

# DISEÑO ESTRUCTURAL II

Carrera de **Arquitectura**

Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Cuyo



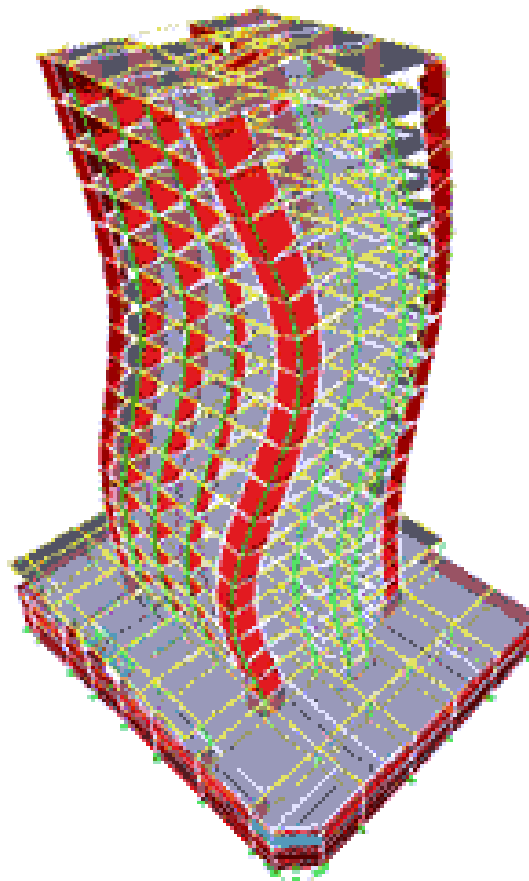
**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD DE  
INGENIERÍA**

## UNIDAD 5

### EJEMPLO AREA MINIMA – RIGIDEZ - EXCENTRICIDAD



Dr. Ing. Gonzalo S. Torrissi

2023

**EJEMPLO**

Supongamos una estructura de dos niveles donde las dimensiones en planta son de  $L_x=12\text{m}$  y  $L_y=8\text{m}$ , dando un área por planta de  $96\text{m}^2$  y área total de  $192\text{m}^2$ .

A los efectos del ejemplo tomemos una carga promedio de  $q=1\text{ T/m}^2$  lo que da un peso total de estructura de  $Q=192\text{ t}$ .

Vamos a colocar como elementos resistentes Muros de mampostería y tabiques de hormigón armado, ya que queremos planta libre y con mampostería en la periferia no lograríamos tener las aberturas necesarias.

Por lo tanto, el corte basal total del edificio sería  $V_o=cQ$ . Para la mampostería encadenada simple  $R=3$  y para tabiques de hormigón armado podemos tomar  $R=4$ . A los fines de este ejemplo consideraremos que  $R=3$  (el menor) ya que mezclaremos materiales y sistemas estructurales. Por lo tanto  $R_x=R_y=3.0$

De esta forma

$$c_x = 2.5C_a\gamma_r/R_x = 2.5 \times 0.4 \times 1.0 / 3.0 = 0.33$$

$$c_y = 2.5C_a\gamma_r/R_y = 2.5 \times 0.4 \times 1.0 / 3.0 = 0.33$$

$$V_{ox} = c_x Q = 0.33 \times 192\text{t} = 63.36\text{ t} \approx 64\text{ t} \text{ (para redondear)}$$

$$V_{oy} = c_y Q = 0.33 \times 192\text{t} = 63.36\text{ t} \approx 64\text{ t} \text{ (para redondear)}$$

Si fuese todo mampostería, el área necesaria sería:  $A_{nec}=V_o/v$  y como para mampostería  $v=0.8 \times 22\text{ t/m}^2 = 18\text{ t/m}^2$  (el valor de  $22\text{ t/m}^2$  es el  $f'_v$  del reglamento y  $0.8$  el factor de resistencia), resultaría en  $A_{nec}=64\text{ t} / 18\text{ t/m}^2 = 3.56\text{ m}^2$ , que si consideramos un ancho de muro de  $0.18\text{m}$ , la longitud necesaria sería de  $3.56/0.18 = 19.75\text{m}$  ( $20\text{ m}$  redondeando). O sea, no se podrían colocar ventanas en dirección X y no alcanzarían los dos laterales en dirección Y, cuya longitud es de  $8\text{m}$ .

Dada esta situación optamos por colocar un muro completo en uno de los bordes de la planta, en cada dirección y compensar con un tabique de hormigón. De esta forma, en dirección X.

