



Ejercicio en Albañilería Armada

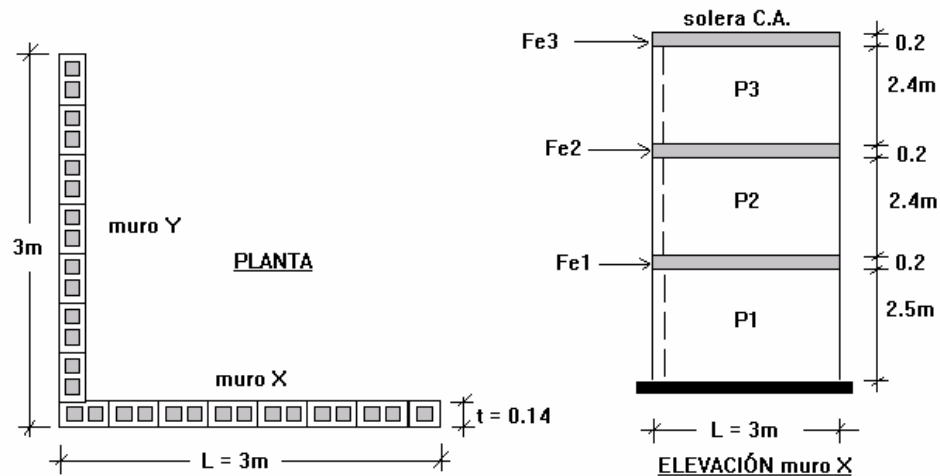
Por: Ángel San Bartolomé
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Los muros en voladizo X e Y, mostrados en la figura, son de albañilería armada hecha con bloques de concreto vibrado, presentan las mismas características y forman parte de un edificio destinado a oficinas, de 3 pisos, ubicado sobre suelo duro en Lima (zona sísmica 3). Realizado el análisis ante el sismo moderado y el metrado de cargas de gravedad acumuladas, se ha determinado las mismas acciones sísmicas y de gravedad en ambos muros, se pide diseñarlos ante acciones coplanares, verificando previamente su comportamiento ante el sismo moderado ($V_e < 0.55V_m$) y ante las acciones de gravedad, según se especifica en la Norma E.070.

Datos:

- Bloque de calidad intermedia ($f'_b = 65 \text{ kg/cm}^2$)
- Grout ($f'_c = 140 \text{ kg/cm}^2$)
- Pilas rellenas con grout: $f'_m = 85 \text{ kg/cm}^2 = 850 \text{ ton/m}^2$
- Muretes rellenos con grout: $v'_m = 9.2 \text{ kg/cm}^2 = 92 \text{ ton/m}^2$
- Acero de refuerzo: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 = 4.2 \text{ ton/cm}^2$
- Fuerzas laterales por sismo moderado (ton): $F_{e3} = 3$ $F_{e2} = 2$ $F_{e1} = 1$
- Cargas permanentes acumuladas (ton): $P_{D3} = 3$ $P_{D2} = 8$ $P_{D1} = 13$
- Sobrecargas acumuladas (ton): $P_{L3} = 1$ $P_{L2} = 3$ $P_{L1} = 5$

Nota: se presentará las secciones transversales de cada piso con el refuerzo respectivo y se utilizará la nomenclatura de la Norma E.070.



1. VERIFICACIONES PREVIAS

Se analizará sólo al muro X, ya que el muro Y presenta condiciones similares.

1.1. Esbeltez

En el primer piso (el más esbelto): $h / t = 2.5 / 0.14 = 17.9 < 20 \dots \text{Ok. para la Zona 3.}$

1.2. Esfuerzo Axial Máximo

La verificación se realiza en el primer piso (el más esforzado) con el 100% de sobrecarga:

$$P_m = P_D + P_L = 13 + 5 = 18 \text{ ton} \rightarrow \sigma_m = P_m / (L t) = 18000 / (300 \times 14) = 4.29 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo axial admisible es: $F_a = 0.2 f' m [1 - (h / 35t)^2] < 0.15 f' m$
 $F_a = 0.2 f' m [1 - (2.5/(35 \times 0.14))^2] = 0.148 f' m < 0.15 f' m$

Con lo cual: $F_a = 0.148 \times 85 = 12.6 \text{ kg/cm}^2 > \sigma_m = 4.29 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{Ok.}$

1.3. Sismo Moderado, Resistencia al Agrietamiento y Fuerzas Internas Últimas (Mu, Vu)

La resistencia al agrietamiento diagonal está dada por:

$$V_m = 0.5 v' m \alpha t L + 0.23 P_g$$

Donde: $P_g = PD + 0.25PL$; $y, 1/3 \leq \alpha = V_e L / M_e \leq 1.0$

$$\text{Luego: } V_m = 0.5 \times 92 \times \alpha \times 0.14 \times 3.0 + 0.23 P_g = 19.32 \alpha + 0.23 P_g$$

Las fuerzas internas producidas por el sismo moderado (M_e, V_e), se obtienen por equilibrio del muro en voladizo (isostático).

