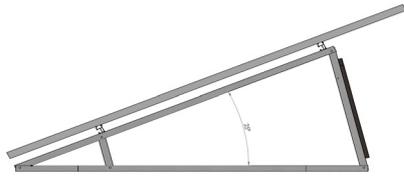


## ESTRUCTURA TRIANGULAR TI-V 25°



### 1. CARGAS DEBIDAS AL VIENTO

#### Viento

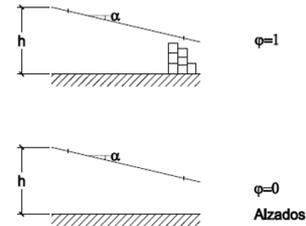
La acción del viento sobre la superficie del campo fotovoltaico puede ser considerada como la presión ejercida por el viento sobre una marquesina. Se debe tener en cuenta el efecto del viento actuando en la superficie inferior y superior.

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

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Donde:

q<sub>b</sub>: Presión dinámica del viento  
 c<sub>e</sub>: Coeficiente de exposición  
 c<sub>p</sub>: Coeficiente eólico



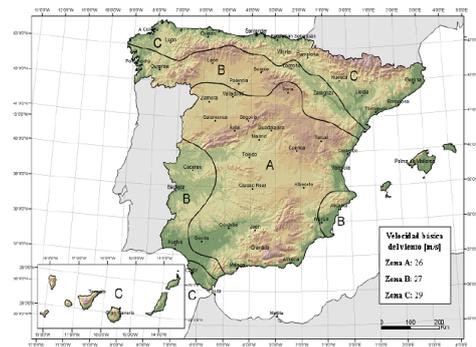
### 2. PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO (q<sub>b</sub>):

$$\text{Presión dinámica } P: \quad q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot V_b^2$$

Donde:

q<sub>b</sub>=Presión dinámica (N/m<sup>2</sup>)  
 δ=Densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)  
 V<sub>b</sub>=Velocidad básica de viento (m/s)

|                                    |                               |
|------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Velocidad básica del viento</b> | <b>29 m/s</b>                 |
| <b>Densidad del aire.</b>          | <b>1,25 kg/m<sup>3</sup></b>  |
| <b>Presión dinámica</b>            | <b>525,62 N/m<sup>2</sup></b> |



### 3. COEFICIENTE DE EXPOSICION (C<sub>e</sub>)

$$\text{Coeficiente de exposición } c_e \text{ para alturas sobre terreno, } z < 200\text{m:} \quad c_e = F \cdot (F \cdot 7k)$$

$$F = k \cdot \ln \cdot (\max(z, Z)/L)$$

Donde:

k, L, Z son parámetros característicos de cada tipo de entorno.

Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno

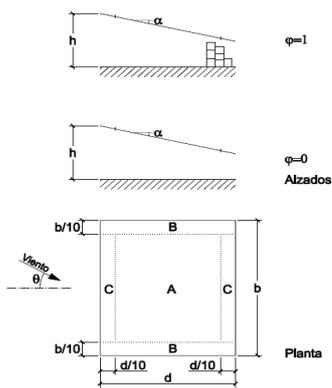
| Grado de aspereza del entorno  | Parámetro |       |       |
|--|-----------|-------|-------|
|  | k         | L (m) | Z (m) |
| I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud | 0,156     | 0,003 | 1,0   |
| II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia   | 0,17      | 0,01  | 1,0   |
| III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas       | 0,19      | 0,05  | 2,0   |
| IV Zona urbana en general, industrial o forestal   | 0,22      | 0,3   | 5,0   |
| V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura                                   | 0,24      | 1,0   | 10,0  |

**Entorno de instalación** IV. Zona urbana en general, industrial o forestal

**Coeficiente de exposición c<sub>e</sub> para alturas sobre terreno, z < 200m.** 1,336

#### 4. COEFICIENTE EOLICO (cp):

El coeficiente eólico o de presión exterior, Cp, depende de la dirección del viento, la forma del edificio, de la posición del elemento considerado y de su área de influencia.



