

COMBINACIÓN DE ACCIONES MÁS DESFAVORABLES EN CUBIERTAS DE NAVES A DOS AGUAS. APLICACIONES INFORMÁTICAS DE CARÁCTER DOCENTE.

Jesús Antonio López Perales¹, Luis López García¹, Amparo Moreno Valencia¹ y
Pedro Jesús Alcobendas Cobo¹

1: Área de Ingeniería Agroforestal de Ciudad Real
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola
Universidad de Castilla-La Mancha
Ronda de Calatrava 7, 13071 Ciudad Real
e-mail: Jesus.LopezPerales@uclm.es, web: <http://www.ingenieriaRural.com>

e-mail: Luis.LGarcia@uclm.es, Amparo.MValencia@uclm.es, Pedro.Alcobendas@uclm.es

Palabras clave: Estructuras de acero, Correas, Cargas, Cubiertas a dos aguas

Resumen. *En este trabajo se presenta un archivo Excel (CTE_AccionesCorreas2008.xls [1]) compuesto por varias hojas de cálculo que, una vez introducidos los datos necesarios, determina los valores unitarios de las diferentes acciones simples, realiza las combinaciones necesarias para establecer cuál es la más desfavorable atendiendo a las diversas situaciones que se indican en el CTE, tanto en los estados límites últimos como en los estados límites de servicio y, por último, establece las comprobaciones necesarias para el dimensionamiento de la correa, permitiendo diferentes montajes (viga biapoyada, viga continua de dos vanos y viga continua de tres o más vanos), con o sin tirantillas. Además, se permite no incluir la existencia de presiones (o succiones) interiores en naves que no posean grandes huecos.*

También se presentan cuatro tablas resumen en las que se pretende facilitar la labor de selección de la combinación de acciones (ELU y ELS) en naves de 15 m (tablas 2 y 3) y 30 m (tablas 4 y 5) de luz a dos aguas, así como un predimensionamiento de la correa con un perfil IPE. Los cálculos se han realizado considerando un peso de cubierta de 0,30 kN/m², una separación entre pórticos de 6 m y una longitud de la nave de 60 m.

1. INTRODUCCIÓN

«No se debe dimensionar con ordenador una estructura que no se sepa calcular manualmente». Esta rotunda afirmación, debida a Rui-Wamba [2], preside el tablón de anuncios que flanquea la entrada al Gabinete de Ingeniería Rural en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real. Con una clara vocación docente, siempre se ha pretendido que el alumno sea capaz de calcular a mano las estructuras con las que se pueda enfrentar en su vida profesional. Sin embargo, algunas normativas se muestran contumaces para dificultar esta labor. Esto sucede con el CTE, y por ende con el Eurocódigo 1, en el tratamiento de algunos aspectos como es el caso de las acciones de viento sobre edificaciones, lo que se traduce en una complejidad innecesaria a la hora de calcular una sencilla correa.

Los profesores del área de Ingeniería Agroforestal de la EUITA de Ciudad Real, que imparten asignaturas de Construcción con un número de créditos claramente insuficiente, deciden afrontar la elaboración de una hoja de cálculo para atenuar el efecto negativo del desproporcionado número de cálculos que exige el CTE para obtener los valores con los que calcular las correas de las naves industriales, optimizando de esta manera el tiempo de clase.

Las distintas hipótesis simples de las acciones variables se recogen en la Tabla 1, junto con la nomenclatura utilizada.

Viento lateral presión faldón frontal	V_1F
Viento lateral presión faldón dorsal	V_1D
Viento lateral succión faldón frontal	V_2F
Viento lateral succión faldón dorsal	V_2D
Viento longitudinal	V_3
Nieve	N_1
No nieve	N_0
Mantenimiento	M

Tabla 1. Nomenclatura utilizada para las hipótesis de carga simples.

Puede comprobarse cómo se distingue en las hipótesis de viento lateral entre faldón frontal y dorsal, con el objeto de ubicar la correa más desfavorable. Así mismo, se prescinde de las hipótesis de nieve con distribución asimétrica entre los faldones de la cubierta, pues se ha comprobado que en ningún caso conducen a situaciones pésimas. Por último, puede observarse el especial hincapié que se hace con la situación de no nieve, pues en los casos de succión los efectos de la no nieve permiten obtener valores más desfavorables.

Respecto a la forma de nombrar las combinaciones de ELU, la acción variable fundamental aparece en primer lugar. Por ejemplo, si la combinación pésima fuera V_2DN_1 significaría que la carga de cálculo más desfavorable se obtiene para la combinación en la que el viento lateral en succión en el faldón dorsal es la acción variable fundamental, y la nieve es la acción variable afectada por su coeficiente de simultaneidad Ψ_0 .

En combinaciones de ELS, la situación más desfavorable se da en todos los casos para

acciones de corta duración irreversibles, siendo la acción variable fundamental la que aparece en primer lugar Q_1 , y Q_2 y Q_3 las acciones variables combinadas, afectadas por sus coeficientes de simultaneidad Ψ_0 . Por ejemplo, $N_1 V_1 F$ indica que la carga característica más desfavorable se da para Q_1 nieve y Q_2 viento lateral en presión en el faldón frontal.

