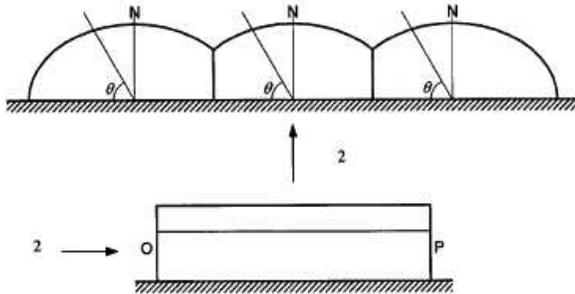


## Lectura complementaria Parte VI

### NORMAS DE CONSTRUCCIÓN



*Los invernaderos se construyen a partir estructuras ligeras en las que se debe de privilegiar un elevado nivel de transmisión de la radiación solar. Sin embargo, deben de soportar un conjunto de solicitaciones externas, tales como las cargas debidas al viento y a la nieve, o el impacto*

*de granizos, cuya intensidad depende de la topografía y de las condiciones climáticas locales. Por otra parte, cabe resaltar que, dada la importancia que tiene la radiación solar en el proceso de producción de biomasa (fotosíntesis) y por consiguiente, en la cosecha, la productividad y la rentabilidad de un invernadero dependerán, en parte, de la transmisión que presenta a la radiación solar. Por consiguiente, aparte de los criterios basados en la resistencia de los materiales, otro criterio de optimización importante, en el diseño de estructuras de invernadero, será la eficiencia con la que la estructura (y el material de cubierta) transmiten las componentes de la radiación solar (difusa y directa).*

## 1- NORMAS EUROPEAS DE CÁLCULO DE INVERNADEROS

Las normas de construcción integran un conjunto de reglas o métodos de cálculo, además de la especificación de los valores relativos a las cargas estándares que deben de soportar los invernaderos en función de su localización geográfica (es decir, de las condiciones climáticas, como el viento o la nieve) y de la duración de funcionamiento que se exige a cada tipo de construcción.

Antes de la elaboración de las normas europeas relativas a los invernaderos, cada país tenía sus propias normas de cálculo para la concepción y el diseño de los invernaderos (Holanda, Francia, Alemania, España, etc.). El trabajo de coordinación realizado durante los años 90 por la Comisión de Normas de la UE ha permitido proponer unas normas europeas (EN 13031-1) que han sido aprobadas (Diciembre 2001) y publicadas (Abril 2002). Dentro del conjunto de normas generales, existen algunas recomendaciones o disposiciones particulares para cada país. En lo que sigue, se da un breve resumen extraído de la versión española (UNE-EN 13031-1), que sustituye a las antiguas normas experimentales UNE 76208 EX de 1992.

### 1.1- OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

*La norma europea especifica los principios generales y los requisitos de resistencia mecánica y estabilidad, servicios y durabilidad de las estructuras de invernaderos, incluyendo cimentaciones, para la producción de plantas y de productos.*

#### Estados límites

Los invernaderos serán proyectados comprobándose que no se supere ningún estado límite (de servicio y último). Los métodos de cálculo para los estados límites se dan en los Eurocódigos 2 a 9 (ENV-1992 a ENV-1999).

## Clasificación

Los invernaderos se clasificarán según (i) su periodo mínimo de vida útil: 15, 10 ó 5 años, y (ii) la tolerancia del sistema de cubrición en función de los desplazamientos de la estructura (Tipo A y tipo B).

Los invernaderos de **Tipo A** son aquellos en los que la cubrición no permite desplazamientos de la estructura debido a la acción de las cargas. Estos invernaderos serán diseñados considerando los estados límites de servicio (ELS), así como los estados límites últimos (ELU).

Los invernaderos de **Tipo B** son aquellos en los que la cubrición permite desplazamientos de la estructura y serán diseñados considerando los estados límites últimos (ELU) únicamente.

