



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Aplicación del Método simplificado de la NCSE-02 a un edificio de 1 modo de vibración

Apellidos, nombre	Basset Salom, Luisa (lbasset@mes.upv.es)
Departamento	Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras
Centro	Universidad Politécnica de Valencia



1 Resumen de las ideas clave

La Norma de Construcción Sismorresistente Española (NCSR-02) es de obligado cumplimiento en el territorio español. En este artículo explicaremos como se aplica esta norma a un edificio con un modo de vibración¹, obteniendo la fuerza equivalente a nivel de cada forjado.

2 Introducción

El diseño sismorresistente requiere la modelización de las acciones sísmicas que actúan sobre la estructura, la selección de un sistema estructural idóneo y eficiente para absorber los efectos sísmicos, el cálculo de la respuesta estructural y un cuidado especial en la observación de los requisitos apropiados de dimensionamiento y de detalle de los elementos estructurales y de los no estructurales.

La Norma NCSE-02 proporciona un método simplificado aplicable si se cumplen las condiciones siguientes:

- El número de plantas sobre rasante es inferior a 20
- La altura del edificio sobre rasante es menor de 60 m
- Existe regularidad geométrica en planta y alzado, sin entrantes ni salientes importantes
- Dispone de soportes continuos hasta la cimentación, uniformemente distribuidos en planta y sin cambios bruscos de rigidez.
- Dispone de regularidad mecánica en la distribución de rigideces, resistencias y masas de modo que los centros de gravedad y de torsión de todas las plantas estén situados aproximadamente en la misma vertical.
- La excentricidad del centro de las masas que intervienen en el cálculo sísmico respecto al de torsión es inferior al 10% de la dimensión en planta del edificio en cada una de las direcciones principales.
- Edificios de pisos de importancia normal de hasta 4 plantas en total

Cuando se cumplen estos requisitos, las acciones sísmicas se modelizan siguiendo la Norma mediante un conjunto de fuerzas estáticas equivalentes a las fuerzas de inercia, que se aplicarán sobre la estructura a nivel de cada forjado. Estas fuerzas constituyen las hipótesis simples de sismo que luego se combinarán con las demás hipótesis (cargas permanentes, sobrecargas de uso, nieve, etc.) para formar los correspondientes Estados límite último y de servicio que indica el Código Técnico.

3 Objetivos

Al terminar este documento el alumno será capaz de:

¹ Modo de vibración normal o natura es un movimiento armónico, sin amortiguación, de un sistema en el que todas las masas de la estructura se mueven en fase con la misma frecuencia natural. El 1^{er} modo o modo fundamental es el correspondiente a la frecuencia más baja, periodo más largo, tiempo que tarda en dar una oscilación completa) Como resultado obtendremos la fuerza estática equivalente a nivel de cada forjado



- Obtener el valor de la aceleración sísmica de cálculo
- Calcular el periodo del edificio y determinar el número de modos de vibración a considerar
- Calcular la fuerza estática equivalente a nivel de cada forjado y repartirla en los pórticos

4 Aplicación del Método simplificado de la NCSE-02

En este apartado, una vez definidas las características del edificio que se ha tomado como ejemplo, se seguirán todos los apartados de la Norma sísmica hasta definir las fuerzas equivalentes a nivel de cada forjado.

4.1 Datos del edificio

El edificio que se ha adoptado como ejemplo para la aplicación de la NCSE-02 es un edificio de viviendas de 24 m. de altura total, con 8 plantas sobre rasante (altura de cada piso=3m.) y 2 sótanos (altura de cada planta: 2.5m), situado en Alicante.

El terreno bajo el edificio está formado por una capa de suelo granular suelto de 2.5 m de espesor y, por debajo de ésta, un suelo granular de compacidad media.

En la figura 1 se puede ver un esquema de la distribución de la estructura, formada por pórticos de hormigón armado con vigas planas.

