

PRÁCTICA 3

CÁLCULO DE CARGAS SÍSMICAS Y LEYES DE ESFUERZOS EN UN EDIFICIO



ugr

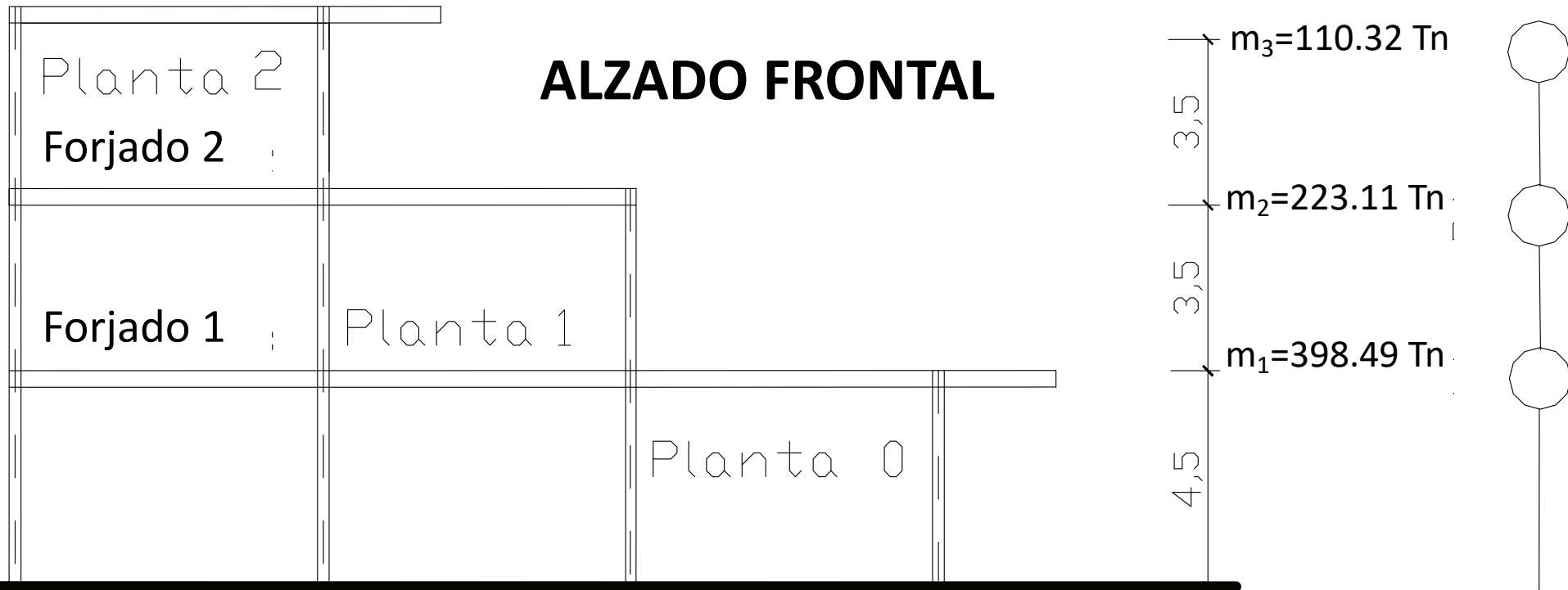
Universidad
de Granada

Rafael Bravo Pareja, Fernando Gómez Martínez y Antonio
Ruiz Sánchez. Grado en Arquitectura. Curso 2021-2022

PRÁCTICA 3.

Se va a realizar el cálculo sísmico de la siguiente estructura de hormigón con forjado unidireccionales.

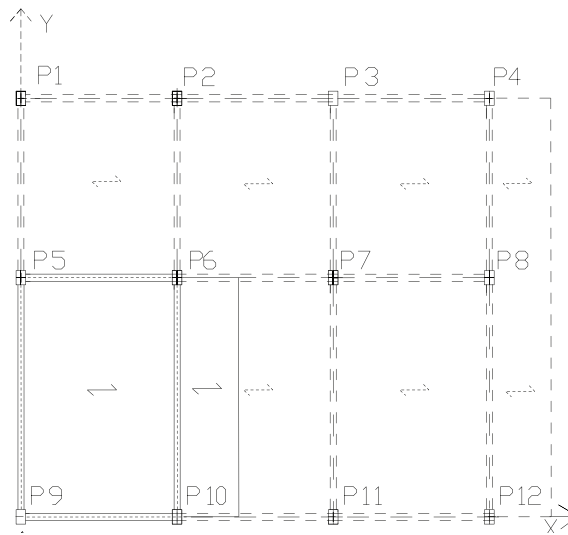
Forjado 3



Masas: $m_3 = 110.32 \text{ Tn}$, $m_2 = 223.11 \text{ Tn}$ y $m_1 = 398.49 \text{ Tn}$