## 1.2- ACCIONES Y CARGAS

*Todas las acciones y posibles influencias que pueden ocurrir durante la vida útil del invernadero se tendrán en cuenta en el cálculo según los procedimientos descritos en la Norma Europea Experimental ENV 1999-1 (Eurocódigo 1).*

Estos procedimientos se han adaptado al caso específico de los invernaderos, para los cuales las principales cargas que deben de tenerse en cuenta son:

### a) La carga permanente

Se calcula a partir del peso de la estructura y del material de cubierta. En muchos casos, la carga permanente integra el peso de los equipamientos que pueden considerarse como fijos, tales como la calefacción, el sistema de luz artificial, el sistema de riego al igual que las pantallas térmicas o de sombreo.

### b) La carga de la vegetación

En el caso en el que las estructuras soporten la carga de la vegetación, ésta debe de considerarse en función del modo de cultivo y de su manejo. Por ejemplo, la carga vertical mínima para cultivos de tomate y pimiento es de unos  $0.15 \text{ kN m}^{-2}$ . Cuando se cultivan plantas en macetas, colgadas del techo, la carga es de, aproximadamente,  $1.0 \text{ kN m}^{-2}$ . Cuando la vegetación es soportada por alambres horizontales independientes, es necesario tener en cuenta las fuerzas de tensión transmitidas a la estructura, siendo la carga horizontal, en el caso de cultivos entutorados de tomate o pepino, de unos  $1.2 \text{ kN}$  por alambre.

### c) La carga de nieve.

Se evalúa respecto a la proyección horizontal del techo utilizando los valores de carga de nieve que se dan en tablas. En el caso de invernaderos, se ajustan multiplicando por un coeficiente que reduce la carga respecto a la de una construcción convencional. Los valores mínimos en zonas de nieve, no montañosas, suelen ser de  $0.25 \text{ kN m}^{-2}$ .

### d) La carga de viento.

Se evalúa a partir de la relación siguiente:

$$F_w = A C p_w$$

donde:

$F_w$  = carga del viento (N)

A = superficie de pared bajo la influencia de la presión del viento ( $\text{m}^2$ )

C = coeficiente aerodinámico, o de presión del viento

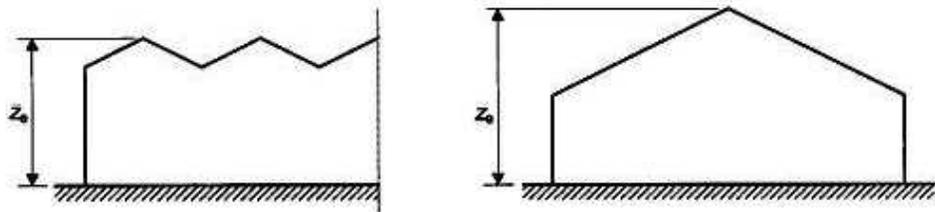
$p_w$  = presión dinámica del viento ( $\text{N m}^{-2}$ )

La carga o fuerza del viento actúa sobre la superficie del invernadero como una fuerza de presión ( $C > 0$ ) o como fuerza de succión ( $C < 0$ ). Los cálculos de las acciones del viento se hacen considerando:

- Una altura de referencia ( $z_r$ )
- Dos tipos de coeficientes aerodinámicos: *externo* ( $C_e$ ) e *interno* ( $C_i$ ).

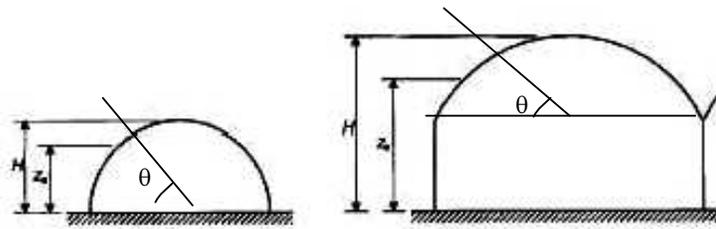
### ALTURA DE REFERENCIA

La presión dinámica depende de la altura efectiva del invernadero,  $z_e$ . Para invernaderos con cubierta plana y con varias vertientes, el valor de  $z_e$  se define como la distancia entre el nivel del suelo y la altura de la cumbrera,  $H$  (Figura 1).