| Pendiente de la cubierta α | Efecto del viento hacia | Factor de obstrucción φ | Zona (según figura) |      |      |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------|------|
|                            |                         |                         | A                   | B    | C    |
| 0°                         | Abajo                   | 0 ≤ φ ≤ 1               | 0,5                 | 1,8  | 1,1  |
|                            | Arriba                  | 0                       | -0,6                | -1,3 | -1,4 |
|                            | Arriba                  | 1                       | -1,5                | -1,8 | -2,2 |
| 5°                         | Abajo                   | 0 ≤ φ ≤ 1               | 0,8                 | 2,1  | 1,3  |
|                            | Arriba                  | 0                       | -1,1                | -1,7 | -1,8 |
|                            | Arriba                  | 1                       | -1,6                | -2,2 | -2,5 |
| 10°                        | Abajo                   | 0 ≤ φ ≤ 1               | 1,2                 | 2,4  | 1,6  |
|                            | Arriba                  | 0                       | -1,5                | -2,0 | -2,1 |
|                            | Arriba                  | 1                       | -2,1                | -2,6 | -2,7 |
| 15°                        | Abajo                   | 0 ≤ φ ≤ 1               | 1,4                 | 2,7  | 1,8  |
|                            | Arriba                  | 0                       | -1,8                | -2,4 | -2,5 |
|                            | Arriba                  | 1                       | -1,6                | -2,9 | -3,0 |
| 20°                        | Abajo                   | 0 ≤ φ ≤ 1               | 1,7                 | 2,9  | 2,1  |
|                            | Arriba                  | 0                       | -2,2                | -2,8 | -2,9 |
|                            | Arriba                  | 1                       | -1,6                | -2,9 | -3,0 |
| 25°                        | Abajo                   | 0 ≤ φ ≤ 1               | 2,0                 | 3,1  | 2,3  |
|                            | Arriba                  | 0                       | -2,6                | -3,2 | -3,2 |
|                            | Arriba                  | 1                       | -1,5                | -2,5 | -2,8 |
| 30°                        | Abajo                   | 0 ≤ φ ≤ 1               | 2,2                 | 3,2  | 2,4  |
|                            | Arriba                  | 0                       | -3,0                | -3,8 | -3,6 |
|                            | Arriba                  | 1                       | -1,5                | -2,2 | -2,7 |

**Inclinación de la instalación** 25

**Coeficiente de obstrucción** 0

**VIENTO FRONTAL A LOS PANELES (PRESIÓN)** 1129,16 N/m2

**VIENTO POSTERIOR A LOS PANELES (SUCCIÓN)** -1467,91 N/m2

#### SOBRECARGA DE NIEVE

Como valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, qn, puede tomarse:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

**Donde:**

**μ:** coeficiente de forma de la cubierta según tabla 3.5.3 del DBSE-AE

**sk:** valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según la tabla 3.5.2 o an

**Valor característico de la carga de nieve (Sk)**

Como valor de carga de nieve **Sk** en un terreno horizontal, sk, puede tomarse de la tabla E.2 en función de la altitud del emplazamiento o término municipal, y de la zona climática del mapa de la figura E.2.



| Altitud (m) | Zona de clima invernal, (según figura E.2) |     |     |     |     |     |     |
|-------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|             | 1  | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 0           | 0,3  | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 200         | 0,5  | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |
| 400         | 0,6  | 0,6 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,2 |
| 500         | 0,7  | 0,7 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| 600         | 0,9  | 0,9 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,2 |
| 700         | 1,0  | 1,0 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,2 |
| 800         | 1,2  | 1,1 | 0,5 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,2 |
| 900         | 1,4  | 1,3 | 0,6 | 1,0 | 0,8 | 0,9 | 0,2 |
| 1.000       | 1,7  | 1,5 | 0,7 | 1,2 | 0,9 | 1,2 | 0,2 |
| 1.200       | 2,3  | 2,0 | 1,1 | 1,9 | 1,3 | 2,0 | 0,2 |
| 1.400       | 3,2  | 2,6 | 1,7 | 3,0 | 1,8 | 3,3 | 0,2 |
| 1.600       | 4,3  | 3,5 | 2,6 | 4,6 | 2,5 | 5,5 | 0,2 |
| 1.800       | -  | 4,6 | 4,0 | -   | -   | 9,3 | 0,2 |
| 2.200       | -  | 8,0 | -   | -   | -   | -   | -   |