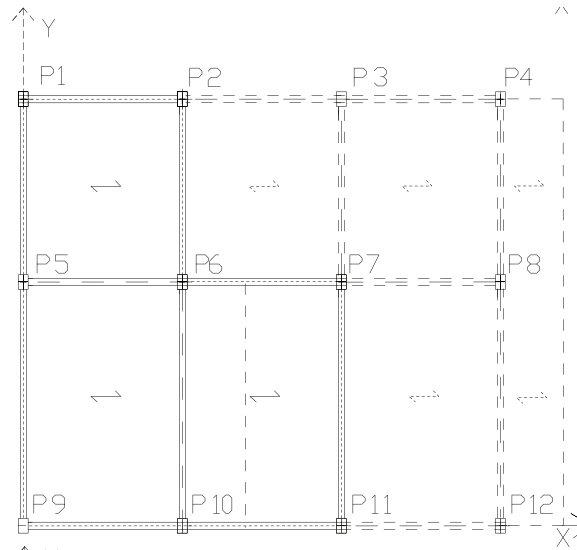
PRÁCTICA 3.

FORJADO 3



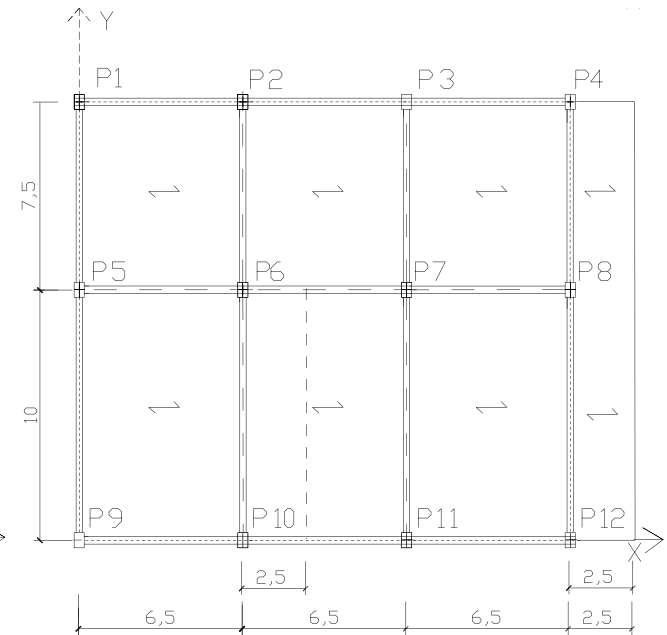
Sismo Y

FORJADO 2



Sismo Y

FORJADO 1



Sismo Y

Dimensión de vigas: 0.3m (ancho) x 0.7m (canto)

Dimensión de pilares: 0.35m x 0.5m

MOVIMIENTO VIBRACIÓN EN Y. EL EDIFICIO SE TRASLADA EN Y

PRÁCTICA 3.

Enunciado del ejercicio

La estructura de la figura es de importancia normal $\gamma_1 = 1.0$ y está resuelta con pórticos de nudos rígidos de hormigón armado. La estructura se quiere proyectar de forma que tenga ductilidad alta ($q=4.5$).

Se desea realizar el cálculo sísmico de la misma para el terremoto actuando en la dirección positiva del **eje global Y**, aplicando el **método de las fuerzas laterales del EC-8**.

A efectos de calcular la rigidez lateral de los pilares, supóngase que son barras perfectamente empotradas en los extremos ($K=12EI/H^3$).

PRÁCTICA 3.

Se pide:

1. **Calcular las fuerzas sísmicas** en cada uno de los forjados del edificio.
2. **Calcular los cortantes debidos al sismo en cada una de las plantas del pórtico plano** formado por los pilares **P4-P8-P12**. Y en el pórtico formado por los pilares **P1-P2-P3-P4**

(Para los efectos de torsión, añadir a las excentricidades reales unas excentricidades adicionales de 0.9 m en cada forjado a la izquierda.)
3. Estimar por métodos aproximados las **envolventes de solicitaciones** de momentos flectores M_d y cortantes V_d de la viga **P12-P8** del forjado 1 para la combinación y para los pórticos P12-P8-P4 y P1-P2-P3-P4 las leyes de momentos flectores debidas al sismo.

$$(1.0 \times \text{carga permanente}) + (0.3 \times \text{sobrecarga}) \pm (1.0 \times \text{sismo})$$

PRÁCTICA 3.

DATOS:

-Tipo de terreno: A (Roca dura).

-Datos para el espectro elástico:

-Aceleración de referencia máxima del suelo en terreno tipo ROCA. $\alpha_{gR}=0.23g$ m/s²

S	T _B (s)	T _C (s)	T _D (s)
1.0	0.15	0.4	2.0

-Módulo de Young del material hormigón. $E=2 \times 10^7$ kN/m²

PRÁCTICA 3.