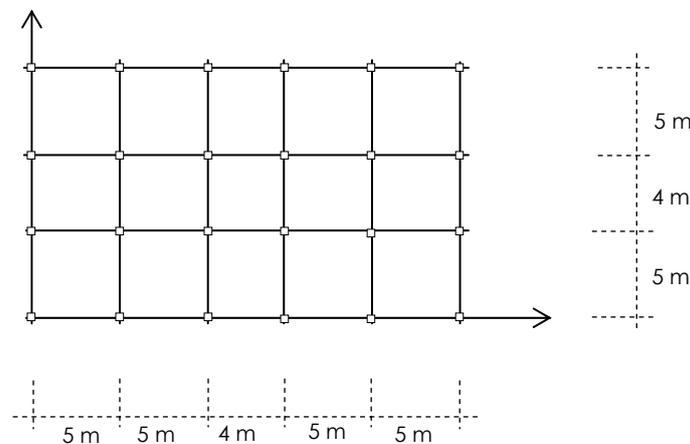


Figura 1. Esquema de la estructura (autora: L. Basset)

4.2 Aceleración sísmica de cálculo

La aceleración sísmica de cálculo (a_c) se obtiene a partir de la expresión:

$$a_c = S \cdot p \cdot a_b \quad (1)$$

siendo:

a_b : aceleración sísmica básica

Es el valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno. Se obtiene a partir del mapa de peligrosidad sísmica (figura 2) y del listado de municipios (anejo 1)



Para Alicante: $a_b = 0.14 g$



Figura 2. Mapa de peligrosidad sísmica (NCSE-02)

ρ : coeficiente adimensional de riesgo: $\rho = (t/50)^{0.37}$

Depende de la probabilidad de que se exceda a_c en el periodo de vida para el que se proyecta la construcción (t)

Para edificios de viviendas, considerados construcciones de importancia normal ($t=50$ años) $\rho=1.0$

S : coeficiente de amplificación del terreno. Este coeficiente depende de $\rho \cdot a_b$ y de C , siendo C el coeficiente del terreno

$$\text{para } 0.1g < \rho \cdot a_b < 0.4g \quad S = \frac{C}{1.25} + 3.33 \left(\rho \frac{a_b}{g} - 0.1 \right) \left(1 - \frac{C}{1.25} \right) \quad (2)$$

El coeficiente C depende de las características geotécnicas del terreno de cimentación obtenidas a partir del estudio geométrico, hasta una profundidad de 30 m. Si el terreno no es uniforme, se utilizará la expresión siguiente:

$$C = \frac{\sum C_i \cdot e_i}{30} \quad (3)$$

Según el terreno descrito en el apartado 4.1, el coeficiente C será:

Suelo granular suelto (2.5 m): TIPO IV: $C=2$

Suelo granular de compactación media (27.5 m): terreno tipo III: $C=1.6$

$$C = \frac{2 \cdot 2.5 + 1.6 \cdot 27.5}{30} = 1.63$$

Por tanto:

$$S = \frac{1.63}{1.25} + 3.33(0.14 - 0.1) \left(1 - \frac{1.63}{1.25} \right) = 1.2635 \quad (4)$$

El valor de la aceleración sísmica de cálculo es:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b = 0.17689 g \quad (5)$$

4.3 Periodo fundamental del edificio y número de modos a considerar

Debe ahora definirse el periodo fundamental del edificio para establecer el número de modos de vibración a considerar.

La tipología de edificio corresponde a la de un edificio con pórticos de hormigón armado sin la colaboración de pantallas rigidizadoras.

Por tanto, según las indicaciones de la NCSE-02 el periodo fundamental se obtiene con la expresión:

$$T_F = 0.09 n = 0.09 \cdot 8 = 0.72 \text{ seg} \quad (6)$$

Al no depender más que del número de plantas n , las fuerzas sísmicas serán las mismas en las dos direcciones ortogonales en las que hay que considerarlas.

