



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Análisis, diseño y evaluación del desempeño sísmico de una edificación dual de concreto reforzado de mediana altura, basado en el Método Directo de Desplazamientos

AUTORES:

Jessica Michelle Andrango Pachacama

María Guadalupe Gilces Alcívar

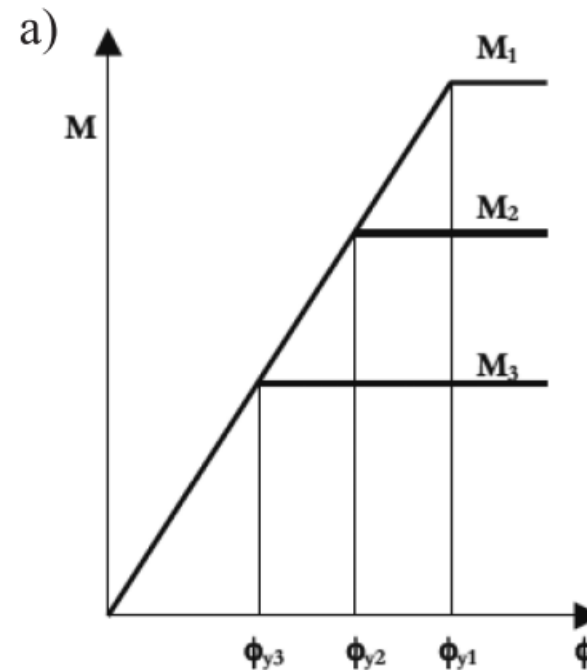
TUTOR:

Ing. Ana Gabriela Haro Báez, PhD.

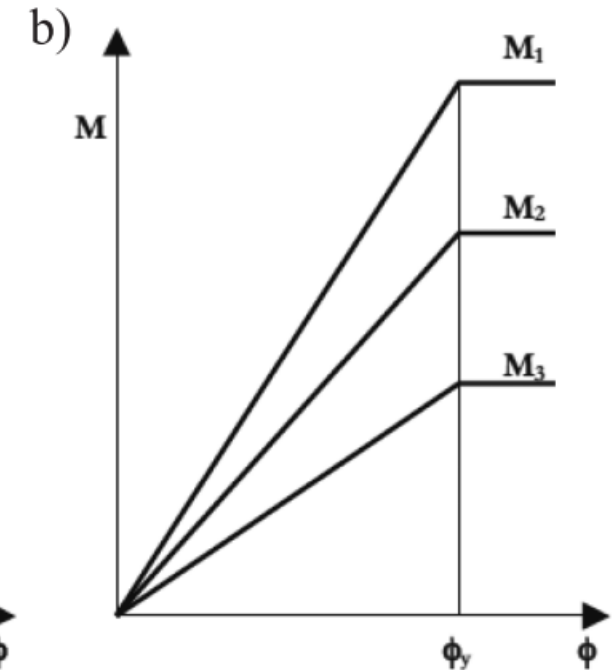
Sangolquí, 28 de agosto 2023



- Método de diseño basado en fuerzas (DBF)
- Método directo de diseño basado en desplazamientos (DDBD)



Supuesto de diseño basado en fuerzas (rigidez constante)



Condición realista (curvatura de fluencia constante)

Tomada de Displacement – Based Seismic Design of Structures, por (Priestley, Calvi, & Kowalsky, 2007).



OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar y diseñar una edificación dual tipo de concreto reforzado de mediana altura, aplicando el Método Directo de Diseño Basado en desplazamientos (DDBD).

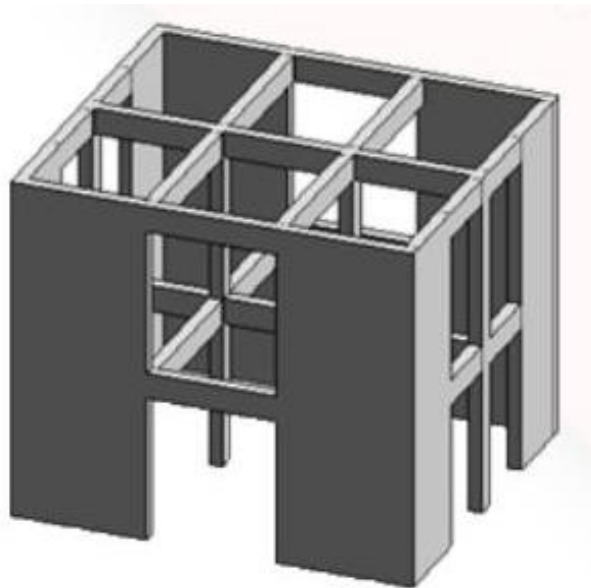
Objetivos específicos

- Establecer los parámetros de análisis que contempla el DDBD.
- Realizar el análisis estructural y determinar los parámetros para el diseño por capacidad de una edificación dual tipo de mediana altura de concreto reforzado mediante la metodología de desplazamientos.
- Desarrollar una guía práctica para el diseño de edificaciones duales de concreto reforzado, basada en el método de desplazamientos.



Sistema dual

Muro – pórtico

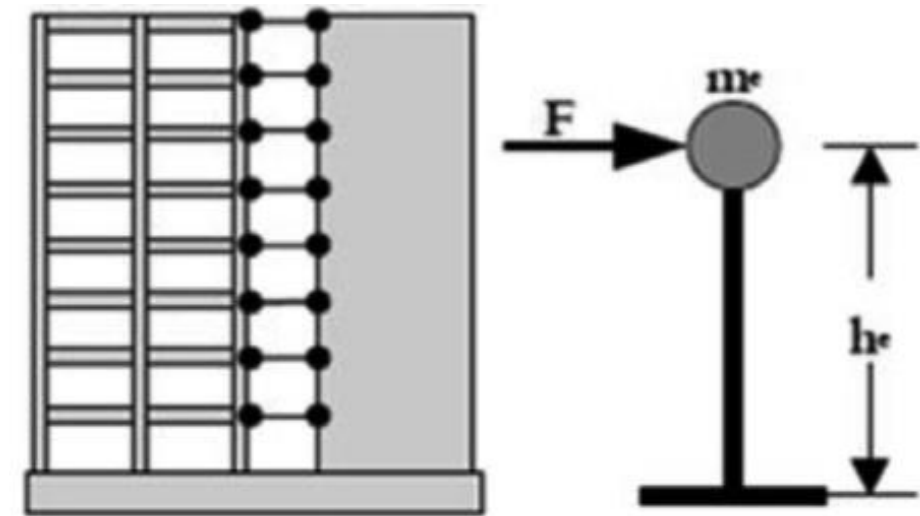


Tomada de Ingegeek

Estructura sustituta

Un sistema de un grado de libertad (SDOF)

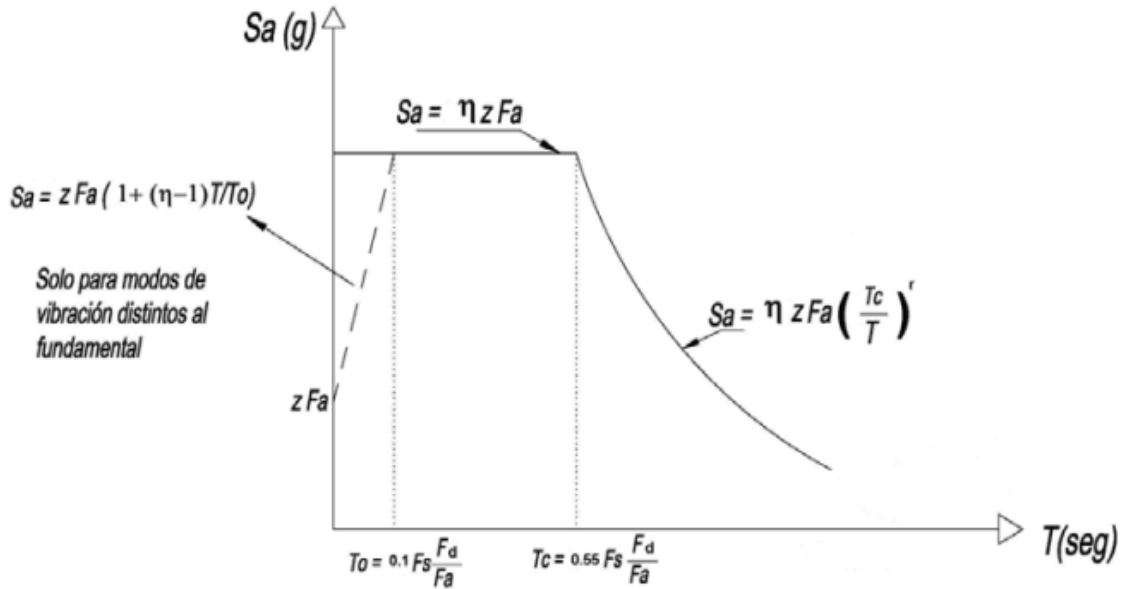
- Altura efectiva, h_e
- Periodo efectivo, T_e
- Masa efectiva, m_e
- Rigidez efectiva, K_e



Tomada de A model code for the direct displacement-based seismic design of structures, por (Sullivan et al.,2012)

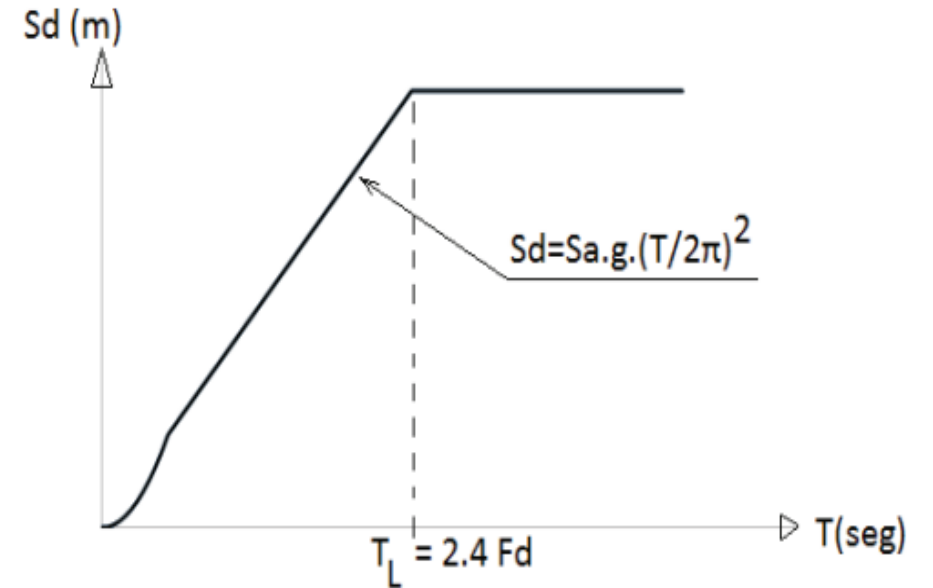
PARÁMETROS DE ANÁLISIS

Espectro de respuesta de aceleración



Tomada de NEC (2015)

Espectro de respuesta de desplazamiento



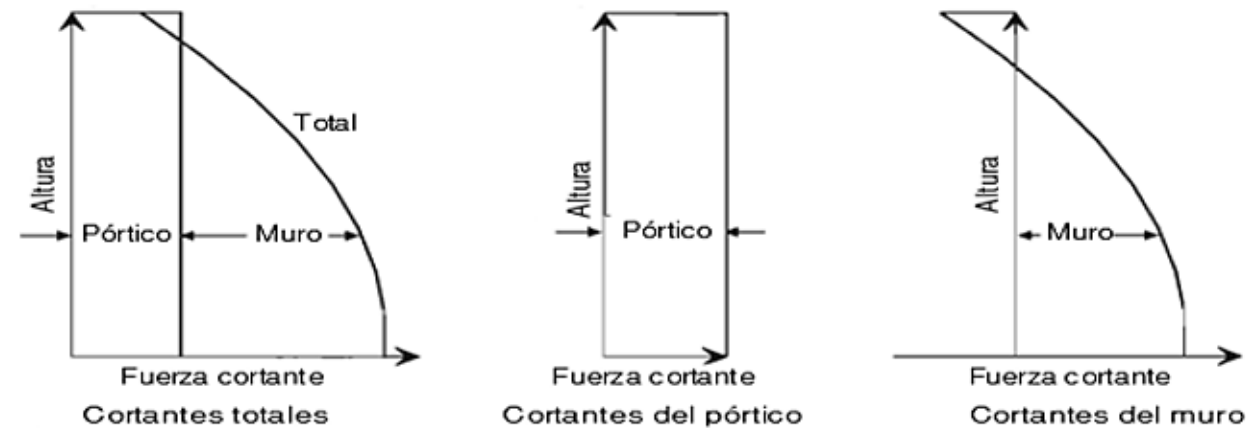
Tomada de NEC (2015)