Cargas:

Permanentes (CP):

- Peso propio forjado: 4.0 kN/m^2
- Peso propio pavimento y falso techo en vivienda: 1.1 kN/m^2
- Peso propio de la cubierta fría: 1.5 kN/m^2
- Carga permanente de tabiquería: 1.1 kN/m^2
- Peso propio cerramiento exterior: 8.0 kN/m
- Densidad hormigón armado: 25 kN/m^3

Sobrecargas (SC):

- Sobrecarga de uso vivienda: 2 kN/m^2
- Sobrecarga de uso cubierta: 1 kN/m^2
- Sobrecarga en extremos de voladizo: 2 kN/m

P3 - SISTEMA

Datos: $n = 3$ plantas
 masas $\left\{ \begin{array}{l} m_3 = 110'32 \text{ t} \\ m_2 = 223'11 \text{ t} \\ m_1 = 398'49 \text{ t} \end{array} \right.$
 $\Sigma m_i = 731'92 \text{ t}$

Vigas $\left\{ \begin{array}{l} b_b = 0'30 \text{ m} \\ h_b = 0'70 \text{ m} \end{array} \right.$
 Pilares $\left\{ \begin{array}{l} b_c = 0'35 \text{ m} \\ h_c = 0'50 \text{ m} \end{array} \right.$

$\delta_x = 10$
 $q = 4'5$
 $S = 10$
 $E = 2 \cdot 10^7 \text{ kg/cm}^2$

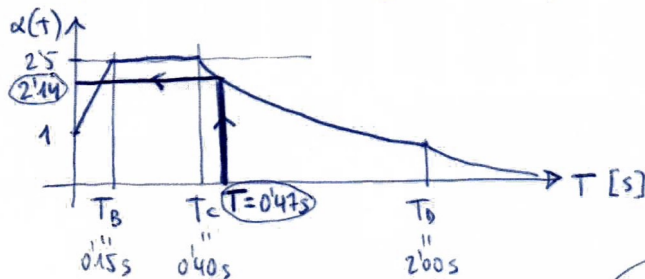
Cargas:
 $F \rightarrow 4'0 \text{ kg/m}^2$
 $P \rightarrow 1'1 \text{ kg/m}^2$
 $C \rightarrow 1'5 \text{ kg/m}^2$
 $T \rightarrow 1'1 \text{ kg/m}^2$
 $\text{Cen} \rightarrow 8'0 \text{ kg/m}$
 $\text{Surr} \rightarrow 2 \text{ kg/m}^2$
 $\text{Sub} \rightarrow 1 \text{ kg/m}^2$
 $\text{Sud} \rightarrow 2 \text{ kg/m}$

Subíndices: $i \rightarrow$ planta; $j \rightarrow$ pilar; $k \rightarrow$ resto de plantas; $n \rightarrow$ última planta

1) Fuerzas sísmicas estáticas equivalentes

1.1 - Fuerza sísmica total: $F_b = S_d(T_1) \cdot (\lambda M) = \left[(a_{gr} \cdot \delta_x \cdot S) \frac{\alpha(T)}{q} \right] [\lambda M]$

$T_1 = 0'075 \cdot H^{0'75} = 0'075 (4'5 + 3'5 + 3'5)^{0'75} = 0'47 \text{ s}$



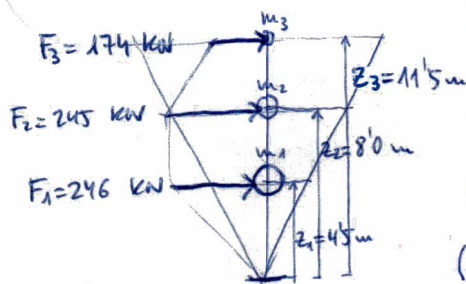
$T_c < T_1 < T_D \Rightarrow$ 3er tramo \Rightarrow

$\Rightarrow \alpha(T) = 2'5 \cdot \frac{T_c}{T_1} = 2'5 \cdot \frac{0'40}{0'47} = 2'14$

$\left. \begin{array}{l} n > 2 \\ T_1 \leq 2T_c \end{array} \right\} \Rightarrow \lambda = 0'85 \left\} \rightarrow F_b = \left[(0'23g \cdot 10 \cdot 10) \frac{2'14}{4'5} \right] [0'85 \cdot 731'92 \text{ t}] = \underline{666 \text{ kW}}$

2.2 - Fuerzas sísmicas de planta:

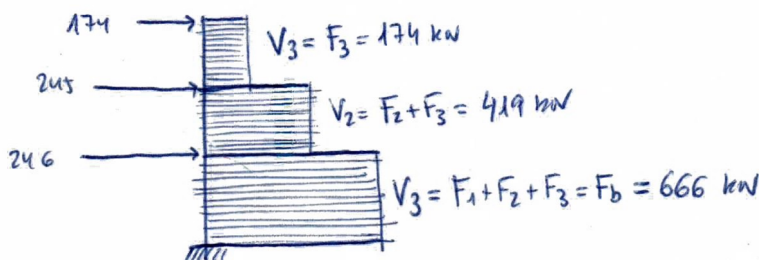
$$F_i = F_b \frac{m_i \cdot z_i}{\sum_k m_k \cdot z_k} = F_b \frac{m_i z_i}{\sum_k m_k z_k}$$