**Figura 1.** Altura efectiva,  $z_e$ , de un invernadero con vertiente plana, utilizada en la determinación de la presión dinámica del viento

Para invernaderos con cubierta curva, la altura de referencia corresponde a la altura bajo canalón más la mitad de la altura entre cumbrera y el canalón. La altura nunca debe ser menor de  $0,75 H$  (Figura 2).



**Figura 2.** Altura efectiva,  $z_e$ , de un invernadero con techo curvo, utilizada en la determinación de la presión dinámica del viento

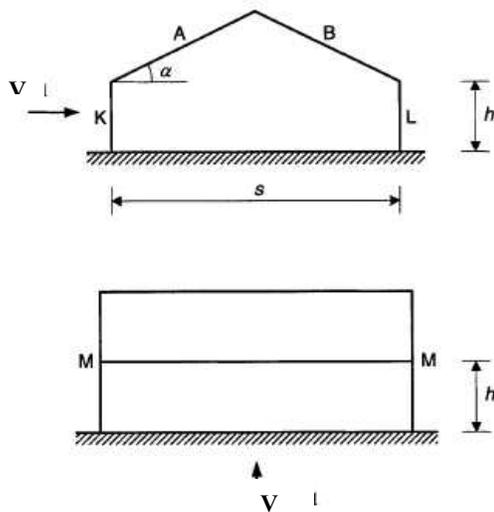
La parte curva se divide en varios sectores (definidos por su ángulo  $\theta$ , cada sector se caracteriza por su valor de  $C_e$  o  $C_i$ ).

### LOS COEFICIENTES DE PRESIÓN

Los coeficientes aerodinámicos, internos o externos, dependen de la geometría de la pared (altura, forma) y del ángulo de ataque del viento ( $0^\circ$  = perpendicular,  $90^\circ$  = paralelo a la cubierta).

### 2- INVERNADEROS CON VERTIENTES PLANAS (A DOS AGUAS)

Los coeficientes  $C_e$  de invernaderos aislados, con vertientes a dos aguas (Figura 3) y con inclinaciones entre  $20^\circ$  y  $26^\circ$  se dan en las figuras 4-a y 4-b. Los valores de  $C_e$  dependen de la dirección del viento y de la relación  $h/s$ .

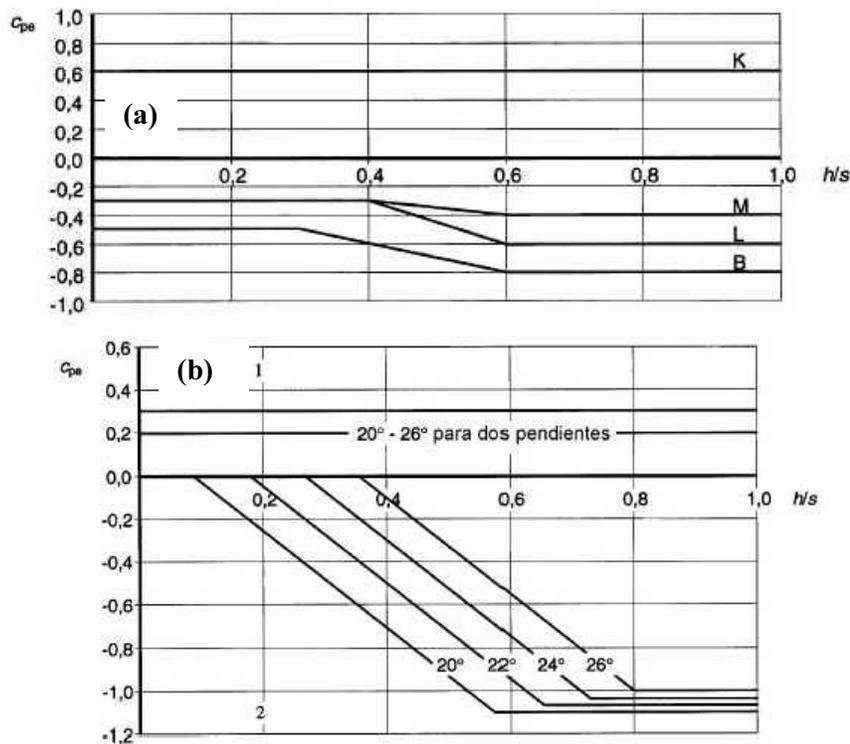


**Figura 3.** Zonificación para un invernadero aislado con vertientes planas (a dos aguas).

El viento es perpendicular a la cubierta (ángulo viento =  $0^\circ$ )