Las fuerzas internas últimas (M_u, V_u) se obtienen multiplicando las acciones del sismo moderado (M_e, V_e) por el factor de amplificación 1.25: $M_u = 1.25 M_e, V_u = 1.25 V_e$

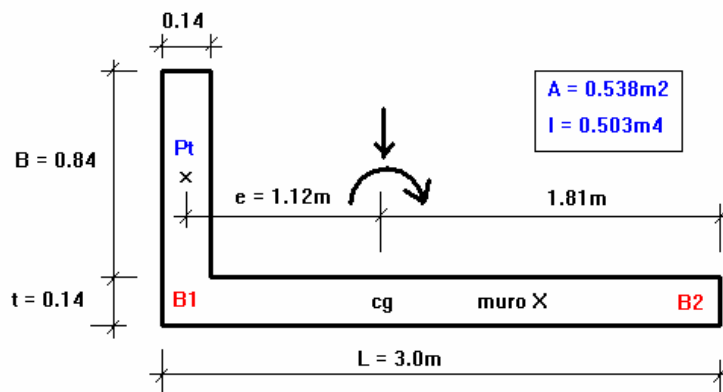
Piso	PD (ton)	PL (ton)	Pg (ton)	Fe (ton)	Ve (ton)	Me (ton-m)	α	Vm (ton)	0.55Vm (ton)	Vu (ton)	Mu (tn-m)
3	3	1	3.25	3	3	7.8	1.00	20.07	11.04	3.75	9.75
2	8	3	8.75	2	5	20.8	0.72	15.92	8.76	6.25	26.00
1	13	5	14.25	1	6	36.4	0.49	12.74	7.01	7.50	45.50

En todos los pisos se tiene $V_e < 0.55 V_m \rightarrow$ los muros no se agrietan ante el sismo moderado.

1.4. Confinamiento en los Talones

En condiciones últimas y considerando el 100% de sobrecarga, sólo se revisa el borde libre más crítico, que es el borde B2 en el primer piso:

- $P_{mu} = 1.25 P_m = 1.25 (13+5) = 22.5 \text{ ton}$
- Ancho efectivo de la pared Y: $B = \frac{1}{4} (L - t) = \frac{1}{4} (3.0 - 0.14) = 0.72 \text{ m}$ ó $6 t = 6 \times 0.14 = 0.84 \text{ m}$, no mayor que $\frac{1}{2} (L - t) = 1.43 \text{ m} \rightarrow$ usar $B = 0.84 \text{ m}$.
- Carga tributaria última del muro Y: $P_t = P_{mu} (B/L) = 22.5 \times (0.84/3) = 6.3 \text{ ton}$
- Sección transversal, área axial (A), momento de inercia (I) y centroide (cg):



Revisión del borde B2, con la fórmula de flexión compuesta: $\sigma_u = P_u / A + M_u y / I$

Donde: $P_u = P_{mu} + P_t = 22.5 + 6.3 = 28.8 \text{ ton}$
 $M_u = 45.5 - P_t e = 45.5 - 6.3 \times 1.12 = 38.44 \text{ ton-m}$
 $y = 1.81 \text{ m}$

Se tiene: $\sigma_u = 28.8/0.538 + 38.44 \times 1.81/0.503 = 53.53 + 138.32 = 192 \text{ ton/m}^2$

Puesto que $\sigma_u = 192 \text{ ton/m}^2$ es menor que $0.3f'm = 0.3 \times 850 = 255 \text{ ton/m}^2 \rightarrow$ no se requiere confinar al borde libre B2.

2.0 DISEÑO DEL REFUERZO VERTICAL

Tal como se especifica en la Norma E.070, puede emplearse las expresiones correspondientes a una sección rectangular, reduciendo al momento flector M_u la cantidad $0.9 P_{gt} L/2$ cuando en el borde traccionado exista una pared transversal con carga tributaria P_{gt} (en este caso en el borde B1 para sismo en +XX).

A fin de comprender mejor esta especificación, se seguirá un camino ligeramente distinto al de la Norma E.070.

Según la Norma para un muro de sección rectangular: $M_n = A_s f_y D + P_u L/2 \geq M_u / \phi$

Donde: M_n = momento nominal o capacidad resistente a flexión de la sección
 A_s = área de acero vertical a colocar en el borde de la sección (mínimo: 2#3)
 $f_y = 4.2 \text{ ton/cm}^2$
 $D = 0.8 L = 0.8 \times 3 = 2.4 \text{ m}$ = peralte efectivo
 $0.65 \leq \phi \leq 0.85 - 0.2 P_u/P_o \leq 0.85$
 $P_o = 0.1 f'm t L = 0.1 \times 850 \times 0.14 \times 3.0 = 35.7 \text{ ton}$

Definiendo $T = A_s f_y$ = tracción en unos de los bordes de la sección rectangular, se tendrá:

$$M_n = T D + P_u L/2 = M_u / \phi \rightarrow T = [M_u / \phi - P_u L/2] / D$$

Para hallar el área de acero vertical ($A_s = T / f_y$), se restará al valor T la compresión proveniente de la pared transversal (P_t) en caso existiese (en este caso en el borde B1).