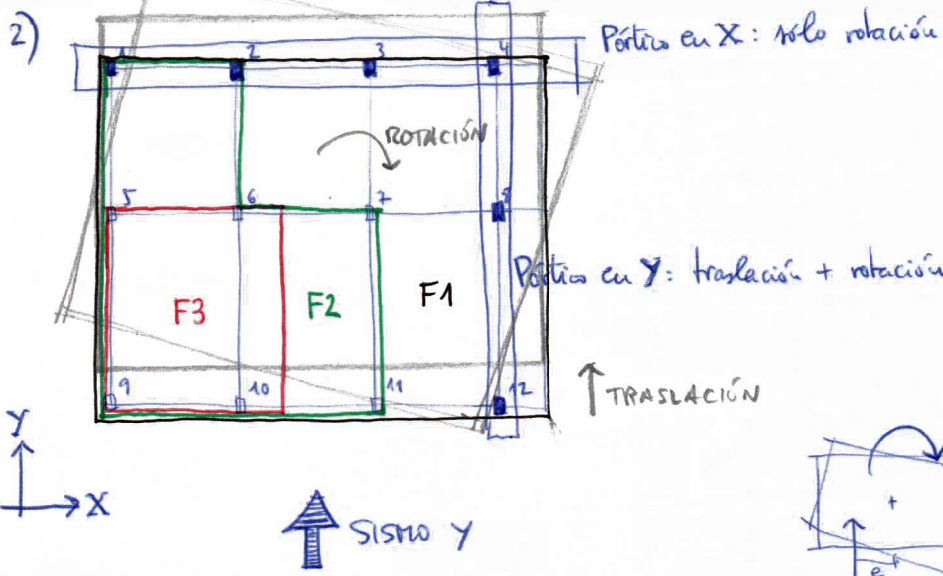


$\phi_3 = \frac{z_3}{z_3} = 1'00 \rightarrow F_3 = F_b \frac{m_3 z_3}{m_1 z_1 + m_2 z_2 + m_3 z_3} = 174 \text{ kW}$
 $\phi_2 = \frac{z_2}{z_3} = 0'70 \rightarrow F_2 = F_b \frac{m_2 z_2}{m_1 z_1 + m_2 z_2 + m_3 z_3} = 245 \text{ kW}$
 $\phi_1 = \frac{z_1}{z_3} = 0'39 \rightarrow F_1 = F_b \frac{m_1 z_1}{m_1 z_1 + m_2 z_2 + m_3 z_3} = 246 \text{ kW}$
 $(\phi_i = \frac{z_i}{z_n})$

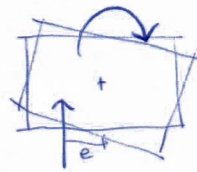
2.3 - Cortantes de planta:

$$V_i = \sum_{k \geq i} F_k$$

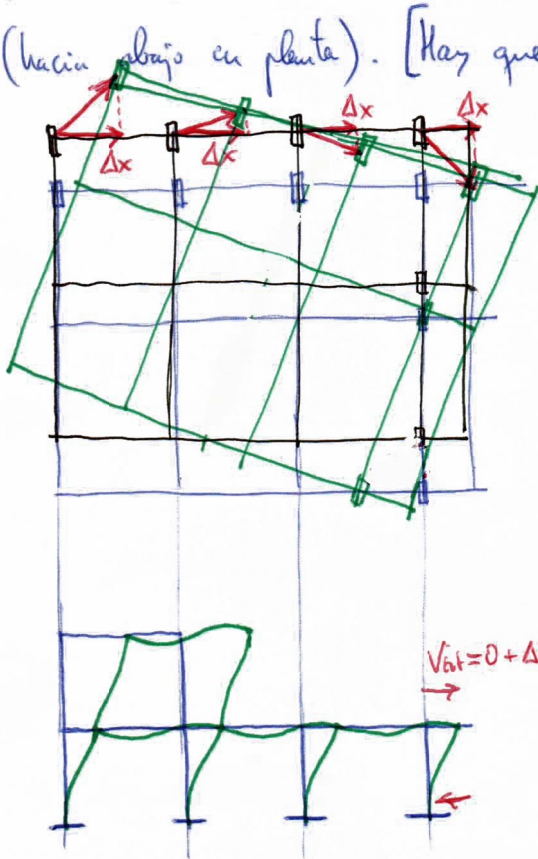




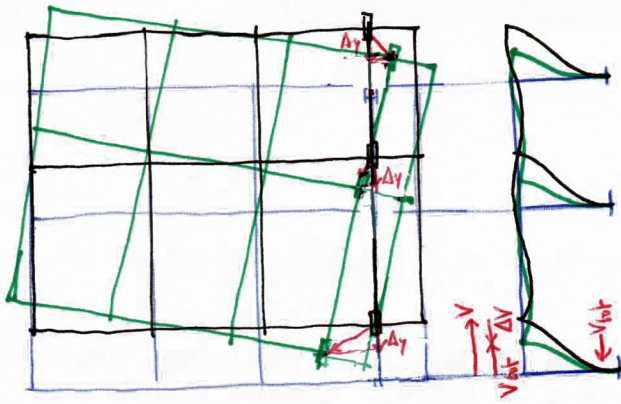
De manera intuitiva se puede esperar que el edificio gire en sentido horario, ya que hay más masa hacia la parte izquierda del rectángulo, y por tanto la fuerza global actuante se encuentra a la izquierda del centro de giro.