La inclinación del techo ( $\alpha$ ) varía entre  $20^\circ$  y  $26^\circ$

La relación  $h/s$  es variable

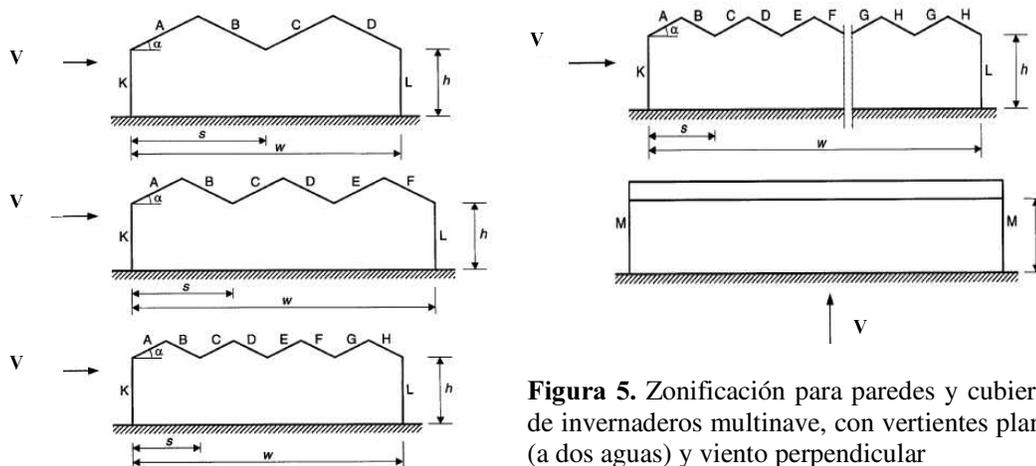


**Figura 4-a y 4 b.** Valores de los coeficientes de presión exterior,  $C_e$ , para un módulo con cubierta a dos aguas.

(a) Para las zonas B, K, L y M, con viento perpendicular a la cubierta (ángulo viento =  $0^\circ$ )

(b) Para la zona A, los valores positivos corresponden a un viento perpendicular a la cubierta (sobrepresión), los valores negativos corresponden a un viento paralelo (succión).

Los coeficientes  $C_e$  de invernaderos multinave, con vertientes a dos aguas (Figura 5) y con inclinaciones entre  $20^\circ$  y  $26^\circ$  se dan en la Tabla 1 para un viento *perpendicular* a las cubiertas. Los valores de  $C_e$  dependen de las relaciones  $h/s$  y  $h/w$



**Figura 5.** Zonificación para paredes y cubiertas de invernaderos multinave, con vertientes planas (a dos aguas) y viento perpendicular

$h/s$	A	B	C	D	E <sup>a</sup>	F <sup>a</sup>	G <sup>a</sup>	H <sup>a</sup>
$\leq 0,3$	Véase Fig. 4 b	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4
$\geq 0,4$		-1,0	-0,7	-0,5	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4

<sup>a</sup> Para invernaderos con más de cinco naves los coeficientes de presión para las caras E y F pueden ser repetidos en caras consecutivas según el número de veces indicado a continuación. Para vanos siguientes los coeficientes de presión se deben aplicar los coeficientes de presión G y H.

