

# La nevada de Filomena pone a prueba la norma de Acciones en la Edificación

## Filomena Snowstorm Tests the Standard of Actions on Structures

Manuel Ignacio Guerra Romero<sup>1\*</sup>, Julia García González<sup>2</sup>, Julia M.<sup>a</sup> Morán del Pozo<sup>3</sup>, Andrés Juan Valdés<sup>4</sup>

### Resumen

Como consecuencia del temporal de frío y nieve, en la península ibérica se acumularon importantes espesores de nieve en zonas poco habituales del interior, lo que provocó el hundimiento de algunas edificaciones de estructura ligera, especialmente naves agrícolas e industriales. ¿Ofrece dudas la actual norma de acciones DB SE-AE, para estimar el valor de sobrecargas climáticas como la nieve?

En este trabajo se han analizado las precipitaciones nivosas de las comunidades autónomas más castigadas por ese temporal, comparándolas con los respectivos *valores característicos* dados por la citada norma. Se ha comprobado que, en general, la norma ha resultado ser adecuada para estimar la sobrecarga de nieve, con la salvedad de Toledo, donde se superó el *valor característico* en un 38 %. En los numerosos colapsos de cubiertas ligeras acaecidos durante la borrasca, la nieve ha debido de actuar como factor desencadenante; no se puede afirmar que haya sido la principal responsable.

Se puede concluir que la actual norma SE-AE es mejor, en general, que la anterior norma AE-88, y que en la mayoría de los casos ofrece valores adecuados para el dimensionamiento de las estructuras. Con la citada excepción, esta norma SE-AE ha pasado satisfactoriamente la prueba de Filomena.

**Palabras clave:** borrasca Filomena, acciones en la edificación, sobrecarga de nieve, naves industriales, seguridad estructural.

### Abstract

*The Iberian Peninsula suffered the effects of the Filomena storm at the beginning of 2021. The first two days, a heavy snow fell in the interior of the Iberian Peninsula and a high depth was reported. As a result, it caused the collapse of a few light framework buildings.*

*Is the current standard of action DB SE-AE, established to estimate the value of climatic overloads such as snow, reliable?*

*In this work, the snowfall of the autonomous communities most affected by this storm has been analyzed, comparing it with the respective characteristic values given by the aforementioned norm. Generally speaking, it has been found that the standard has been adequate to estimate snow overload, except for Toledo, where the characteristic value was exceeded by 38 %. In the numerous collapses of warehouses that happened during the storm, snow must have acted as a trigger, though it cannot be said that it was primarily responsible.*

*Therefore, it can be concluded that the current SE-AE standard is better, in general terms, than the previous AE-88 standard, and offers adequate values for the sizing of structures. With the aforesaid exception, this standard has successfully passed the Filomena test.*

**Keywords:** Filomena snowstorm, actions on structures, snow loads, warehouses, structural security.

## 1. INTRODUCCIÓN

La península ibérica sufrió los efectos de un temporal de nieve durante los días 8, 9 y 10 de enero de 2021, debido a la borrasca Filomena. Los dos primeros días descargó una nevada en el interior peninsular que fue calificada por la Agencia Estatal de Meteorología (Aemet, 2021b) de histórica, al acumular espesores de nieve de 30 a 50 cm en zonas poco habituales, como Madrid o Toledo. Sus efectos se

hicieron notar en el tráfico, en la caída de árboles, etc. (Domingo, 2021). También, la nieve acumulada en los tejados fue el desencadenante del hundimiento de algunas naves industriales, agrícolas, ganaderas o forestales (*El Correo*, 2021), amén de otro tipo de edificios de estructura ligera (Casanueva, 2021; *La Tribuna de Toledo*, 2021; *Noticias para Municipios*, 2021). Sin embargo, tal como puede verse más adelante, en la mayoría de los casos, las precipitaciones en forma de nieve han estado por debajo de los valores máximos especificados en normas como la (DB SE-AE, 2009) o la instrucción sobre las acciones a considerar en proyectos de puentes de carretera, (IAP-11, 2011).

En los proyectos de construcción es necesario considerar según (DB SE, 2006) todas «las acciones que deben tenerse en cuenta en el cálculo de la estructura», y en particular las climáticas, de las que la nieve y el viento son las más importantes. Cuando se toman correctamente los valores de las acciones y se hacen bien los cálculos constructivos según las normas en vigor, el proyectista no debe esperar ningún fallo estructural.

\* Autor de contacto: ignacio.guerra@unileon.es

<sup>1</sup> Dr. Ingeniero agrónomo e ITOP. Escuela de Ingeniería Agraria y Forestal. Universidad de León.

<sup>2</sup> Dra. Ingeniera agrónoma. Escuela de Ingeniería Agraria y Forestal. Universidad de León.

<sup>3</sup> Dra. Ingeniera agrónoma. Escuela de Ingeniería Agraria y Forestal. Universidad de León.

<sup>4</sup> Dr. Ingeniero agrónomo. Escuela de Ingeniería Agraria y Forestal. Universidad de León.

En este artículo se analizan los datos de las precipitaciones de nieve registrados en los observatorios de la Aemet, comparándose con los valores de la sobrecarga de nieve establecidos en la norma española DB SE-AE. Además, se hace una revisión bibliográfica sobre el origen de dichos valores.

La borrasca Filomena y otros eventos meteorológicos extremos parece que son consecuencia del cambio climático (Dimova *et al.*, 2016). Ante la indudable repercusión del cambio climático en los edificios, cabe hacer mención al grupo CEN-TC250-SC1\_N1711 *Climate Change Coverage*, que tiene, entre otras, la función de analizar cómo afecta el cambio climático a las estructuras y, en particular, a las acciones.

Estos fenómenos extremos, según Añel y Torre, 2021, se han dado siempre, pero con una bajísima frecuencia: «puede que ahora sean cada vez más frecuentes y que haya que estar preparados para ello». En este sentido, habría que replantearse si los valores de la sobrecarga de nieve que figuran en la norma española DB SE-AE para el cálculo de los edificios, seguirán siendo válidos para asegurar la estabilidad estructural de las edificaciones, en el futuro.

