

Evaluación de acciones según los criterios del DB-SE AE del CTE

Apellidos, nombre	Guardiola Villora Arianna (aguardio@mes.upv.es) Agustín Pérez-García (aperezg@mes.upv.es)
Departamento	M.M.C y Teoría de Estructuras
Centro	Escuela Técnica Superior de Arquitectura

1 Resumen de las ideas clave

El objeto de este artículo docente es mostrar al alumno como se evalúan las acciones a considerar en el cálculo de la estructura de una vivienda unifamiliar siguiendo los criterios que establece el Documento Básico Seguridad Estructural, Acciones en Edificación (DB-SE AE), del Código Técnico de la Edificación (CTE).

2 Introducción

En este artículo se presenta, al alumno que se enfrenta por primera vez a una asignatura de análisis de estructuras de edificación, el proceso de evaluación de las distintas cargas a considerar en el diseño y cálculo de la estructura de una vivienda unifamiliar.

Para ello, con ayuda de unas tablas de predimensionado, se determinan las dimensiones y pesos iniciales de los elementos estructurales, y con de la norma de referencia (DB-SE AE), y sus correspondientes anejos, se evalúa el resto de las cargas permanentes y las sobrecargas de uso.

Para evaluar las sobrecargas de nieve y de viento se ha supuesto que la vivienda está ubicada en la ciudad de Valencia. Para simplificar el procedimiento y facilitar la comprensión del efecto de la presión del viento se considerará que este sólo sopla según la dirección de los vientos dominantes.

3 Objetivos

Una vez que el alumno lea con detenimiento este documento, será capaz de:

- Identificar los elementos estructurales que aparecen en los planos de la vivienda, indicando la dirección de los pórticos.
- Predimensionar el canto de las vigas y los forjados para determinar su peso propio.
- Evaluar todas las demás acciones permanentes: tabiquería, escaleras, cerramiento, cubierta, revestimientos.
- Evaluar las sobrecargas indicadas en la normativa de aplicación: sobrecarga de uso, sobrecarga de nieve y sobrecarga de viento.
- Representar las cargas verticales y horizontales evaluadas.

4 Evaluación de acciones

4.1 Descripción geométrica y constructiva de la estructura

Para poder abordar el análisis de acciones, es necesario conocer las dimensiones y solución constructiva adoptada. Si la estructura a analizar corresponde a un proyecto del cual somos el autor, esta fase es sencilla, pues tenemos todos los datos, o alternativamente, tomamos decisiones acerca del tipo de pavimento, o cerramiento. Si por el contrario se trata de un proyecto que no es nuestro, será necesario investigar el tipo de revestimientos o soluciones constructivas adoptadas.

En el caso que nos ocupa, el edificio objeto de análisis tiene dos plantas, siendo la altura entre plantas de 3 metros. El suelo de la planta baja es un forjado sanitario (debidamente ventilado y con una barrera de vapor colocada debajo del pavimento), la estructura está compuesta por tres forjados, cuyas dimensiones y huecos se acotan en la figura 1, en la que puede observarse que la luz de todas las crujiás es de 4 m. La sección constructiva de dichos forjados, formados con viguetas autoportantes de hormigón armado y bovedillas aligeradas de hormigón vibro-comprimido, se muestra en la figura 2.

Los forjados apoyan sobre vigas de acero laminado (perfiles IPE). Los pilares se diseñan con dos UPN formando cajón. Vigas y pilares conforman cuatro pórticos paralelos a fachada cuyas luces y designaciones se muestran en la figura 3.