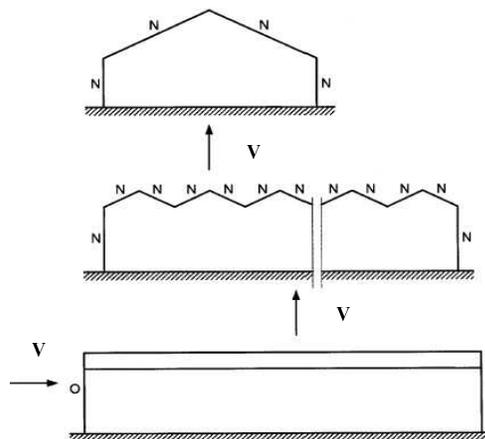
Máximo número de caras consecutivas con coeficientes de presión para las caras E y F:

- 3 × caras E y F para  $h/s \leq 0,4$
- 4 × caras E y F para  $0,4 < h/s \leq 0,5$
- 5 × caras E y F para  $0,5 < h/s \leq 0,6$
- 6 × caras E y F para  $0,6 < h/s \leq 0,7$
- 7 × caras E y F para  $h/s > 0,7$

$h/w$	K	L	M
$\leq 0,4$	+0,6	-0,3	-0,3
$\geq 0,6$	+0,6	-0,6	-0,4

**Tabla 1.** Valores del coeficiente  $C_e$  para paredes y cubiertas de invernaderos multinave, con vertientes planas (a dos aguas) y viento perpendicular (Figura 5)

Para un viento *paralelo a la cubierta* (Figura 6), los valores de  $C_e$  se presentan en la Tabla 2



**Figura 6.** Zonificación para paredes y cubiertas de invernaderos multinave, con vertientes planas (a dos aguas) y viento paralelo

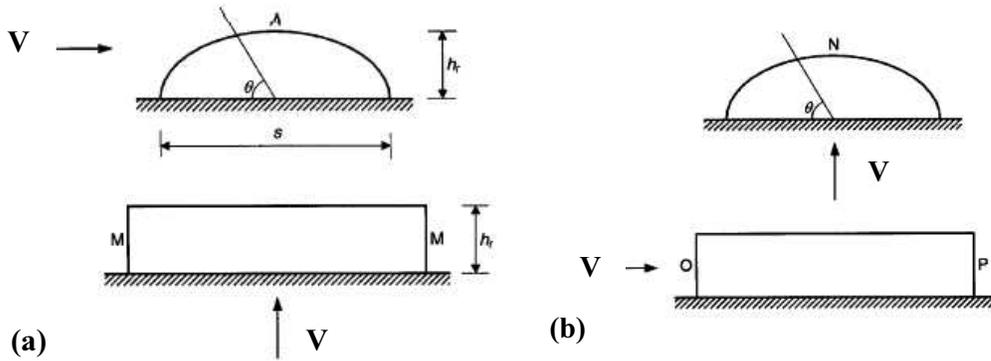
**Tabla 2.** Valores del coeficiente  $C_e$  para paredes y cubiertas de invernaderos multinave, con vertientes planas (a dos aguas) y viento paralelo a la cubierta (Figura 99)

$h/s$	N	O	P
Todos	-0,2	+0,7	-0,3

### 3- INVERNADEROS CON CUBIERTA CURVA

#### TÚNELES

Los coeficientes  $C_e$  de túneles aislados sin canalón (Figura 7) se dan en la Tabla 3. Estos valores dependen del ángulo  $\theta$ .



**Figura 7.** Zonificación para paredes y cubiertas de un túnel aislado, sin canalón. (a) viento perpendicular (b) viento paralelo

Dirección del viento	$\theta$	A	A <sup>a</sup>	M
0°	0° a 35°	+0,4	+0,4	-0,3
	35° a 55°	-0,1	-0,1	
	55° a 75°	-0,8	-1,1	
	75° a 95°	-1,3	-1,8	
	95° a 115°	-0,8	-0,9	
	115° a 180°	-0,4	-0,4	
<sup>a</sup> Para $h_r/s < 0,35$ y cubrición de film sin fijación en cumbrera.				
Dirección del viento	$\theta$	N	O	P
90°	Todos	-0,3	+0,7	-0,3

**Tabla 3.** Valores de los coeficientes de presión externa de viento,  $C_e$ , para un invernadero tipo túnel (aislado, sin canalón), con viento perpendicular (0°) y paralelo (90°). Ver zonificación en Figura 7.