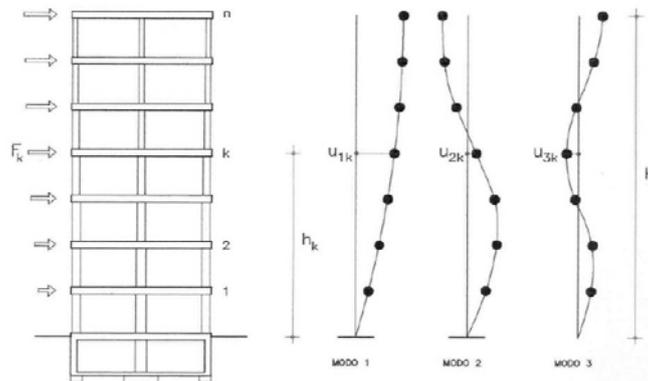


Figura 3.1. Modos de vibración en modelos planos de estructuras de pisos.

Figura 3. Modos de vibración (NCSE-02)

Como el periodo fundamental es menor que 0,75 seg sólo se considerará el primer modo. $T_1 = T_F = 0.72 \text{ seg}$

4.5- Cálculo de la Fuerza sísmica estática equivalente

Como hay un único modo de vibración, las fuerzas sísmicas correspondientes a cada planta serán las fuerzas estáticas equivalentes que luego distribuiremos a cada pórtico o elemento resistente según su rigidez.

Las obtendremos mediante la expresión:

$$F_{1k} = s_{1k} \cdot P_k \quad (7)$$

siendo

P_k : peso correspondiente a la masa m_k , de la planta k

Para obtener los pesos de cada planta (sobre rasante) debemos multiplicar las cargas superficiales por la superficie de actuación y las lineales por la longitud.



Cada carga se verá afectada por el coeficiente correspondiente según el apartado 3.2 de la norma. Para las cargas permanentes este coeficiente es 1, para la sobrecarga de uso de viviendas 0.5 y para la carga de nieve, si permanece menos de 30 días, es 0.

Supongamos que las plantas 1 a 7 son todas iguales, siendo diferente únicamente la planta de cubierta.

Peso correspondiente a las plantas 1 a 7:

Definimos, a continuación, las cargas permanentes y sobrecarga de uso de las plantas 1 a 7:

CARGAS PERMANENTES:

- Viviendas (320 m²): forjado unidireccional viguetas semirresistentes de hormigón armado, pavimento de terrazo, falso techo o enlucido y tabiquería: 5.25 kN/m²
- Accesos (6 m²): 4.25 kN/m²
- Escalera (10 m²): losa de hormigón, peldaños, pavimento y enlucido: 6.50 kN/m²
- Cerramientos de fachada (76m): 7.50 kN/m
- Cerramientos de escalera (32m): 5.70 kN/m

SOBRECARGAS DE USO:

- Viviendas (320 m²): 2 kN/m²
- Escalera y accesos (16 m²): 3 kN/m²

El peso correspondiente a estas plantas será: $P_{1-7} = 2579.9 + 344 = 2923.9$ kN
siendo:

Concarga: $5.25 \cdot 320 + 4.25 \cdot 6 + 6.5 \cdot 10 + 7.5 \cdot 76 + 5.7 \cdot 32 = 2579.90$ kN

Sobrecarga: $2 \cdot 320 \cdot 0.5 + 3 \cdot 16 \cdot 0.5 = 344$ kN

Peso correspondiente a la planta de cubierta:

Definimos, a continuación, las cargas permanentes, sobrecarga de uso y carga de nieve de la planta de cubierta. La determinación de la carga de nieve podría haberse obviado ya que, al permanecer menos de 30 días, su coeficiente es 0.