## 2. CARGA DE NIEVE EN UNA SUPERFICIE HORIZONTAL

La antigua normativa de acciones en la edificación, la (NBE-AE/88, 1988), establecía que el valor de la sobrecarga de nieve en una superficie horizontal se podía determinar a partir de los datos estadísticos locales; en ausencia de estos datos locales, se podía tomar de una tabla (tabla 1) en función, únicamente, de la altitud topográfica del lugar, adoptándose un valor mínimo de 40 kg/m<sup>2</sup>, incluso en las localidades donde no nieva. En esta tabla, la altitud es la única variable a considerar para hallar la sobrecarga de nieve, sin establecer ninguna diferencia entre las regiones españolas. Con la publicación del CTE en 2006, se derogó esta norma y se empezó a utilizar el Documento Básico de Acciones en la Edificación: DB SE-AE.

**Tabla 1.** Sobrecarga de nieve en una superficie horizontal: tabla 4.1 de la norma NBE-AE-88

Altitud topográfica $h$ (m)	Sobrecarga de nieve $s_k$ (kg/m <sup>2</sup> )
0-200	40
201-400	50
401-600	60
601-800	80
801-1.000	100
1.001-1.200	120
>1.200	$h/10$

Con el fin de mejorar los conocimientos sobre nivometría en España, el Instituto Nacional de Meteorología –actualmente la Aemet–, publicó un estudio con las bases estadísticas para elaborar un mapa nacional de sobrecarga de nieve en función de la altitud y de las zonas climáticas (Peinado y Almarza, 1984). En esta línea, cabe citar también el trabajo DGIII-D3 llevado a cabo en el ámbito europeo por un comité de expertos (Brettle *et al.*, 1999), para determinar la sobrecarga de nieve potencial en diferentes regiones europeas, entre ellas España. En el caso de

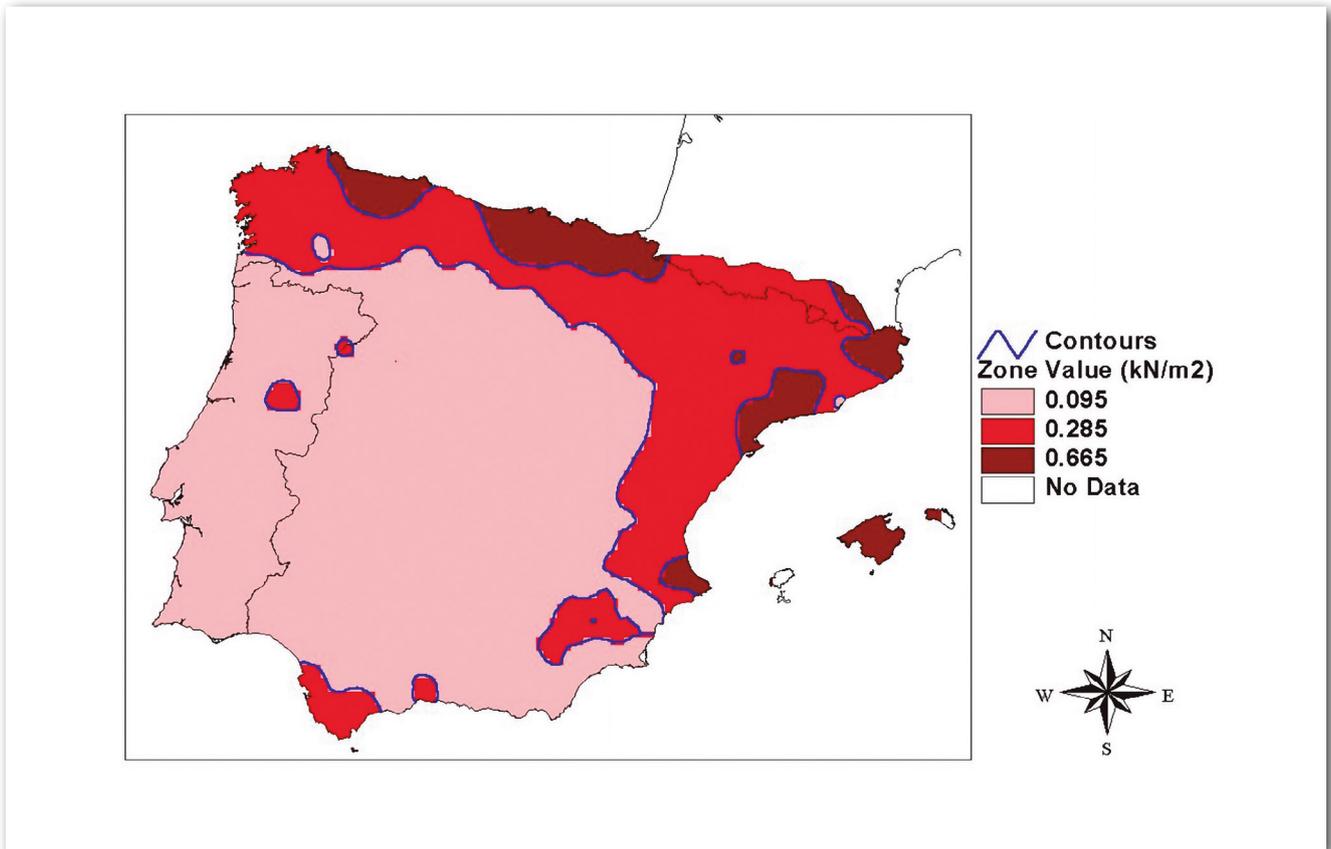
la península ibérica y Baleares, los autores propusieron –con poco acierto– una división del territorio en regiones climáticas (figura 1), muy diferente a la actual, recogida en el DB SE-AE (figura 2).