Se piden los cortantes en los pórticos 1-2-3-4 y 4-8-12. Como los pórticos sólo desarrollan sollicitaciones en un plano, y éstas se deben únicamente a desplazamientos relativos en un plano, podemos concluir que 1-2-3-4 tendrá cortantes debidos exclusivamente a la torsión global, que desplaza ese pórtico a la derecha, mientras que 4-8-12 tendrá cortantes debidos a la traslación (hacia arriba en planta) y a la rotación (hacia abajo en planta). [Hay que mirar cada pórtico en alzado para ver los



momentos en un plano, depreciando cualquier otro momento en el plano perpendicular. Estos momentos perpendiculares lo que provocan son sollicitaciones en los pórticos perpendiculares. Ej: la cabeza del pilar 1 se mueve hacia arriba y derecha en planta; la componente "derecha" sollicita al pórtico 1-2-3-4 pero la componente "arriba" sollicita al pórtico 1-5-9.



2.1 - Cortantes por traslación $V_{ij} = V_i \cdot \frac{K_{y,ij}}{K_{y,i}}$ ($K_{y,i} = \sum_j K_{y,ij}$ suma de rigideces de los pilares de la planta i)

El pórtico 1-2-3-4 (en X) no tiene traslación: $V_{11} = V_{12} = V_{13} = V_{14} = V_{21} = V_{22} = 0$

El pórtico 4-8-12 (en Y) sí tiene traslación, y por ser todos los pilares iguales el cortante se reparte equitativamente: $V_{14} = V_{18} = V_{1,12} = V_1 \cdot \frac{K_{1j}}{K_1} = V_1 \cdot \frac{1 \text{ pilar}}{j \text{ pilares de planta 1}} = 666 \text{ kW} \cdot \frac{1 \text{ pilar}}{12 \text{ pilares}} = 55.5 \text{ kW} \uparrow$

2.2 - Cortantes por torsión

• Centros de masas de todas las plantas; solo un componente $x_{CM,i}$, pues el mismo actúa en Y.

$$x_{CM,3} = \frac{6.5 + 2.5}{2} = 4.5 \text{ m (desde borde izquierdo)}$$

$$x_{CM,i} = \frac{\sum (A_k \cdot x_k)}{A_i} \quad (A_i = \sum_k A_k)$$

$$x_{CM,2} = \frac{(13 \cdot 10) \cdot 6.5 + (6.5 \cdot 7.5) \cdot 3.25}{13 \cdot 10 + 6.5 \cdot 7.5} = 5.61 \text{ m}$$

$$x_{CM,1} = \frac{6.5 + 6.5 + 6.5 + 2.5}{2} = 11 \text{ m}$$

• Centros de torsión de las plantas que contengan pilares de los pórticos de interés.

Pórtico 1-2-3-4 → Plantas 1 y 2 } ⇒ Necesarios CT plantas 1 y 2
 Pórtico 4-8-12 → Planta 1

$$x_{CT,i} = \frac{\sum (K_{y,ij} \cdot x_{ij})}{K_{y,i}}$$

Como todos los rigideces de los pilares son iguales en cada planta, el cálculo se simplifica:

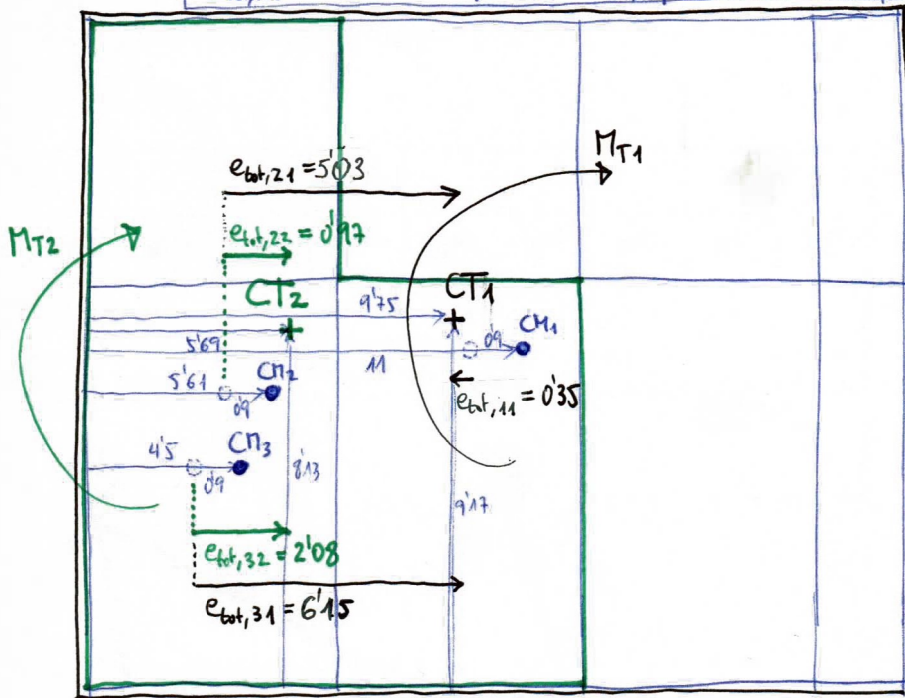
$$x_{CT,2} = \frac{3 \text{ pilares} \cdot 0 \text{ m} + 3 \text{ pilares} \cdot 6.5 \text{ m} + 2 \text{ pilares} \cdot 13 \text{ m}}{8 \text{ pilares}} = 5.69 \text{ m}; \quad y_{CT,2} = \frac{3 \cdot 0 + 3 \cdot 10 + 2 \cdot 17.5}{8} = 8.13 \text{ m}$$