2. METODOLOGÍA

Se ha elaborado un archivo Excel compuesto por varias hojas de cálculo que, una vez introducidos los datos necesarios, determina los valores unitarios de las diferentes acciones simples, realiza las combinaciones necesarias para establecer cuál es la más desfavorable atendiendo a las diversas situaciones que se indican en el CTE, tanto en los estados límites últimos como en los estados límites de servicio y, por último, establece las comprobaciones necesarias para el dimensionamiento de la correa, permitiendo diferentes montajes (viga biapoyada, viga continua de dos vanos y viga continua de tres o más vanos), con o sin tirantillas. Además, se permite no incluir la existencia de presiones (o succiones) interiores en naves que no posean *grandes huecos*⁽¹⁾, pues autores de gran solvencia como Argüelles [3] recomiendan calcular las edificaciones con *grandes huecos* como marquesinas.

Datos del Pórtico/Cercha		Datos de la correa	
Luz (m)	18	Perfil	IPE 120
Altura Pilar (m)	5	Clase de sección	1
Pendiente (%)	20	A (cm ²)	13,2
Sep. Pórticos (m)	6	h (mm)	120
Longitud nave (m)	60	tw (mm)	4,4
Peso cubierta (kN/m ²)	0,3	Iy (cm ⁴)	318
Zona eólica	A	Wpy (cm ³)	60,8
Grado de aspereza	2	Wpz (cm ³)	13,6
Considerar Cpi (S/N)	S	Wy (cm ³)	
q de nieve (kN/m ²)	0,6	Wz (cm ³)	
q de mantenimiento (kN/m ²)	0,4	Separación máxima (m)	1,75
		fy (N/mm ²)	275
Pendiente (°)	11,31	Long. Faldón (m)	9,18
Altura Cumbra (m)	6,80	N° de correas	7
Esbeltez nave	0,38	Sep. Correas (m)	1,53

Figura 1. Introducción de datos.

En la Figura 1 se muestra la pantalla de introducción de datos del archivo

⁽¹⁾ El término *grandes huecos* es muy impreciso. Argüelles [3], en cálculos de naves convencionales, se acoge a la inexistencia de grandes huecos para despreciar el cálculo de las presiones interiores.

CTE_AccionesCorreas2008.xls [1], dentro de la hoja *Datos*. Por su extrema sencillez, basta aclarar únicamente que la cuestión «Considerar C_{pi} (S/N)» se refiere a la posibilidad de tener en cuenta o despreciar los efectos de la presión o succión interior en edificaciones ante la existencia de *grandes huecos*.

Respecto a los datos de las correas, si el perfil introducido es de Clase 1 ó 2 es necesario suministrar los módulos plásticos W_{ply} y W_{plz} . En cambio, si el perfil es de Clase 3 basta con proporcionar los módulos resistentes W_y y W_z .

De entre todas las acciones que actúan sobre las correas de una nave industrial, parece incuestionable que la mayor dificultad de cálculo estriba en la obtención de las cargas de viento, sobre todo si se tienen en cuenta las presiones y succiones interiores cuando existen huecos. El DB SE-AE [4], en el apartado 3.3.1 recoge:

«El coeficiente eólico de presión interior, C_{pi} , se considera único en todos los paramentos interiores del edificio. Para la determinación de la presión interior, en edificios de una sola planta, se considerará como coeficiente de exposición el correspondiente a la altura del punto medio del hueco, salvo que exista un hueco dominante, en cuyo caso el coeficiente de exposición será el correspondiente a la altura media de dicho hueco. Si el edificio tiene varias plantas se considerará la altura media de la planta analizada.

Un hueco se considera dominante si su área es por lo menos diez veces superior a la suma de las áreas de los huecos restantes.»

Tabla 3.5 Coeficientes de presión interior

Esbeltez en el plano paralelo al viento	Área de huecos en zonas de succión respecto al área total de huecos del edificio										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
≤1	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5
≥4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3

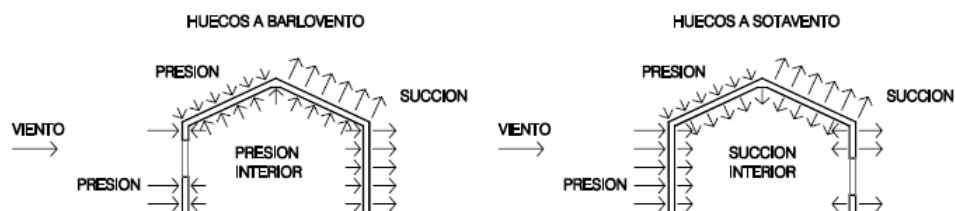


Figura 2. Presiones ejercidas por el viento en una construcción diáfana (Fig. 3.1 DB SE-AE).

En cálculos genéricos de naves agroindustriales, donde a la hora de calcular un anteproyecto no se dispone siempre de una definición clara de todos los huecos que va a presentar la construcción, para determinar el coeficiente de exposición requerido para obtener la presión interior los autores recomiendan el uso de una altura de hueco igual a dos tercios de la altura del pilar, a sabiendas que representa un valor conservador.

Respecto al coeficiente eólico de presión interior, las situaciones extremas se corresponden con los valores 0 y 1 de los cocientes entre el área de huecos en zonas de succión H_s y el área

total de huecos H_T . En naves agroindustriales, donde lo normal⁽²⁾ es que $\frac{h}{d} \leq 1$, $C_{pi} = +0,7$ cuando $\frac{H_s}{H_T} = 0$ y $C_{pi} = -0,5$ cuando $\frac{H_s}{H_T} = 1$.