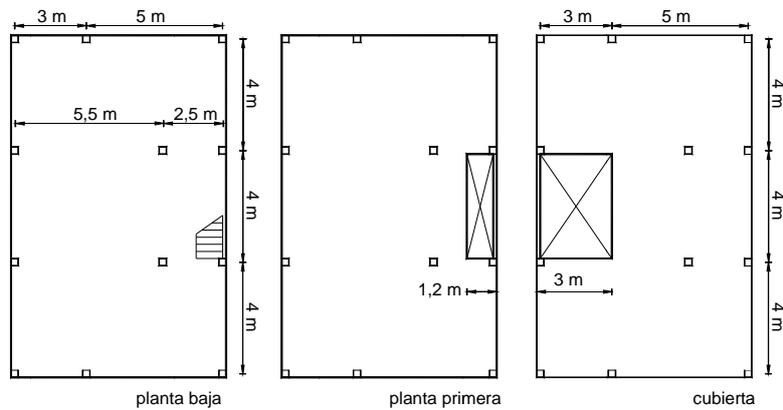


Figura 1. Plantas de forjado

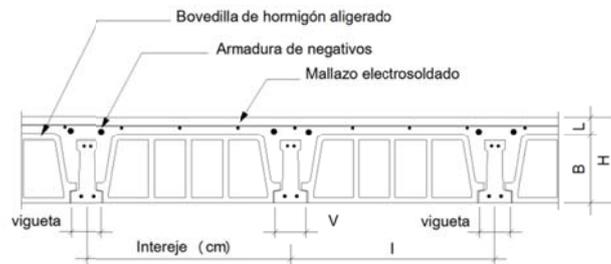


Figura 2. Sección constructiva del forjado

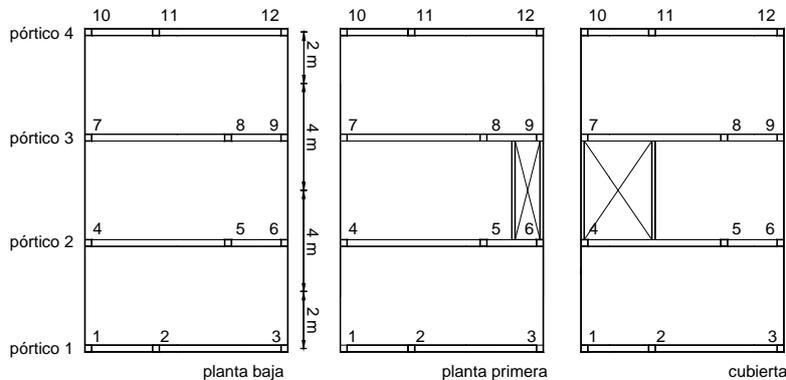


Figura 3. Numeración de pórticos y soportes

4.1.1 Evaluación del peso propio de la estructura.

Peso propio de los forjados

Se predimensiona el canto de los forjados mediante la tabla 1, teniendo en cuenta que la luz de todos los vanos es de 4 metros, que en algunos tramos el forjado está biapoyado pero en otros es continuo con tres vanos iguales, tal y como se observa en la figura 4. Así pues, para la peor situación, se obtiene un canto de 23 cm.

Luz (metros)	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Vano Biapoyado	21	23	26	28	31	34	40	45
Vano Extremo	20	20	23	25	27	28	32	35
Vano Interior	20	20	21	22	24	26	28	30

Tabla 1. Valores del canto del forjado en cm

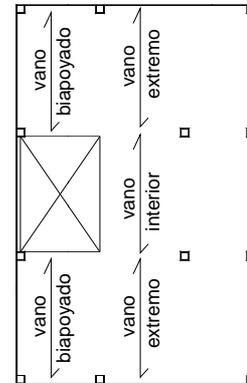


Figura 4. Tramos de forjado

Consultando la tabla 2, correspondiente a la tabla C.5 del Anexo C del DB-SE AE del CTE se adopta para el forjado un peso de 3,00 kN/m²

Elemento	Peso
Forjados	kN/m ²
Chapa grecada con capa de hormigón; grueso total < 0,12 m	2,00
Forjado unidireccional, luces de hasta 5 m; grueso total < 0,28 m	3,00
Forjado unidireccional o bidireccional; grueso total < 0,30 m	4,00
Forjado bidireccional, grueso total < 0,35 m	5,00
Losa maciza de hormigón, grueso total 0,20 m	5,00

Tabla 2. Peso propio de elementos constructivos

Peso propio de las vigas

A las cargas debidas al peso del forjado hay que añadir el peso propio de cada una de las vigas.