$$x_{CT,1} = \frac{3 \cdot 0 + 3 \cdot 6.5 + 3 \cdot 13 + 3 \cdot 19.5}{12} = 9.75 \text{ m}; \quad y_{CT,1} = \frac{4 \cdot 0 + 4 \cdot 10 + 4 \cdot 17.5}{12} = 9.17 \text{ m}$$

- Excentricidades en cada planta de interés (1, 2) de las masas en o por encima de cada planta

$$e_{tot,ki} = e_{ki} + 0'9 = |x_{CM,k} - x_{CT,i}| + 0'9 \text{ con } k \geq i$$

Para saber en qué



- Momentos torsivos en las plantas de interés:

$$M_{T,i} = \sum_k (F_k \cdot e_{tot,ki}), k \geq i$$

los calculamos en valor absoluto e interpretamos gráficamente el sentido

$$M_{T2} = F_3 \cdot e_{tot,32} + F_2 \cdot e_{tot,22} = 174 \cdot 2'08 + 245 \cdot 0'97 = 603 \text{ kNm}$$

$$M_{T1} = F_3 \cdot e_{tot,31} + F_2 \cdot e_{tot,21} - F_1 \cdot e_{tot,11} = 174 \cdot 6'15 + 245 \cdot 5'03 - 246 \cdot 0'35 = 2221 \text{ kNm}$$

- Rigidez a torsión de las plantas de interés:

$$K_{T,i} = \sum_j (K_{x,ij} \cdot x_j^2 + K_{y,ij} \cdot y_j^2)$$

Como las rigideces son similares en cada planta y dirección, los podemos sacar factor común. Hay que obtener previamente las rigideces en cada dirección:

$$K_{x,1j} = \frac{12EI_{y,1j}}{H_1^3} = \frac{12 \cdot 3 \cdot 10^7 \cdot \frac{0'50 \cdot 0'35^3}{12}}{4'5^3} = 7057 \text{ kN/m}$$

$$K_{y,1j} = \frac{12EI_{x,1j}}{H_1^3} = \frac{12 \cdot 3 \cdot 10^7 \cdot \frac{0'35 \cdot 0'50^3}{12}}{4'5^3} = 14403 \text{ kN/m}$$

$$K_{x,2j} = \frac{12EI_{y,2j}}{H_2^3} = \frac{12 \cdot 3 \cdot 10^7 \cdot \frac{0'5 \cdot 0'35^3}{12}}{3'5^3} = 15000 \text{ kN/m}$$

$$K_{y,2j} = \frac{12EI_{x,2j}}{H_2^3} = \frac{12 \cdot 3 \cdot 10^7 \cdot \frac{0'35 \cdot 0'5^3}{12}}{3'5^3} = 30612 \text{ kN/m}$$

$$K_{T2} = K_{x,2j} [3 \cdot 8'13^2 + 3 \cdot (10 - 8'13)^2 + 2(17'5 - 8'13)^2] + K_{y,2j} [3 \cdot 5'69^2 + 3(6'5 - 5'69)^2 + 2(13 - 5'69)^2] = 12070790 \text{ kNm}$$

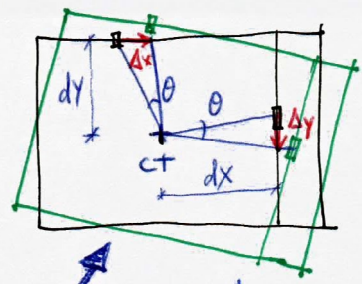
$$K_{T1} = K_{x,1j} [4 \cdot 9'17^2 + 4(10 - 9'17)^2 + 4(17'5 - 9'17)^2] + K_{y,1j} [3 \cdot 9'75^2 + 3(9'75 - 6'5)^2 + 3(13 - 9'75)^2 + 3(17'5 - 9'75)^2] = 13480281 \text{ kNm}$$

• Girs de les plaques de interó:

$$\theta_i = \frac{M_{T,i}}{K_{T,i}}$$

$$\theta_2 = \frac{M_{T,2}}{K_{T,2}} = \frac{603}{12070770} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ rad} \curvearrowright$$

$$\theta_1 = \frac{M_{T,1}}{K_{T,1}} = \frac{2221}{13480271} = 1.65 \cdot 10^{-4} \text{ rad} \curvearrowright$$