Por tanto, para correas la situación más desfavorable corresponde a:

- Si predomina el efecto de la presión exterior sobre la succión exterior, el valor del coeficiente de presión interna más desfavorable es $C_{pi} = -0,5$, dirigido hacia el interior del pórtico, con lo que se suma al valor de la presión exterior.
- Si predomina el efecto de la succión exterior sobre la presión exterior, el valor del coeficiente de presión interna más desfavorable es $C_{pi} = +0,7$, dirigido hacia el exterior del pórtico, con lo que se suma al valor de la succión interior.

Como en último fin se trata de dimensionar las correas, se puede optar por una de las soluciones que a continuación se exponen:

1. Dimensionar con el valor máximo, que se obtiene en las zonas F de las hipótesis V_2 (faldón frontal) y V_3 (faldones frontal y dorsal), y que se corresponden con zonas inferiores al 5% del total a cubrir.
2. Dimensionar con los valores correspondientes a las zonas G y J (en las hipótesis V_1 y V_2) y H (en la hipótesis V_3), de modo que habría que reforzar las correas situadas en las esquinas de la nave, si fuera necesario. En la hipótesis V_3 tampoco se considera la zona G por su poca superficie y su ubicación en un borde de la nave.

De este modo, se podrá elegir en la hoja *SelecciónViento* entre cuatro opciones (Figura 3) para su combinación con el resto de las acciones permanentes y variables. Estas cuatro opciones se corresponden con los valores máximos y no máximos con succión y presión interna.

A partir de multitud de cálculos realizados con la hoja de cálculo se han elaborado cuatro tablas resumen en las que se pretende facilitar la labor de selección de la combinación de acciones (ELU y ELS) en naves de 15 m y de 30 m de luz a dos aguas, así como un predimensionamiento de la correa con un perfil IPE.

Con todo, se obtienen no sólo resultados cuantitativos, sino la dirección de dichas acciones y la combinación resultante más desfavorable, tanto para los ELU como para la obtención de la flecha (ELS).

En la última hoja de cálculo, *Comprobaciones*, se realiza las distintas comprobaciones para el dimensionado de la correa, permitiendo diversos montajes (Figura 4).

⁽²⁾ Si $h/d \geq 4$, $C_{pi} = +0,5$ y $C_{pi} = -0,3$. Para valores intermedios de la esbeltez en el plano paralelo al viento, los valores se interpolan.

ingenieríaRural.com		Jesús A. López Perales Luis López García			Amparo Moreno Valencia Pedro J. Alcobendas Cobo			
Cargas de viento (resumen)					Viento con succión interna (valores máximos)			
q_e (kN/m ²)					q_e (kN/m ²)			
Succión int. Presión int.								
V ₁	Cubierta frontal	Zona F	0,586	-0,495	V ₁	Cubierta frontal	Zona F	0,586
		Zona G	0,586	-0,495		Cubierta dorsal	Zona J	0,213
	Cubierta dorsal	Zona J	0,213	-0,868	V ₂	Cubierta frontal	Zona F	-1,187
V ₂	Cubierta frontal	Zona F	-1,187	-2,268		Cubierta dorsal	Zona J	-0,147
		Zona G	-0,566	-1,647	V ₃	Cubierta f/d	Zona F	-1,301
	Cubierta dorsal	Zona J	-0,147	-1,228				
V ₃	Cubierta f/d	Zona F	-1,301	-2,382	Viento con succión interna (no máximos)			
		Zona H	-0,233	-1,313	q_e (kN/m ²)			
Opción de viento para combinaciones c OK								
					Viento con presión interna (valores máximos)			
					q_e (kN/m ²)			
					V ₁	Cubierta frontal	Zona F	-0,495
						Cubierta dorsal	Zona J	-0,868
					V ₂	Cubierta frontal	Zona F	-2,268
						Cubierta dorsal	Zona J	-1,228
					V ₃	Cubierta f/d	Zona F	-2,382
					Viento con presión interna (no máximos)			
					q_e (kN/m ²)			
					V ₁	Cubierta frontal	Zona G	-0,495
						Cubierta dorsal	Zona J	-0,868
					V ₂	Cubierta frontal	Zona G	-1,647
						Cubierta dorsal	Zona J	-1,228
					V ₃	Cubierta f/d	Zona H	-1,313

Figura 3. Selección de la combinación de viento.