#### TÚNELES CON CANALÓN Y CERRAMIENTO.

Los coeficientes  $C_e$  de túneles aislados con canalón y cerramiento (Figura 8) se dan en la Tabla 4. Estos valores dependen también del ángulo  $\theta$ .

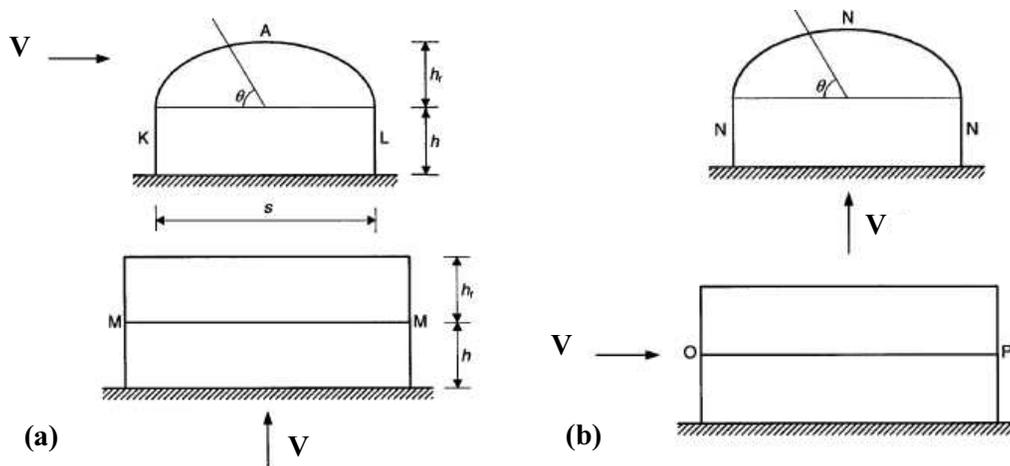


Figura 8. Zonificación para paredes y cubiertas de un túnel con una sola nave, con canalón (a) viento perpendicular (b) viento paralelo

Dirección del viento	$\theta$	A	$A^a$		
$0^\circ$	0 a $55^\circ$	+0,3	+0,3		
	$55^\circ$ a $115^\circ$	-1,0	-1,2		
	$115^\circ$ a $180^\circ$	-0,4	-0,4		
<sup>a</sup> Para $h_r/s < 0,2$ y cubrición de film sin fijación en cámara.					
Dirección del viento	$h/s$	K	L	M	
$0^\circ$	$\leq 0,4$	+0,6	-0,3	-0,3	
	$\geq 0,6$	+0,6	-0,6	-0,4	
Dirección del viento	$\theta$	N	O	P	
$90^\circ$	Todos	-0,2	+0,7	-0,3	

Tabla 4. Valores de los coeficientes de presión externa de viento,  $C_e$ , para un invernadero túnel (aislado, con canalón), con viento perpendicular ( $0^\circ$ ) y paralelo ( $90^\circ$ ). Ver zonificación en Fig. 8

**MULTINAVE**

Los coeficientes  $C_e$  de túneles multinave con canalón y cerramiento (Figuras 9-a y b) se dan en la Tabla 5.

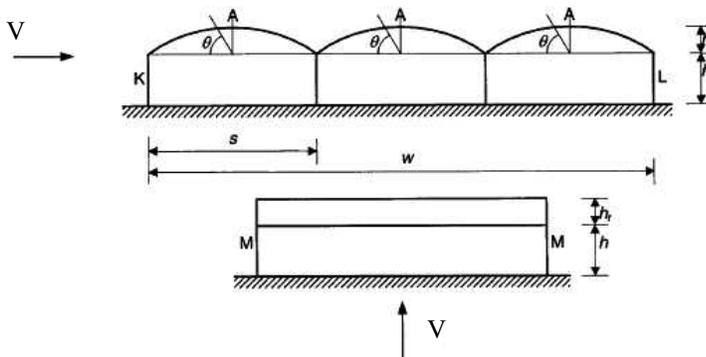
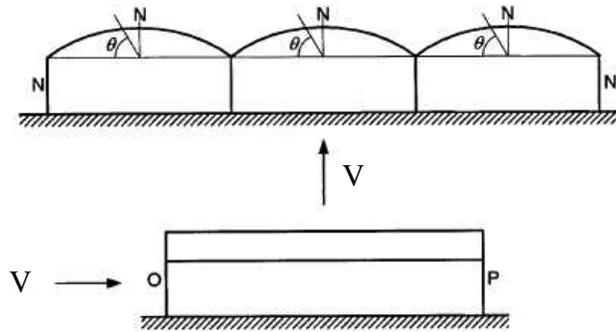


