugerir mecanismos o instalaciones para reducir la vulnerabilidad de estos elementos.

### **3.3.3 ETAPAS DE LA EVALUACION**

#### **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 recuperación.
- Laboratorio.
- Banco de sangre.
- Servicio de rayos
- Sala de calderas
- Farmacia
- Lavandería.
- Alimentación.
- Servicios de suministros de agua potable, electricidad, vapor y evacuación de aguas servidas.

#### **Selección de equipos médicos y maquinaria**

En esta etapa se seleccionan aquellos equipos y maquinaria indispensables para mantener funcionando los servicios, de acuerdo a la información proporcionada por médicos expertos en la atención en casos de desastre y emergencia. Los equipos seleccionados serán analizados en las visitas a terreno evaluando su disposición e importancia y son los siguientes:

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.
- Electrodiatermia.
- 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 de Cultivo.
- Fotómetro de Llama.
- Freezer Banco de Sangre.
- Gamma Cámara.
- Contador Geiger.
- Microscopio Inmunoflujo.
- Microscopio Operatorio
- 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 Montacargas.

### **Visualización de posibles riesgos**

En esta parte 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 adherencia o topes en los bordes de la mesa.
- Ubicación de equipos sobre otros equipos sin un sistema de amarre o colocados sobre estructuras inestables.
- Un riesgo potencial lo presenta la gran cantidad de artefactos de vidrios y cajas pesadas que se colocan en la parte superior de estantes y sin un sistema de soporte.
- Equipos pesados portátiles dejados sin frenos ni anclajes en corredores obstruyendo el paso.
- Equipos o muebles pesados apoyados en muros, se pueden mover o volcar por el movimiento del piso o flexión de los muros, colocando gente en peligro.

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

- Desplazamiento de camas, 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 un sismo, se programan visitas a los centros hospitalarios con el fin de verificar si están preparados para soportar un evento de este tipo.

### **Clasificación de la evaluación**

Después de analizar el estado en el que se encuentran los elementos no estructurales, se procede a ver cuales pueden clasificarse como vulnerables y cuales no.

La vulnerabilidad de cada uno de los elementos no estructurales analizados se clasifica en tres grupos: baja, media y alta. Finalmente se indica usando esta misma escala, el impacto que representa esta vulnerabilidad para el hospital.

Los aspectos considerados para la evaluación y el impacto en el sistema se entregan en las tablas 3.9 y 3.10.

### **Recomendaciones**

Dependiendo de la clasificación de cada elemento, se proponen mecanismos de seguridad para aquellos que los requieran y se dan recomendaciones que aseguren un buen comportamiento de los distintos elementos durante el sismo.