ingenieríaRural.com		Jesús A. López Perales Luis López García			Amparo Moreno Valencia Pedro J. Alcobendas Cobo				
Datos de la correa									
Perfil	IPe 120								
Clase de sección	1	OK							
A (cm ²)	13,2								
h (mm)	120								
t _w (mm)	4,4		V _{pl,Rd} (kN)	79,839					
I _y (cm ⁴)	318		0,5·V _{pl,Rd} (kN)	39,920	despreciar				
W _{ply} (cm ³)	60,8	OK	M _{ply,Rd} (kN.m)	15,924					
W _{plz} (cm ³)	13,6	OK	M _{plz,Rd} (kN.m)	3,562					
W _y (cm ³)	-	OK	M _{ly,Rd} (kN.m)	-					
W _z (cm ³)	-	OK	M _{lz,Rd} (kN.m)	-					
Separación máx. (m)	1,75								
f _y (N/mm ²)	275	OK							
Tipo de montaje		M _{Ed,y} (kN.m)	M _{Ed,z} (kN.m)	V _{Ed,y} (kN)	V _{Ed,z} (kN)	Resistencia	Flecha (cm)	L/300 (cm)	L/350 (cm)
Viga biapoyada	Sin tirantillas	-15,017	0,397	0,265	-10,011	1,055	-4,97	2,00	1,71
	Con tirantillas	-15,017	0,099	0,132	-10,011	0,971			
Viga continua 2 vanos	Sin tirantillas	-15,017	0,397	0,728	-27,531	1,055	-1,99		
	Con tirantillas	-15,017	0,057	0,350	-27,531	0,959			
Viga continua 3 o más vanos	Sin tirantillas	-12,614	0,334	0,638	-24,127	0,886	-2,49		
	Con tirantillas	-12,614	0,061	0,312	-24,127	0,809			

Figura 4. Dimensionamiento de las correas.

3. RESULTADOS

Las Tablas 2 a 5 representan un resumen de todos los resultados obtenidos. En estas tablas, diferenciadas por la luz y por la sobrecarga de nieve, se recogen las combinaciones más desfavorables para cada situación estudiada.

Con ellas se pretende facilitar la labor de selección de la combinación de acciones (ELU y ELS) en naves a dos aguas con luces de 15 m (Tablas 2 y 3) y de 30 m (Tablas 4 y 5), así como predimensionar la correa con un perfil IPE. Los cálculos se han realizado considerando un peso de cubierta de $0,30 \text{ kN/m}^2$, una separación entre pórticos de 6 m, una longitud de la nave de 60 m y una separación máxima de correas de 1,75 m.

La edificación puede encontrarse en cualquiera de las zonas eólicas que contempla la norma (A, B y C), con los grados de aspereza habituales para construcciones agroindustriales (II, III y IV). La sobrecarga de nieve se ha agrupado en dos intervalos, que dan lugar a las Tablas 2 y 4 y a las Tablas 3 y 5. Así, las Tablas 2 y 4 se han realizado con una sobrecarga de nieve de $0,60\text{-}0,70 \text{ kN/m}^2$, que se refiere a una sobrecarga de $0,60 \text{ kN/m}^2$ en las zonas eólicas A y B, y $0,70 \text{ kN/m}^2$ en la zona C. Del mismo modo, en las Tablas 3 y 5 se recogen las combinaciones obtenidas con sobrecargas de nieve de $0,2\text{-}0,3 \text{ kN/m}^2$, que se refiere a una carga de nieve de $0,20 \text{ kN/m}^2$ para las zonas eólicas A y B, y $0,30 \text{ kN/m}^2$ para la zona C.

Con la intención de buscar un amplio espectro de utilización, se ha discriminado entre inclinaciones de cubierta del 8 y del 20 por ciento. Los cálculos se han realizado tanto para alturas de pilares de 5 m como de 7 m.

Del mismo modo, en aras de cubrir el mayor número de casos posible, se incluye información tanto para los valores máximos de las combinaciones (por pequeña que sea la zona de influencia) como no máximos. También se discrimina entre la inclusión de las presiones y succiones interiores por la existencia de huecos ($C_{pi}="S"$) o no, ($C_{pi}="N"$). En este último caso se desprecia el efecto de las presiones y succiones interiores debidas a los huecos.

En todas las tablas se ha sombreado únicamente las combinaciones de acciones que implican presión, dejándose sin sombreadar las combinaciones de succión.

Para comprender la cantidad de información que se ofrece, se van a presentar dos ejemplos bien diferenciados.

En primer lugar, se supone que se desea conocer la combinación de acciones más desfavorable en una nave de 15 m de luz, 20% de pendiente de cubierta, 7 m de altura de pilares, ubicada en la zona eólica A y con un grado de aspereza II. La sobrecarga de nieve es $0,60 \text{ kN/m}^2$. En principio, se van a tener en cuenta las presiones y succiones interiores debidas a los huecos existentes ($C_{pi}="S"$), y se va a dimensionar con valores no máximos, es decir, obviando los valores obtenidos en las zonas F de las hipótesis de viento longitudinal y transversal. Con estos valores, en la Tabla 2 se obtiene que la combinación más desfavorable es $V_2FN_0^{(A,B,3)}$.

El significado del valor que proporciona la tabla es el siguiente: La combinación que aparece es la que se repite más veces como más desfavorable entre combinaciones ELU y ELS, tanto para naves con pilares de 5 m como de 7 m de altura. Entre paréntesis figurará una o dos letras, de la (A) a la (D), que tal y como se recoge en el cuadro inferior indica que se trata de un perfil IPE 120 (A) hasta un perfil IPE 180 (D). Si figura una única letra significa que el

perfil indicado es el que se obtiene tanto para naves de 5 como de 7 m de altura de pilares. Si aparecen dos letras, la primera hace referencia al perfil que se obtiene para las correas de las naves de 5 m de altura de pilares, mientras que la segunda se refiere al perfil correspondiente de las correas de las naves de 7 m de altura de pilares. A continuación puede figurar un número que se corresponde con una indicación que se recoge en el cuadro que acompaña a cada pareja de tablas, y que modifica la combinación propuesta en algún caso.