PARÁMETROS DE ANÁLISIS

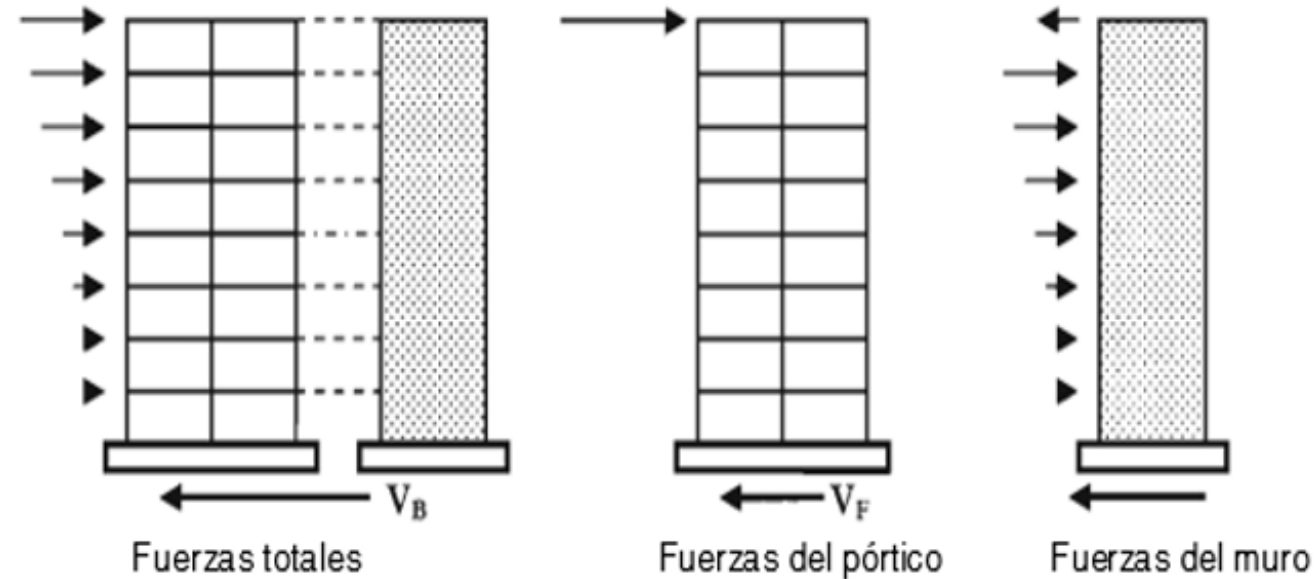
Relación del cortante del pórtico

La proporción de la fuerza del cortante basal soportada por los pórticos β_F

- Fuerza cortante basal soportada por los pórticos $V_F = \beta_F V_{base}$
- Fuerza cortante basal soportada por los muros $V_W = (1 - \beta_F) V_{base}$



Distribución vertical de la resistencia de la viga

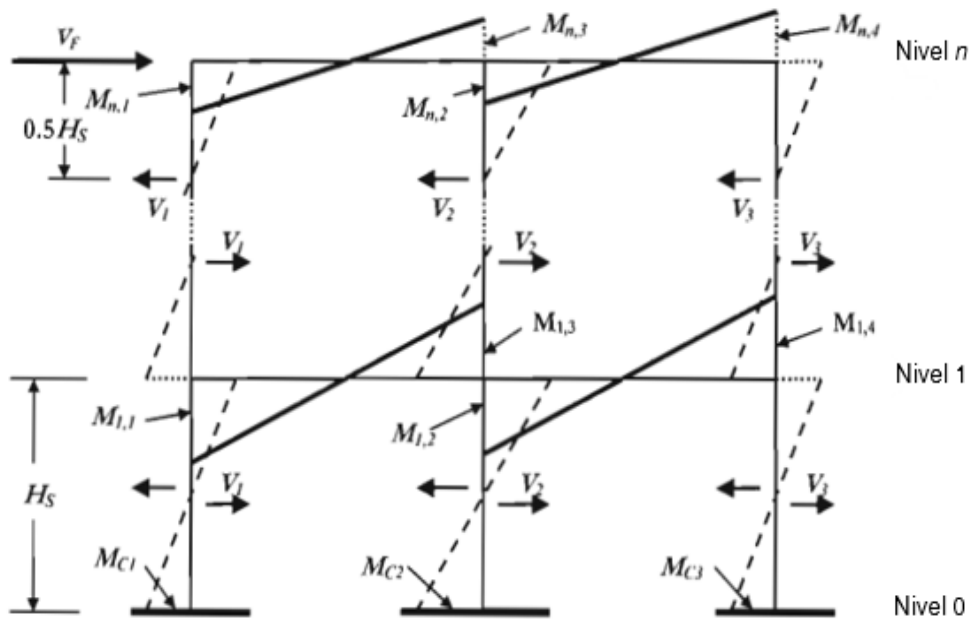


Tomadas de Displacement – Based Seismic Design of Structures, por (Priestley, Calvi, & Kowalsky, 2007).

PARÁMETROS DE ANÁLISIS

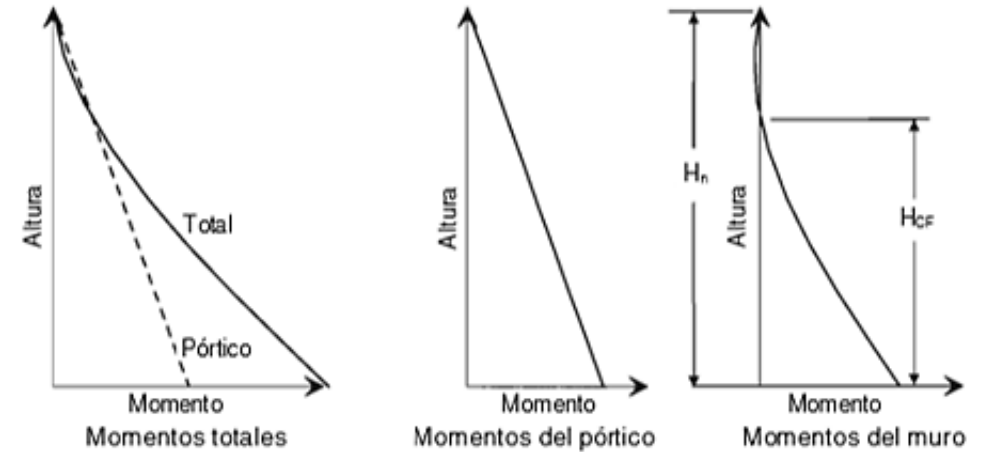
Perfiles de momento para pórticos y muros

Se estima que los pórticos en una dirección establecida son similares y los cálculos se enlazan con la fuerza combinada en todos los muros.



Altura de contraflexión del muro (H_{CF})

$$H_{CF} = h_{i+1} + \frac{h_i - h_{i+1}}{M_{W,i} - M_{W,i+1}} (0 - M_{W,i+1})$$



Tomadas de Displacement – Based Seismic Design of Structures, por (Priestley, Calvi, & Kowalsky, 2007).

PARÁMETROS DE ANÁLISIS

PERFILES DE DESPLAZAMIENTO

Perfil de desplazamiento de fluencia (Δ_{yi})

Para $h_i \leq H_{CF}$

$$\Delta_{yi} = \phi_{yW} \left(\frac{h_i^2}{2} - \frac{h_i^3}{6 H_{CF}} \right)$$

Para $h_i > H_{CF}$

$$\Delta_{yi} = \phi_{yW} \left(\frac{H_{CF} \cdot h_i}{2} - \frac{H_{CF}^2}{6} \right)$$

Límite de deriva del código $\theta_C = 0,02$

Perfiles de desplazamiento de diseño

La deriva correspondiente a la altura de contraflexión es:

$$\theta_{CF} = \phi_{yW} \frac{H_{CF}}{2} + (\phi_{dc} - \phi_{yW}) L_P$$

- **Las deformaciones del material base del muro gobiernan**

$$\Delta_{Di} = \Delta_{yi} + (\phi_{dc} - \phi_{yW}) L_P h_i$$

- **La deriva del código gobierna**

$$\Delta_{Di} = \Delta_{yi} + \left(\theta_{CD} - \phi_{yW} \frac{H_{CF}}{2} \right) h_i$$



PARÁMETROS DE ANÁLISIS

- Corrección para la amplificación de la deriva

$$\omega_{\theta} = \left[1 - \left(\frac{n-5}{100} \right) \left(\frac{M_{OTM,F}}{M_{OTM}} + 0,25 \right) \right]$$

- Desplazamiento de estructura sustituta de diseño

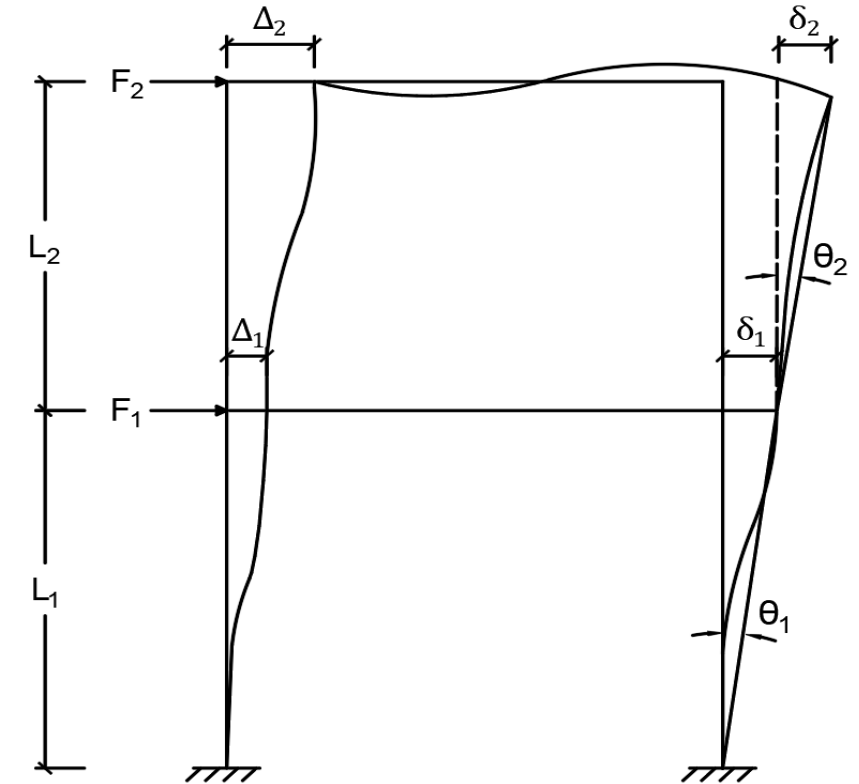
$$\Delta_D = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_{Di}^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_{Di})}$$

- Altura efectiva

$$H_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_{Di} h_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_{Di})}$$

DERIVA DE PISO

$$\theta_i = \frac{\delta_i}{L_i} = \frac{\Delta_{Di} - \Delta_{Di-1}}{L_i}$$



PARÁMETROS DE ANÁLISIS

Amortiguación viscosa equivalente

$$\xi_{sys} = \frac{\xi_W M_{OTM,W} + \xi_F M_{OTM,F}}{M_{OTM}}$$

La demanda de ductilidad del muro viene dada por:

$$\mu_W = \frac{\Delta_D}{\Delta_{yW}}$$

El amortiguamiento del muro es:

$$\xi_{eq} = 0,05 + 0,444 \left(\frac{\mu_W - 1}{\mu_W \pi} \right)$$

La demanda de ductilidad del pórtico es:

$$\mu_F = \frac{\Delta_D}{\theta_{yF} H_e}$$

La deriva de fluencia del pórtico según el material:

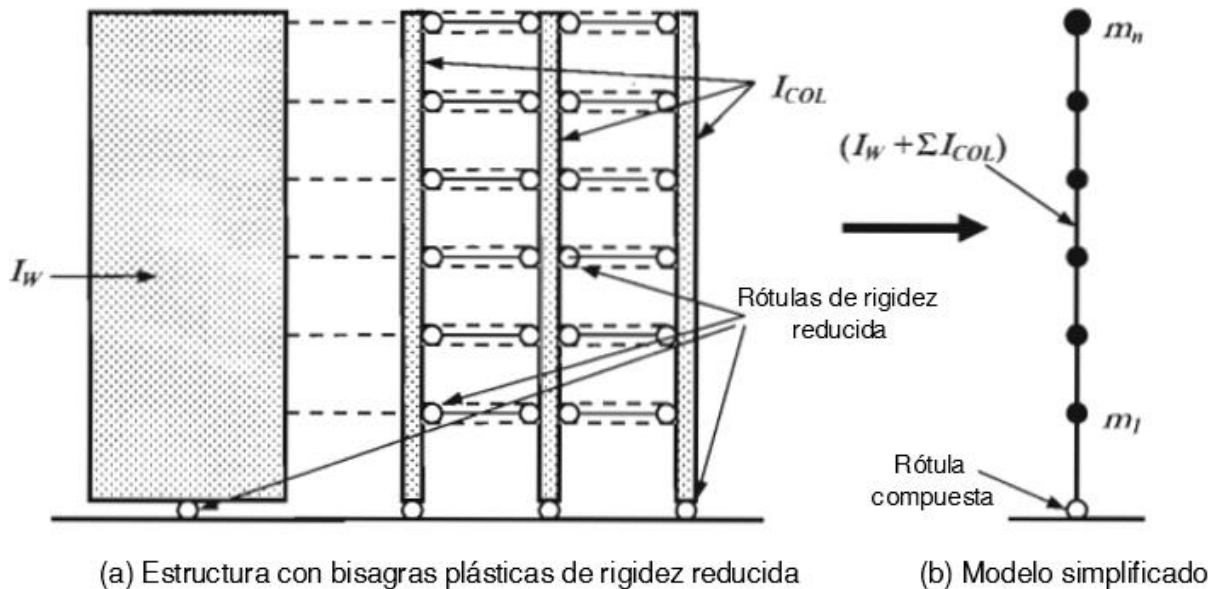
Con concreto $\theta_{yF} = \frac{0,5 \varepsilon_y L_b}{h_b}$

