

MÉTODO ESTÁTICO

- El método se basa en la aplicación de fuerzas horizontales en el centro de masa de la estructura.
- Se debe utilizar para estructuras del tipo I y II (Ver NCh3172)
- Estructuras de no mas de 5 pisos y 20 metros de altura.
- **CORTE BASAL ACTUANDO EN LA ESTRUCTURA**

$$Q = C \cdot I \cdot P$$

C : Coeficiente de aceleración

I : Coeficiente relativo al edificio

P : Peso total del edificio calculado sobre el nivel basal.

El coeficiente relativo al edificio en viviendas sociales o edificios de albañilería es **I = 1.0**

MÉTODO ESTÁTICO

El coeficiente de aceleración debe ser calculado en base a lo estipulado en la NCh 433of96 Mod.2009, considerando la siguiente fórmula.

$$C = \frac{2.75 \cdot S \cdot A_o}{g \cdot R} \left(\frac{T'}{T^*} \right)^n$$

Ao : Aceleración efectiva de zona sísmica
(Z-1:0.2g / Z-2:0.3g / Z-3: 0.4g)

g: Aceleración de gravedad (9.8 m/s²)

R: Factor de reducción
(en edificios de albañilería utilizar R = 3)

n, T' : parámetros relativos al suelo de fundación

T* Período del modo con mayor masa traslacional en la dirección del análisis.

El coeficiente de corte **no debe exceder ni ser menor** que los siguientes valores:

$$S \cdot \frac{A_o}{6 \cdot g} \leq C \leq C_{\max}(R)$$

$$C_{\max}(R=3) = 0.6 \frac{S \cdot A_o}{g}$$

DETERMINACION DE PESO SISMICO

- Por normativa en edificios que no presenten aglomeraciones de personas, (Categorías I y II) se puede calcular el peso sísmico como:

$$P = PP + 0.25 \cdot SC$$

- En caso contrario considerar un 50% de la sobrecarga.
 - **Para el análisis que se requiere, se consideraran las siguientes sobrecargas de uso (NCh 1547):**
 - 1. Áreas de uso común 500 kg/m²
 - 2. Dormitorios y buhardillas habitables 200 kg/m²
 - 2. Balcones que no excedan los 10 m² 300 kg/m²
 - 3. Entretecho con almacenaje 150 kg/m²
 - **Para el análisis del peso muerto por unidad de área, cargas permanentes (maquinarias, pisos, terminaciones, tabiques etc.):**

	Carga	kg/m ²
1.1	1 centímetro de relleno de piso (considerar 3 cm)	20
1.2	Yeso (considerar 2 centímetros en losas)	10
1.4	PP de techumbre de madera con tejas	160
1.5	Tabiques	40
1.6	Yeso cartón de 10 mm (en techo de ultimo piso)	10

DETERMINACIÓN DE PESO SÍSMICO

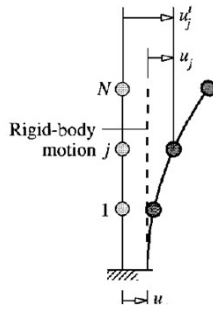
- **Para el análisis del peso muerto de la estructura, es posible utilizar las siguientes densidades:**

1	Elaborados	kg/m ³
1.1	Albañilería de ladrillo hecho a mano	1600
1.2	Albañilería de ladrillo hecho a maquina	1800
1.3	Albañilería de ladrillo hueco	1300
1.4	Hormigón sin armar	2400
1.5	Hormigón armado	2500
2	Mampostería de hormigón	kg/m ³
2.1	Cemento, piedra, arena	2310
2.2	Cemento, escorias, arena	2080
2.3	Cemento, ceniza, arena	1600
3	Morteros	kg/m ³
3.1	Mortero de cemento	2000
3.2	Mortero de cal o yeso	1750

Nota importante: Debido a que los bloques de hormigón **no consideran el relleno total de huecos** se utilizará una densidad de 2 T/m³ (Muñoz, 1992)

DETERMINACIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE OSCILACIÓN

Se debe analizar dinámicamente a través de un modelo de masas concentradas en las direcciones principales:



MATRIZ DE RIGIDEZ (Tonf/m)

$$K = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 \end{bmatrix}$$

MATRIZ DE MASA (Tonf*s2/m)

$$m = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}$$

Se busca desacoplar los modos del problema mediante el método modal-espectral de dimensión finita.

DETERMINACIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE OSCILACIÓN

Determinación de las frecuencias naturales de oscilación del sistema (eigenvalues, ω^2):

$$[K] - \omega^2 \cdot [m] = 0$$

$$\omega = [\text{rad/s}] \quad \omega = 2\pi / T$$

Determinación de los modos naturales de oscilación del sistema (eigenvectors, Φ):

$$([K] - \omega_i^2 \cdot [m]) \cdot \{\phi_i\} = 0$$

Masa traslacional correspondiente a cada modo de oscilación (permite confirmar el periodo fundamental):

$$\bar{m}_i = \frac{\left(\sum_k m_k \phi_{ki} \right)^2}{\sum_k m_k \phi_{ki}^2}$$

RIGIDEZ LATERAL

La rigidez lateral de cada muro puede ser calculada usando la expresión de la teoría de vigas, considerando que los muros se encuentran en voladizo o doblemente empotrados, interconectados por bielas axialmente rígidas, usadas como elementos que compatibilizan el desplazamiento lateral (San Bartolomé):

**MURO EN
VOLADIZO**

$$\frac{1}{K} = \frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{\gamma \cdot h_{alb}}{G \cdot A}$$

**MURO
BI-EMPOTRADO**

$$\frac{1}{K} = \frac{h^3}{12 \cdot E \cdot I} + \frac{\gamma \cdot h_{alb}}{G \cdot A}$$

γ	factor de forma
E	Modulo de elasticidad de la albañilería.
I	Momento de inercia de la sección
G	Modulo de inercia de la sección.
A	Área de la sección transversal transformada
h	Altura de muro.
h_{alb}	Altura del paño de albañilería.

RIGIDEZ LATERAL (PRÁCTICA CHILENA)

Para la práctica Chilena:

I	Momento de inercia de la sección transformada, calculada con
n	E_c/E
E	Modulo de elasticidad de la albañilería. (caso sísmico 1000 f'm)
G	$0.3 E$
γ	1.2
E_c	$4700(f'c)^{1/2}$ [MPa] (estático, Norma ACI)
R_{28}	Resistencia cúbica del hormigón a los 28 días.

Por lo tanto, la rigidez lateral en cada dirección es:

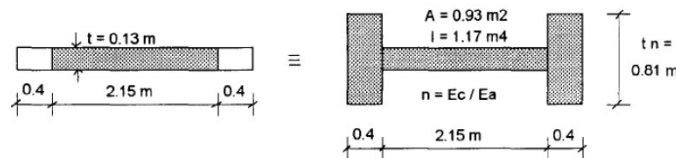
$$K_{yy} = \sum_{i=1}^n K_{yi} \quad K_{xx} = \sum_{i=1}^n K_{xi}$$

INERCIA DE LA SECCIÓN TRANSFORMADA

1- MURO AISLADO:

Albañilería armada: En este caso la sección se puede considerar homogénea, por lo tanto, no existe sección transformada: $A_t = A_{mb}$

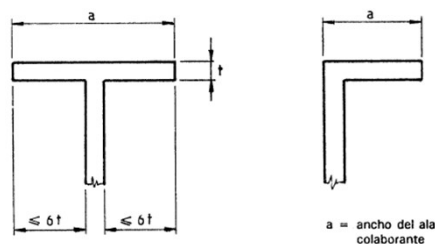
Albañilería confinada: Se busca analizar una sección homogénea, por lo tanto, se genera una sección transformada donde los pilares aumentan su ancho para incluir las diferencias de rigidez y deformación entre ambos materiales.



INERCIA DE LA SECCIÓN TRANSFORMADA

2- MUROS CON COLABORACIÓN: ENCUENTROS Y ESQUINAS.

Albañilería armada: Es posible considerar las indicaciones entregadas por la norma Nch1928



Albañilería confinada: Si bien la norma no lo especifica, algunos autores como San Bartolomé, consideran en sus modelaciones una colaboración del 25% del largo del muro en dirección perpendicular, ancho que se debe sumar a la sección transformada de los pilares.

DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS POR PISO.

Las fuerzas sísmicas en cada piso, se calculan en base a las siguientes formulas:

$$F_k = \frac{A_k P_k}{\sum_{i=1}^N A_i P_i} Q_o \quad A_k = \sqrt{1 - \frac{Z_{k-1}}{H}} - \sqrt{1 - \frac{Z_k}{H}}$$

H: Altura total del edificio sobre el nivel basal
 Zk: Altura del nivel k, sobre el nivel basal
 Pk: Peso asociado al nivel
 Qo: Corte basal

Por lo tanto, el corte y momento actuando en cada piso, se calcula como:

CORTE EN EL PISO i

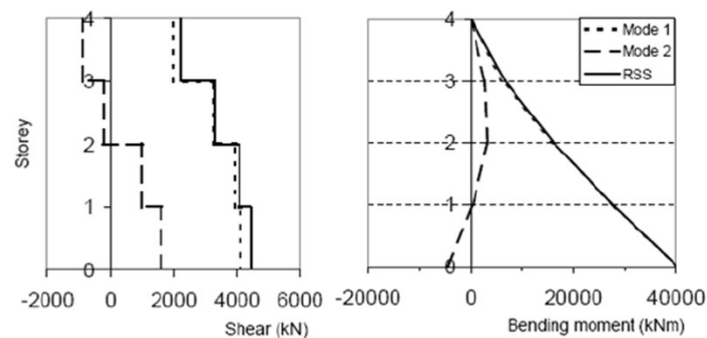
$$V_i = \sum_{j=i}^N F_j$$

MOMENTO VOLCANTE EN PISO i

$$V_i = \sum_{j=i}^N (h_j - h_i) \cdot F_j$$

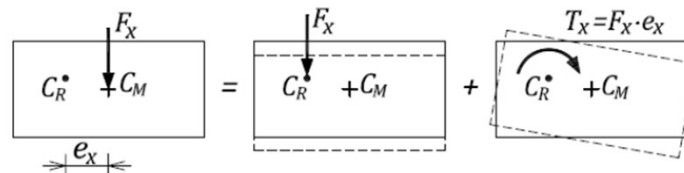
N = numero de pisos del edificio

PERFIL DE ESFUERZOS ACTUANDO EN EL EDIFICIO



TORSIÓN ACTUANDO EN EL PISO

Al no coincidir el centro de masa con el centro de rigidez, se produce un esfuerzo que genera un giro en la estructura aumentando las fuerzas de corte en los elementos estructurales.



Los probables problemas constructivos, incertezas en la distribución de las cargas obligan a utilizar un valor de torsión mínimo u adicional a la excentricidad existente, denominado **"Torsion accidental"**. Donde la excentricidad, queda determinada por:

$$\pm 0.10 \cdot b_{kx} \cdot Z_k / H$$

$$\pm 0.10 \cdot b_{ky} \cdot Z_k / H$$

b_{ki} : largo del piso en dirección perpendicular a la fuerza

INTRODUCCIÓN AL ANALISIS DE VULNERABILIDAD DE EDIFICIOS DE ALBAÑILERIA

Se busca establecer un diagnostico de la vulnerabilidad de una estructura mediante índices de comportamiento cuantativos simplificados, en cuya definición se consideran las características mas importantes del sistema estructural.

(1) INDICES DE VULNERABILIDAD

(a) Indices de Primer Nivel: Califican la vulnerabilidad a partir de características sismorresistentes mas significativas. Requieren de poca informacion y son faciles de obtener.

(b) Indices de Segundo Nivel: Califican la vulnerabilidad a partir de un analisis detallado de las características sismorresistentes del edificio.

INDICE DE PRIMER NIVEL: PERIODO FUNDAMENTAL

Se observo que la formula empírica que mejor se ajusta a los periodos fundamentales de edificios de albañilería, es la siguiente (Pérez, 2005):

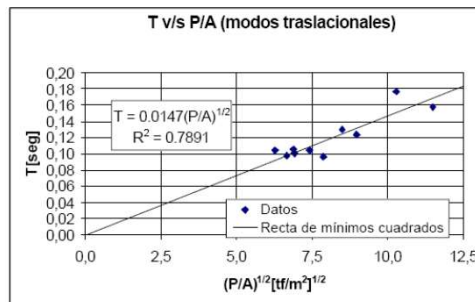


Figura 5.1 Periodo fundamental de vibración en función de la relación $(P/A)^{1/2}$

P: Peso del edificio en toneladas

A: Área de muros en la dirección que se analiza, medida en metros cuadrados.

INDICES DE PRIMER NIVEL DENSIDAD DE MUROS. INDICE DE MELI (1991)

Se ha observado una buena correlación entre la densidad de muros por unidad de piso y el daño observado durante eventos sísmicos de intensidad considerable.

$$d / n = \sum_{i=1}^m \frac{F_i \cdot A m_i}{A_p \cdot n}$$

Donde:

- m numero de muros en la dirección analizada
- n numero de pisos del edificio
- Fi Factor que reduce la contribución de un muro para tomar en cuenta su esbeltez, sus valores son:
 = 1,0 Si $H_i/L_i < 1.33$
 = $(1.33 L_i/H_i)$ Si $H_i/L_i > 1.33$
- Ami área de la sección transversal del muro i
- Hi altura del muro i
- Li largo del muro i
- Ap área de la planta tipo del edificio.