De este modo, la combinación $V_2FN_0^{(A,B,3)}$ indica que para naves con pilares de 5 m de altura la combinación ELU más desfavorable es V_2FN_0 (viento lateral succión sin nieve), la combinación ELS es N_1V_1F (nieve como acción variable principal, combinada con viento lateral presión), y el perfil propuesto es el IPE 120. Sin embargo, para naves de 7 m de altura, tanto la combinación ELU como ELS es V_2FN_0 , y el perfil admisible es el IPE 140.

En segundo lugar, se supone que se desea conocer la combinación de acciones más desfavorable en una nave de 30 m de luz, 8% de pendiente de cubierta, 7 m de altura de pilares, ubicada en la zona eólica C y con un grado de aspereza III. La sobrecarga de nieve es $0,70 \text{ kN/m}^2$. En principio, no se van a tener en cuenta las presiones y succiones interiores debidas a los huecos existentes ($C_{pi}="N"$), y se va a dimensionar con valores no máximos. Con estos valores, en la Tabla 4 se obtiene que la combinación más desfavorable es $N_1V_1F^{(A)}$. La interpretación de esta lectura directa de la tabla es la siguiente: La combinación N_1V_1F significa que la nieve es la acción variable principal y el viento lateral presión es la acción variable combinada. El perfil recomendado es el IPE 120. Al aparecer únicamente la letra (A) indica que el perfil IPE 120 es el que se obtiene para las correas de las naves tanto de 5 como de 7 m de altura de pilares. Al no figurar ninguna indicación después de la letra (A) significa que la combinación N_1V_1F es la más desfavorable tanto en ELU como ELS, y para naves con pilares de 5 y de 7 m de altura.

Como se puede comprobar en este segundo ejemplo, la lectura aparece sombreada, por ser una combinación de presión.

3.1. Naves de 15 m de luz

a) Sobrecarga de nieve $0,60\text{-}0,70 \text{ kN/m}^2$ (Tabla 2)

Si se tiene en cuenta el efecto de las presiones y succiones interiores debido a la existencia de huecos, se puede comprobar como las combinaciones más desfavorables son todas de succión si se desea calcular con valores máximos. En cambio, si se opta por calcular con valores no máximos, el grado de aspereza IV en la edificación conduce a combinaciones de presión, siendo las combinaciones predominantes de succión para los grados de aspereza II y III, a excepción de naves con el 20% de pendiente de cubierta y grado de aspereza III.

Si, por el contrario, no se tiene en cuenta el efecto de las presiones y de las succiones interiores, y se desea calcular con valores máximos, todas las combinaciones más desfavorables son de succión, salvo para naves con grado de aspereza IV, pendiente de cubierta del 20% y zonas eólicas A y B. Si no se obtiene la combinación más desfavorable con valores máximos, existe un predominio de combinaciones de presión, salvo para el grado de aspereza II, pendiente del 8% y zonas eólicas B y C.

Si se discrimina entre las diferentes combinaciones de presión y de succión obtenidas, puede comprobarse cómo la combinación de succión que se repite es V_2FN_0 (viento lateral succión, sin nieve) para naves con el 8% de pendiente de cubierta, y V_3N_0 (viento longitudinal sin nieve) para naves con el 20% de pendiente de cubierta. En presión, la combinación más desfavorable para naves con el 8% de pendiente es N_1V_2D (nieve combinada con viento lateral succión), y N_1V_1F (nieve combinada con viento lateral presión) cuando la pendiente es del 20%.

b) Sobrecarga de nieve 0,20-0,30 kN/m² (Tabla 3)

A simple vista puede comprobarse una disminución de casos en que la combinación de acciones más desfavorable es de presión, lo que se debe a la disminución de la carga de nieve respecto al caso anterior. Únicamente aparece V_1FN_1 (viento lateral presión combinado con nieve) en naves con el 20% de pendiente de cubierta, grado de aspereza IV, obtenida sin tener en cuenta presiones/succiones interiores y con valores no máximos. En el resto de casos de presión la combinación más desfavorable es M (mantenimiento⁽³⁾).

Si se analizan las diferentes combinaciones de hipótesis que provocan succión que se obtienen, existe un predominio de V_2FN_0 (naves con el 8% de pendiente y con el 20% si se utilizan valores no máximos) frente a V_3N_0 (naves con el 20% de pendiente de cubierta y con valores máximos).

3.2. Naves de 30 m de luz

Si se comparan de forma somera las Tablas 4 y 5 con las Tablas 2 y 3, a primera vista pudieran parecer idénticas. Efectivamente es necesario agudizar los sentidos para constatar las diferencias, pues la distribución de las celdas sombreadas parece repetirse con obstinación.

a) Sobrecarga de nieve 0,60-0,70 kN/m² (Tabla 4)

Al igual que ocurre con las naves de 15 m de luz, si se tiene en cuenta el efecto de las presiones y succiones interiores debido a la existencia de huecos, se puede comprobar cómo las combinaciones más desfavorables son todas de succión si se calcula con valores máximos. En cambio, si se opta por calcular con valores no máximos, el grado de aspereza IV en la edificación conduce a combinaciones de presión, siendo las combinaciones predominantes de succión para los grados de aspereza II y III, con la misma excepción que en naves de 15 m de luz (20% de cubierta de pendiente y grado de aspereza III).