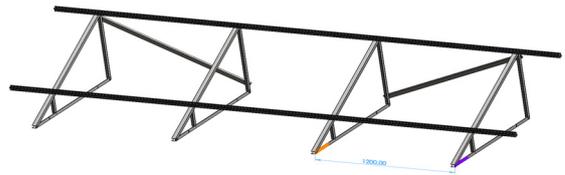
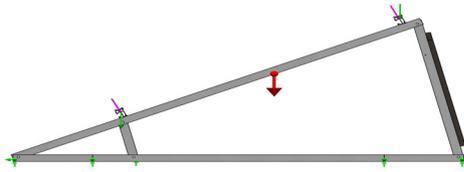
**Coeficiente de forma** 1

**Carga de nieve (sk)** 200,00 N/m2

#### PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL

| Elemento                       | FY 0,2 (N/mm <sup>2</sup> ) | Fu (N/mm <sup>2</sup> ) | E (N/mm <sup>2</sup> ) | G (N/mm <sup>2</sup> ) | v    | p (kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------|------------------------|
| Perfilería, AL EN AW- 6005-T5  | 240                         | 260                     | 69500                  | 27000                  | 0,29 | 2700                   |
| Tornillería M8 - Acero INOX A2 | 450                         | 700                     | 193000                 | 85000                  | 0,3  | 8000                   |

ESTUDIO ESTÁTICO



Viento frontal (Presión)

Combinación de acciones H1

$$1,35 \cdot PP + 1,5 \cdot Vp + 0,75 \cdot sk$$

Diagrama MF - Guía Pro Standard

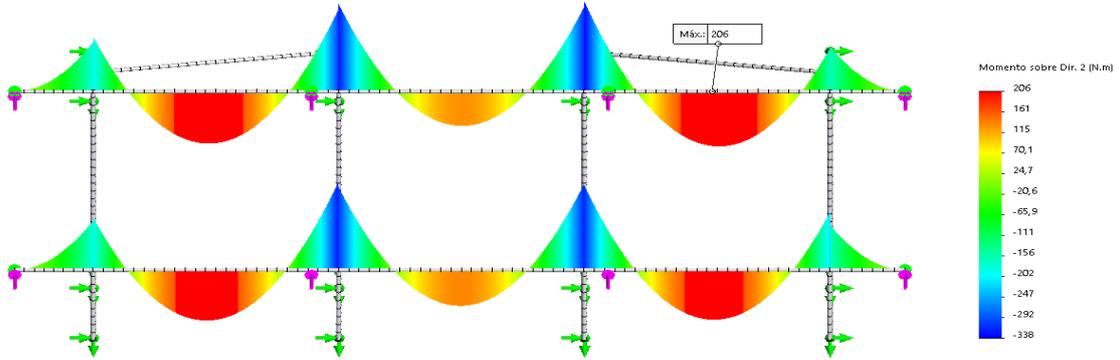
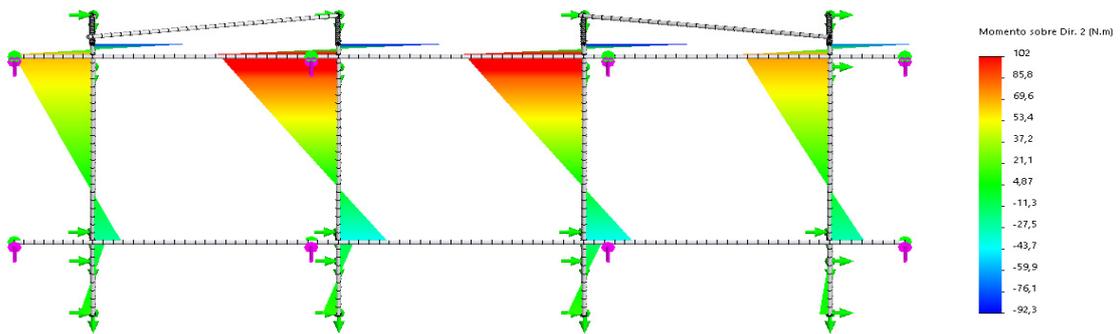
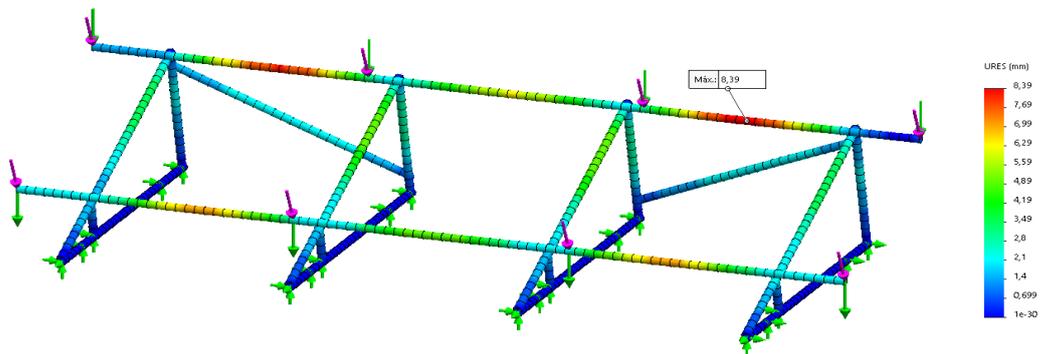