Para determinar A_s , debe trabajarse con la menor carga axial posible para maximizar A_s : $P_u = 0.9 P_{gt}$; y, $P_t = P_u B/L = P_u (0.84/3.0) = 0.28 P_u$. En la última expresión, se entiende que P_u es la menor carga última que existe en el muro "Y", que en este caso es similar a la del muro "X".

Piso	Pg (ton)	Pu (ton)	ϕ	sección rectangular		borde B1		borde B2	
				Mu (ton-m)	T (ton)	Pt (ton)	As (cm ²)	Pt (tn)	As (cm ²)
3	3.25	2.93	0.83	9.75	3.06	0.82	0.53 \rightarrow 2 # 3	0	0.73 \rightarrow 2 # 3
2	8.75	7.88	0.81	26.00	8.45	2.21	1.49 \rightarrow 2 # 3	0	2.01 \rightarrow 1#4+1#3
1	14.25	12.83	0.78	45.50	16.29	3.59	3.02 \rightarrow 2#4+1#3	0	3.88 \rightarrow 3 # 4

Nota: la cuantía de refuerzo vertical en la zona central del muro ($\rho = 0.001$), no se considera en el aporte de resistencia a flexión, ya que se reserva para soportar la acción de corte-cizalle. En este caso, usando 1 ϕ 3/8" @ 40cm, esta cuantía resulta $A_s / (s t) = 0.71/(14 \times 40) = 0.0013 > 0.001$.

2.1. Momento Flector Nominal en el Primer Piso

Para determinar el máximo momento flector nominal que podría generarse cuando el primer piso se rotule plásticamente ante el sismo severo, se trabaja con la mayor carga axial posible y el mayor de los refuerzos obtenidos en los bordes (en este caso en B2: 3#4 \rightarrow $A_s = 3.87 \text{ cm}^2$).

$$P_{u1} = 1.25 P_m = 1.25 \times 18 = 22.5 \text{ ton}$$

$$M_{n1} = A_s f_y D + P_u L/2 = 3.87 \times 4.2 \times 2.4 + 22.5 \times 3.0 / 2 = 72.76 \text{ ton-m}$$

3. DISEÑO POR CORTE

El refuerzo horizontal se diseña para soportar la fuerza cortante asociada al mecanismo de falla por flexión en el primer piso, amplificada por 1.25 para contemplar la incursión del refuerzo vertical en la zona de endurecimiento, además, en previsión de que el muro del primer piso se agriete diagonalmente, la fuerza cortante de diseño (V_{uf1}) no deberá ser menor que V_{m1} .

De esta manera: $V_{uf} = 1.25 (M_{n1}/M_{u1}) V_u = 1.25 (72.76/45.5) V_u = 2.0 V_u$

Con: $V_{uf1} \geq V_{m1}$; y, $v_{uf1} = V_{uf1} / (L t) < 0.1 \text{ f'm} = 85 \text{ ton/m}^2$ en el piso 1
 $V_{ufi} \leq V_{mi}$; y, $v_{ufi} = V_{ufi} / (L t) < 0.2 \text{ f'm} = 170 \text{ ton/m}^2$ para $i > 1$

Luego: **Ash = $V_{uf} s / (f_y D)$** = área de acero horizontal

Con: $D = 0.8 L$ cuando $M_e / (V_e L) \geq 1$

$D = L$ cuando $M_e / (V_e L) < 1$

Según se indica en la Norma, la cuantía mínima de refuerzo horizontal es: $\rho = 0.001$ (1 # 3 @ 40cm) y en los 2 primeros pisos debe rellenarse completamente con grout, mientras que a partir del tercer piso puede emplearse albañilería parcialmente rellena sólo si $V_{uf3} < 0.5 V_{m3}$.

Empleando un espaciamiento entre refuerzos horizontales $s = 40\text{cm}$, se hallará Ash:

Piso	V_u (ton)	V_m (ton)	V_{uf} (ton)	$v_{uf} = V_{uf}/(L t)$ (ton/m ²)	$M_e / (V_e L)$	D (m)	Ash (cm ²) para $s = 0.40\text{m}$ (cada 2 hiladas)
3	3.75	20.07	7.50 (*)	$17.9 < 0.2 \text{ f'm}$	0.87	3.0	$0.24 \rightarrow 1 \# 3 @ 0.4$ manda mín.
2	6.25	15.92	12.50	$29.8 < 0.2 \text{ f'm}$	1.39	2.4	$0.50 \rightarrow 1 \# 3 @ 0.4$ manda mín.
1	7.50	12.74	15.00	$35.7 < 0.1 \text{ f'm}$	2.02	2.4	$0.60 \rightarrow 1 \# 3 @ 0.4$ manda mín.

(*) $V_{uf3} < 0.5 V_{m3} \rightarrow$ podría emplearse albañilería parcialmente rellena en el piso 3. En este ejemplo se prefiere rellenar completamente el tercer piso para no usar escalerilla electrosoldada en las juntas, o taponar bloques cada dos hiladas.