Si no se tiene en cuenta el efecto de las presiones y de las succiones interiores y se desea calcular con valores máximos, todas las combinaciones más desfavorables son de succión, salvo para naves con grado de aspereza IV, pendiente de cubierta del 20% y zonas eólicas A y

⁽³⁾ Definido en el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido», del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Según el nuevo articulado, la sobrecarga de mantenimiento no es concomitante con ninguna otra carga.

B. Si no se obtiene la combinación más desfavorable con valores máximos, existe un predominio de combinaciones de presión, salvo para el grado de aspereza II y pendiente del 8%. Además, también se obtiene una combinación de succión en naves con grado de aspereza II, ubicadas en la zona eólica C y con pendiente de cubierta del 20%.

Si se analizan las diferentes combinaciones de presión y de succión obtenidas, puede comprobarse como la combinación de succión que se repite es V_2FN_0 (viento lateral succión, sin nieve) para naves con el 8% de pendiente de cubierta, y V_3N_0 (viento longitudinal sin nieve) para naves con el 20% de pendiente de cubierta. En presión, la combinación más desfavorable para naves con el 8% de pendiente es N_1V_2D (nieve combinada con viento lateral succión), y N_1V_1F (nieve combinada con viento lateral presión) cuando la pendiente es del 20%.

b) Sobrecarga de nieve 0,20-0,30 kN/m² (Tabla 5)

Tal y como ocurre con las naves de 15 m de luz, a simple vista se comprueba una disminución de los casos en que la combinación de acciones más desfavorable es de presión, debido a la menor carga de nieve respecto al caso anterior. La combinación más desfavorable es M (mantenimiento), y sólo se obtiene si no se tienen en cuenta las succiones y presiones interiores debidas a la existencia de huecos en la edificación.

Si se estudian las diferentes combinaciones que provocan succión, también existe un predominio de V_2FN_0 (naves con el 8% de pendiente y con el 20% si se utilizan valores no máximos) frente a V_3N_0 (naves con el 20% de pendiente de cubierta y con valores máximos).

Luz = 15 m		GA	A		B		C	
Nieve = 0,6-0,7 kN/m ²			8 %	20 %	8 %	20 %	8 %	20 %
C _{pi} = "S"	Máximos	II	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₃ N ₀ ^(B,C)	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₃ N ₀ ^(C)	V ₂ FN ₀ ^(D)	V ₃ N ₀ ^(C)
		III	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₃ N ₀ ^(B,C)
		IV	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₃ N ₀ ^(A,4)		V ₃ N ₀ ^(A,3)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B)
	No máximos	II	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(A,B,3)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)
		III	V ₂ FN ₀ ^(A,6)	N ₁ V ₁ F ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A,B,5)	V ₂ FN ₀ ^(A,4)	V ₂ FN ₀ ^(B,5)	V ₂ FN ₀ ^(B,4)
		IV	N ₁ V ₂ D ^(A)		N ₁ V ₂ D ^(A)	N ₁ V ₁ F ^(A)	N ₁ V ₂ D ^(B)	N ₁ V ₁ F ^(A,B)
C _{pi} = "N"	Máximos	II	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₃ N ₀ ^(B)
		III		V ₃ N ₀ ^(A)		V ₃ N ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(B)	
		IV	V ₂ FN ₀ ^(A,6)	N ₁ V ₁ F ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A,6)	N ₁ V ₁ F ^(A,11)	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₃ N ₀ ^(A,4)
	No máximos	II	N ₁ V ₂ D ^(A,10)	N ₁ V ₁ F ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A,6)	N ₁ V ₁ F ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(B,6)	N ₁ V ₁ F ^(A,11)
		III	N ₁ V ₂ D ^(A)		N ₁ V ₂ D ^(A)		N ₁ V ₂ D ^(A)	N ₁ V ₂ D ^(A)
		IV		N ₁ V ₁ F ^(A)				

Tabla 2. Resumen de combinaciones más desfavorables para naves de 15 m de luz y q de nieve 0,60-0,70 kN/m²

Luz = 15 m		GA	A		B		C	
Nieve = 0,2-0,3 kN/m ²			8 %	20 %	8 %	20 %	8 %	20 %
C _{pi} = "S"	Máximos	II	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₃ N ₀ ^(B,C)	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₃ N ₀ ^(C)	V ₂ FN ₀ ^(D)	V ₃ N ₀ ^(C)
		III	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₃ N ₀ ^(B,C)
		IV	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₃ N ₀ ^(A)		V ₃ N ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B)
	No máximos	II	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(A,B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)
		III	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A,B)	V ₂ FN ₀ ^(A)		V ₂ FN ₀ ^(A,B)
		IV	V ₂ FN ₀ ^(A,9)	V ₁ FN ₁ ^(A,10)	V ₂ FN ₀ ^(A,9)	V ₂ FN ₀ ^(A,7)	V ₂ FN ₀ ^(A,8)	V ₂ FN ₀ ^(A,7)
C _{pi} = "N"	Máximos	II	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₃ N ₀ ^(B)
		III		V ₃ N ₀ ^(A)		V ₃ N ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(B)	
		IV	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₃ N ₀ ^(A,2)	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₃ N ₀ ^(A,1)	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₃ N ₀ ^(A)
	No máximos	II	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A,2)	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A,1)	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A)
		III	V ₂ FN ₀ ^(A,2)	M ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A,1)	M ^(A,10)		V ₂ FN ₀ ^(A,1)
		IV	M ^(A)		M ^(A)	M ^(A)	M ^(A)	M ^(A,10)