A partir de estos y otros estudios, y de la información proporcionada por la Aemet, se comenzó a trabajar en una nueva norma de acciones, basada en la altitud y en la división del territorio en zonas de clima invernal. La mayoría de las estaciones climatológicas de la red de la Aemet no registran directamente ni el espesor ni la densidad de las precipitaciones acumuladas en forma de nieve (Morata Gasca, Tanner y Almarza Mata, 2004). Para conocer estas precipitaciones nivosas y poder determinar con suficiente fiabilidad la carga de nieve, se recurrió a una estimación indirecta: partiendo de registros históricos termopluviométricos de más de 1.000 estaciones, se seleccionaron los datos pluviométricos de días con temperatura mínima extrema inferior o igual a 0 °C. Se identificaron 7 zonas de clima invernal (figura 2), donde las precipitaciones de nieve mostraban cierta homogeneidad. Con los datos pluviométricos seleccionados de cada zona y un exhaustivo tratamiento estadístico, se hizo el ajuste a una función potencial para estimar el valor medio de la carga de nieve esperada en cada una de las zonas climáticas (Morata Gasca, Tanner, Luna, *et al.*, 2004) y (Morata Gasca, Tanner y Almarza Mata, 2004). Estas funciones potenciales permiten estimar el valor característico “esperado” de la sobrecarga de nieve sobre un terreno horizontal en función de la altitud (tabla 2).

Al comparar los valores característicos “esperados” con los valores de cada estación meteorológica, se observó una dispersión nada desdeñable. Para tenerla en cuenta, a efectos de asegurar el nivel de fiabilidad requerido por las normas de construcción –en esos momentos se estaba desarrollando la actual norma, DB SE-AE–, se propusieron unas nuevas funciones potenciales (Tanner *et al.*, 2011) basadas en el cuantil superior del 95 % (ver tabla 2) que permiten determinar un nuevo valor característico “normalizado”. Los resultados de estas funciones figuran en la tabla 3, y son los que, con mínimas modificaciones, fueron recogidos en el (DB SE-AE, 2009) y en la instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11, 2011).

La borrasca Filomena ha sido una buena oportunidad para verificar la calidad de los valores característicos “normalizados” de la tabla 3. En prácticamente todos los observatorios meteorológicos de la península analizados, la nieve caída fue inferior al correspondiente valor característico. Un buen ejemplo de esto puede ser el caso del observatorio del Retiro en Madrid, a 667 m de altitud, donde a pesar de los numerosos daños materiales que hubo, la carga de nieve registrada (0.52 kN/m<sup>2</sup>) fue ligeramente inferior al valor que da la norma para este lugar (0.6 kN/m<sup>2</sup>).

En 2006 se publicó el Código Técnico de la Edificación (CTE, 2006), constituido por varios documentos básicos. En el documento básico de seguridad estructural DB SE (§ 3.3.2.2.) se define el *valor característico* de una acción climática, como «el valor de la acción que está asociado a una probabilidad anual de ser superada de tan solo 0.02 en un periodo de retorno de 50 años». Este valor de referencia es el que se usa en los cálculos estructurales.



**Figura 1.** Regiones climáticas de nieve en la península y Baleares según el estudio europeo DGIII-D3 (1999). Los valores representan la carga de nieve al nivel del mar.



**Figura 2.** Zonas de clima invernal en España (Figura E.2 del DB SE-AE).

**Tabla 2.** Funciones para determinar el valor característico “esperado” y “normalizado” de la sobrecarga de nieve sobre un terreno horizontal en función de la altitud  $A$ , en metros. Se adopta un valor mínimo de 0.2 kN/m<sup>2</sup>

Zona de clima invernal de nieve	Función del valor característico “esperado” (kN/m <sup>2</sup> )	Función del valor carácter. “normalizado” (kN/m <sup>2</sup> )	Altitud máxima (m)
1	$0.148 \times 1.0016^A$	$0.336 \times 1.0016^A \geq 0.2$	1600
2	$0.146 \times 1.0014^A$	$0.368 \times 1.0014^A \geq 0.2$	2200
3	$0.0459 \times 1.0021^A$	$0.091 \times 1.0021^A \geq 0.2$	1800
4	$0.0387 \times 1.0022^A$	$0.138 \times 1.0022^A \geq 0.2$	1600
5	$0.0777 \times 1.0016^A$	$0.191 \times 1.0016^A \geq 0.2$	1600
6	$0.0247 \times 1.0026^A$	$0.089 \times 1.0026^A \geq 0.2$	1800
7	0.2	0.2	1800

**Tabla 3.** Valor característico “normalizado” en kN/m<sup>2</sup>, de la sobrecarga de nieve sobre un terreno horizontal en España, según las funciones potenciales de altura de la tabla 2. En la última columna figuran los valores de la derogada norma NBE-AE-88. Los valores sombreados son una décima superior a los que figuran, en la norma de acciones SE-AE

		DB SE-AE (desde 2006)					NBE-AE/88 (derogada)		
		Valor característico “normalizado” sk (kN/m <sup>2</sup> )							(kN/m <sup>2</sup> )
Altitud	Zona de clima invernal de nieve								
	A (m)	1	2	3	4	5	6	7	En toda España
<b>0</b>	0.3	0.4	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4
<b>200</b>	0.5	0.5	-	-	0.3	0.2	0.2	0.2	0.5
<b>400</b>	0.6	0.6	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.6
<b>500</b>	0.7	0.7	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.6
<b>600</b>	0.9	0.9	0.3	0.5	0.5	0.4	0.2	0.2	0.8
<b>700</b>	1.0	1.0	0.4	0.6	0.6	0.5	0.2	0.2	0.8
<b>800</b>	1.2	1.1	0.5	0.8	0.7	0.7	0.2	0.2	1.0
<b>1.000</b>	1.7	1.5	0.7	1.2	0.9	1.2	0.2	0.2	1.2
<b>1.200</b>	2.3	2.0	1.1	1.9	1.3	2.0	0.2	0.2	1.2
<b>1.400</b>	3.2	2.6	1.7	3.0	1.8	3.4	0.2	0.2	1.4
<b>1.600</b>	4.3	3.5	2.6	4.6	2.5	5.7	0.2	0.2	1.6

### 3. COMBINACIÓN DE ACCIONES

El cálculo estructural de edificios de estructura ligera, sensibles a las cargas gravitatorias, se hace combinando las acciones –cargas– hasta encontrar la combinación más desfavorable. Las acciones más habituales en este tipo de edificaciones son las cargas permanentes, las sobrecargas de uso y las acciones climáticas, viento y nieve.