Con acero $\theta_{yF} = \frac{0,65 \varepsilon_y L_b}{h_b}$

PARÁMETROS DE ANÁLISIS

Fuerza cortante base de diseño

El cortante basal se distribuye entre los muros y pórticos según la elección inicial de β_F



Estimación simplificada de efectos de modo superior para el diseño

Aplica cuando la proporción del cortante basal asignado a los pórticos se encuentre dentro del rango

$$0,2 \leq \beta_F \approx \leq 0,6$$

- Momentos de las columnas

$$\phi_f M_C \geq M^\circ = 1,3 \phi^\circ M_{CE}$$

- Cortantes de la columna

$$\phi_V V_C \geq V^\circ = 1,3 \phi^\circ V_{CE}$$

Envolvente de capacidad de momento del muro

Momento de sobre resistencia a media altura

$$M_{0,5 Hn}^{\circ} = C_{1,T} \phi^{\circ} M_B$$

$$C_{1,T} = 0,4 + 0,075 T_i \left(\frac{\mu}{\phi^{\circ}} - 1 \right) \geq 0,4$$

Envolvente de capacidad de fuerza cortante del muro

Diseño a cortante por capacidad en la base del muro

$$V_{BASE}^0 = \phi^{\circ} \omega_V V_{W,BASE}$$

Coefficiente de amplificación

$$\omega_V = 1 + \frac{\mu_{sys}}{\phi^{\circ}} C_{2,T}$$

$$C_{2,T} = 0,4 + 0,2(T_i - 0,5) \leq 1,15$$

Fuerza cortante de diseño en la parte superior del muro

$$V_n^0 = 0,4 V_B^0$$



Espectro de aceleración de acuerdo a la NEC-15

$$S_a = \eta Z F_a \quad \text{para } 0 \leq T \leq T_C \quad (\text{Ec. 1})$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_C}{T}\right)^r \quad \text{para } T > T_C \quad (\text{Ec. 2})$$

$$T_C = 0,55 F_S \frac{F_d}{F_a} \quad (\text{Ec. 3})$$

Espectro de desplazamiento de acuerdo a la NEC-15

$$S_d = S_a(g) \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \quad \text{para } 0 \leq T \leq T_L \quad (\text{Ec. 4})$$

$$S_d = S_a(g) \left(\frac{T_L}{2\pi}\right)^2 \quad \text{para } T > T_L \quad (\text{Ec. 5})$$

$$T_L = 1 + 2,5 (M_w - 5,7) \quad (\text{Ec. 6})$$

Establecer la proporción de fuerza cortante

$$V_F = \beta_F V_{\text{base}} \quad (\text{Ec. 7})$$

$$V_W = (1 - \beta_F) V_{\text{base}} \quad (\text{Ec. 8})$$

Altura de contraflexión del muro (H_{CF})

Fuerzas laterales serán proporcionales a:

$$F_{lp} = m_i \cdot h_i \quad (\text{Ec. 57})$$

Fuerzas relativas

$$F_i = \frac{m_i h_i}{\sum(m_i h_i)} \quad (\text{Ec. 58})$$

Fuerza cortante total por nivel

$$V_{Ti \text{ último piso}} = F_i \text{ último piso} \quad (\text{Ec. 59})$$

$$V_{Ti} = V_{Ti+1} + F_i \quad (\text{Ec. 60})$$

Momento de vuelco total por piso

$$M_{OTM,i} = M_{OTM,i+1} + V_{Ti+1}(h_{i+1} - h_i) \quad (\text{Ec. 61})$$

Cortante en el muro por nivel

$$V_{W,i} = V_{T,i} - V_{F,i} \quad (\text{Ec. 62})$$

Momento del muro por nivel

$$M_{W,i} = M_{W,i+1} + V_{Wi+1}(h_{i+1} - h_i) \quad (\text{Ec. 63})$$

Altura de contraflexión

$$H_{CF} = h_{i+1} + \frac{h_i - h_{i+1}}{M_{W,i} - M_{W,i+1}} (0 - M_{W,i+1}) \quad (\text{Ec. 64})$$



Perfil de desplazamiento de diseño (Δ_{Di})

Deformaciones del material del muro

Curvatura de control de daños

$$\phi_{dc} = \frac{0,072}{l_w} \quad (\text{Ec. 69})$$

$$k = 0,2 \left(\frac{f_u}{f_y} - 1 \right) \leq 0,08 \quad (\text{Ec. 20})$$

Longitud de penetración por deformación

$$L_{SP} = 0,022 f_{ye} d_{bl} \quad (f_{ye} \text{ en MPa}) \quad (\text{Ec. 70})$$

$$L_{SP} = 0,15 f_{ye} d_{bl} \quad (f_{ye} \text{ en ksi}) \quad (\text{Ec. 71})$$

Longitud de la rotula plástica

$$L_P = k H_{CF} + 0,1 l_W + L_{SP} \quad (\text{Ec. 19})$$

Deriva correspondiente a la altura de contraflexión

$$\theta_{CF} = \phi_{yW} \frac{H_{CF}}{2} + (\phi_{dc} - \phi_{yW}) L_P \quad (\text{Ec. 21})$$

Límites de deriva

Momento resistente total de los pórticos en la base

$$M_{OTM,F} = M_{OTM} - M_W \quad (\text{Ec. 72})$$

Factor de reducción de deriva

$$\omega_\theta = \left[1 - \left(\frac{n-5}{100} \right) \left(\frac{M_{OTM,F}}{M_{OTM}} + 0,25 \right) \right] \quad (\text{Ec. 23})$$

Deriva de diseño reducida

$$\theta_{CD} = \omega_\theta \theta_C \quad (\text{Ec. 73})$$



Perfil de desplazamiento de fluencia del muro (Δ_{yi})

Límite elástico del acero de refuerzo

$$f_{ye} = 1,1 f_y \quad (\text{Ec. 65})$$

Deformación de fluencia del refuerzo a flexión

$$\varepsilon_y = \frac{f_{ye}}{E_s} \quad (\text{Ec. 66})$$

Curvatura de fluencia – muros rectangulares de hormigón

$$\phi_{yW} = \frac{2 \varepsilon_y}{l_w} \quad (\text{Ec. 67})$$

Curvatura de fluencia – muros en forma C,T o L de hormigón

$$\phi_{yW} = \frac{1,5 \varepsilon_y}{l_w} \quad (\text{Ec. 68})$$

Perfil de desplazamiento de fluencia del muro

Para $h_i \leq H_{CF}$

$$\Delta_{yi} = \phi_{yW} \left(\frac{h_i^2}{2} - \frac{h_i^3}{6 H_{CF}} \right) \quad (\text{Ec. 16})$$

Para $h_i > H_{CF}$

$$\Delta_{yi} = \phi_{yW} \left(\frac{H_{CF} \cdot h_i}{2} - \frac{H_{CF}^2}{6} \right) \quad (\text{Ec. 17})$$

Perfil de desplazamiento del diseño – rige deriva del código

$$\Delta_{Di} = \Delta_{yi} + \left(\theta_{CD} - \phi_{yW} \frac{H_{CF}}{2} \right) h_i \quad (\text{Ec. 22})$$

Perfil de desplazamiento del diseño - deformaciones del material gobiernen

$$\Delta_{Di} = \Delta_{yi} + (\phi_{dc} - \phi_{yW}) L_P h_i \quad (\text{Ec. 18})$$

Deriva de piso

$$\theta_i = \frac{\Delta_{Di} - \Delta_{Di-1}}{h_i} \quad (\text{Ec. 25})$$

Desplazamiento SDOF de diseño (Δ_D)

$$\Delta_D = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_{Di}^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_{Di})} \quad (\text{Ec. 24})$$

Altura efectiva (H_e)

$$H_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_{Di} h_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_{Di})} \quad (\text{Ec. 30})$$



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS¹⁷

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Amortiguamiento viscoso equivalente

Muros:

Desplazamiento de fluencia de la estructura SDOF

Para $H_e \leq H_{CF}$

$$\Delta_{yW} = \phi_{yW} \left(\frac{H_e^2}{2} - \frac{H_e^3}{6 H_{CF}} \right) \quad (\text{Ec. 74})$$

Para $H_e > H_{CF}$

$$\Delta_{yW} = \phi_{yW} \left(\frac{H_{CF} H_e}{2} - \frac{H_{CF}^2}{6} \right) \quad (\text{Ec. 75})$$

Ductilidad del muro

$$\mu_W = \frac{\Delta_D}{\Delta_{yW}} \quad (\text{Ec. 29})$$

Amortiguamiento del muro

$$\xi_{eq} = 0,05 + 0,444 \left(\frac{\mu_W^{-1}}{\mu_W \pi} \right) \quad (\text{Ec. 31})$$

Pórticos:

Deriva de fluencia para pórticos de hormigón

$$\theta_{yF} = \frac{0,5 \varepsilon_y L_b}{h_b} \quad (\text{Ec. 33})$$

Demanda de ductilidad del pórtico

$$\mu_F = \frac{\Delta_D}{\theta_{yF} H_e} \quad (\text{Ec. 32})$$

Amortiguamiento del pórtico

$$\xi_F = 0,05 + 0,565 \left(\frac{\mu_F - 1}{\mu_F \pi} \right) \quad (\text{Ec. 43})$$

Amortiguamiento viscoso equivalente del sistema

$$\xi_{sys} = \frac{\xi_W M_{OTM,W} + \xi_F M_{OTM,F}}{M_{OTM}} \quad (\text{Ec. 28})$$



Fuerza cortante basal

Factor de reducción del desplazamiento espectral

$$R_{\xi} = \left(\frac{0,07}{0,02 + \xi_{sys}} \right)^{\alpha} \quad (\text{Ec. 76})$$

Periodo efectivo (T_e)

Límite para el periodo de vibración

$$T_L = 1 + 2,5 (M_w - 5,7) \quad (\text{Ec. 6})$$

Desplazamiento de esquina para el amortiguamiento elástico equivalente

$$\Delta_{C, \xi_{sys} \%} = R_{\xi} \cdot \Delta_{C, 5\%} \quad (\text{Ec. 77})$$

Periodo efectivo

$$T_e = \frac{T_L \Delta_D}{\Delta_{C, 5\%} R_{\xi}} \quad (\text{Ec. 78})$$

Gráfica del espectro de desplazamiento con un amortiguamiento viscoso equivalente del sistema

$$S_{d-\xi_{sys}} = S_d \cdot R_{\xi} \quad (\text{Ec. 79})$$

Masa efectiva (m_e)

$$m_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_{Di})}{\Delta_D} \quad (\text{Ec. 80})$$

Rigidez efectiva (K_e)

$$K_e = 4\pi^2 \frac{m_e}{T_e^2} \quad (\text{Ec. 81})$$

Cortante basal

$$V_{BASE} = K_e \Delta_D \quad (\text{Ec. 82})$$



Fuerzas laterales por piso

$$F_{L,i} = F_i V_{BASE} \quad (\text{Ec. 83})$$

Diseño a flexión de la base del muro

Momento total en la base del muro

$$M_{W,BASE} = M_W V_{BASE} \quad (\text{Ec. 84})$$

Diseño a flexión de la viga del pórtico

Fuerza cortante total que deben soportar los pórticos

$$V_F = \beta_F V_{BASE} \quad (\text{Ec. 85})$$

Capacidad de momento para las vigas

$$M_{bi} = \frac{V_f H_s}{n_{rótulas}} \quad (\text{Ec. 86})$$

Base de la columna

Fuerza cortante de diseño para:

Columnas exteriores

$$V_{Col.Exterior} = \frac{V_f}{n_{rótulas}} \quad (\text{Ec. 87})$$

Columnas interiores

$$V_{Col.Interior} = \frac{V_f}{n_{rótulas}/2} \quad (\text{Ec. 88})$$

Capacidad de momento para:

Columnas exteriores

$$M_{CB \text{ externa}} = V_{Col.Exterior} H_{01} - 0,5 M_{bi} \quad (\text{Ec. 89})$$