CARGAS PERMANENTES:

- Terraza transitable (320 m²): forjado unidireccional viguetas semirresistentes de hormigón armado, pendientes, pavimento, impermeabilizantes, aislante, falso techo o enlucido: 6.25 kN/m²
- Accesos (6 m²): 4.25 kN/m²
- Escalera (10 m²): losa de hormigón, peldaños, pavimento y enlucido: 6.50 kN/m²
- Antepecho cubierta (76m): 1.50 kN/m
- Cerramientos de escalera: 5.70 kN/m

SOBRECARGAS DE USO:

- Terraza (320 m²): 1.5 kN/m²
- Escalera y accesos (16 m²): 3 kN/m²

CARGA DE NIEVE: (permanece menos de 30 días): 0.4 kN/m²

El peso correspondiente a estas plantas será: $P_8 = 2329.90 + 268.8 = 2598.7$ kN
siendo:

Concarga: $6.25 \cdot 320 + 6.5 \cdot 10 + 4.25 \cdot 6 + 1.5 \cdot 76 + 5.7 \cdot 22 = 2329.90$ kN

Sobrecarga: $1.50 \cdot 320 \cdot 0.5 + 3 \cdot 16 \cdot 0.5 = 268.80$ kN



s_{1k} coeficiente sísmico adimensional correspondiente a la planta k , modo 1. Este coeficiente es el que traduce la aceleración del terreno en una aceleración en cada planta k , para el modo de vibración 1. Se obtiene mediante la expresión:

$$s_{1k} = (a_c / g) \cdot \alpha_1 \cdot \beta \cdot \eta_{1k} \quad (8)$$

siendo

a_c : aceleración sísmica de cálculo $a_c = 0.17689 \text{ g}$ ((5), apartado 4.2)

α_1 : coeficiente de espectro de respuesta elástica (método simplificado)

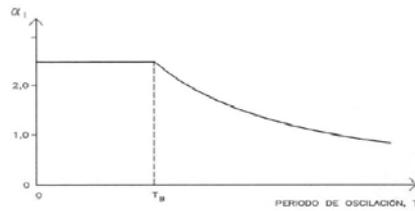


Figura 4. Coeficiente de espectro de respuesta elástica (NCSE-02)

El periodo del modo 1 (apartado 4.3) es: $T_1 = 0.72 \text{ seg}$

El periodo característico del espectro es: $T_B = K \cdot C / 2.5 = 1 \cdot 1.63 / 2.5 = 0.652$ siendo K el coeficiente de contribución, que se obtiene del mapa de peligrosidad sísmica (figura 2)

El coeficiente del espectro de respuesta elástica, α_1 , se obtiene, para $T_1 > T_B$, con la expresión:

$$\alpha_1 = 2,5(T_B/T_1) = 2.5 (0.652/0.72) = 2.2638 \quad (9)$$

β : coeficiente de respuesta que tiene en cuenta la capacidad de la estructura de absorber energía de deformación.

Depende del tipo de estructura, del amortiguamiento y del coeficiente de comportamiento por ductilidad.

Se puede obtener el coeficiente β de la tabla 3.1 de la NCSE-02, suponiendo un coeficiente de ductilidad, $\mu = 2$, por ser las vigas planas.

Tabla 3.1.
VALORES DEL COEFICIENTE DE RESPUESTA β

TIPO DE ESTRUCTURA	COMPARTIMENTACIÓN DE LAS PLANTAS	Ω (%)	COEFICIENTE DE COMPORTAMIENTO POR DUCTILIDAD			SIN DUCTILIDAD ($\mu = 1$)
			$\mu = 4$	$\mu = 3$	$\mu = 2$	
HORMIGÓN ARMADO O ACERO LAMINADO	Diáfana	4	0,27	0,36	0,55	1,09
	Compartimentada	5	0,25	0,33	0,50	1,00
MUROS Y TIPOS SIMILARES	Compartimentada	6	-	-	0,46	0,93