En este tipo de construcciones, la sobrecarga de uso en la cubierta se considera únicamente para labores de mantenimiento o conservación, no siendo concomitante este uso con el resto de las acciones climáticas en la cubierta. La norma de acciones (DB SE-AE, 2009), al igual que el EC1 en su anexo nacional, asignan a esta sobrecarga el valor de 0.4 kN/m<sup>2</sup>, mientras que en la anterior norma, MV-101, 1962; NBE-AE/88 (1988) y NTE ECG (1988), reunidas en la norma NBE-AE/88 (1988), asignan el valor de 100 kg/m<sup>2</sup>.

En el caso de estructuras metálicas, el dimensionamiento basado en estados límite últimos, ELU, se suele hacer para una situación ‘persistente o transitoria’. En ambas situaciones, cuando se analiza la hipótesis de hundimiento, es normal plantear, al menos, dos combinaciones de carga, eligiendo la más desfavorable para el dimensionamiento de cada elemento estructural:

- Combinación 1. Incluye al menos, las cargas permanentes ( $G_k$ ), la nieve ( $Q_N$ ) como sobrecarga principal y el viento ( $Q_v$ ) como sobrecarga de acompañamiento:

$$\sum 1.35 \times G_k + 1.5 \times Q_N + \sum 0.9 \times Q_v$$

- Combinación 2. Incluye las cargas permanentes ( $G_k$ ) y la sobrecarga de uso en cubierta ( $Q_v$ ), sin nieve ni viento, por no ser concomitantes con el uso en cubierta:

$$\Sigma 1.35 \times G_k + 1.5 \times Q_U$$

En la combinación 1, la sobrecarga de nieve está multiplicada por el coeficiente parcial de seguridad 1.5; esto significa que el edificio debe estar preparado para resistir una nevada un 50 % superior al valor característico. En cambio, la acción del viento viene multiplicada por 0.9, que es el producto de 1.5 por el coeficiente de simultaneidad o acompañamiento 0.6 (DB SE, 2006) § tabla 4.2.).

Cuando la sobrecarga de uso es superior a la sobrecarga de nieve –en las zonas costeras, por ejemplo–, se toma la combinación 2, que aparentemente es más desfavorable; en caso contrario, se tomaría la combinación 1, siempre siguiendo el criterio de buscar la situación pésima para la estructura. Si el viento fuese más desfavorable que la nieve o la sobrecarga de uso en cubierta, el viento pasaría a ser la acción variable dominante y la nieve la de acompañamiento.

En cuanto a las antiguas normas de acero (EA-95, 1996; MV-103, 1972), cuando la sobrecarga de nieve era inferior a la de uso –que en la AE-88 valía 100 kg/m<sup>2</sup>–, se dimensionaba la estructura con esta sobrecarga en cubierta, sin nieve ni viento:

$$\Sigma 1.33 \times G_k + 1.5 \times Q_U$$

También, se comprobaba la combinación de nieve y viento:

$$\Sigma 1.33 \times G_k + 1.5 \times Q_N + 1.5 \times Q_V$$

#### 4. SOBRECARGA DE NIEVE EN CUBIERTAS INCLINADAS

La nieve puede depositarse en las cubiertas de los edificios de forma homogénea, o bien acumularse en algunas partes por efecto del viento. En el caso de edificios de estructura ligera, como las naves industriales, el valor de la carga de nieve  $Q_N$  que se utiliza en el cálculo, se halla multiplicando el valor característico normalizado  $s_k$ , por el coeficiente de forma de la cubierta, y por el coeficiente de exposición al viento  $c_e$ :

$$Q_N = s_k \cdot \mu \cdot c_e$$

En este tipo de edificios,  $c_e$  y  $\mu$  suelen valer la unidad. En el caso de un emplazamiento fuertemente expuesto al viento, donde sea previsible una importante acumulación de nieve en la cubierta, puede aumentarse el valor de  $c_e$

hasta 1.20. En cubiertas muy inclinadas, la nieve tiende a deslizarse, cayendo al suelo o a otra cubierta inferior, donde se acumularía. Un caso particular son las naves adosadas, donde la nieve se puede acumular ‘peligrosamente’ en los faldones interiores (limahoya). La norma DB SE-AE contempla esta situación haciendo que el factor de forma sea superior a la unidad; tal como se muestra en la tabla 4:  $\mu$  puede variar, según el ángulo  $\alpha$  de inclinación de la cubierta, entre 1 y 2.

Así, por ejemplo, en el caso de naves adosadas con cubiertas inclinadas entre 10 y 15° (ángulo  $\beta$ ), el coeficiente de los faldones interiores puede tomar valores comprendidos entre 1.3 y 1.5, lo que da lugar a cargas de nieve  $Q_N$ , entre un 30 y un 50 % superiores a la de los faldones exteriores. Si se aplica el Eurocódigo 1, el resultado es un 20 % menor.

Las naves construidas con anterioridad a 2006 se calculaban con la norma NBE-AE/88. La determinación de la sobrecarga de nieve se hacía multiplicando su valor característico  $s_k$  (tabla 1), por el coseno del ángulo de la cubierta –siempre que el ángulo fuese menor de 60°:

$$Q_N = s_k \cdot \cos \alpha$$

En esta misma norma se indica que «En el caso de limahoyas y otras zonas de la cubierta en donde pueda acumularse la nieve por deslizamiento o por efecto del viento, se calculará la sobrecarga debida a la acumulación previsible», sin dar explicaciones de cómo hacerlo.