Un muro de  $12\text{m}$  de largo y  $0.18\text{m}$  de ancho soporta un corte de  $V_m=0.8 \times 22\text{ t/m}^2 \times 0.18\text{m} \times 12\text{m}=38\text{ t}$ . Como el corte total a tomar en esa dirección es  $V_{ox}=64\text{ t}$ , el tabique debería tomar un corte de

$$V_t = 64\text{ t} - 38\text{ t} = 26\text{ t}$$

y como el tabique resiste  $v=100\text{ t/m}^2$ , se necesitan  $26/100 = 0.26\text{ m}^2$  de tabiques, que al ser de  $0.20\text{m}$  de espesor da una longitud necesaria de

$$L = 0.26/0.2 = 1.3\text{ m}$$

En forma análoga en dirección Y, un muro de mampostería de 8m de largo y 0.18m de espesor soporta un corte de  $V_m = 0.8 \times 22 \text{ t/m}^2 \times 0.18 \text{ m} \times 8 \text{ m} = 25 \text{ t}$ . Como el corte total a tomar en esa dirección es  $V_{oy} = 64 \text{ t}$ , el tabique debería tomar un corte de

$$V_t = 64 \text{ t} - 25 \text{ t} = 39 \text{ t}$$

y como el tabique resiste  $v = 100 \text{ t/m}^2$ , se necesitan  $39/100 = 0.39 \text{ m}^2$  de tabiques, que al ser de 0.20m de espesor da una longitud necesaria de

$$L = 0.39/0.2 = 1.95 \text{ m}$$

Hasta este punto hemos cumplido con colocar el área mínima de estructura, sin embargo, no aseguramos que se cumpla con la condición de excentricidad. Para eso calculamos la rigidez de los muros de mampostería y tabiques de hormigón armado y vemos la posición del Centro de masas y centro de rigidez.

$$\text{Módulo de elasticidad de la mampostería: } E_m = 1200 f'_m = 1200 \times 225 \text{ t/m}^2 = 270000 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Módulo de elasticidad del hormigón: } E_h = 100 \times 4700 \times 20^{0.5} = 2101904 \text{ t/m}^2 \text{ (El valor de 100 que aparece es para llevar valores de MPa a T/m}^2 \text{ y se supone un hormigón H20)}$$

En este punto se podría calcular la rigidez REAL de los elementos estructurales, pero vamos a realizar una SIMPLIFICACION y asumir que la rigidez es proporcional a la longitud del elemento. Sin embargo, como existen distintos materiales con distinto módulo de elasticidad en la misma dirección, vamos a considerar que la rigidez es proporcional al área del elemento multiplicada por su módulo de elasticidad. Se puede ver que los valores de módulos de elasticidad son números grandes, es por ello que vamos a dividir a todos los módulos por el valor del más chico, o sea el módulo de la mampostería. De esta forma, el módulo de elasticidad relativo de la mampostería es  $E_m = 1.0$  y el del hormigón  $E_h = 2101904 / 270000 = 7.78$  (similar a 8 si redondeamos).

De esta forma:

$$K_{m1x} = 0.18 \text{ m} \times 12.0 \text{ m} \times 1.00 = 2.16 \text{ t/m}$$

$$K_{t1x} = 0.20 \text{ m} \times 1.30 \text{ m} \times 8.00 = 2.08 \text{ t/m}$$

$$K_{m1y} = 0.18 \text{ m} \times 8.00 \text{ m} \times 1.00 = 1.44 \text{ t/m}$$

$$K_{t1y} = 0.20 \text{ m} \times 1.95 \text{ m} \times 8.00 = 3.12 \text{ t/m}$$

Si se colocan los ejes de referencia en la esquina inferior izquierda de la planta, las coordenadas del CM son (6.00m, 4.00m)

Y las coordenadas del CR, asumiendo que los tabiques están colocados en el borde opuesto al muro de mampostería (periferia):

$$X_{cr} = (3.12 \times 0.0 + 1.44 \times 12.00) / (3.12 + 1.44) = 3.79 \text{ m}$$

$$Y_{cr} = (2.08 \times 0.00 + 2.16 \times 8.00) / (2.08 + 2.16) = 4.08 \text{ m}$$

Y las excentricidades son

$$e_x = 3.79 - 6.00 = 2.21 \text{ m} \quad e_{x\_limite} = 0.05 \times 12\text{m} = 0.6 \text{ m} \quad \text{NO CUMPLE}$$

$$e_y = 4.08 - 4.00 = 0.08 \text{ m} \quad e_{y\_limite} = 0.05 \times 8\text{m} = 0.4 \text{ m} \quad \text{SI CUMPLE}$$

Es claro que si quisiéramos poner en lugar de un tabique de 1.95 dos tabiques de 0.98m de largo (misma área de tabiques), la excentricidad sería la misma ya que la rigidez la calculamos en función del área.