Figura 9-a. Zonificación para paredes y cubiertas de un invernadero multinave, con canalón (viento perpendicular)



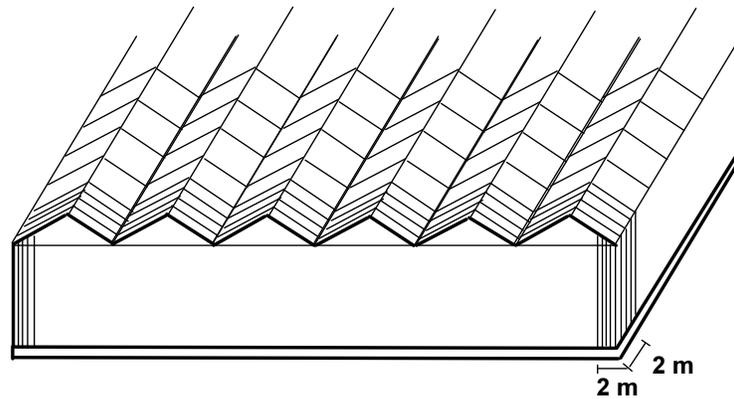
**Figura 9-b.**  
Zonificación para paredes y cubiertas de un invernadero multinave, sin canalón (viento paralelo)

Dirección del viento	Nave	$\theta$	A	A''
0°	Primera	0° a 55°	+0,3	+0,3
		55° a 70°	-1,0	-1,0
		70° a 115°	-1,0	-1,2
		115° a canalón	-0,4	-0,4
	Segunda	De canalón hasta 80°	-0,2	-0,2
		80° a 100°	-0,9	-0,9
		100° hasta canalón	-0,3	-0,3
	Tercera y siguientes	De canalón hasta 80° 80° a 100° 100° hasta canalón	0,6 c <sub>p</sub> de la segunda nave	
<sup>a</sup> Para h/s < 0,2 y cubrición de film sin fijación en cumbrera:				
Dirección del viento	h/s	K	L	M
0°	≤ 0,4	+0,6	-0,3	-0,3
	≥ 0,6	+0,6	-0,6	-0,4
Dirección del viento	$\theta$	N	O	P
90°	Todos	-0,2	+0,7	-0,3

**Tabla 5.** Valores de los coeficientes de presión externa de viento, C<sub>e</sub>, para un multitúnel (con canalón), con viento perpendicular (0°) y paralelo (90°). Ver zonificación en Figuras 9-a y b,

## D – COEFICIENTES DE PRESIÓN LOCAL

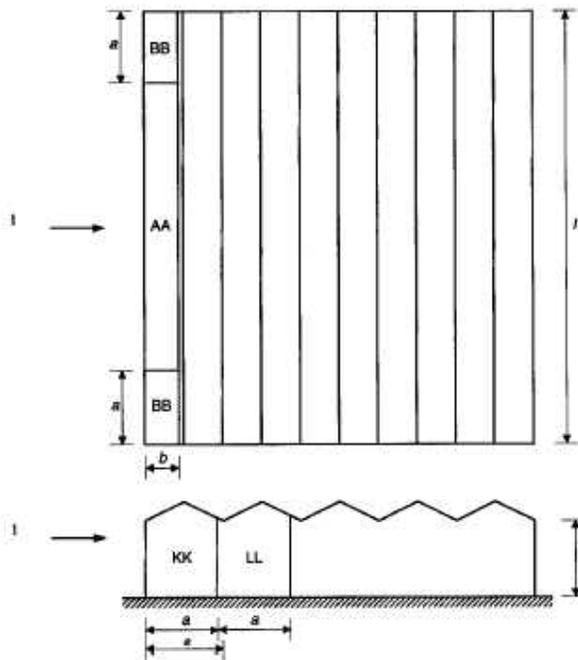
Debido a que los ángulos de las paredes verticales y los extremos de la cubierta soportan niveles superiores de carga de viento (presiones locales), es necesario incrementar, en estas zonas, el valor del coeficiente de presión. Cuando se trata de construcciones de vidrio, la anchura de las placas debe de ser inferior en estas zonas (ver ejemplo en Figura 10). Cuando se trata de construcciones de plástico, la distancia entre los arcos debe ser también inferior. En el caso en el que el invernadero esté equipado con hojas de ventilación continua, ya sea en invernaderos de vidrio o de plástico, la longitud de las hojas de ventilación debe de ser inferior de unos 2 metros a la longitud total del invernadero.