Columnas interiores

$$M_{CB \text{ interna}} = V_{Col.Interior} H_{01} - 0,5 M_{bi}(2) \quad (\text{Ec. 90})$$



Diseño por capacidad para muros

Ductilidad de desplazamiento del sistema

$$\mu_{sys} = \frac{\mu_w V_{w,Base} + \mu_F V_{F,Base}}{V_{base}} \quad (\text{Ec. 91})$$

Momento a mediana altura

Periodo elástico

$$T_i \approx \frac{T_e}{\mu_{sys}} \quad (\text{Ec. 92})$$

$$C_{1,T} = 0,4 + 0,075 T_i \left(\frac{\mu_{sys}}{\phi^\circ} - 1 \right) \geq 0,4 \quad (\text{Ec. 52})$$

Capacidad de momento requerida en el muro media altura, con $\phi^\circ=1$

$$M_{0,5 Hn}^\circ = C_{1,T} \phi^\circ M_B \quad (\text{Ec. 51})$$

Fuerza cortante en el muro

$$C_{2,T} = 0,4 + 0,2(T_i - 0,5) \leq 1,15 \quad (\text{Ec. 55})$$

Coeficiente de amplificación, con $\phi^\circ=1,2$

$$\omega_V = 1 + \frac{\mu_{sys}}{\phi^\circ} C_{2,T} \quad (\text{Ec. 54})$$

Fuerza cortante en el muro

$$V_{W,BASE} = (1 - \beta_F) V_{BASE} \quad (\text{Ec. 8})$$

Fuerza cortante de los muros

$$V_{BASE}^0 = \phi^\circ \omega_V V_{W,BASE} \quad (\text{Ec. 53})$$

Fuerza cortante paca cada uno de los muros

$$V_{BASE,muro}^0 = \frac{V_{BASE}^0}{n_{muros}} \quad (\text{Ec. 93})$$



Cortante de diseño en la parte superior del muro

$$V_n^0 = (0,4) V_{BASE,muro}^0 \quad (\text{Ec. 94})$$

Esfuerzo cortante máximo en cada muro

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{V_{BASE,muro}^0}{L_w t_w} \quad (\text{Ec. 95})$$

Diseño por capacidad para columnas

Momentos de diseño de las columnas

$$M^{\circ} = 1,3 \phi^{\circ} M_{CE} \quad (\text{Ec. 49})$$

Cortantes de diseño de las columnas

$$V^{\circ} = 1,3 \phi^{\circ} V_{CE} \quad (\text{Ec. 50})$$

MATERIALES

Concreto

- $f'c = 30 [Mpa]$
- $f'ce = 1,3 f'c [Mpa]$
- $E = 4700 \sqrt{f'c} [Mpa]$

Acero

- $f_y = 420 [Mpa]$
- $f'ye = 1,1f_y [Mpa]$
- $E = 200000 [Mpa]$
- $f_u = 1,25 f_y [Mpa]$



Tomada de Building how



Tomada de Painterest por Bob

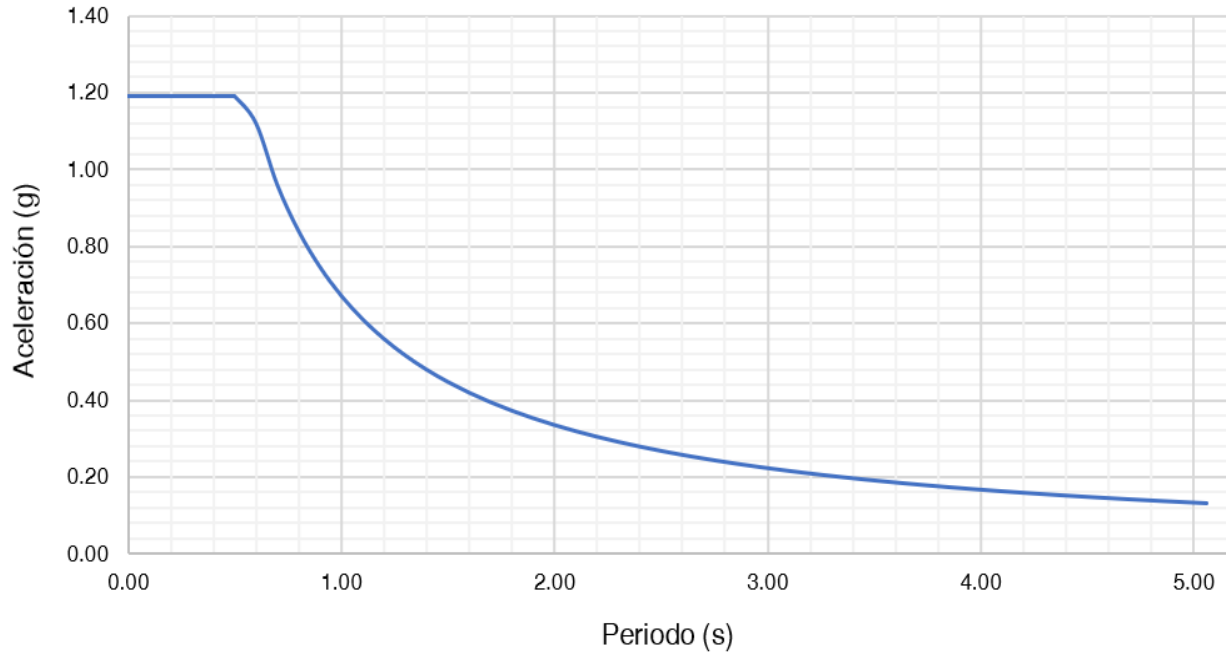
SECCIONES

- Losa: 15 cm
- Columnas centrales: 120 cm x 120 cm
- Columnas esquineras: 70 cm x 70 cm
- Columnas laterales: 120 cm x 70 cm
- Vigas secundarias: 40 cm x 40 cm
- Vigas principales:
 - A-E-1-4: 50 cm x 50 cm (Entrepiso)
: 40 cm x 60 cm (Cubierta)
 - B-C-D-2-3: 60 cm x 65 cm (Entrepiso)
: 50 cm x 60 cm (Cubierta)
- Muro: 8 m x 4 m x 0,25 m

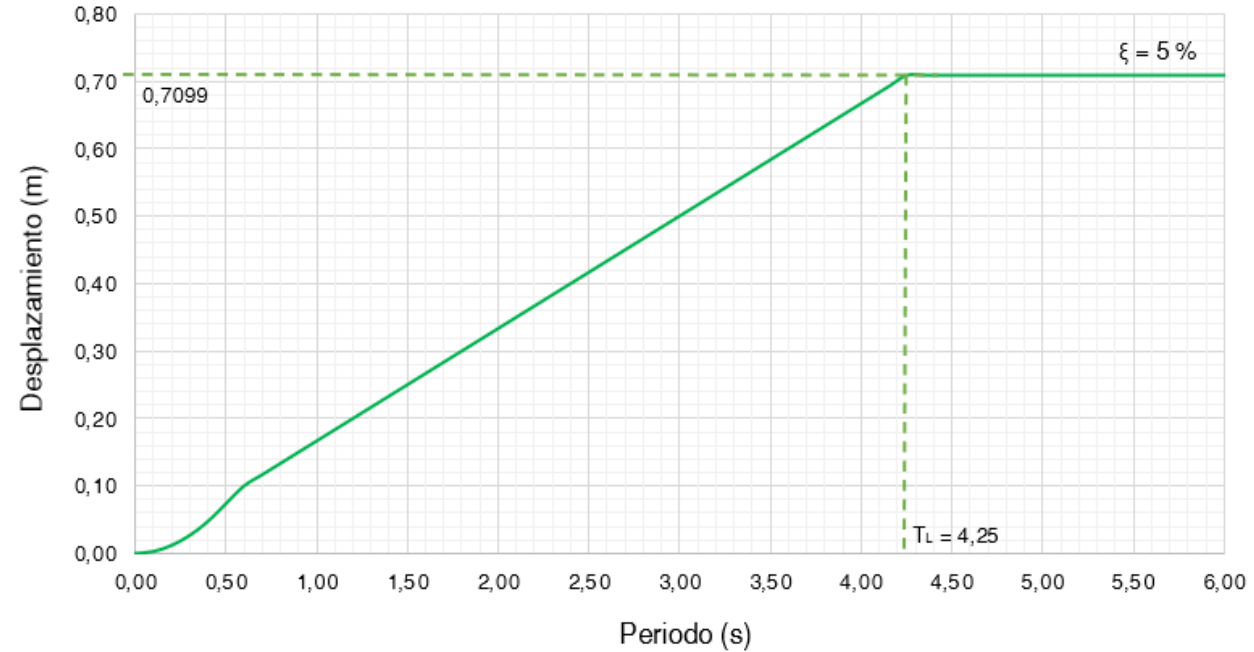


CASO DE ESTUDIO

Espectro de aceleración



Desplazamiento espectral



Parámetros	Valores
Factor de espectro de diseño	r: 1.00
Relación de amplificación espectral	η : 2.48
Zona sísmica	- V
Factor de zona en función de la zona sísmica	Z: 0.40
Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto	Fa: 1.20
Factor de comportamiento inelástico del suelo	Fs: 1.11
Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca	Fd: 1.11

$$T_L = 1 + 2,5 (7 - 5,7) = 4,25 \text{ s}$$

$$T_C = 0,55 (1,11) \frac{1,11}{1,20} = 0,565 \text{ s}$$

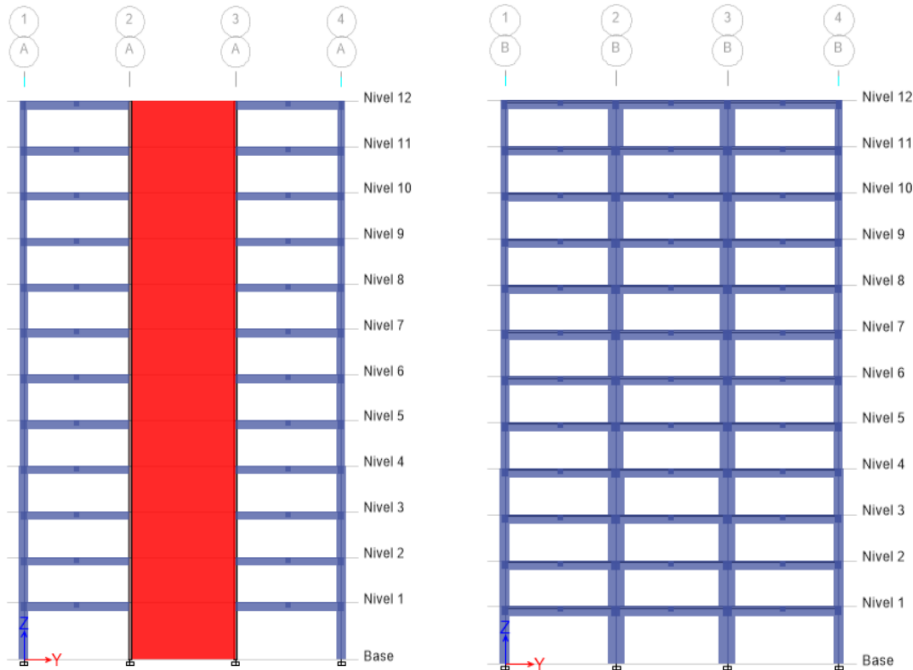


GUÍA PRÁCTICA

Establecer la proporción de fuerza cortante

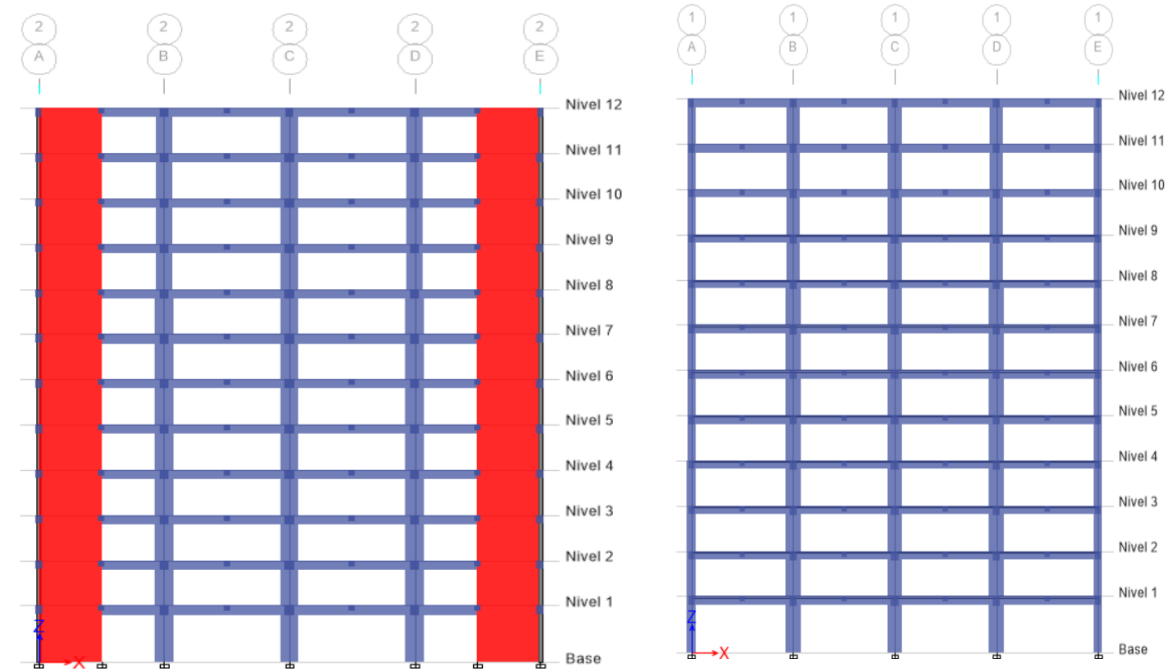
$$V_F = \beta_F V_{base} \quad (\text{Ec. 7})$$