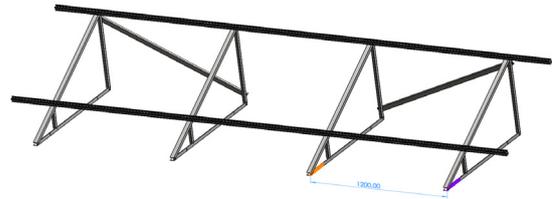
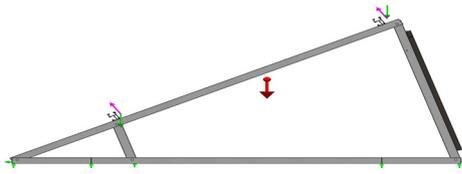
Diagrama MF - Perfil superior



Desplazamientos máximos



ESTUDIO ESTÁTICO



Viento posterior (Succión)

Combinación de acciones H2

$0,8 \cdot PP + 1,5 \cdot Vs$

Diagrama MF - Guía Pro Standard

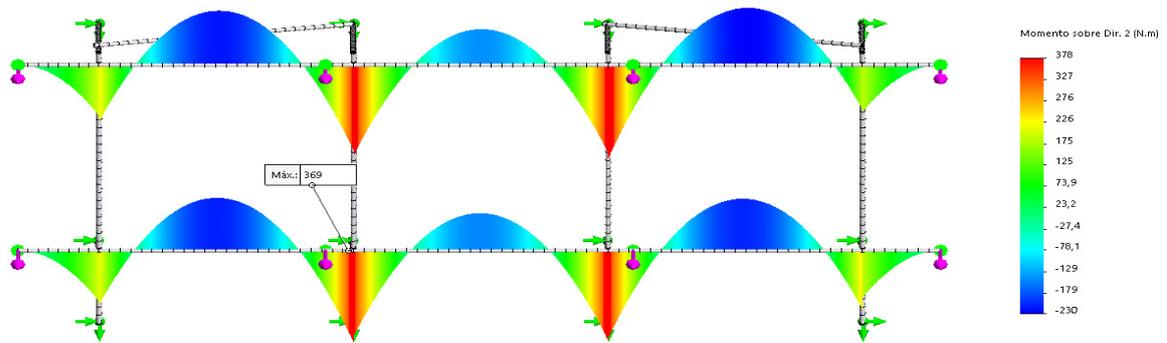
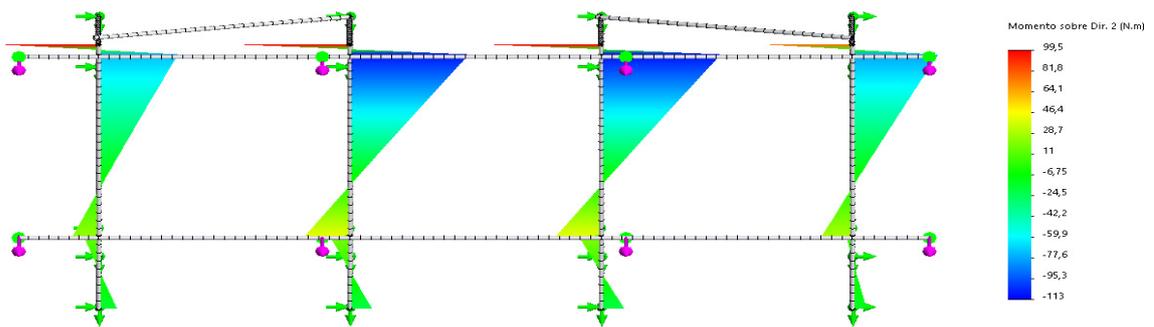
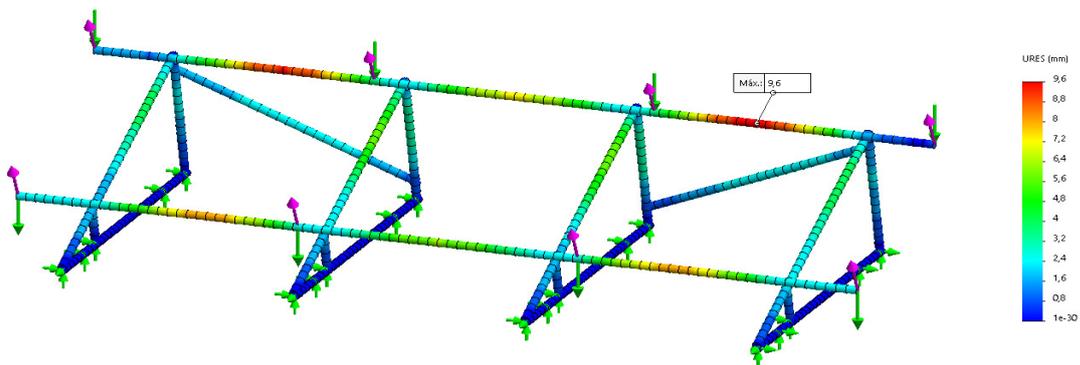


Diagrama MF - Perfil superior



Desplazamientos máximos



## RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

En este estudio se han tenido en cuenta como cargas permanentes el peso propio de los paneles fotovoltaicos y el peso propio de la estructura portante de los mismos.  
 Por otro lado, se ha considerado la acción combinada del viento y nieve sobre la estructura en la zona de instalación tomando como referencia un panel con unas dimensiones de 2108x1048x40 y 25kg. Distancia entre triángulos: 1.2m  
 A continuación, se presenta una tabla dónde se resumen los principales valores obtenidos de tensión y desplazamiento máximos de las simulaciones realizadas.

| RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL |            |                    |             |                      |                              |