Tabla 3. Resumen de combinaciones más desfavorables para naves de 15 m de luz y q de nieve 0,20-0,30 kN/m²

(A) IPE 120 (B) IPE 140 (C) IPE 160 (D) IPE 180	(6) N ₁ V ₂ D en ELS tanto para h=5 m como para h=7 m.
(1) M en ELS para h=5 m.	(7) V ₁ FN ₁ en ELS tanto para h=5 m como para h=7 m.
(2) M en ELS tanto para h=5 m como para h=7 m.	(8) V ₂ DN ₁ en ELS para h=5 m.
(3) N ₁ V ₁ F en ELS para h=5 m.	(9) V ₂ DN ₁ en ELS tanto para h=5 m como para h=7 m.
(4) N ₁ V ₁ F en ELS tanto para h=5 m como para h=7 m.	(10) V ₂ FN ₀ en ELU para h=7 m.
(5) N ₁ V ₂ D en ELS para h=5 m.	(11) V ₃ N ₀ en ELU para h=7 m.

Luz = 30 m		GA	A		B		C	
Nieve = 0,6-0,7 kN/m ²			8 %	20 %	8 %	20 %	8 %	20 %
C _{pi} = "S"	Máximos	II	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₃ N ₀ ^(C)	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₃ N ₀ ^(C)	V ₂ FN ₀ ^(D)	V ₃ N ₀ ^(C)
		III	V ₂ FN ₀ ^(B,C)	V ₃ N ₀ ^(B)		V ₃ N ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(C)	
		IV		V ₃ N ₀ ^(A,4)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B,4)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B)
	No máximos	II	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₂ FN ₀ ^(B,C)
		III	V ₂ FN ₀ ^(A,B,6)	N ₁ V ₁ F ^(A,9)	V ₂ FN ₀ ^(B,5)	V ₂ FN ₀ ^(A,B,4)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B,3)
		IV	N ₁ V ₂ D ^(B)	N ₁ V ₁ F ^(A)	N ₁ V ₂ D ^(B)	N ₁ V ₁ F ^(A,B)	N ₁ V ₂ D ^(B)	N ₁ V ₁ F ^(B)
C _{pi} = "N"	Máximos	II	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(C,B)	V ₃ N ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₃ N ₀ ^(B)
		III		V ₃ N ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(B,A)	V ₃ N ₀ ^(B,A)	V ₂ FN ₀ ^(B)	
		IV	V ₂ FN ₀ ^(B,6)	N ₁ V ₁ F ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A,6)	N ₁ V ₁ F ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A,B,5)	V ₃ N ₀ ^(A,4)
	No máximos	II	V ₂ FN ₀ ^(A,6)	N ₁ V ₁ F ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A,6)	N ₁ V ₁ F ^(A,9)	V ₂ FN ₀ ^(B,5)	V ₂ FN ₀ ^(A,4)
		III	N ₁ V ₂ D ^(A)		N ₁ V ₂ D ^(A)	N ₁ V ₁ F ^(A)	N ₁ V ₂ D ^(A,B,9)	N ₁ V ₁ F ^(A)
		IV		N ₁ V ₂ D ^(A)				

Tabla 4. Resumen de combinaciones más desfavorables para naves de 30 m de luz y q de nieve 0,60-0,70 kN/m²

Luz = 30 m		GA	A		B		C	
Nieve = 0,2-0,3 kN/m ²			8 %	20 %	8 %	20 %	8 %	20 %
C _{pi} = "S"	Máximos	II	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₃ N ₀ ^(C)	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₃ N ₀ ^(C)	V ₂ FN ₀ ^(D)	V ₃ N ₀ ^(C)
		III	V ₂ FN ₀ ^(B,C)	V ₃ N ₀ ^(C,B)		V ₃ N ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(C)	
		IV	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)
	No máximos	II	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₂ FN ₀ ^(B,C)
		III	V ₂ FN ₀ ^(A,B)	V ₂ FN ₀ ^(A)		V ₂ FN ₀ ^(A,B)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(B)
		IV	V ₂ FN ₀ ^(B,8)	V ₂ FN ₀ ^(A,7)	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A)
C _{pi} = "N"	Máximos	II	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(C,B)	V ₃ N ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(C)	V ₃ N ₀ ^(B)
		III		V ₃ N ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₃ N ₀ ^(B,A)	V ₂ FN ₀ ^(B)	
		IV	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₃ N ₀ ^(A,2)	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₃ N ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A,B)	V ₃ N ₀ ^(A)
	No máximos	II	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A,1)	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(B)	V ₂ FN ₀ ^(A)
		III	V ₂ FN ₀ ^(A,2)	M ^(A,9)		V ₂ FN ₀ ^(A,2)	V ₂ FN ₀ ^(A)	V ₂ FN ₀ ^(A,1)
		IV	M ^(A)	M ^(A)	M ^(A,9)	M ^(A)	M ^(A,10)	M ^(A)

Tabla 5. Resumen de combinaciones más desfavorables para naves de 30 m de luz y q de nieve 0,20-0,30 kN/m²

(A) IPE 120 (B) IPE 140 (C) IPE 160 (D) IPE 180	(6) N ₁ V ₂ D en ELS tanto para h=5 m como para h=7 m
(1) M en ELS para h=5 m.	(7) V ₁ FN ₁ en ELS tanto para h=5 m como para h=7 m.
(2) M en ELS tanto para h=5 m como para h=7 m.	(8) V ₂ DN ₁ en ELS tanto para h=5 m como para h=7 m.
(3) N ₁ V ₁ F en ELS para h=5 m.	(9) V ₂ FN ₀ en ELU para h=7 m.
(4) N ₁ V ₁ F en ELS tanto para h=5 m como para h=7 m.	(10) V ₂ FN ₀ en ELU para h=7 m y N ₁ V ₂ D en ELS para h=7 m.
(5) N ₁ V ₂ D en ELS para h=5 m.	