Se trata de un forjado de 4 metros de luz y unas vigas de 3 y 5 metros de luz, respectivamente. Se predimensiona el tramo más desfavorable (el de 5 metros de luz) teniendo en cuenta que es un vano extremo, con ayuda de la tabla 3.

IPE		Forjado 4 m			Forjado 5 m			Forjado 6 m			Forjado 7 m		
		Bi	Ext	Int									
Viga de 4 m	IPE	300	270	240	300	270	240	330	300	270	330	330	300
Viga de 5 m	IPE	360	300	300	360	330	300	400	360	330	400	360	330
...													
Viga de 10 m	IPE			500									

Bi = Biapoyado Ext = Extremo Int = Interior

Tabla 3. Predimensionado de vigas de pórticos

Se dispondrá un IPE 300, cuyo peso propio se obtiene del Prontuario, siendo el peso de la viga igual a 0,422 kN/m.

Peso propio de la escalera

Se considera que el peso propio de la losa de la escalera es aproximadamente el mismo que el del forjado desde el que arranca (3,00 kN/m² equivalente a una losa de hormigón armado de unos 12 cm de espesor). La longitud en verdadera magnitud de la losa de la escalera es igual a: $\sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ m}$

4.1.2 Evaluación del peso propio de los elementos no estructurales

El forjado de planta baja soporta el peso de un pavimento de baldosa cerámica. El de planta primera soporta el mismo pavimento y un enlucido de yeso en la cara inferior.

Finalmente, el forjado de cubierta debe soportar el peso de un tejado compuesto por faldones de tablero cerámico apoyado sobre tabiques palomeros formando una pendiente de 15° y un enlucido de yeso en la cara inferior.

Peso de la cubierta

Consultando la tabla 4, correspondiente a la tabla C.5 del Anexo C del DB-SE AE DEL CTE, se adopta un peso en proyección horizontal de valor 3,00 kN/m².

Elemento	Peso
Cubierta, sobre forjado (peso en proyección horizontal)	kN/m ²
Faldones de chapa, tablero o paneles ligeros	1,00
Faldones de placas, teja o pizarra	2,00
Faldones de teja sobre tableros y tabiques palomeros	3,00
Cubierta plana, recrecido, con impermeabilización vista protegida	1,50
Cubierta plana, a la catalana o invertida con acabado de grava	2,50

Tabla 4. Peso de los elementos constructivos

Peso de los pavimentos

Consultando la tabla 5, correspondiente a la tabla C.3 del Anexo C del DB-SE AE DEL CTE se adopta un peso de 0,80 kN/m² para el pavimento cerámico.

Materiales y elementos	Peso kN/m ²
Baldosa hidráulica o cerámica (incluyendo material de agarre)	
0,03 m de espesor total	0,50
0,05 m de espesor total	0,80
0,07 m de espesor total	1,10

Tabla 5. Peso por unidad de superficie de elementos de pavimentación

Peso del enlucido de yeso

Consultando la tabla 6, correspondiente a la tabla C.4 del Anexo C del DB-SE AE del CTE, se adopta para el enlucido de la cara inferior de los forjados de las plantas primera y segunda un peso de 0,15 kN/m².

Revestimientos (por cara)	Peso kN/m ²
Enfoscado o revoco de cemento	0,20
Revoco de cal, estuco	0,15
Guarnecido y enlucido de yeso	0,15

Tabla 6. Peso por unidad de superficie de tabiques

Peso de la tabiquería

En general, en viviendas, de acuerdo con el artículo 2.1 del DB SE AE DEL CTE bastará considerar como peso propio de la tabiquería una carga de 1,0 kN/m².