#### 5. LA NIEVE DE FILOMENA

El temporal de nieve debido a la borrasca Filomena provocó cuantiosos daños estructurales en varias edificaciones, en particular en naves industriales, agrícolas, o forestales. En este apartado se analizan los datos climáticos recogidos en diferentes observatorios de la (Aemet, 2021a) de varias comunidades autónomas, donde ha habido constancia de esos daños.

Se tomaron datos pluviométricos de los días 7, 8, 9 y, en algún caso, 10 de enero de 2021, solo cuando la temperatura mínima absoluta fue igual o inferior a 0 °C, siguiendo el criterio de la (Aemet, 2021b) y de otros informes, como DGIII-D3 (véase la tabla 4.1, página 13 de la referencia (Brettle *et al.*, 1999). Al ser datos pluviométricos –de la nieve derretida–, la conversión a peso, en N/m<sup>2</sup>, es directa, pues basta con multiplicar por el valor de la gravedad  $g$ . En las tablas 5-9, con el fin de no extenderlas demasiado, se han omitido los datos de los observatorios con valores inferiores a 0.3 kN/m<sup>2</sup>, o con valores muy por debajo del correspondiente valor característico del lugar.

**Tabla 4.** Coeficiente de forma  $\mu$  en una cubierta con faldón libre o con limahoya, según el EC1 y el CTE.  $\alpha$  es el ángulo de inclinación del faldón de cubierta, y  $\beta$  es el ángulo medio que forman los dos faldones de la limahoya

Angulo $\alpha$ de la cubierta	Eurocódigo 1		CTE DB SE-AE	
	Faldón libre $\mu$	Limahoya $\mu$	Faldón libre $\mu$	Limahoya $\mu$
$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	0.8	$0.8 \times (1 + \frac{\beta}{30^\circ})$	1	$(1 + \frac{\beta}{30^\circ})$
$30^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	$0.8 \times (2 - \frac{\alpha}{30^\circ})$	1.6	$0 \leq (2 - \frac{\alpha}{30^\circ}) \leq 1$	$1 \leq (1 + \frac{\beta}{30^\circ}) \leq 2$

## Comunidad de Madrid

En la tabla 5 se muestran los registros más relevantes de precipitación nivosa en diversos observatorios –localidades– de la Comunidad Madrileña. En Madrid capital se llegaron a acumular espesores de 50 cm. La nevada más cuantiosa fue registrada en el observatorio del Retiro, con 52.9 mm de agua equivalente, seguida de la del aeropuerto de Barajas, con 38.2 mm. Fuera de la capital, los valores más altos se registraron en Villanueva de la Cañada, con 34.3 mm y en la localidad de Torrelodones, con 30.6 mm. Estos valores contrastan con los registrados en los puertos de montaña que, teniendo mucha mayor altitud, no llegaron a superar los valores de la nieve caída en el corazón de Madrid, según muestra la tabla 5. Así, por ejemplo, en el Alto del León se registraron 35.6 mm, o en la localidad de Somosierra, a 1.434 m de altitud, tan solo 1.2 mm. Según se puede ver, las precipitaciones de nieve se distribuyeron por la comunidad independientemente de la altitud. El peso estimado de la nieve acumulada esos días en el parque del Retiro fue de 0.52 kN/m<sup>2</sup>. Este parque tuvo que cerrarse al público por la caída de ramas y árboles (Domingo, 2021).

Según los datos de la tabla 5, el peso de la nieve caída en cada observatorio fue inferior al correspondiente valor característico normalizado  $s_k$  que figura en la norma de acciones en vigor (DB SE-AE).

Se puede concluir que, en esta comunidad, a pesar de haber caído una gran nevada, los valores de la norma de acciones son adecuados.

## Comunidad de Castilla-La Mancha

En la tabla 6 se muestran los registros más destacados de la precipitación en forma de nieve acumulada durante los días 7, 8 y 9 de enero de 2021 en Castilla-La Mancha. Como puede verse, estos registros fueron de bastante intensidad en ciertas zonas de Toledo, Ciudad Real y Albacete.

Según el informe de la (Aemet, 2021b), en esta comunidad hubo espesores de nieve de entre 30 y 50 cm, que se corresponden bastante bien con el peso del agua equivalente observado, suponiendo un peso específico de la nieve recién caída en torno a 1.2 kN/m<sup>3</sup> (DB SE-AE § 3.5.2.4). El mayor registro de nieve acumulada de esos días tuvo lugar en la ciudad de Toledo, con 55.8 mm de agua equivalente, seguido de la localidad de Tembleque, con 53.4 mm. En la provincia de Ciudad Real destacan los 49.6 mm de Fuencaliente, y en la provincia de Albacete, Hellín marcó el mayor registro, 46.5 mm. Según se puede ver en la tabla 6, los observatorios de Toledo y Tembleque registraron valores de nieve superiores al valor característico normalizado del lugar, destacando Toledo, donde el peso de la nieve alcanzó los 0.55 kN/m<sup>2</sup>, casi un 40 % superior a su valor normalizado  $s_k$ . Curiosamente, la derogada norma de acciones AE-88 se muestra más acertada en esta localidad que la norma en vigor, ya que proponía, de acuerdo con la altitud de Toledo, un valor de  $s_k$  igual a 0.6 kN/m<sup>2</sup>, valor ligeramente superior al de la nieve registrada en el observatorio de la Aemet.