Figura 5. Tabla para obtención del coeficiente de respuesta (NCSE-02)



η_{1k} : factor de distribución correspondiente a la planta k, modo 1

Se obtiene a partir de la expresión 10, en la que sustituiremos las masas por los pesos puesto que se simplifica g, por estar en el numerador y en el denominador.

$$\eta_{1k} = \Phi_{1k} \frac{\sum_{k=1}^n m_k \Phi_{1k}}{\sum_{k=1}^n m_k \Phi_{1k}^2} = \Phi_{1k} \frac{\sum_{k=1}^n P_k \Phi_{1k}}{\sum_{k=1}^n P_k \Phi_{1k}^2} \quad (10)$$

n número de plantas = 8

P_k peso de la planta k

Φ_{1k} coeficiente de forma correspondiente a la planta k, modo 1

$$\Phi_{1k} = \text{sen} \left[\frac{\pi h_k}{2H} \right] \quad (11)$$

h_k altura sobre rasante de la planta k.

H altura total de la estructura del edificio (24 m).

Los valores de los coeficientes que varían para cada planta, así como el valor de las fuerzas sísmicas correspondientes a cada planta F_{1k} y las equivalentes F_k están en la tabla siguiente. Las fuerzas sísmicas obtenidas son para cada planta y en las dos direcciones.

PLANTA	(P_k)	h_k	Φ_1	Φ_1^2	$P_k \cdot \Phi_1$	$P_k \cdot \Phi_1^2$	η_{1k}	S_{1k}	F_{1k}	F_k	
8	2598.7	24	1,000	1,000	2598,7	2598.7	1,245	0,249	648.0	648.0	
7	2923.9	21	0,981	0,962	2867,7	2812.6	1,221	0,245	715.0	715.0	
6	2923.9	18	0,924	0,854	2701,3	2495.7	1,151	0,230	673.5	673.5	
5	2923.9	15	0,831	0,691	2431,1	2021.4	1,035	0,207	606.2	606.2	
4	2923.9	12	0,707	0,500	2067,5	1462.0	0,881	0,176	515.5	515.5	
3	2923.9	9	0,556	0,309	1624,4	902.5	0,692	0,139	405.0	405.0	
2	2923.9	6	0,383	0,146	1118,9	428.2	0,477	0,095	279.0	279.0	
1	2923.9	3	0,195	0,038	570,4	111.3	0,243	0,049	142.2	142.2	
					15980,2	12832.4					

Tabla 1. Fuerzas sísmicas equivalentes a nivel de cada planta

Estas fuerzas se repartirán o no entre los elementos resistentes o los pórticos en cada una de las direcciones, dependiendo de cómo vaya a modelizarse para el cálculo de la estructura.



4.6- Reparto de la Fuerza sísmica estática equivalente a cada pódico

Las fuerzas sísmicas obtenidas a nivel de cada planta se pueden repartir, en función de las rigideces, entre los elementos resistentes de cada pódico (pilares) en cada una de las direcciones.

Haremos el reparto en la dirección X, para la planta 5. En las demás plantas y en la otra dirección el procedimiento sería el mismo. La expresión utilizada para el reparto es:

$$f_{kj} = F_k \frac{K_{kj}}{\sum_{j=1}^n K_{kj}} \quad (12)$$

siendo f la fuerza en cada pódico de la planta k , F la fuerza sísmica equivalente en esa planta y K la rigidez del elemento j de la planta k en la dirección considerada.