4. CONCLUSIONES

Generalizando los valores obtenidos, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- En naves de cubierta plana⁽⁴⁾, la combinación más desfavorable de succión es V_2FN_0 (viento lateral succión en el faldón frontal sin nieve). Sin embargo, cuando la combinación más desfavorable es de presión, puede ser N_1V_2D (nieve combinada con viento transversal succión, en el faldón dorsal), cuando la sobrecarga de nieve es de $0,60-0,70 \text{ kN/m}^2$ o M (mantenimiento) cuando el valor de la carga de nieve es de $0,20-0,30 \text{ kN/m}^2$. Los casos en los que se produce una combinación de succión o de presión ya han sido referidos en el apartado anterior.
- En naves clásicas con pendiente del 20%, si se decide calcular con los valores pésimos, la combinación de succión más desfavorable es V_3N_0 , es decir, viento longitudinal sin nieve, salvo en el caso de naves de 30 m de luz, carga de nieve $0,30 \text{ kN/m}^2$, grado de aspereza IV y zona eólica C, que es V_2FN_0 . Esta combinación (V_2FN_0) es la más desfavorable cuando se decide optar por el cálculo de correas con valores pertenecientes a las zonas de influencia G y J (en las hipótesis V_1 y V_2) y H (en la hipótesis V_3), o sea, con los valores no pésimos.
Cuando la combinación más desfavorable es de presión, las combinaciones que se repiten son N_1V_1F (nieve combinada con viento transversal presión, en el faldón frontal), cuando la sobrecarga de nieve es de $0,60-0,70 \text{ kN/m}^2$ o M (mantenimiento) cuando el valor de la carga de nieve es de $0,20-0,30 \text{ kN/m}^2$. Sólo en el caso de naves de 15 m de luz, sobrecarga de nieve de $0,20 \text{ kN/m}^2$, grado de aspereza IV y zona eólica A se obtiene $V_1F N_1$ (viento lateral presión combinado con nieve, faldón frontal).
- La influencia de la luz y de las alturas de pilares estudiadas es muy reducida a la hora de obtener la combinación de acciones más desfavorable, pues los cálculos muestran una gran similitud cuando la única variable que cambia es la luz o la altura de pilares.
- Se recomienda calcular con los valores no máximos, y reforzar las correas situadas en las esquinas de la nave, en el caso de que la dimensión $e/10$ supere la separación entre correas, siendo e el mínimo valor entre la dimensión de la nave en el sentido del viento y dos veces la altura total de la construcción. De entre las posibilidades constructivas que se pueden aplicar, quizás la más sencilla sea duplicar las últimas tres correas en los dos vanos extremos en cada esquina de la nave.
- Se recomienda montar las correas como vigas continuas de dos vanos, colocando tirantillas si el montaje de la cubierta no impide la flexión en el eje débil de la correa.
- Teniendo en cuenta la importancia de las succiones, conviene vigilar la colocación de la cubierta, y especialmente el anclaje de las correas a los elementos estructurales principales.

⁽⁴⁾ Se entiende que una cubierta es plana cuando su faldón forma un ángulo inferior a 5° , lo que equivale a un 8,75% de pendiente. Por tanto, no se refiere al concepto estricto de cubierta plana.

REFERENCIAS

- [1] López Perales, J.A; López García, L; Moreno Valencia, A; Alcobendas Cobo, P.J. (2008). *CTE Acciones en correas*. Retrieved March, 25, 2008, from Ingeniería Rural Web site: http://www.ingenieriaRural.com/descarga/CTE_AccionesCorreas2008.xls_
- [2] Rui-Wamba, J. (1998). *Aforismos estructurales*. Fundación Esteyco. Madrid.
- [3] Argüelles Álvarez, R; Arriaga Martitegui, F; Argüelles Bustillo, R; Atienza Reales, J.R. (2007). *Estructuras de acero. Uniones y sistemas estructurales*. 2ª edición. Ed. Bellisco. Madrid.
- [4] *Documento Básico SE-AE Seguridad Estructural. Acciones en la edificación* (2006). Ed. Ministerio de Fomento. Madrid.
- [5] Oppe, M. (2006). *Determinación de las cargas en la cubierta de un edificio*. Retrieved October, 24, 2006, from Access-Steel. Web site: <http://www.access-steel.com/discovery/linklookup.aspx?id=SX016a>
- [6] López Perales, J.A; López García, L; Moreno Valencia, A; Alcobendas Cobo, P.J. (2009). *Estructuras de acero: Correas*. Retrieved March, 30, 2009, from Ingeniería Rural Web site: http://www.ingenieriaRural.com/probConst/EA_Correas_2008.pdf_