**Figura 10.** Disminución de la anchura de las placas en los ángulos de las paredes laterales y en los extremos de la cubierta para tener en cuenta las presiones locales del viento

### Ejemplo de coeficientes de presión local

Los coeficientes de presión local  $C_e$  para invernaderos multinave con vertiente plana (inclinación de 20 a 26°, Figura 11) se dan en la Tabla 6 (viento perpendicular).



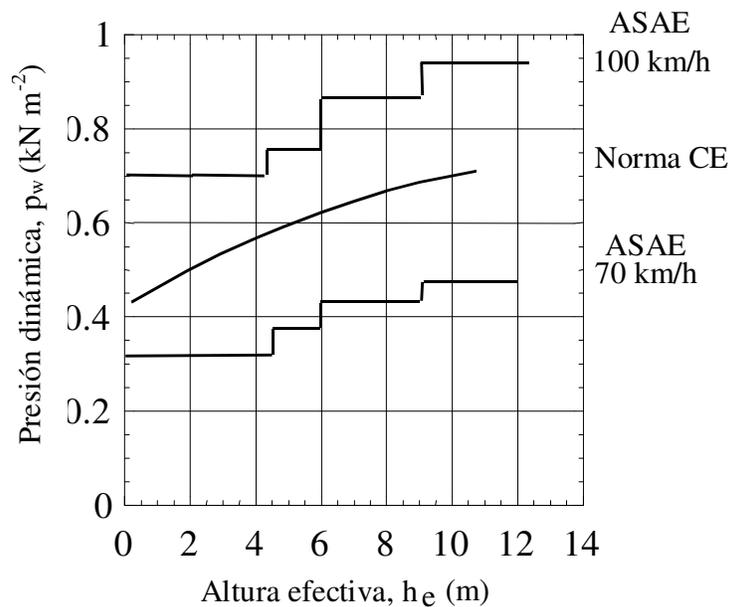
**Figura 11.** Zonificación para paredes y cubiertas de un invernadero multinave a vertiente plana e inclinación entre 20° y 26°.(viento perpendicular).

**Tabla 6.** Valores de los coeficientes de presión local,  $C_{pe}$ , para un invernadero multinave, a vertiente plana. Viento perpendicular (0°) Ver zonificación en Figura 104.

$h/s$	AA	BB	KK	LL
Todos	-1,2	-1,6	-1,0	-0,6

### Presión dinámica

Un ejemplo del nivel que alcanza la presión dinámica en función de la altura efectiva del invernadero se da en la Figura 12, según las normas americanas ASAE (para velocidades de viento de  $70 \text{ km h}^{-1}$  y  $100 \text{ km h}^{-1}$ ) y según la normativa Europea.



**Figura 12.** Evolución de la presión dinámica,  $p_w$ , en función de la altura efectiva del invernadero según las normas americanas ASAE (para velocidades de viento de  $70$  y  $100 \text{ km h}^{-1}$ ) y según la Norma Europea.

### Ejemplos de daños debidos al viento y a la nieve



**Figura 13a.** Daños en un invernadero de cristal por rotura de los cristales



**Figura 13-b.** Daños en un invernadero túnel por la nieve (Sur de Francia)



**Figura 13c.** Daños en invernadero multinave por la nieve (Sur de Francia)