Sentido Y



$$\beta_F = 0,40$$

Sentido X



$$\beta_F = 0,50$$

GUÍA PRÁCTICA

Altura de contraflexión del muro (H_{CF})

Sentido Y

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nivel	Altura hi	Masa mi	mi·hi	Fi (rel.)	VT,i (rel.)	MOTM,i (rel.)	VF,i pórtico	VW,i muro	MW,i muro
	[m]	[kg.s ² /m]							
12	39,20	64064,30	2511320,56	0,13	0,13	0,00	0,40	-0,27	0,00
11	36,00	77110,48	2775977,28	0,14	0,27	0,41	0,40	-0,13	-0,87
10	32,80	77040,48	2526927,74	0,13	0,40	1,27	0,40	0,00	-1,29
9	29,60	77040,48	2280398,21	0,12	0,52	2,55	0,40	0,12	-1,29
8	26,40	77392,98	2043174,67	0,10	0,62	4,20	0,40	0,22	-0,92
7	23,20	77855,91	1806257,11	0,09	0,71	6,18	0,40	0,31	-0,22
6	20,00	77855,91	1557118,20	0,08	0,79	8,46	0,40	0,39	0,78
5	16,80	77855,91	1307979,29	0,07	0,86	11,00	0,40	0,46	2,04
4	13,60	78233,99	1063982,26	0,05	0,91	13,74	0,40	0,51	3,50
3	10,40	78722,49	818713,90	0,04	0,95	16,66	0,40	0,55	5,14
2	7,20	78722,49	566801,93	0,03	0,98	19,72	0,40	0,58	6,92
1	4,00	81082,31	324329,24	0,02	1,00	22,86	0,40	0,60	8,78
0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	26,86	0,40	0,60	11,18
SUMA		922977,73	19582980,39	1,00					

$$F_{lp} = m_i \cdot h_i \quad (\text{Ec. 57})$$

$$F_i = \frac{m_i h_i}{\sum(m_i h_i)} \quad (\text{Ec. 58})$$

$$V_{Ti \text{ último piso}} = F_i \text{ último piso} \quad (\text{Ec. 59})$$

$$V_{Ti} = V_{Ti+1} + F_i \quad (\text{Ec. 60})$$

$$M_{OTM,i} = M_{OTM,i+1} + V_{Ti+1}(h_{i+1} - h_i) \quad (\text{Ec. 61})$$

H_{CF} = 22,50 m

Sentido X

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nivel	altura hi	masa mi	mi·hi	Fi (rel.)	VT,i (rel.)	MOTM,i (rel.)	VF,i pórtico	VW,i muro	MW,i muro
	[m]	[kg.s ² /m]							
12	39,20	64064,30	2511320,56	0,13	0,13	0,00	0,50	-0,37	0,00
11	36,00	77110,48	2775977,28	0,14	0,27	0,41	0,50	-0,23	-1,19
10	32,80	77040,48	2526927,74	0,13	0,40	1,27	0,50	-0,10	-1,93
9	29,60	77040,48	2280398,21	0,12	0,52	2,55	0,50	0,02	-2,25
8	26,40	77392,98	2043174,67	0,10	0,62	4,20	0,50	0,12	-2,20
7	23,20	77855,91	1806257,11	0,09	0,71	6,18	0,50	0,21	-1,82
6	20,00	77855,91	1557118,20	0,08	0,79	8,46	0,50	0,29	-1,14
5	16,80	77855,91	1307979,29	0,07	0,86	11,00	0,50	0,36	-0,20
4	13,60	78233,99	1063982,26	0,05	0,91	13,74	0,50	0,41	0,94
3	10,40	78722,49	818713,90	0,04	0,95	16,66	0,50	0,45	2,26
2	7,20	78722,49	566801,93	0,03	0,98	19,72	0,50	0,48	3,72
1	4,00	81082,31	324329,24	0,02	1,00	22,86	0,50	0,50	5,26
0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	26,86	0,50	0,50	7,26
SUMA		922977,73	19582980,39	1,00					

$$V_{W,i} = V_{T,i} - V_{F,i} \quad (\text{Ec. 62})$$

$$M_{W,i} = M_{W,i+1} + V_{W,i+1}(h_{i+1} - h_i) \quad (\text{Ec. 63})$$

$$H_{CF} = h_{i+1} + \frac{h_i - h_{i+1}}{M_{W,i} - M_{W,i+1}} (0 - M_{W,i+1}) \quad (\text{Ec. 64})$$