**Tabla 5.** Precipitaciones nivosas en la Comunidad de Madrid los días 7, 8 y 9 de enero de 2021. Valor característico  $s_k$  (Fuente: Aemet, 2021a)

Observatorio	Provincia	Altitud	Nieve (estimación)	Peso	$s_k$ (SE-AE)
		m	mm de H <sub>2</sub> O	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Madrid/Retiro	Madrid	667	52.9	0.52	0.6
Madrid/Barajas	Madrid	609	38.2	0.37	0.5
Alto del León	Madrid	1.532	35.6	0.35	3.9
Villanueva de la Cañada	Madrid	641	34.3	0.34	0.5
Torrelodones pol.	Madrid	879	30.6	0.30	1.0
Somosierra	Madrid	1.434	1.2	0.01	1.2

**Tabla 6.** Precipitaciones nivosas en Castilla-La Mancha de los días 7, 8 y 9 de enero de 2021. Valor característico  $s_k$  (Fuente: Aemet, 2021a). En rojo figuran los valores que superan  $s_k$

Observatorio	Provincia	Altitud	Nieve (estimación)	Peso	$s_k$ (SE-AE)
		m	mm de H <sub>2</sub> O	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Toledo	Toledo	515	55.8	0.55	0.4
Tembleque	Toledo	635	53.4	0.52	0.5
Guadalajara	Guadalajara	721	34.4	0.34	0.6
Molina de Aragón	Guadalajara	1.062	26.6	0.26	1.4
Fuencaliente	Ciudad Real	695	49.6	0.49	0.6
Alcázar de San Juan	Ciudad Real	640	45.4	0.44	0.5
Puebla de D. Rodrigo	Ciudad Real	612	45.6	0.45	0.5
Hellín	Albacete	600	46.5	0.46	0.5
Villarrobledo	Albacete	718	44.6	0.44	0.6

Se puede concluir que, salvo Toledo y en menor medida Tembleque, en los demás lugares analizados de la Comunidad Castellano-Manchega, el peso de la nieve fue inferior al valor característico normalizado.

### Comunidad de Aragón

Los datos de las nevadas más significativas en la Comunidad de Aragón se muestran en la tabla 7. Según puede observarse, el peso de la nieve caída, aun siendo de consideración en alguna localidad como Alcañiz o Mosqueruela, está por debajo de su respectivo valor característico normalizado  $s_k$ .

En la provincia de Huesca cabe destacar la nieve registrada en la localidad de Fraga,  $0.44 \text{ kN/m}^2$ ; esta cantidad es ligeramente inferior al valor característico de la norma en vigor,  $0.5 \text{ kN/m}^2$ , y curiosamente, es mayor que el propuesto por la antigua norma AE-88, que es  $0.40 \text{ kN/m}^2$ .

Por último, cabe citar la localidad zaragozana de Quinto, el único observatorio de esta provincia que registró una nevada superior a  $0.3 \text{ kN/m}^2$ . En este caso, tampoco se alcanzó el valor característico del lugar:  $0.5 \text{ kN/m}^2$ .

Por lo tanto, en ninguno de los lugares analizados de esta comunidad autónoma, el peso de nieve llegó a superar el valor característico, salvo las naves construidas en Fraga antes de 2006, donde el peso de la nieve fue superior al valor característico de la norma que en aquel tiempo estaba en vigor (AE-88 o la anterior MV-101).

### Comunidad de Valencia

La capa de nieve que cubrió el interior de la Comunidad Valenciana llegó a alcanzar en algunos observatorios valores muy altos, según la (Aemet, 2021b). En Chelva, Montanejos y Segorbe, por ejemplo, se alcanzaron cargas de nieve cercanas al valor característico  $s_k$  (DB SE-AE, 2009). En otras localidades, como Villafranca o Morella, aunque se registraron valores más altos, cercanos a los  $0.5 \text{ kN/m}^2$ , estos fueron inferiores a sus respectivos valores  $s_k$  (tabla 8).

Se puede concluir que la carga de nieve dejada por Filomena en esta región, aunque inusualmente alta en las localidades de Chelva, Montanejos y Segorbe, en ningún lugar se sobrepasó el valor característico normalizado  $s_k$ .

**Tabla 7.** Precipitaciones nivosas en algunas localidades de la Comunidad de Aragón los días 7, 8 y 9 de enero de 2021. Valor característico  $s_k$  (Fuente: Aemet, 2021a)

Observatorio	Provincia	Altitud	Nieve (estimación)	Peso	$s_k$ (SE-AE)
		m	mm de H <sub>2</sub> O	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Quinto	Zaragoza	205	30.4	0.30	0.5
Alcañiz	Teruel	334	41.4	0.41	0.6
Mosqueruela, depó.	Teruel	1515	40.4	0.40	3.1
Calanda	Teruel	466	38.0	0.37	0.7
Teruel	Teruel	900	34.4	0.34	1.3
Fraga	Huesca	170	44.4	0.44	0.5
Benabarre	Huesca	765	42.0	0.41	1.1
Barbastro	Huesca	305	39.0	0.38	0.6
Huesca	Huesca	463	30.0	0.29	0.7

**Tabla 8.** Precipitaciones nivosas en algunas localidades de la Comunidad de Valencia los días 7, 8 y 9 de enero de 2021. Valor característico  $s_k$  (Fuente: Aemet, 2021a)

Observatorio	Provincia	Altitud	Nieve (estimación)	Peso	$s_k$ (SE-AE)
		m	mm de H <sub>2</sub> O	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Chelva	Valencia	515	39.4	<b>0.39</b>	0.4
Montanejos	Castellón	469	40.8	<b>0.40</b>	0.4
Segorbe	Castellón	358	39.2	<b>0.38</b>	0.4
Villafranca del Cid	Castellón	1.131	49.6	0.49	1.2
Morella Pº Alameda	Castellón	990	45.0	0.44	0.9
Arenos-pantano	Castellón	601	31.4	0.31	0.5
Ademuz	Valencia	700	30.8	0.30	0.6

**Tabla 9.** Precipitaciones nivosas en algunas localidades de la Comunidad Catalana los días 7, 8 y 9 de enero de 2021. Valor característico  $s_k$  (Fuente: Aemet, 2021a)