|-------------------------------------|------------|--------------------|-------------|----------------------|------------------------------|
| Viento frontal ( Presión )          |            | M. Resistente (Wx) | MF máx (MF) | Tensión ( $\sigma$ ) | Desplazamiento máx ( Felcha) |
|                                     | Guía PS    | 2,922 m3           | 338 Nm      | 115 N/mm2            | 8,4 mm                       |
|                                     | Perfil sup | 2,272 m3           | 103 Nm      | 35 N/mm2             | 4,8 mm                       |
| Viento Posterior ( Succión )        |            | M. Resistente (Wx) | MF máx (MF) | Tensión ( $\sigma$ ) | Desplazamiento máx ( Felcha) |
|                                     | Guía PS    | 2,922 m3           | 378 Nm      | 129 N/mm2            | 9,6 mm                       |
|                                     | Perfil sup | 2,272 m3           | 99 Nm       | 43,5 /mm2            | 5,5 mm                       |

Teniendo en cuenta que el límite elástico del AL 6005 T5 es de 240 N/mm<sup>2</sup>, y que el desplazamiento máximo (flecha) admisible se ha definido en L/100, se observa que los resultados obtenidos de las simulaciones para la estructura de triángulo TI A 25° vertical se encuentran por debajo de estos valores límites.