Peso de los cerramientos, medianeras y compartimentación pesada

El peso propio de las fachadas se obtiene de la tabla 7, que corresponde a la tabla C.5 del Anexo C del DB-SE AE del CTE, estando formadas por una hoja de albañilería exterior y un tabique interior de grueso total < 0,25 metros, por lo que su peso se cifra en 7,00 kN/m. El mismo valor se tomará para los cerramientos interiores que definen el patio, mientras que en las medianeras se considerará un peso de 3,00 kN/m.

Elemento	Peso
Cerramientos y particiones (altura libre del orden de 3,0 m) incluso enlucido	kN/m
Tablero o tabique simple; grueso total < 0,09 m	3,00
Tabicón u hoja simple de albañilería; grueso total < 0,14 m	5,00
Hoja de albañilería exterior y tabique interior; grueso total < 0,25 m	7,00

Tabla 7. Peso propio de los elementos constructivos

4.2 Evaluación de las acciones variables

Las acciones variables consideradas son las que se generan debido al uso del edificio, las correspondientes al peso de la nieve, y los empujes del viento sobre las fachadas.

4.2.1 Evaluación de la sobrecarga de uso

El valor de la sobrecarga de uso correspondiente a viviendas es igual a 2 kN/m², valor obtenido de la tabla 8, que se corresponde con la tabla 3.1 del DB-SE AE del CTE. Ese mismo valor se considera para la sobrecarga de uso de la escalera.

En esta misma tabla se determina la sobrecarga de uso a considerar para la cubierta. En nuestro caso la cubierta es una cubierta inclinada 15°, accesible solo para conservación, por lo que la sobrecarga de mantenimiento es igual a 1 kN/m²

Categoría de uso		subcategorías de uso		carga uniforme [kN/m ²]	carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en hospitales y hoteles	2,00	2,00
		A2	Trasteros	3,00	2,00
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1,00 ^{(4) (6)}	2,00
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado)	0,40 ⁽⁴⁾	1,00
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2,00

⁽⁴⁾ El valor indicado se refiere a la proyección horizontal de la superficie de la cubierta.
⁽⁶⁾ Se puede adoptar un área tributaria inferior a la total de la cubierta, no menor que 10 m² y situada en la parte más desfavorable de la misma, siempre que la solución adoptada figure en el plan de mantenimiento del edificio.

Tabla 8. Valores característicos de las sobrecargas de uso

4.2.2 Evaluación de la sobrecarga de nieve

Teniendo en cuenta el artículo 3.5.1 del DB-SE AE del CTE, el valor de la sobrecarga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, q_n , puede tomarse igual a:

$$q_n = \mu \cdot s_k \quad \text{Ecuación 1}$$

siendo μ , el coeficiente de forma, de valor igual a la unidad para cubiertas planas o con inclinación menor de 30°. Al ser el caso que nos ocupa una cubierta inclinada 15°, el valor de $\mu=1$.

s_k , es el valor de la sobrecarga debida a la nieve, cuyo valor se obtiene de la tabla 9, correspondiente a la tabla Tabla 3.7 del DB-SE AE, donde se observa que a la ciudad de Valencia le corresponde el valor $s_k=0,20 \text{ kN/m}^2$.

Si la vivienda no estuviera situada en una capital de provincia, el valor de s_k se determina en función de la zona geográfica y la altura de la localidad sobre el nivel del mar, utilizando la tabla E2 del anejo E del DB-SE AE del CTE.

Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	San Sebastián / Donostia	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	1.000	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Sevilla	10	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	1.090	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	0	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	950	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	550	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Orense / Ourense	130	0,4	Valencia / València	0	0,2
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	690	0,4
Coruña / A Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,4	Vitoria / Gasteiz	520	0,7
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	650	0,4
Gerona / Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	210	0,5
Granada	690	0,5	Pamplona / Iruña	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

Tabla 9. Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas

4.2.1 Evaluación de la sobrecarga de viento

Según los artículos 3.3.1 y 3.3.2 del DB-SE AE del CTE, la distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre un edificio y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción.