Observatorio	Provincia	Altitud	Nieve (estimación)	Peso	$s_k$ (SE-AE)
		m	mm de H <sub>2</sub> O	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Cabacés	Tarragona	363	57.4	0.56	0.6
Alforja	Tarragona	406	41.2	0.40	0.6
La Poble de Cérvoles	Lérida	673	63.0	0.62	1.0
Talarn	Lérida	807	46.0	0.45	1.1
Llimiana	Lérida	515	40.0	0.39	0.7
Mollerussa	Lérida	252	38.0	0.37	0.5
Cabdella Central	Lérida	1.273	31.2	0.31	2.3
Lérida	Lérida	185	31.0	0.30	0.5
La Molina	Gerona	1.703	33.6	0.33	4.1

## Comunidad de Cataluña

En la tabla 9 figuran los registros de nieve más reseñables de la Comunidad Catalana. Tal como puede verse, todos ellos son inferiores al valor característico normalizado  $s_k$ . No obstante, la diferencia entre la nieve caída y la prevista en la norma es muy variable. En la localidad de Cabacés, el peso de la nieve caída, 0.56 kN/m<sup>2</sup>, fue prácticamente igual que el valor normalizado  $s_k$ , mientras que en otras localidades como la Poble de Cérvoles, aunque la nevada alcanzó los 0.62 kN/m<sup>2</sup>, quedó lejos del valor normalizado de esta localidad, 1 kN/m<sup>2</sup>. Lo mismo ocurre en los demás observatorios, en todos ellos se registraron nevadas por debajo del valor característico  $s_k$ .

Cabe destacar que la nevada registrada en Cabacés, de 0.56 kN/m<sup>2</sup>, fue ligeramente superior al valor máximo, de 0.5 kN/m<sup>2</sup>, dado por la antigua norma de acciones (AE-88). Esta circunstancia apenas afectaría a las naves más antiguas.

Por último, al igual que pasa en la sierra madrileña, llama la atención que este temporal haya descargado tan poca nieve en las cotas pirenaicas, en contraste con las zonas bajas del valle del Ebro: lugares como la estación de esquí de La Molina o la localidad de Cabdella, a más de mil metros de altitud, apenas recibieron la mitad de nieve que La Poble de Cérvoles.

A la vista de los datos analizados de la región catalana, se puede concluir que la nieve dejada por la borrasca Filomena ha estado dentro de los valores esperables. Se puede destacar que en el observatorio de Cabacés se llegó a alcanzar el valor característico normalizado, o incluso, a superarlo ligeramente, si la estructura fue calculada con la antigua norma de acciones, la AE-88.

## 6. DISCUSIÓN

De todas las localidades analizadas en el apartado anterior, solo la nieve caída en Toledo superó claramente, en un 38 %, el valor característico normalizado  $s_k$  (tabla 6). Curiosamente, en esa localidad, la nevada fue inferior al valor dado por la antigua norma de acciones, la AE-88, mientras que, en otras, como Cabacés y Fraga, fue ligeramente superior. Cabe señalar que, en las localidades de Tembleque, Montanejos o Cabacés, la nieve prácticamente alcanzó el valor máximo previsto por la norma actual, sin llegar a superarlo.

Salvo en Toledo, la actual norma de acciones, DB SE-AE, ha estado muy acertada con la sobrecarga de nieve. En un análisis superficial, podría pensarse que una nevada como la ocurrida en Toledo, justificaría el hundimiento de algunas naves. Según el documento básico de seguridad estructural (DB SE, 2006), el valor característico de las sobrecargas se ha de multiplicar por el coeficiente parcial de seguridad<sup>1</sup> de 1.5; esto supone, *de facto*, considerar en el cálculo un 50 % más de carga en favor de la seguridad, que en el caso de Toledo ( ) cubre sobradamente el valor de la nieve caída:

$$s_k \times 1.50 = 0.6 \text{ kN/m}^2 > (\text{nieve caída} = 0.55 \text{ kN/m}^2)$$

Durante el temporal de nieve no se registraron valores altos de la velocidad del viento. En Toledo, las rachas proporcionadas por la Aemet alcanzaron valores máximos de 38 km/h, una velocidad muy inferior a los 94 km/h que establece la citada norma de acciones en esa zona. Los esfuerzos que se pudieron alcanzar en la estructura durante el temporal de viento y nieve, considerando los valores de la Aemet, tuvieron que ser inferiores a los que se obtendrían mediante el cálculo, en una situación “persistente” (DB SE x 4.2.2.).

Tal como se apunta en la introducción de este artículo, la nieve “parece” que ha sido responsable del hundimiento de muchas naves en el interior peninsular: sin embargo, es posible que solo haya sido el detonante.

(Tanner *et al.*, 2007), en su artículo sobre la seguridad estructural, definen el siguiente axioma: «una estructura correctamente dimensionada y construida según un conjunto consistente de normas en vigor, se considera fiable en el marco de esas normas». A la vista del análisis precedente, se puede concluir que las edificaciones sometidas al temporal de nieve de la borrasca Filomena, que cumplían el axioma anterior, no deberían de haber experimentado daños estructurales.

No obstante, hay factores contemplados por dichas normas que son difíciles de determinar adecuadamente en la fase de proyecto. La nieve ha provocado daños en muchas naves situadas en regiones a baja altitud, la mayoría por debajo de los 600 m; son regiones donde nevada cada vez menos o “ha dejado” de nevar como

<sup>1</sup> Este coeficiente parcial de seguridad de 1.5 también se adopta en el recién aprobado Código Estructural y en la antigua norma NBE-MV103/1972.

consecuencia del cambio climático. En estas regiones, no tiene que ser fácil para quien proyecta estas naves adoptar valores de  $C_e$  o de  $\mu$  (véase apartado 4) superiores a la unidad, en previsión de posibles acumulaciones de nieve en la cubierta.