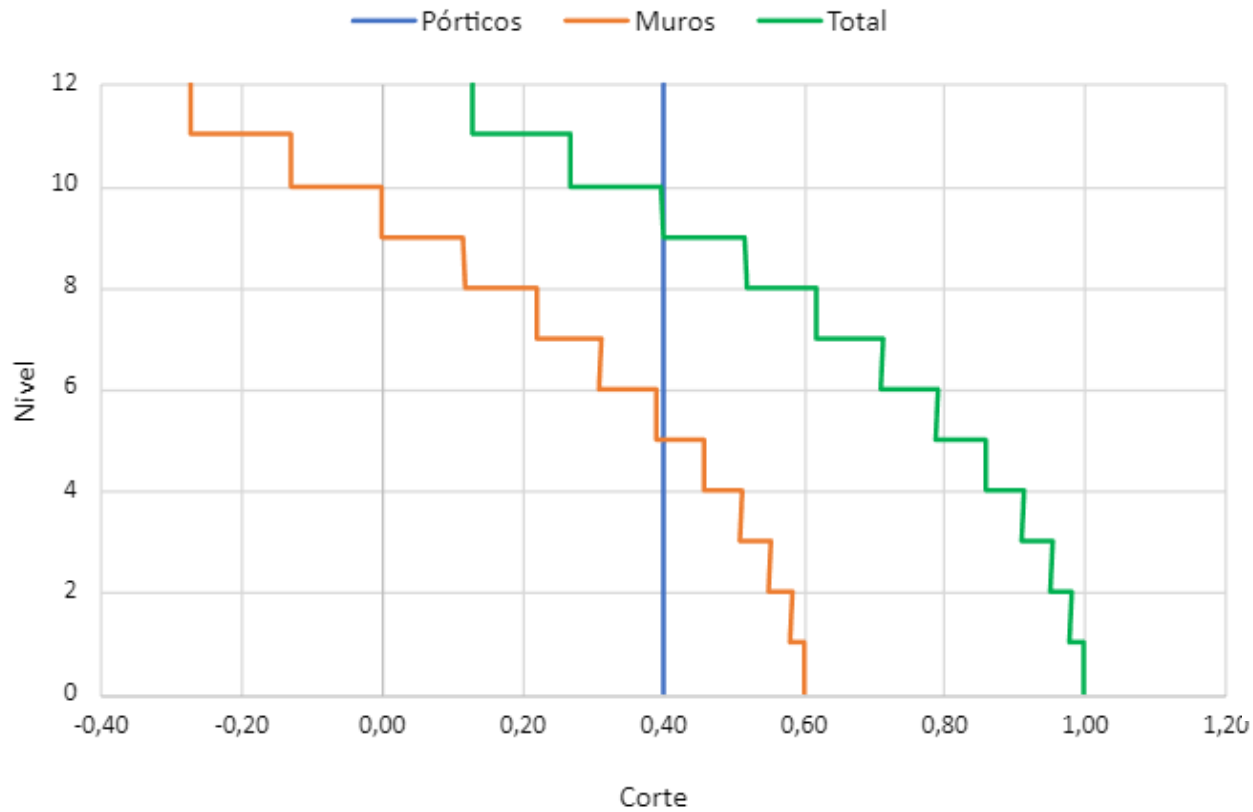
H_{CF} = 16,24 m



Proporción de cortantes

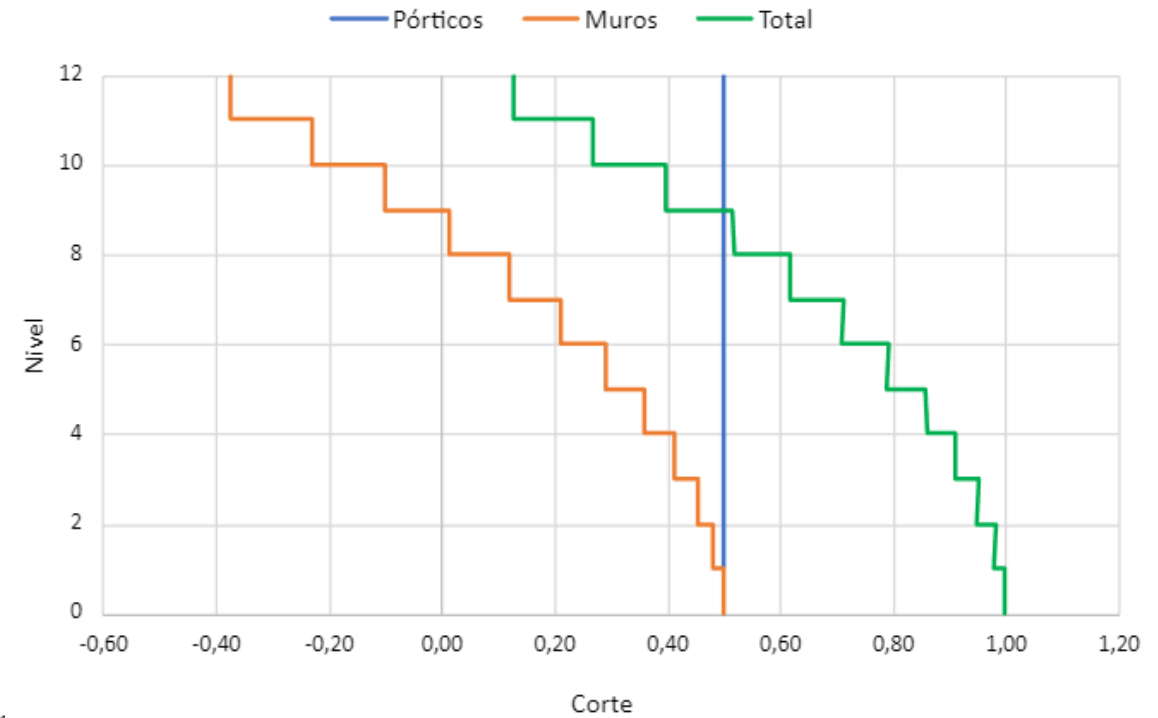
Sentido Y

Proporción de cortantes en sentido Y



Sentido X

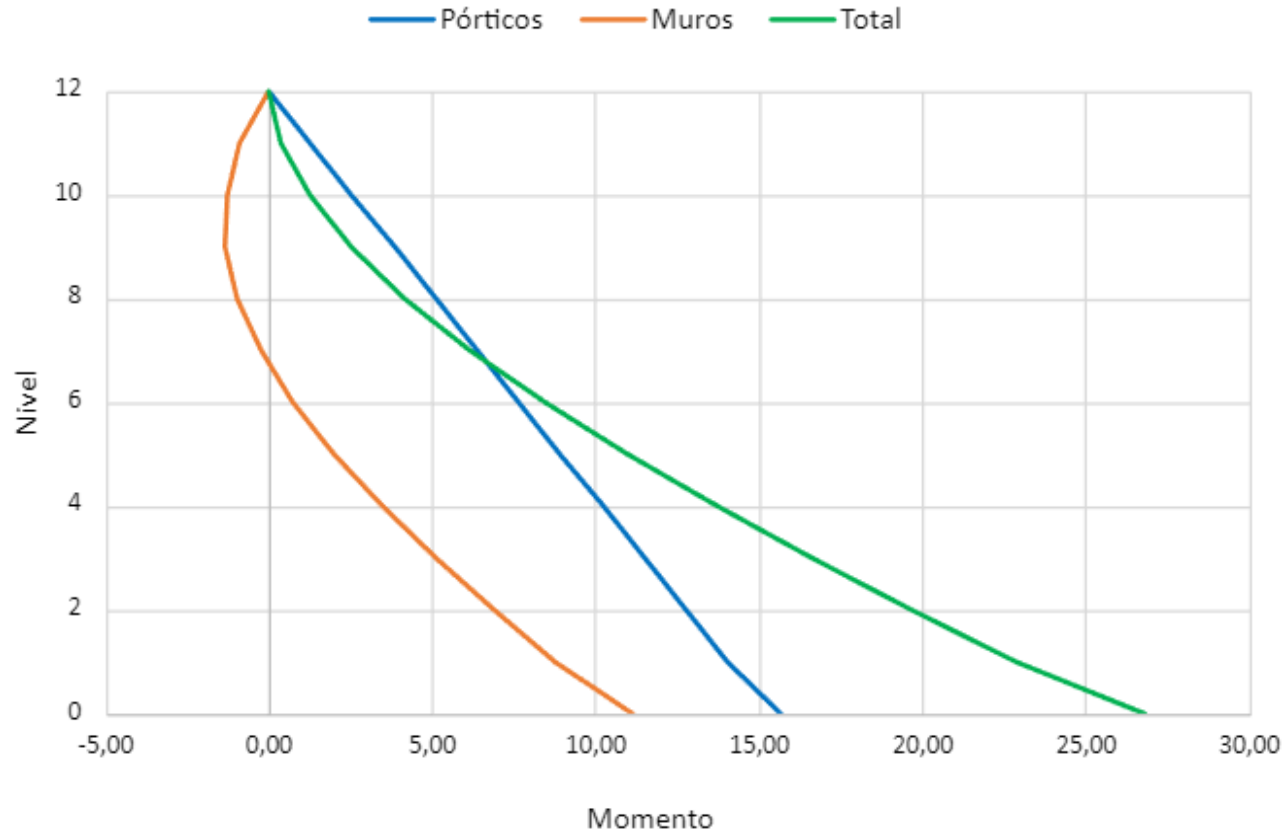
Proporción de cortantes en sentido X



Proporción de momentos

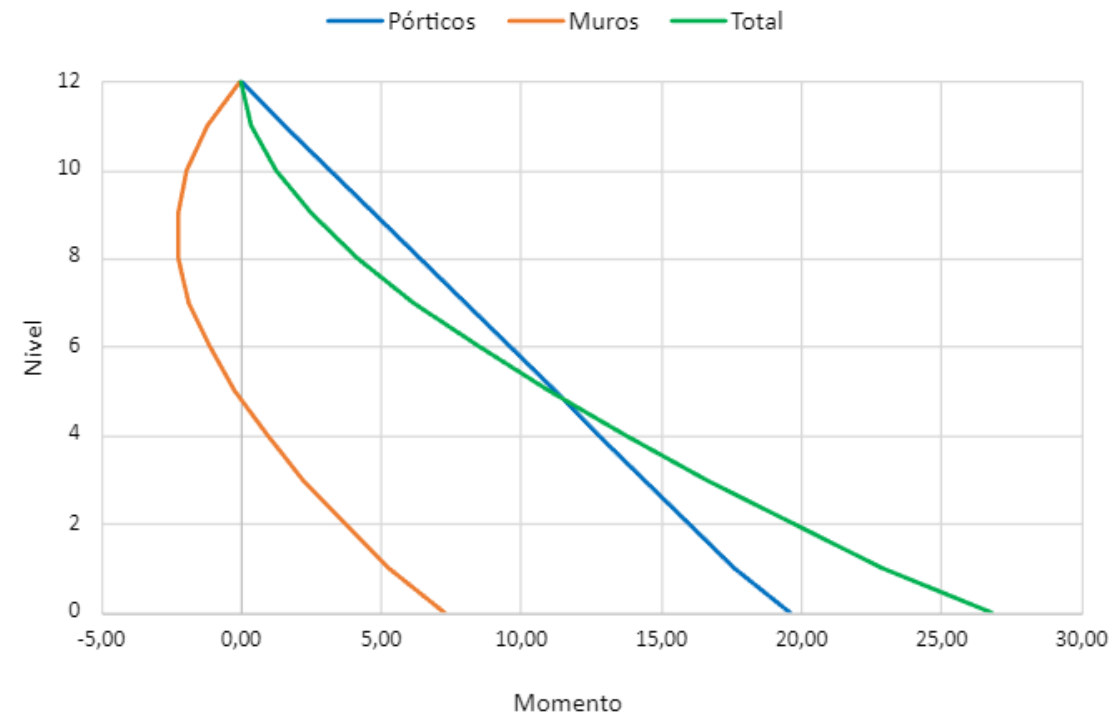
Sentido Y

Proporción de momentos en sentido Y



Sentido X

Proporción de momentos en sentido X



GUÍA PRÁCTICA

Perfil de desplazamiento de fluencia del muro (Δ_{yi})

Sentido Y

1	2	3	4	5	6	7	8
nivel	altura Hi [m]	masa mi [kg.s ² /m]	Δy_i [m]	ΔD_i [m]	mi $\Delta^2 D_i$ [kg.s ² .m]	mi ΔD_i [kg.s ²]	mi $\Delta D_i H_i$ [kg.s ² .m]
12	39,20	64064,30	0,15	0,70	31542,00	44952,38	1762133,17
11	36,00	77110,48	0,14	0,64	31723,85	49459,49	1780541,71
10	32,80	77040,48	0,12	0,58	26018,90	44771,74	1468512,96
9	29,60	77040,48	0,11	0,52	20902,35	40128,88	1187814,85
8	26,40	77392,98	0,09	0,46	16420,19	35648,39	941117,51
7	23,20	77855,91	0,08	0,40	12478,76	31169,62	723135,29
6	20,00	77855,91	0,06	0,34	9007,32	26481,57	529631,34
5	16,80	77855,91	0,05	0,28	6122,07	21832,07	366778,84
4	13,60	78233,99	0,03	0,22	3849,50	17354,02	236014,69
3	10,40	78722,49	0,02	0,16	2142,78	12987,87	135073,88
2	7,20	78722,49	0,01	0,11	961,74	8701,19	62648,57
1	4,00	81082,31	0,00	0,06	283,14	4791,42	19165,68
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUMA		922977,73			161452,62	338278,65	9212568,50

$$f_{ye} = 1,1 f_y \quad (\text{Ec. 65})$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_{ye}}{E_s} \quad (\text{Ec. 66})$$

$$\phi_{yW} = \frac{1,5 \varepsilon_y}{l_w} \quad (\text{Ec. 68})$$

Sentido X

1	2	3	4	5	6	7	8
nivel	altura hi [m]	masa mi [kg.s ² /m]	Δy_i [m]	ΔD_i [m]	mi $\Delta^2 D_i$ [kg.s ² .m]	mi ΔD_i [kg.s ²]	mi $\Delta D_i h_i$ [kg.s ² .m]
12	39,20	64064,30	0,24	0,69	30696,69	44345,94	1738360,66
11	36,00	77110,48	0,22	0,63	30858,12	48779,96	1756078,61
10	32,80	77040,48	0,19	0,57	25293,47	44143,19	1447896,48
9	29,60	77040,48	0,17	0,51	20304,35	39550,69	1170700,45
8	26,40	77392,98	0,15	0,45	15935,35	35118,15	927119,12
7	23,20	77855,91	0,13	0,39	12095,40	30687,11	711940,86
6	20,00	77855,91	0,10	0,33	8713,46	26046,00	520920,05
5	16,80	77855,91	0,08	0,27	5884,84	21404,90	359602,31
4	13,60	78233,99	0,06	0,22	3632,53	16857,86	229266,95
3	10,40	78722,49	0,04	0,16	1952,05	12396,39	128922,48
2	7,20	78722,49	0,02	0,10	829,43	8080,50	58179,57
1	4,00	81082,31	0,01	0,05	225,67	4277,61	17110,46
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUMA		922977,73			156421,37	331688,30	9066098,01

Para $h_i \leq H_{CF}$

$$\Delta_{yi} = \phi_{yW} \left(\frac{h_i^2}{2} - \frac{h_i^3}{6 H_{CF}} \right) \quad (\text{Ec. 16})$$

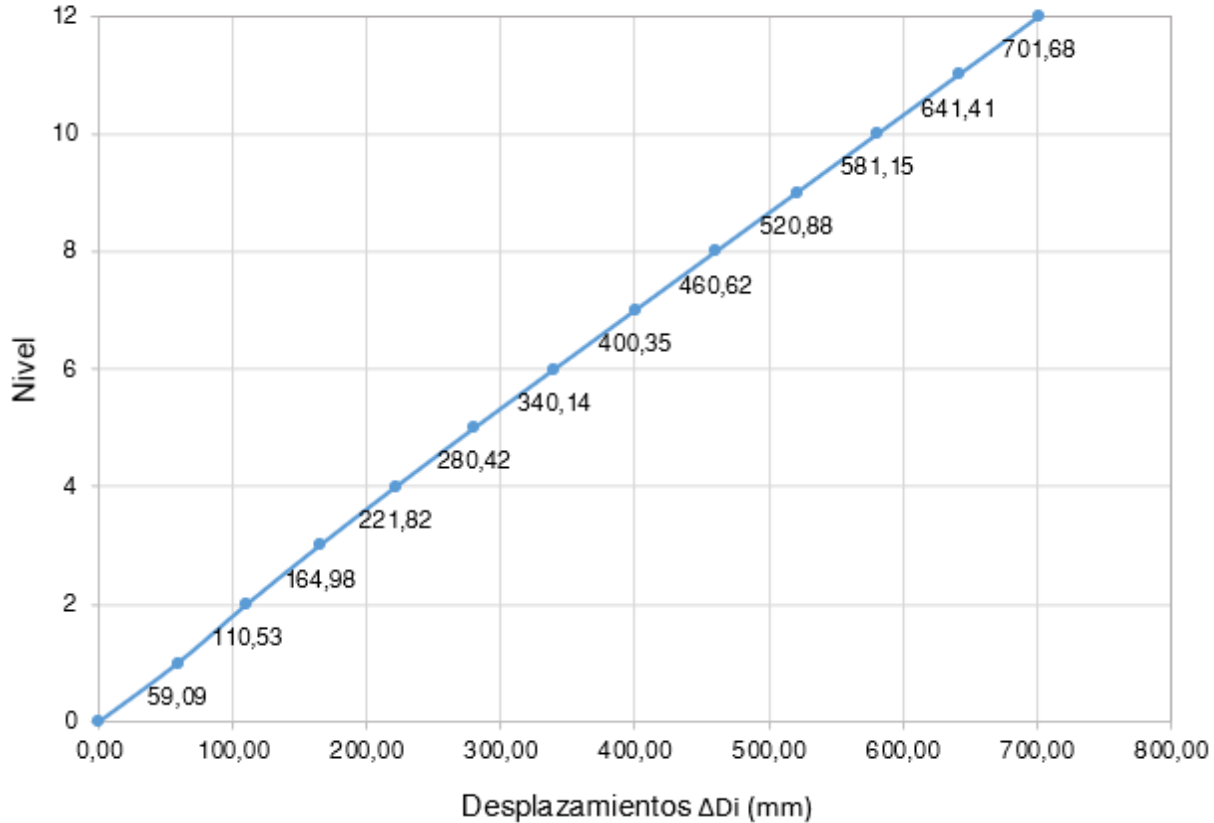
Para $h_i > H_{CF}$

$$\Delta_{yi} = \phi_{yW} \left(\frac{H_{CF} \cdot h_i}{2} - \frac{H_{CF}^2}{6} \right) \quad (\text{Ec. 17})$$