La acción de viento, es en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, q_e puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

Ecuación 2

Siendo q_b la presión dinámica del viento, de valor igual a:

0,42 kN/m² para la zona A
0,45 kN/m² para la zona B, y
0,5 kN/m² para la zona C
indicadas en el mapa de la figura 6.

En el caso que nos ocupa, la ciudad de Valencia pertenece a la zona A, siendo la presión dinámica igual a 0,42 kN/m²



Figura 5. Valor básico de la velocidad del viento

C_e es el coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, y función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. Su valor se determina en la tabla 10 que se corresponde con la tabla 3.4 del DB-SE AE del CTE.

Grado de aspereza del entorno		Altura del punto considerado (m)							
		3	6	9	12	15	18	24	30
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV	Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V	Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura.	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Tabla 10. Valores de coeficiente de exposición C_e

Para la vivienda que nos ocupa, situada en un ambiente urbano, cuyo punto más elevado de cubierta, se encuentra por encima de los 6 metros de altura y por debajo de 9 m, el valor del coeficiente de exposición es de 1,7.

El valor del coeficiente eólico de presión en pisos c_p , función de la esbeltez del edificio en el plano paralelo al viento, se obtiene en la tabla 11, correspondiente a la tabla 3.5 del DB-SE AE del CTE. Finalmente, además de la presión en la zona de barlovento, hay que evaluar la succión en la zona de sotavento a partir del coeficiente de succión c_s .

esbeltez = h/b	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	$\geq 5,00$
Coficiente eólico de presión, c_p	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coficiente eólico de succión, c_s	-0,3	0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7

Tabla 11. Coeficiente eólico en edificios de pisos

En el caso que nos ocupa, la carga de viento a evaluar, es la que actúa sobre los pórticos, es decir, la presión del viento actúa en la medianera, superficie perpendicular a la fachada, siendo en este caso la esbeltez en el plano paralelo al viento igual a 6/8 tal y como se observa en la figura 6, por lo que los coeficientes eólicos a considerar son $c_p = 0,8$ y $c_s = -0,4$

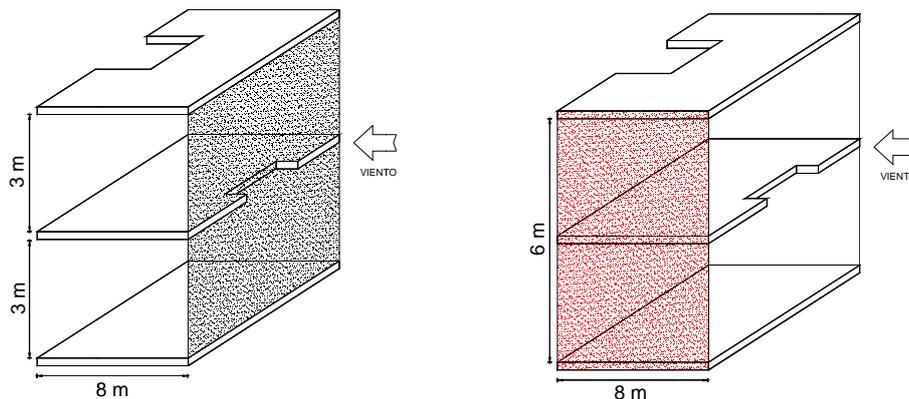


Figura 6. Esbeltez en el plano paralelo al viento

El valor de la sobrecarga superficial de viento, obtenida a partir de la Ecuación 2, será igual al indicado en la figura 7.