• Momentos de las cabezas de pilas en cada pórtico:

$$\Delta x_{ij} = \theta_i \cdot dY_{ij} \quad (\text{pórtico en X})$$

$$\Delta y_{ij} = \theta_i \cdot dX_{ij} \quad (\text{pórtico en Y})$$

Pórtico en X:

$$\Delta x_{21} = \Delta x_{22} = \theta_2 \cdot dY_{21} = 5 \cdot 10^{-5} (17.5 - 8.13) = 4.685 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\Delta x_{11} = \Delta x_{12} = \Delta x_{13} = \Delta x_{14} = \theta_1 \cdot dY_{11} = 1.65 \cdot 10^{-4} (17.5 - 9.17) = 1.374 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Pórtico en Y:

$$\Delta y_{14} = \Delta y_{13} = \Delta y_{1,12} = \theta_1 \cdot dX_{14} = 1.65 \cdot 10^{-4} (19.5 - 9.75) = 1.609 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

• Incrementos de cortante debidos a la torsión en cada pórtico:

$$\Delta V_x = K_{x,ij} \cdot \Delta x_{ij} \quad (\text{pórtico en X})$$

$$\Delta V_y = K_{y,ij} \cdot \Delta y_{ij} \quad (\text{pórtico en Y})$$

Pórtico en X:

$$\Delta V_{x,21} = \Delta V_{x,22} = K_{x,2j} \cdot \Delta x_{2j} = 15000 \cdot 4.685 \cdot 10^{-4} = 7 \text{ kW} \rightarrow$$

$$\Delta V_{x,11} = \Delta V_{x,12} = \Delta V_{x,13} = \Delta V_{x,14} = K_{x,1j} \cdot \Delta x_{1j} = 7057 \cdot 1.374 \cdot 10^{-3} = 9.7 \text{ kW} \rightarrow$$

Pórtico en Y:

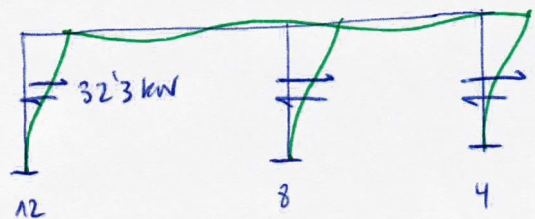
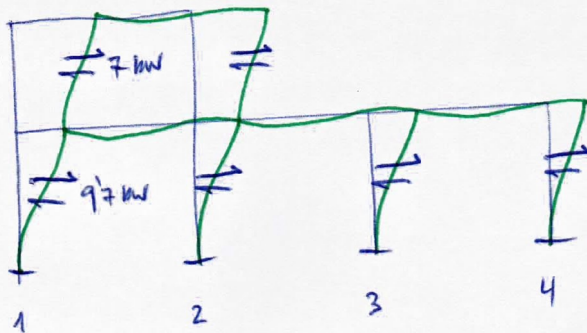
$$\Delta V_{y,14} = \Delta V_{y,13} = \Delta V_{y,1,12} = K_{y,1j} \cdot \Delta y_{1j} = 14403 \cdot 1.609 \cdot 10^{-3} = 23.2 \text{ kW} \downarrow$$

2.3 - Cortantes totales : $V_{tot,ij} = V_{ij} + \Delta V_{ij}$

Pórtico en X: $V_{tot,21} = V_{tot,22} = 0 + \Delta V_{x,21} = 7 \text{ kW}$

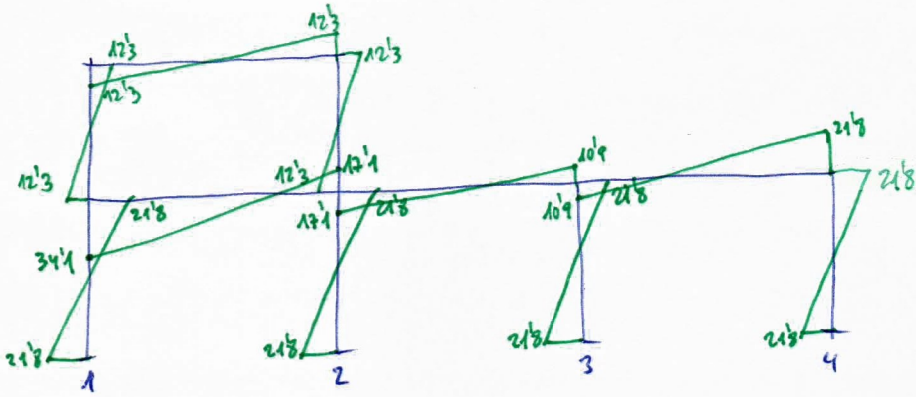
$$V_{tot,11} = V_{tot,12} = V_{tot,13} = V_{tot,14} = 0 + \Delta V_{x,11} = 9.7 \text{ kW}$$

Pórtico en Y: $V_{tot,14} = V_{tot,13} = V_{tot,1,12} = 55.5 - 23.2 = 32.3 \text{ kW}$