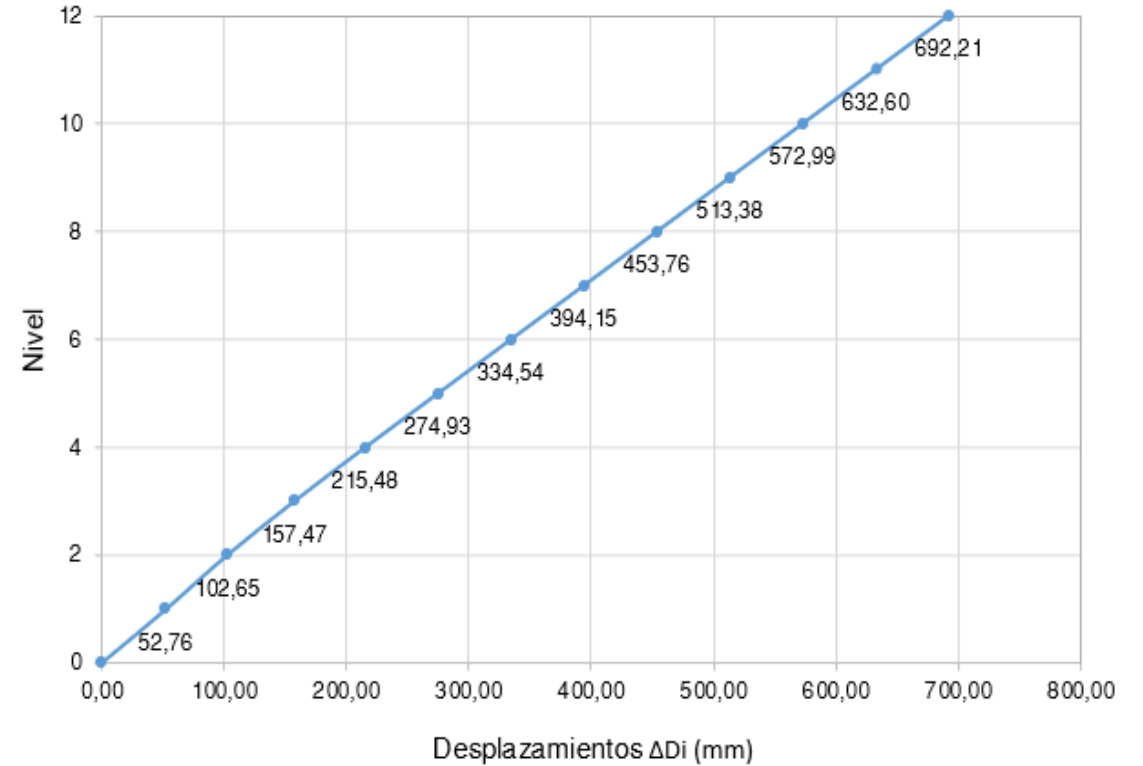
Sentido Y

Perfil de desplazamientos por niveles en sentido Y



Sentido X

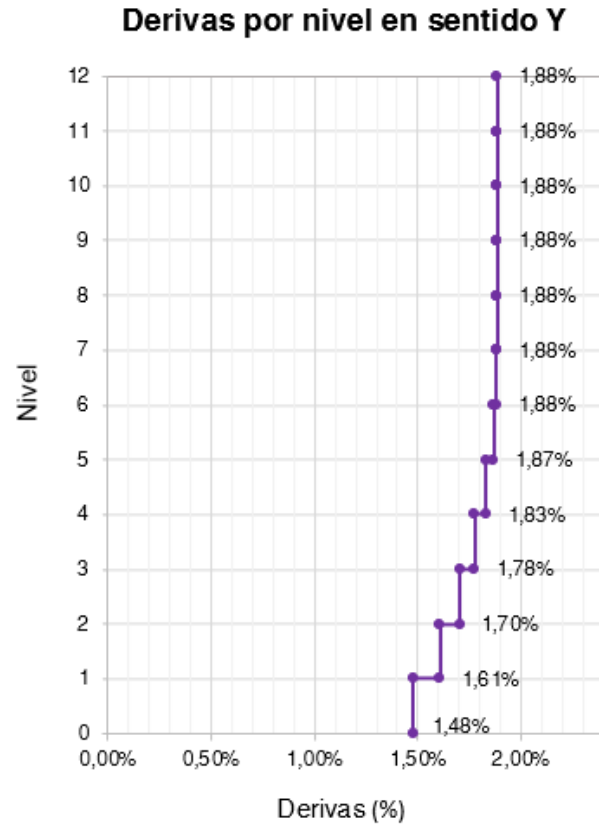
Perfil de desplazamientos por niveles en sentido X



Derivas de piso

Sentido Y

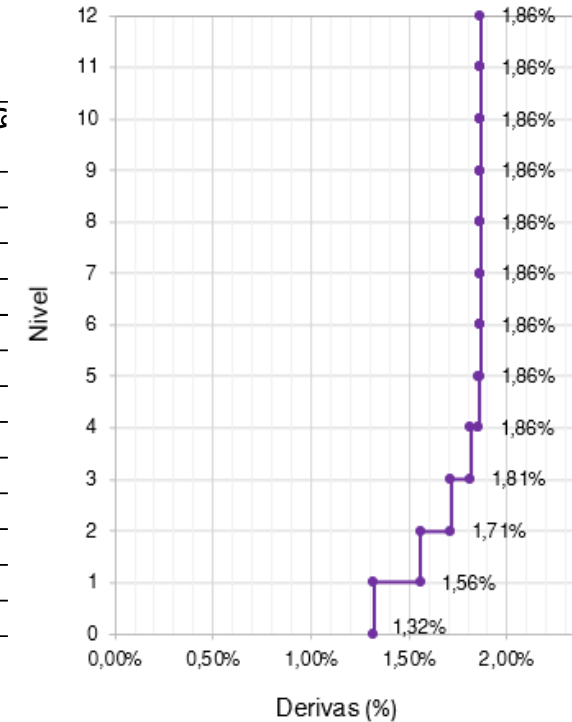
Nivel	Entrepiso (m)	ΔD_i (m)	Deriva relativa (%)
12	3,20	0,70	1,88%
11	3,20	0,64	1,88%
10	3,20	0,58	1,88%
9	3,20	0,52	1,88%
8	3,20	0,46	1,88%
7	3,20	0,40	1,88%
6	3,20	0,34	1,87%
5	3,20	0,28	1,83%
4	3,20	0,22	1,78%
3	3,20	0,16	1,70%
2	3,20	0,11	1,61%
1	4,00	0,06	1,48%
Base	0,00	0,00	0,00%



Sentido X

ΔD_x	Deriva relativa (%)
0,70	1,88%
0,64	1,88%
0,58	1,88%
0,52	1,88%
0,46	1,88%
0,40	1,88%
0,34	1,87%
0,28	1,83%
0,22	1,78%
0,16	1,70%
0,11	1,61%
0,06	1,48%
0,00	0,00%

Derivas por nivel en sentido X



GUÍA PRÁCTICA

PARÁMETRO	FÓRMULA	Ec.	SENTIDO Y	SENTIDIO X	UNIDAD
Desplazamiento SDOF de diseño (Δ_D)	$\Delta_D = \sum_{i=1}^n (m_i \Delta_{Di}^2) / \sum_{i=1}^n (m_i \Delta_{Di})$	24	0,477	0,472	m
Altura efectiva (H_e)	$H_e = \sum_{i=1}^n (m_i \Delta_{Di} h_i) / \sum_{i=1}^n (m_i \Delta_{Di})$	30	27,23	27,33	m
Desplazamiento de fluencia de la estructura (Δ_{yw})	$\Delta_{yw} = \phi_{yw} \left(\frac{H_{CF} H_e}{2} - \frac{H_{CF}^2}{6} \right)$	75	0,096	0,154	m
Ductilidad del muro (μ_w)	$\mu_w = \frac{\Delta_D}{\Delta_{yw}}$	29	4,97	3,06	m
Amortiguamiento del muro (ξ_{eq}) - Muros	$\xi_{eq} = 0,05 + 0,444 \left(\frac{\mu_w - 1}{\mu_w \pi} \right)$	31	0,163	0,145	-
Deriva de fluencia para pórticos (θ_{yF})	$\theta_{yF} = \frac{0,5 \varepsilon_y L_b}{h_b}$	33	0,0142	0,0142	-
Ductilidad del muro (μ_F)	$\mu_F = \frac{\Delta_D}{\theta_{yF} H_e}$	32	1,23	1,22	-
Amortiguamiento del muro (ξ_F) - Pórticos	$\xi_F = 0,05 + 0,565 \left(\frac{\mu_F - 1}{\mu_F \pi} \right)$	43	0,08	0,082	-
Amortiguamiento del sistema (ξ_{sys})	$\xi_{sys} = \frac{\xi_w M_{OTM,W} + \xi_F M_{OTM,F}}{M_{OTM}}$	28	0,12	0,099	-

PARÁMETRO	FÓRMULA	Ec.	SENTIDO Y	SENTIDIO X	UNIDAD
Factor de reducción del desplazamiento espectral (R_ξ)	$R_\xi = \left(\frac{0,07}{0,02 + \xi_{sys}} \right)^\alpha$	76	0,71	0,77	-
Límite de periodo de vibración	$T_L = 1 + 2,5 (M_w - 5,7)$	6	4,25	4,25	s
Desplazamiento de esquina	$\Delta_{C,\xi_{sys}\%} = R_\xi \cdot \Delta_{C,5\%}$	77	0,315	0,5466	m
Periodo efectivo (T_e)	$T_e = \frac{T_L \Delta_D}{\Delta_{C,5\%} R_\xi}$	78	4,02	3,67	s
Masa efectiva (m_e)	$m_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_{Di})}{\Delta_D}$	80	709179,56	702729,45	kg.s ² /m
Rigidez efectiva (K_e)	$K_e = 4\pi^2 \frac{m_e}{T_e^2}$	81	1732462,49	2059755,93	kg/m
Cortante basal	$V_{BASE} = K_e \Delta_D$	82	826384,61	972204,80	kg



ESPE

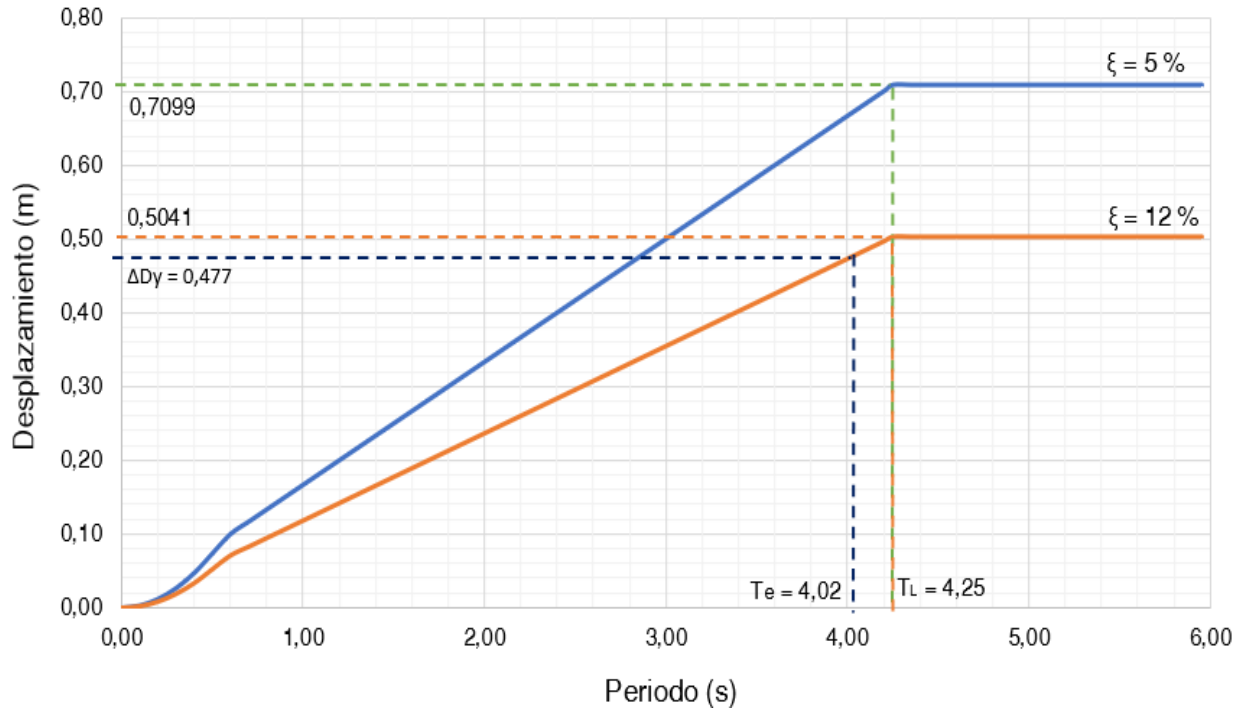
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
Ecuador
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Espectro de desplazamiento