Veamos ahora que sucede si calculamos la rigidez en forma exacta, para ello la rigidez del tabique será afectada por 0.7 para considerar la degradación y se tomará el modelo de biela para calcular la rigidez de los muros de mampostería, tomando como ancho de biela su longitud /10. Dado que las limitaciones del IC103-III indican que ningún panel puede tener una longitud mayor de 5m ni un área de 20m<sup>2</sup>, subdividiremos los muros cada 4m con columnas de encadenado, así todos los vanos serán de 4m. La altura del nivel se toma como 3.0 m

#### Muro X1:

$$L=12\text{m}, 3 \text{ paneles de } 4\text{m}. \quad \text{Longitud de la diagonal} = (4^2+3^2)^{0.5}=5\text{m}$$

$$\text{Ancho de la diagonal } w=5\text{m}/10=0.50\text{m}$$

$$\text{Área de la diagonal } A_d = tw = 0.18\text{m} \times 0.50 \text{ m} = 0.09 \text{ m}^2$$

$$\text{Coseno del Angulo de la diagonal } \cos = L/L_d = 4/5=0.8$$

$$\text{Rigidez de un paño} = E_m A_d \cos^2 / L_d = 1.00 \times 0.09 \times 0.8^2 / 5 = 0.01152$$

$$\text{Como son 3 paneles : } K_{m1x} = 3 \times 0.01152 = 0.03456 \text{ t/m}$$

#### Tabique 1X:

$$L= 1.30\text{m} \quad J=0.2 \times 1.3^3/12 =0.0366$$

$$Kt1x = 0.7 \times 3 \times 8.00 \times 0.0366 / (3^3 \times (1+0.75(1.3/3)^2)) = 0.020 \text{ t/m}$$

#### Muro Y1:

$$L=8\text{m}, 2 \text{ paneles de } 4\text{m}. \quad \text{Longitud de la diagonal} = (4^2+3^2)^{0.5}=5\text{m}$$

$$\text{Ancho de la diagonal } w=5\text{m}/10=0.50\text{m}$$

$$\text{Área de la diagonal } A_d = tw = 0.18\text{m} \times 0.50 \text{ m} = 0.09 \text{ m}^2$$

$$\text{Coseno del Angulo de la diagonal } \cos = L/L_d = 4/5=0.8$$

$$\text{Rigidez de un paño} = E_m A_d \cos^2 / L_d = 1.00 \times 0.09 \times 0.8^2 / 5 = 0.01152$$

$$\text{Como son 2 paneles : } K_{m1y} = 2 \times 0.01152 = 0.02304 \text{ t/m}$$

#### Tabique 1Y:

$$L= 1.95\text{m} \quad J=0.2 \times 1.3^3/12 =0.124$$

$$K_{t1y} = 0.7 \times 3 \times 8.00 \times 0.124 / (3^3 \times (1 + 0.75(1.95/3)^2)) = 0.058 \text{ t/m}$$

$$X_{cr} = (0.058 \times 0.0 + 0.02304 \times 12.00) / (0.058 + 0.02304) = 3.41 \text{ m}$$

$$Y_{cr} = (0.02 \times 0.00 + 0.03456 \times 8.00) / (0.02 + 0.03456) = 5.07 \text{ m}$$

Y las excentricidades son

$$e_x = 3.41 - 6.00 = 2.59 \text{ m} \quad e_{x\_limite} = 0.05 \times 12 \text{ m} = 0.6 \text{ m} \quad \text{NO CUMPLE}$$

$$e_y = 5.07 - 4.00 = 1.07 \text{ m} \quad e_{y\_limite} = 0.05 \times 8 \text{ m} = 0.4 \text{ m} \quad \text{NO CUMPLE}$$

Parecería que el problema no tiene solución y se agrava cada vez más, pero si colocamos elementos mas rígidos en donde hay menos rigidez se podría compensar:

En dirección X, el tabique posee menos rigidez que el muro, por lo tanto si tomamos un tabique de  $L = 1.65 \text{ m}$   $K_{t1x} = 0.038 \text{ t/m}$  y entonces:  $Y_{cr} = 3.81 \text{ m}$  y  $e_y = 0.19 \text{ m} < \text{limite}$

En dirección Y, el tabique es mas rígido que el muro, por lo que el muro se puede hacer de 26 cm de espesor, de esta forma:  $K_{m1y} = 0.033 \text{ t/m}$  y entonces:  $X_{cr} = 4.35 \text{ m}$  y  $e_x = 1.64 \text{ m}$  aun mayor que el límite.

Por ello se adopta colocar un baño la esquina con un tabique de 2m de longitud separado 1.50m del muro M1y.

La rigidez de este muro es:  $K_{t2y} = 0.06 \text{ t/m}$  y se mantiene el muro de 18cm de espesor, de esta forma:  $X_{cr} = 6.43 \text{ m}$  y  $e_x = 0.43 \text{ m} < \text{al limite}$

Se muestra la planta final con los elementos sismorresistentes colocados.