**Tabla 3.9.** Aspectos a considerar en la Vulnerabilidad de Elementos No Estructurales.

ELEMENTO	VULNERABILIDAD		
	Baja	Media	Alta
1.- Tabiques divisorios y Fachadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existe holgura con el sistema estructural flexible.</li> <li>- Hay seguridad al volcamiento y vaciamiento.</li> <li>- Se ubica en una estructura muy rígida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existe independencia con el sistema estructural.</li> <li>- La estructura es rígida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existe independencia con el sistema estructural.</li> <li>- Sistema estructural flexible.</li> <li>- Posibilidad de volcamiento o vaciamiento.</li> </ul>
2.- Vidrios	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existe holgura entre el vidrio y marco de ventana.</li> <li>- Unión entre el vidrio y el marco de ventana flexible o deslizante.</li> <li>- Posee protección (láminas adhesivas, malla interior metálica, etc).</li> <li>- Sistema estructural rígido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existe holgura limitada entre vidrio y marco de ventana.</li> <li>- No poseen protección.</li> <li>- Sistema estructural rígido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existe holgura entre vidrio y marco.</li> <li>- No posee protección.</li> <li>- Estructuración flexible.</li> </ul>
3.- Cielos Falsos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arriostrado lateral y verticalmente.</li> <li>- Ubicado bajo losa rígida.</li> <li>- De pequeña dimensión.</li> <li>- Confinado por muros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Paños pequeños sin arriostramiento.</li> <li>- Se ubica en sector confinado por muros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sin arriostramientos.</li> <li>- Paños grandes.</li> <li>- Sin losa.</li> </ul>
4.- Iluminación	<p>Sin cielo Falso :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anclaje adecuado.</li> <li>- Cubierta segura y si no tiene cubierta, con protección en los tubos.</li> </ul> <p>Con cielo Falso :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anclaje adecuado.</li> <li>- Cubierta segura, y si no tiene cubierta con protección en los tubos.</li> <li>- Suspensión independiente de cielo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anclaje adecuado.</li> <li>- Cubiertas y algunos tubos sin sistemas de amarre para evitar su caída.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anclaje inadecuado.</li> <li>- No hay sistemas de amarre de tubos ni cubiertas.</li> </ul>
5.- Recubrimientos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elemento de apoyo rígido (espesor importante).</li> <li>- Espesor del enlucido 2 cm o menor.</li> <li>- Buena adherencia (no soplado).</li> <li>- Sin muestra de agrietamiento y filtración.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elementos de apoyo de gran superficie.</li> <li>- Buena adherencia.</li> <li>- Espesor medio de 3 a 4 cm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gran espesor del enlucido.</li> <li>- Mala adherencia.</li> <li>- Muestras de agrietamiento y filtraciones.</li> </ul>
6.- Escaleras	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura auto-soportante.</li> <li>- Apoyos deslizantes con dimensión adecuada.</li> <li>- Capacidad de deformación acorde con la flexibilidad de la estructura.</li> <li>- Elementos de cierre con vulnerabilidad baja.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unida a una estructura rígida.</li> <li>- Elementos de cierre con vulnerabilidad media.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unida a una estructura flexible.</li> <li>- Elementos de cierre con vulnerabilidad alta.</li> <li>- Apoyo deslizante con dimensión inadecuada.</li> </ul>
7.- Chimenea	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material : Hormigón reforzado, Acero.</li> <li>- Relación de aspecto baja.</li> <li>- Anclajes y fundación adecuados.</li> <li>- Recubrimiento adecuado.</li> <li>- Arriostramientos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Albañilería reforzada.</li> <li>- Relación de aspecto baja.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material frágil.</li> <li>- Esbelta.</li> <li>- Anclaje, arriostramiento y fundación inadecuado.</li> </ul>
8.- Parapetos, Comizas, Letreros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Liviano y refuerzo adecuado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pesado y refuerzo limitado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pesado y refuerzo inadecuado.</li> </ul>
9.- Mobiliario	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anclaje adecuado.</li> <li>- Posee dispositivo de seguridad para su contenido.</li> <li>- Estructura resistente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anclaje adecuado.</li> <li>- Falta protección de contenido.</li> <li>- Estructura resistente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anclajes y apoyos inadecuados.</li> <li>- No existe protección de contenido.</li> <li>- Estructura débil.</li> </ul>
10.- Líneas Vitales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Independencia mayor que 4 días.</li> <li>- Abastecimiento seguro de servicios críticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Independencia entre 1 y 4 días.</li> <li>- Abastecimiento seguro de los servicios críticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Independencia menor de 1 día.</li> <li>- No abastece a la mayoría de servicios críticos.</li> </ul>
11.- Equipamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta tolerancia a la vibración.</li> <li>- Apoyo seguro.</li> <li>- Baja esbeltez.</li> <li>- Conexiones flexibles.</li> <li>- Ubicación segura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mediana tolerancia a la vibración.</li> <li>- Apoyo seguro.</li> <li>- Mediana esbeltez.</li> <li>- Conexiones flexibles.</li> <li>- Ubicación segura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja tolerancia a la vibración.</li> <li>- Apoyo inadecuado.</li> <li>- Conexiones rígidas.</li> <li>- Ubicación insegura.</li> </ul>
12.- Condiciones en la Junta de Dilatación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existe junta adecuada en todo elemento que la cruce (tabiquerías, cielos falsos, tuberías, etc).</li> <li>- Sistema rígido o flexible.</li> <li>- Aislamiento y protección.</li> <li>- Limpia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existe junta en los elementos que la cruzan.</li> <li>- Sistema rígido.</li> <li>- Protección.</li> <li>- Limpia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existe junta en elementos que la cruzan.</li> <li>- Sistema flexible.</li> <li>- Sucia.</li> </ul>

**Tabla 3.10.** Aspectos a evaluar en el Impacto en el Sistema de Elementos No Estructurales.

ELEMENTO	IMPACTO		
	Bajo	Medio	Alto
Tabiques, Vidrios, Cielo Falso, Iluminación, Recubrimientos, Mobiliario	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicación en lugares donde no hay paciente y de baja ocupación.</li> <li>- Cantidad ilimitada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicación en lugares de moderada ocupación de pacientes.</li> <li>- Cantidad limitada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicación en lugares de alta ocupación de pacientes, de ocupación de pacientes en estado crítico y de alta circulación.</li> </ul>
Fachadas, Escaleras, Chimeneas, Comizas, Parapetos, Letreros, Condiciones en la Junta de Dilatación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicación en zonas de escasa circulación y escasa ocupación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicación en zonas de circulación moderada y baja aglomeración.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicación en zonas de alta circulación, de concentración de personas y de ocupación de pacientes en estado crítico.</li> </ul>
Equipamiento y Contenidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De Oficina.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Médico y de Apoyo al Diagnóstico.</li> <li>- Industrial.</li> </ul>