$$S_{d-\xi_{sys}} = S_d \cdot R_{\xi} \quad (\text{Ec. 79})$$

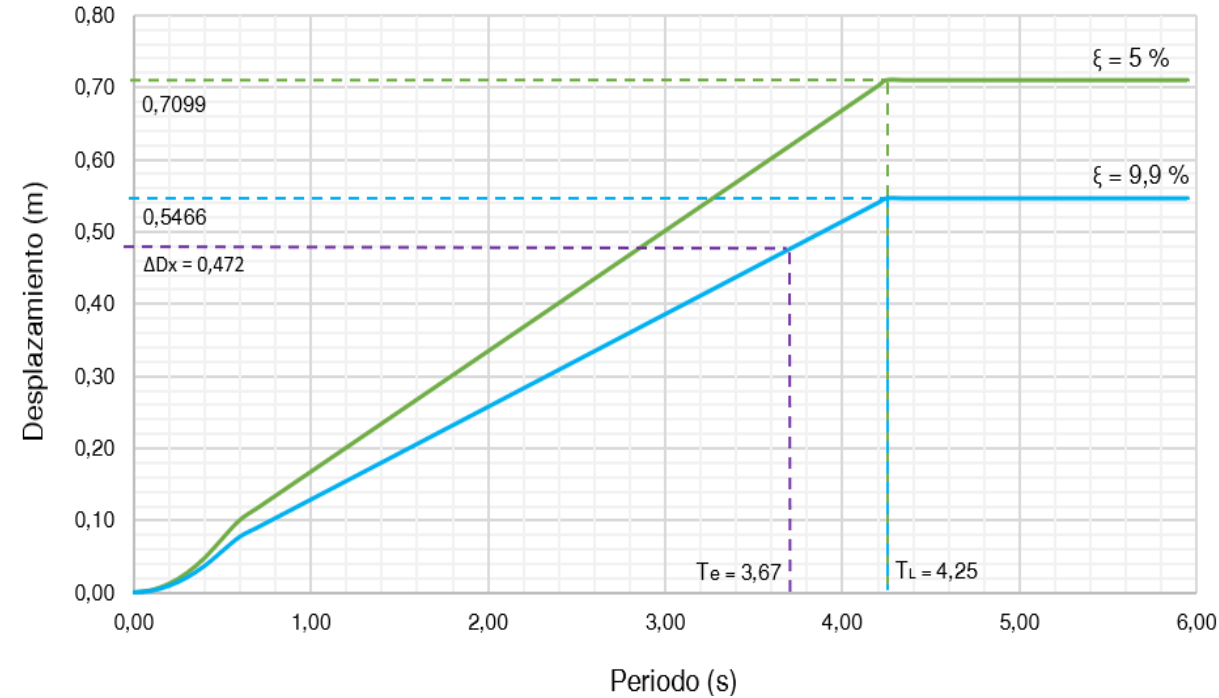
Sentido Y

Desplazamiento espectral en sentido Y



Sentido X

Desplazamiento espectral en sentido X



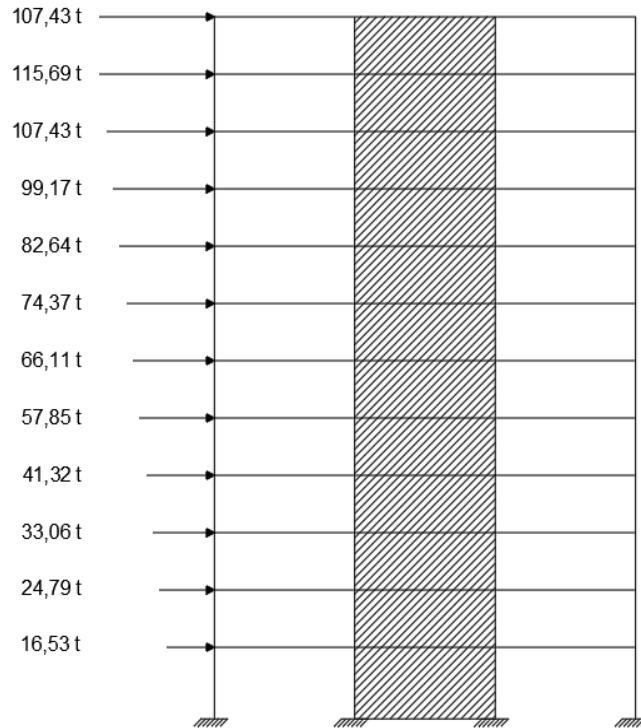
GUÍA PRÁCTICA

Fuerzas laterales por piso

$$F_{L,i} = F_i V_{BASE} \quad (\text{Ec. 83})$$

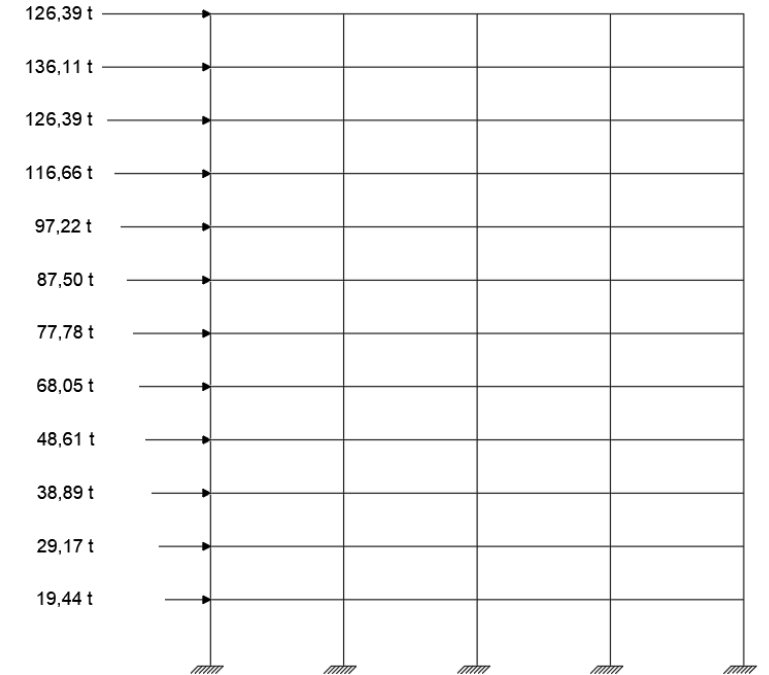
Sentido Y

F_i (rel.)	Fuerzas laterales [t]
0,13	107,43
0,14	115,69
0,13	107,43
0,12	99,17
0,10	82,64
0,09	74,37
0,08	66,11
0,07	57,85
0,05	41,32
0,04	33,06
0,03	24,79
0,02	16,53
0,00	0,00



F_i (rel.)	Fuerzas laterales [t]
0,13	126,39
0,14	136,11
0,13	126,39
0,12	116,66
0,10	97,22
0,09	87,50
0,08	77,78
0,07	68,05
0,05	48,61
0,04	38,89
0,03	29,17
0,02	19,44
0,00	0,00

Sentido X



Consideraciones base para plantear la solución estructural

Cortantes y momentos para pórticos y muros

Sentido Y

Nivel	Altura hi [m]	V _{F,i} pórtico	M _{F,i} pórtico	V _{w,i} muro	M _{w,i} muro	V _{F,i} pórtico kg	M _{F,i} pórtico kg.m	V _{w,i} muro kg	M _{w,i} muro kg.m
12	39,20	0,40	0,00	-0,27	0,00	330553,84	0,00	-223123,84	0,00
11	36,00	0,40	1,28	-0,13	-0,87	330553,84	1057772,30	-107430,00	-718954,61
10	32,80	0,40	2,56	0,00	-1,29	330553,84	2115544,60	0,00	-1066036,15
9	29,60	0,40	3,84	0,12	-1,29	330553,84	3173316,90	99166,15	-1066036,15
8	26,40	0,40	5,12	0,22	-0,92	330553,84	4231089,20	181804,61	-760273,84
7	23,20	0,40	6,40	0,31	-0,22	330553,84	5288861,50	256179,23	-181804,61
6	20,00	0,40	7,68	0,39	0,78	330553,84	6346633,80	322290,00	644580,00
5	16,80	0,40	8,96	0,46	2,04	330553,84	7404406,11	380136,92	1685824,60
4	13,60	0,40	10,24	0,51	3,50	330553,84	8462178,41	421456,15	2892346,14
3	10,40	0,40	11,52	0,55	5,14	330553,84	9519950,71	454511,54	4247616,90
2	7,20	0,40	12,80	0,58	6,92	330553,84	10577723,01	479303,07	5718581,50
1	4,00	0,40	14,08	0,60	8,78	330553,84	11635495,31	495830,77	7255656,88
0	0,00	0,40	15,68	0,60	11,18	330553,84	12957710,68	495830,77	9238979,94

Nivel	altura hi [m]	V _{F,i} pórtico	M _{F,i} pórtico	V _{w,i} muro	M _{w,i} muro	V _{F,i} pórtico [kg]	M _{F,i} pórtico [kg.m]	V _{w,i} muro [kg]	M _{w,i} muro [kg.m]
12	39,20	0,50	0,00	-0,37	0,00	486102,40	0,00	-359715,78	0,00
11	36,00	0,50	1,60	-0,23	-1,19	486102,40	1555885,32	-223607,10	-1156923,71
10	32,80	0,50	3,20	-0,10	-1,93	486102,40	3115284,84	-97220,48	-1876355,26
9	29,60	0,50	4,80	0,02	-2,25	486102,40	4667799,39	19444,10	-2187460,80
8	26,40	0,50	6,40	0,12	-2,20	486102,40	6222874,23	116664,58	-2138850,56
7	23,20	0,50	8,00	0,21	-1,82	486102,40	7781710,97	204163,01	-1769412,74
6	20,00	0,50	9,60	0,29	-1,14	486102,40	9335837,78	281939,39	-1108313,47
5	16,80	0,50	11,20	0,36	-0,20	486102,40	10884563,34	349993,73	-194440,96
4	13,60	0,50	12,80	0,41	0,94	486102,40	12446640,42	398603,97	913872,51
3	10,40	0,50	14,40	0,45	2,26	486102,40	14002750,45	437492,16	2197182,85
2	7,20	0,50	16,00	0,48	3,72	486102,40	15552817,02	466658,30	3616601,86
1	4,00	0,50	17,60	0,50	5,26	486102,40	17115152,33	486102,40	5113797,25
0	0,00	0,50	19,60	0,50	7,26	486102,40	19059561,93	486102,40	7058206,85

Sentido X



Capacidad de momento para vigas

Sentido Y			Sentido X		
Nivel	Altura hi [m]	Mbi viga [kg.m]	Nivel	altura hi [m]	Mbi viga [kg.m]
12	39,20	58765,13	12	39,20	97220,48
11	36,00	58765,13	11	36,00	97220,48
10	32,80	58765,13	10	32,80	97220,48
9	29,60	58765,13	9	29,60	97220,48
8	26,40	58765,13	8	26,40	97220,48
7	23,20	58765,13	7	23,20	97220,48
6	20,00	58765,13	6	20,00	97220,48
5	16,80	58765,13	5	16,80	97220,48
4	13,60	58765,13	4	13,60	97220,48
3	10,40	58765,13	3	10,40	97220,48
2	7,20	58765,13	2	7,20	97220,48
1	4,00	73456,41	1	4,00	121525,60
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00

Fuerzas cortantes y momentos de las columnas.

Columnas	Sentido	Cortante [kg]	Momento [kg.m]
Externas	Y	18364.10	44073.84
	X	30381.40	72915.36
Internas	Y	60762.80	145830.72
	X	36728.20	88147.67

Diseño por capacidad para columnas

Columnas	Sentido	Cortante amplificado [kg]	Momento amplificado [kg.m]
Externas	Y	76042.98	182503.15
	X		
Internas	Y	152085.96	365006.29
	X		

Diseño por capacidad de muros

	Sentido Y	Sentido X	
Ductilidad de desplazamiento del sistema	3,17	2,14	
Momento a mediana altura	0,80	0,61	M _{WB}
Fuerza cortante por muro	925220,22	354368,65	kg
Cortante de diseño en la parte superior del muro	370088,09	141747,46	kg
Esfuerzo cortante máximo por muro	38,55	33,44	kg/cm ²

CONCLUSIONES

El cortante basal en el sentido transversal obtenido corresponde a 826384,61 kg, lo que representa el 89,53% del peso total de la estructura, en el caso del sentido longitudinal el cortante basal que se obtuvo corresponde a 972204,80 kg, lo que corresponde a un 105,33% del peso total.

En lo referente al diseño por capacidad de los elementos estructurales se concluye que las columnas internas presentan un mayor cortante y momento en comparación con las columnas externas. Los muros en sentido Y presentan una mayor ductilidad en comparación con los muros en sentido X, cuyos valores son de 3,17 y 2,14 respectivamente. En el caso de las vigas se evidencia que existe mayor capacidad de momento en el sentido en X con un valor de 97220,48 kg.m, mientras que en el sentido Y se obtuvo un valor de 58765,13 kg.m para los niveles con altura de entrepiso constante.

El análisis de una edificación dual mediante el método directo basado en desplazamientos, en este tipo de construcciones se tienen mayores desplazamientos de diseño que de un pórtico o muro por separado y en el caso de los momentos de diseño de vigas y columnas, estos se reducen en comparación con las edificaciones conformados únicamente por un sistema de pórticos.



RECOMENDACIONES

El método DDBD para el diseño de edificaciones sismorresistentes aún es desconocido, aun cuando sus resultados han sido verificados.

Por lo cual se recomienda implementar dicho método a la planificación educativa para brindar una alternativa al método DBF.

Para futuras investigaciones se recomienda realizar un análisis y diseño de una edificación dual de concreto reforzado aplicando el método de diseño directo basado en desplazamientos en estructuras irregulares puesto que el edificio que se analizó presenta una configuración regular y además durante la investigación se observó que en el texto que sirvió de guía se nombraban algunos de los detalles a considerar en estos casos.

La NEC (2015) menciona dos métodos de diseño de edificaciones sismorresistentes, el diseño basado en fuerzas y el basado en desplazamientos. Se recomienda un estudio referente a la obtención del periodo de esquina en la Normativa Ecuatoriana, puesto que al seguir las recomendaciones planteadas se obtuvo un desplazamiento superior en comparación con el periodo basado en la magnitud máxima esperada que se utilizó en el presente trabajo.