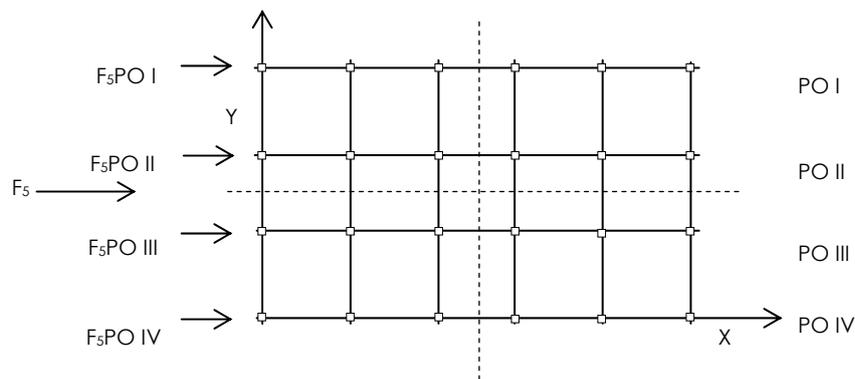


Figura 6. Fuerzas en los pódicos de la planta 5 en dirección x (autora: L. Basset)

Para hacer el reparto, consideremos que los soportes de esquina tienen una inercia (respecto de su eje Y) de valor I , los de fachada $2I$ y los interiores $3I$. Al tener todos los pilares la misma altura y condiciones, la rigidez depende directamente de la inercia.

Por haber una distribución homogénea se puede tener en cuenta la excentricidad adicional que indica la NCSE-02, multiplicando las fuerzas por el factor

$$\gamma_\alpha = 1 + 0.6 \frac{x}{L_e} \quad (13)$$

siendo

x : distancia del elemento al centro del edificio perpendicularmente a la dirección de la acción sísmica considerada ($x_{POI}=x_{POIV} = 7$ m; $x_{POII}=x_{POIII} = 2$ m)

L_e : distancia entre los dos elementos resistentes más extremos (14 m)

$$\text{Pódicos I y IV: } \gamma_{\alpha 1} = 1 + 0.6 \frac{x}{L_e} = 1 + 0.6 \frac{7}{14} = 1.3$$

$$\text{Pódicos II y III: } \gamma_{\alpha 2} = 1 + 0.6 \frac{x}{L_e} = 1 + 0.6 \frac{2}{14} = 1.08$$



Las fuerzas sobre los pórticos I y IV en la planta 5 serán:

$$F_5 \cdot = 606.2 \text{ kN} \quad \gamma_{a1}=1.3$$
$$f_{5POI} = f_{5POIV} = F_5 \cdot \gamma_{a1} \frac{K_{5POI}}{\sum_{j=I}^{IV} K_{5POj}} = 788.06 \frac{101}{521} = 151.55 \text{ kN}$$

Las fuerzas sobre los pórticos II y III en la planta 5:

$$F_5 \cdot = 606.2 \text{ kN} \quad \gamma_{a2}=1.08$$
$$f_{5POII} = f_{5POIII} = F_5 \cdot \gamma_{a2} \frac{K_{5POII}}{\sum_{j=I}^{IV} K_{5POj}} = 654.696 \frac{161}{521} = 201.44 \text{ kN}$$

Se repetiría esta operación con las fuerzas en cada planta así como con las fuerzas en la otra dirección, obteniendo sobre cada pórtico las acciones sísmicas de cálculo para el análisis de la estructura en cada dirección.

5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje se han obtenido las fuerzas sísmicas equivalentes a nivel de cada forjado en el caso de un edificio de viviendas con 1 modo de vibración. Además se ha distribuido la fuerza en la planta 5 entre los diferentes pórticos.

Como aplicación te propongo que hagas la distribución de la fuerza a nivel de la cubierta entre los diferentes pórticos, suponiendo inercias semejantes.

(Resultado: al ser iguales las distancias, el coeficiente de excentricidad adicional para los pórticos I y IV es 1.3 y para los pórticos II y III, 1.08. $F_{cubPOI}=162 \text{ kN}$ y $F_{cubPOII}=215.33 \text{ kN}$)

6 Bibliografía

6.1 Libros:

[1] NCSE-02. Norma de Construcción sismorresistente. Ministerio de Fomento. RD 997/2002, 27 septiembre 2002