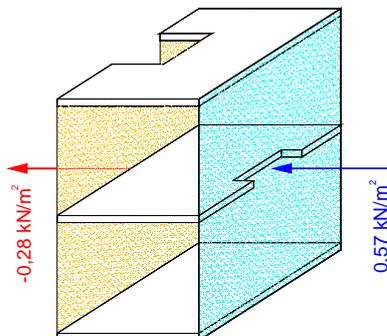
Fachada a sotavento

$$q_p \cdot c_e \cdot c_s$$

sustituyendo

$$0,42 \cdot 1,7 \cdot (-0,4) = -0,28 \text{ kN/m}^2$$

(el signo negativo indica succión)



Fachada a barlovento

$$q_p \cdot c_e \cdot c_p$$

sustituyendo

$$0,42 \cdot 1,7 \cdot 0,8 = 0,57 \text{ kN/m}^2$$

Figura 7. Carga superficial de viento a sotavento (succión) y a barlovento (presión)

4.3 Resumen de las cargas distribuidas superficialmente

4.3.1 Cargas permanentes gravitatorias

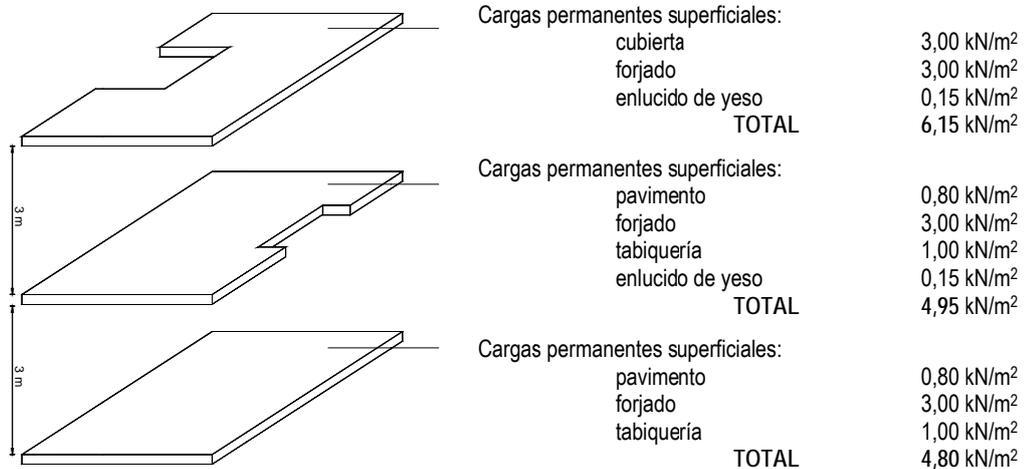


Figura 9. Cargas permanentes verticales en cada uno de los forjados

4.3.2 Cargas variables

Sobrecargas verticales

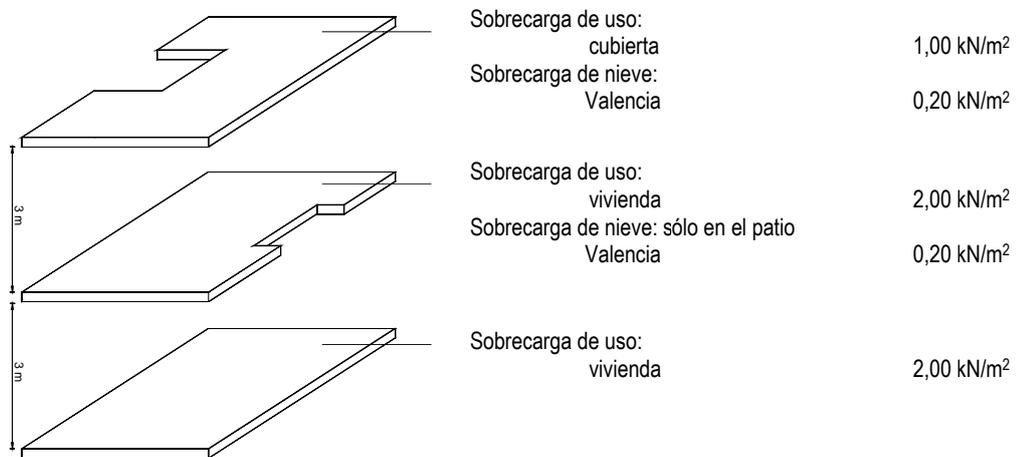


Figura 10. Sobrecargas verticales en cada uno de los forjados

Sobrecargas horizontales

Sobrecarga de viento	En barlovento (presión)	0,57 kN/m ²
	En sotavento (succión)	- 0,28 kN/m ²