Este trabajo quedaría incompleto si no se hiciera referencia también a las naves agrícolas, ganaderas o forestales. En el mundo rural, hasta no hace mucho, la mayoría de los ayuntamientos no exigían proyecto para autorizar la construcción de este tipo de naves. En muchos de estos casos, la estructura se dimensionaba a ojo, sin los adecuados cálculos constructivos; era el propio constructor y a veces, en caso de cobertizos y estructuras menores, el propietario quien dimensionaba la estructura. Es posible que algunas de estas edificaciones sean las que no resistieron “el efecto Filomena”.

## 7. CONCLUSIONES

A la vista de los datos analizados en este trabajo y de la discusión precedente, se puede concluir que:

1. La nieve dejada por la borrasca Filomena en el interior peninsular –salvo en Toledo y, en menor medida, en Tembleque–, no ha superado el valor característico normalizado dado por la norma española en vigor, el DB SE-AE (2009). En Toledo, la carga de nieve fue un 38 % superior al previsto para ese lugar.
2. Esta norma española, en general, es mejor que la anterior, y hasta la fecha, ha resultado ser adecuada para estimar la sobrecarga de nieve, con la salvedad indicada anteriormente.
3. En los numerosos siniestros de naves de estructura ligera acaecidos durante la borrasca, la nieve ha debido de actuar como factor desencadenante, pero no se puede justificar que haya sido la causa de los hundimientos.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a Peter Tanner y Carlos Lara Sarache por la información proporcionada para escribir este artículo, así como por sus consejos y notas de revisión. También a la Aemet por proporcionarnos la información meteorológica usada en el artículo.

## 9. REFERENCIAS

Aemet (2021a) (12 de enero de 2021). *El Tiempo. Hoy y últimos días - Datos horarios - Agencia Estatal de Meteorología*. <http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/ultimosdatos>

Aemet (2021b). Informe sobre el episodio meteorológico de fuertes nevadas y precipitaciones ocasionadas por la borrasca Filomena y posterior ola de frío. [https://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos\\_en\\_linea/publicaciones\\_y\\_estudios/estudios/Informe\\_episodio\\_filomena.pdf](https://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/estudios/Informe_episodio_filomena.pdf)

Añel, J.A., y de la Torre, L. Una gran nevada de Houston a Atenas. *El País* (21/02/21).

Brettle, M., et al. (1999). *DGIII-D3. Final Report. Scientific Support Activity in the Field of Structural Safety of Civil Engineering Works: Snow Loads*. Pisa: Universidad de Pisa. <http://www2.ing.unipi.it/dic/snowloads/Final%20Report%20II.pdf>

Casanueva, I. El Gobierno declara zona catastrófica los territorios afectados por el temporal de nieve. *Confitegal* (19/01/21).

Dimova, S., et al. (2016). *On adaptation of structural design to climate change*. EUR 27787. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <http://dx.doi.org/10.2788/996279>

Domingo, M.R. El Retiro reabre este lunes doce de sus 17 accesos tras los destrozos de Filomena. *ABC* (22/02/21).

*El Correo*. El derrumbe de una nave por la nieve atrapa a más de 400 ovejas (12/01/21).

*La Tribuna de Toledo*. Colapsa la cubierta del colegio Gregorio Marañón (08/01/21).

Ministerio de Fomento (2011). BOE-A-2011-16559, Orden FOM/2842/2011, de 29 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11). Madrid: Ministerio de Fomento.

Ministerio de la Vivienda (1962). Norma MV-101/1962. Acciones en la edificación. Decreto 195/1963, de 17 de enero de 63. Decreto 165/1963, de 17 de enero. Madrid: Ministerio de la Vivienda.

Ministerio de la Vivienda (1972). Norma NBE-MV-103-1972. Cálculo de las estructuras de acero laminado en edificación. Decreto 1353/1973, de 12 de abril. Madrid: Ministerio de la Vivienda.

Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (1988). Acciones en la edificación. BOE-A-1988-26435, Real Decreto 1370/1988, de 11 de noviembre, por el que se modifica parcialmente la Norma MV-101/1962, Acciones en la Edificación, aprobada por Decreto 195/1963, de 17 de enero, y se cambia su denominación. Madrid: MOPU.

Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. (1996). Estructuras de acero en la edificación. R.D. 1829/1995, de 10 de noviembre, por el que se aprueba la norma básica de la edificación NBE-EA-95. Madrid: MOPTMA.

Ministerio de Vivienda (2006). BOE-A-2006-5515, Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Madrid: Ministerio de Vivienda.

Ministerio de Vivienda (2009). Orden VIV/984/2009, de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre. Madrid: Ministerio de Vivienda.

Morata Gasca, A., Tanner, P., Luna, Y., y Almarza Mata, C. (2004). Sobrecarga de nieve máxima sobre una superficie horizontal: diferencias regionales en España. En C. Diego Liaño, J.C. García Codrón, D.F. Rasilla Álvarez, P. Fernández de Arróyabe Hernández y C. Garmendia Pedraja (Eds.), *El clima, entre el mar y la montaña. Aportaciones presentadas al IV Congreso de la Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria, Santander, 2-5 de noviembre de 2004*, 4(1): pp. 85–94. Universidad de Cantabria, 2004.

*Noticias para Municipios*. La nieve hunde parte de la cubierta del Centro Cultural Isabel de Farnesio (09/01/21).

Peinado, A., y Almarza, C. (1984). *Notas para una climatología de la nieve y bases para un estudio de la cobertura nival en España*. Serie A-88. Madrid: Instituto Nacional de Meteorología.

Tanner, P., Lara, C., e Hingorani, R. (2007). Seguridad estructural. Una lucha con incertidumbres. *Hormigón y Acero*, 28(245): pp. 59–78.

Tanner, P., Lara, C., y Morata, A. (2011). Modelado de fenómenos meteorológicos extremos a efectos del análisis estructural. *V Congreso de ACHE, Barcelona, 12 de abril de 2011*.