DENSIDAD DE MUROS. EXPERIENCIA EN EDIFICIOS CHILENOS

TABLA. Relación entre el nivel de daño y la densidad de muros de edificios de albañilería confinada construidos con ladrillos cerámicos (Kupfer, 1993)

Nivel de daño	Categoría de daño	Densidad de muros, d/n en %
Daño Leve	0 y 1	$\geq 1,15$
Daño Moderado	2	$\geq 0,85$ y $< 1,15$
Daño Severo	3	$\geq 0,5$ y $< 0,85$
Daño Grave	4 y 5	$< 0,5$

TABLA. Relación entre el nivel de daño y la densidad de muros de edificios de albañilería confinada construidos con bloques huecos de Hormigón en el Norte Grande (Román, 2009)

Nivel de daño	Categoría de daño	Densidad de muros, d/n en %
Daño Leve	0 y 1	$\geq 2,5$
Daño Moderado	2	$\geq 2,0$ y $< 2,5$
Daño Severo	3	$\geq 1,0$ y $< 2,0$
Daño Grave	4 y 5	$< 1,0$

CORRELACION ENTRE DAÑO E INTENSIDAD SISMICA

Según Escala MSK Modificada






CATEGORIA A: ADOBE

CATEGORIA B: ALBAÑILERIA SIN REFORZAR

CATEGORIA C: ALBAÑILERIA REFORZADA.

CATEGORIAS DE DAÑOS

Grado	Nivel	Descripción
G0	Sin daño	No hay daño de ningún tipo
G1	Daños Leves	Grietas finas en estucos. Caída de pequeños trozos de estuco.
G2	Daños Moderados	Grietas horizontales en antefechos, tímpanos chimeneas. Grietas pequeñas en los muros bajo el nivel del cielo. Grietas verticales en encuentro de muros. Caída de grandes trozos de estuco. Corrimientos de tejas. Grietas en las chimeneas e incluso derrumbes parciales en las mismas.
G3	Daños Severos	Grietas diagonales largas y profundas en los muros bajo el nivel del cielo. Grietas verticales en encuentro de muros con separación, indicando desaplomo. Caída de antefechos, tímpanos o chimeneas. Grietas en tabiques divisorios.
G4	Destrucción Parcial	Caída de un muro o parte de un muro bajo el nivel del cielo. Tabiques divisorios y rellenos de la estructura se derrumban.
G5	Colapso	Caída de más de un muro. Destrucción total del edificio.

	Grado 1: Sin daño o daño leve (Sin daño estructural, daño estructural leve). Grietas muy delgadas en pocos muros. Caídas de pequeños pedruzcos de revello (estuco). Caída de pocas vueltas desde la parte alta de edificios en muy pocos casos.
	Grado 2: Daño moderado (Daño estructural leve, daño no estructural moderado). Grietas en muchos muros. Caída de pedruzcos grandes de revello. Colapso parcial de chimeneas.
	Grado 3: Daño substancial a severo (Daño estructural moderado, daño no estructural moderado). Grietas largas y extensas en casi todos los muros. Caída de tejas. Fractura de las chimeneas en la línea del techo; falla de elementos individuales no estructurales (particiones, tabiquería).
	Grado 4: Daño muy severo (Daño estructural severo, daño no estructural muy severo). Falla seria en muros, falla estructural parcial de techos. Falla de techos y pisos.
	Grado 5: Destrucción (Daño estructural muy severo). Colapso o casi colapso total.

GRADO MEDIO DE DAÑO.

A partir de una muestra se puede estimar el daño en una zona.

$$Gm = \sum_{i=1}^5 \frac{D_i \cdot N_i}{N}$$

Di : Índice de daño (grado) 1 al 5
Ni : Numero de casas con un daño i.
N: numero total de casa

GRADO MEDIO DE DAÑO EDIFICIOS MULTIFAMILIARES / VARIOS PISOS.

$$Gm = \sum_{i=1}^N \frac{D_i \cdot N_i}{N}$$

Di : Índice de daño (grado)
Ni : Numero de muros con un daño i.
N: numero total de muros del piso estudiado.

FIGURA. Tipos de Daño Sísmico
(Fuente: EMS, 1998)



Desprendimiento de estuco(G2) en Lolol.



Grietas verticales en encuentro de muros (G2) en Peralillo.



Grietas diagonales en muro (G3) en Pichidegua.



Colapso de más de un muro (G5) en Peralillo

Imágenes:

Daños en viviendas de Adobe
(Astroza,2010)



Caída de antetecho (G3) en Santiago



Grieta en encuentro de muros (G2) en Santiago



Caída de parte de un muro (G4) en Angol.



Caída de dos muros (G5) en Parral.

Imágenes:

Daños en viviendas de albañilería sin refuerzo
(Astroza, 2010)



Agrietamiento antetecho (G2) en Cauquenes



Agrietamiento tímpano (G2) en Cauquenes



Grietas diagonales en muro (G3) en Cauquenes



Caída de parte de un muro y grieta en zona crítica del pilar (G5) en un edificio de 3 pisos en Cauquenes.

Imágenes:

Daños en viviendas de albañilería confinada (Astroza, 2010)