NOTA: A pesar de que la superficie que transmite la carga de viento a los soportes es una medianera, y que lo más probable es que el edificio contiguo evite que dicha acción llegue a la estructura del edificio objeto de estudio, esta carga se debe tener en cuenta en el cálculo de la estructura, ya que la norma establece que se deben considerar todas las situaciones posibles a lo largo de la vida útil del edificio, incluido el

periodo de ejecución, no siendo improbable que los edificios contiguos se construyan más tarde, o desaparezcan antes.

5 Conclusiones

- A lo largo de este documento se han utilizado las tablas contenidas en la norma DB-SE AE del CTE para determinar las acciones a tener en cuenta en la modelización de la estructura de una vivienda unifamiliar situada en la ciudad de Valencia.
- Se han evaluado las cargas permanentes, en las que se incluyen los pesos propios de los elementos estructurales además de aquellos no estructurales que permanecen fijos a lo largo de la vida útil del edificio. En el caso del ejemplo se ha obtenido el peso del forjado, pavimento, enlucidos, tabiquería, fachadas y medianeras con ayuda de las tablas del anejo C del DB-SE AE del CTE.

En este mismo apartado se deberían haber incluido, por ejemplo, los pesos de los paneles solares, caso de estar prevista su colocación, o de la tierra saturada, en el caso de una cubierta jardín.

Siempre que el fabricante nos proporcione los pesos de los elementos constructivos o estructurales utilizados, es recomendable utilizar dichos valores en lugar de los recogidos en las tablas de la norma.

- Se ha obtenido el valor de las sobrecargas de uso, tanto para la vivienda como para la cubierta, considerando que es accesible sólo para conservación.
- Se han calculado las sobrecargas de nieve y viento, función de la situación geográfica, dentro del estado español, de la vivienda objeto de análisis.

Finalmente, y con objeto de consolidar los conceptos aprendidos, se propone al alumno evaluar las siguientes cargas.

- Pavimento de madera por unidad de superficie
- Peso por unidad de superficie de un murto de ladrillo macizo de un pie de espesor
- Sobrecarga de nieve considerando que la vivienda se sitúa en Huesca.
- Sobrecarga de uso del forjado de la planta baja, considerando que se trata de un garaje.

6 Bibliografía

6.1 Normativa:

[1] DB-SE AE "Documento Básico Seguridad Estructural, Acciones en Edificación" del Código Técnico de la Edificación. Ministerio de Fomento. 2006.

<http://www.codigotecnico.org/web/>

6.2 Otras fuentes:

Pérez García, A; Fenollosa Forner E; Guardiola Villora, A: "El pabellón de Austria en la exposición Universal de Sevilla 1992. Análisis y dimensionado del sistema estructural", Ed. S.P. de la UPV 1996

Pérez García, A; Guardiola Villora, A: "Modelos y análisis estructural en edificación. Casos prácticos", Ed. S.P. de la UPV 2001 ISBN 84-7721-995-8

7 Solución al ejercicio propuesto

- El peso del pavimento de madera por unidad de superficie es de 40 kN/m^2 (tabla C.3 del DB-SE A del CTE)
- El peso por unidad de superficie de un muro de ladrillo macizo de un pie de espesor es igual a $0,25 \cdot 18 \text{ kN/m}^3 = 4,5 \text{ kN/m}^2$, siendo 18 kN/m^3 el peso específico según se refleja en la tabla C.1 del DB-SE A del CTE
- La sobrecarga de nieve correspondiente a la ciudad de Huesca es $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$
- La sobrecarga de uso correspondiente al uso garaje es de 2 kN/m^2 (tabla 3.1 DB-SE AE del CTE)