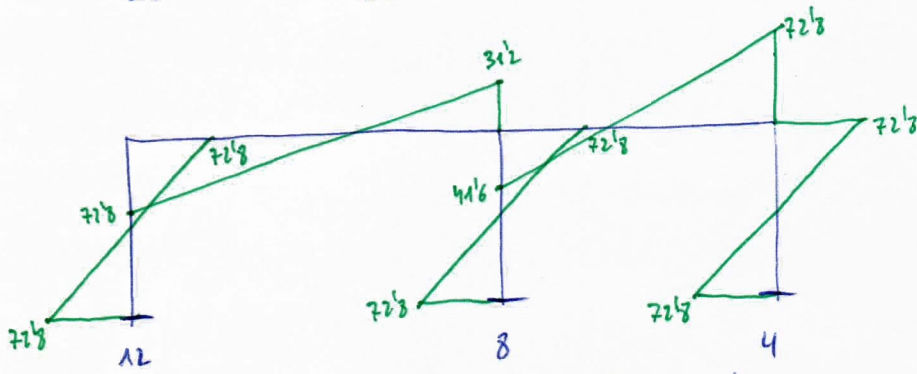
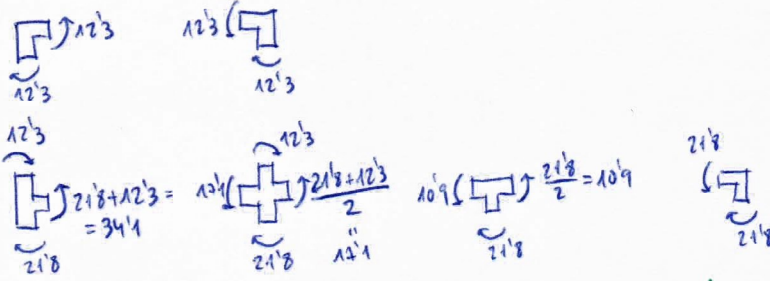


3) leyes de momentos y envolturas

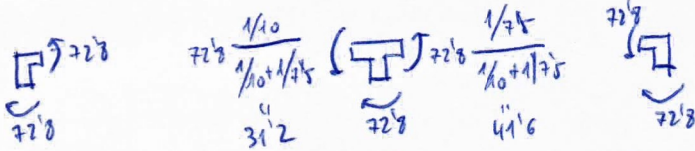
$$M = V \cdot \frac{H}{2}$$



$M(x)$



$M(x)$

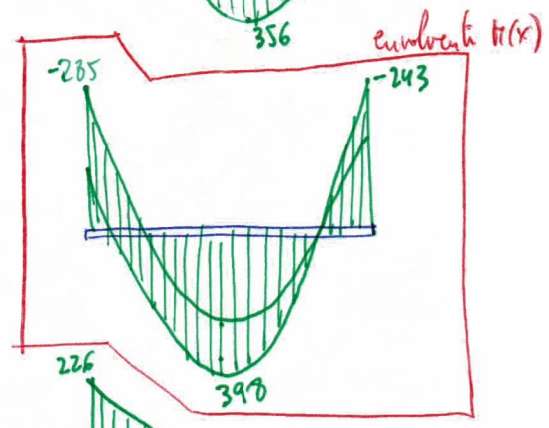
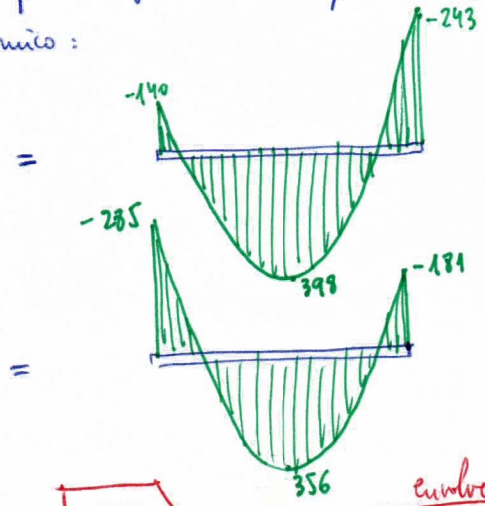
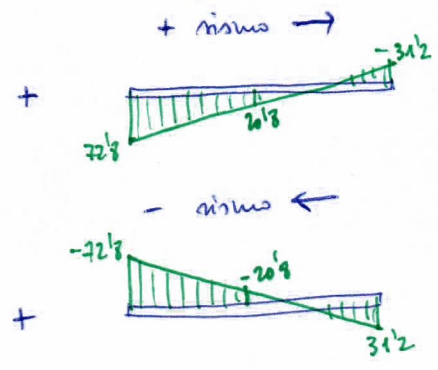
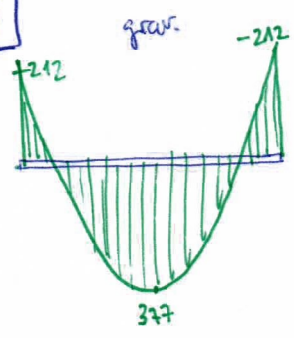


$V(x)$

$$\frac{72'8 + 31'2}{10} = 10'4 \text{ kN}$$

Se obtienen finalmente los envoltorios de momentos y cortantes por la eq 12-8, suponiendo ya calculados previamente las solicitaciones gravitatorias en caso sísmico:

$M(x)$



$V(x)$