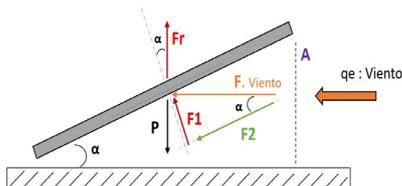
De esta forma, podemos concluir que:

La estructura cumple con el Código Técnico de la Edificación y admite las cargas variables que se dan en el territorio de instalación. De igual forma, la estructura cumple con los requerimientos del eurocódigo 9 `Proyectos de estructuras de aluminio` para ambos casos, el viento a favor de los módulos y el viento en contra de los módulos.

**Disclaimer:** Para cualquier situación que difiera de las hipótesis de trabajo consideradas en este estudio, se recomienda consultar con el equipo de ingenieros de Sigma - Sonne .

## LASTRES

El lastre que necesitará la estructura planteada en la zona de instalación vendrá determinado por la fuerza de succión que ejerce el viento por la parte posterior al módulo. Esta presión intentará levantar la instalación. El objetivo del lastre es contrarrestar dichos esfuerzos asegurando de esta forma la instalación a la cubierta - terreno.

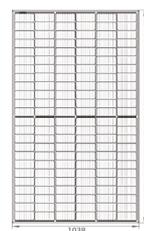


Donde:

- **qe:** Presión ejercida por el viento (N/m<sup>2</sup>) o (Kg/m<sup>2</sup>)
- **A:** proyección del área del módulo sobre el eje vertical donde incide el viento(m<sup>2</sup>)
- **F:** fuerza ejercida por el viento sobre el área A
- **F1:** Componente de la fuerza del viento perpendicular al módulo
- **F2:** Componente de la fuerza del viento paralela al módulo
- **Fr:** Fuerza resultante debida a la presión del viento.

### PANELES 2100X1040mm

| PROCEDIMIENTO CTE - COEF SEGURIDAD (0,8 · PP + 1,5 · Vs) |                           |                    |            |                  |            |
|--|---------------------------|--------------------|------------|------------------|------------|
| Estudio basado en categoría IV- Zona urbana - industrial | Lastre por triángulo (Kg) | Sujeción delantera |            | Sujeción trasera |            |
|  |                           | kg                 | Dimensión  | kg               | Dimensión  |
| 5m sobre terreno   |                           |                    |            |                  |            |
| Zona A (26m/s)   | 60                        | 30                 | 23x23x23cm | 30               | 23x23x23cm |
| Zona B (27 m/s)  | 64                        | 32                 | 24x24x24cm | 32               | 24x24x24cm |
| Zona C (29 m/s)  | 77                        | 39                 | 25x25x25cm | 39               | 25x25x25cm |
| PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO                               |                           |                    |            |                  |            |
| Estudio basado en categoría IV- Zona urbana - industrial | Lastre por triángulo (Kg) | Sujeción delantera |            | Sujeción trasera |            |
|  |                           | kg                 | Dimensión  | kg               | Dimensión  |
| 5m sobre terreno   |                           |                    |            |                  |            |
| Zona A (26m/s)   | 26                        | 13                 | 18x18x18cm | 13               | 18x18x18cm |
| Zona B (27 m/s)  | 30                        | 15                 | 18x18x18cm | 15               | 18x18x18cm |
| Zona C (29 m/s)  | 40                        | 20                 | 20x20x20cm | 20               | 20x20x20cm |



**Disclaimer:** Para cualquier situación que difiera de las hipótesis de trabajo consideradas, se recomienda consultar con el equipo de ingenieros de Sigma - Sonne . Las dimensiones dadas han sido calculadas tomando como referencia un hormigón con una densidad  $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$ .