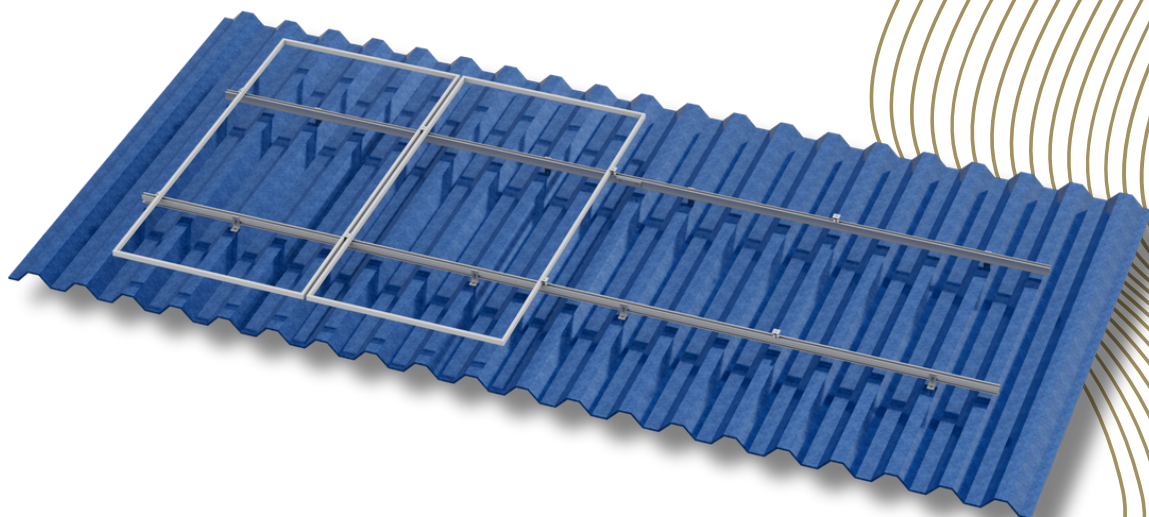


ÉTUDES DE CHARGES

833 K2 - COPLANAR METAL POUR 7 MODULES

SUNCONNECTION WORLDWIDE SLU

- **Tél.:** +34 868 076 098
- **Courriel:** ingenieria@833solar.com
- **Web:** www.833solar.com



1.ÉTUDE DE CHARGES

■ SÉLECTION DE MODULES

- **Longueur:** 2 278 mètres
- **Largeur:** 1 134 mètres
- **Épaisseur:** 30-35 mm
- **Poids:** 32,5 kg

■ PLACEMENT DES MODULES

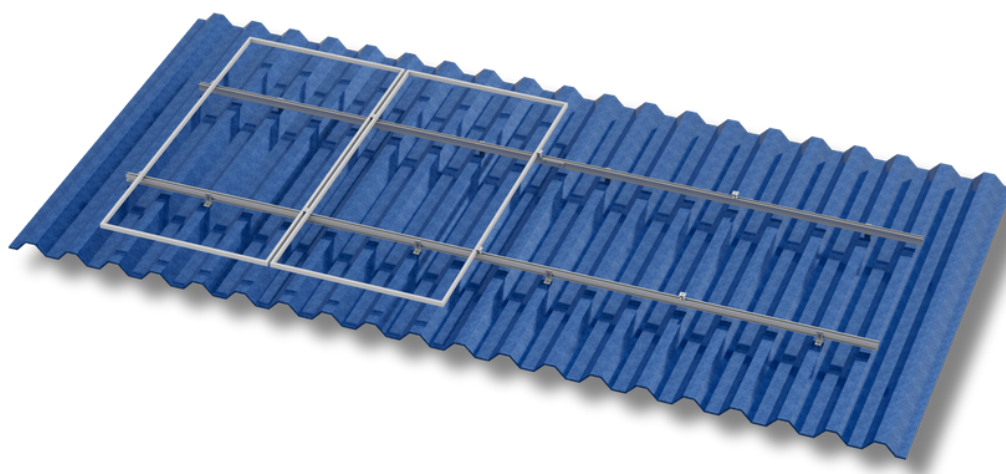
- **Type de surface:** toiture INCLINÉ

■ CONFIGURATION DE BASE

- **Sélection du système:** 833-K2
- **Zone de vent 1, 2, 3, 4:** 35 m/s
- **Hauteur d'installation:** 15 mètres
- **Degré de rudesse de l'environnement:** III

2. LISTE DES PIÈCES DU SYSTÈME

PIÈCES		
833 R2450-52	Rail 2450x52mm	
833 U	Jointure de rails	
833 GF	Agrafe finale universelle réglable (28-35 mm) ; avec plaque équipotentielle L50 mm	
833 GI	Agrafe intermédiaire universelle réglable (28-35 mm) avec plaque équipotentielle L50 mm	
833 MSU	Ancrage pour toiture métallique	



3. BASES DE LA CONCEPTION

RÉGLEMENTATION

SUPPOSITION DE CHARGE	NOM	DATE
BS EN 1990	Eurocode – Principes fondamentaux de la conception structurelle	01.01.2005
BS EN 1990/NA	Annexe. Eurocode national – Bases de la conception structurelle	04.06.2009
BS EN 1990/NA	Eurocode – Principes fondamentaux de la conception structurelle	30.06.2009
BS EN 1991-1-3	Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-3 : Actions générales, charges de neige	01.08.2005
BS EN 1991-1-3/NA	Annexe nationale à l'Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-3 : Actions générales – Charges de neige	29.06.2007
BS EN 1991-1-4	Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-4 : Actions générales, actions du vent	15.05.2011
BS EN 1991-1-4/NA	Annexe nationale à l'Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-4: actions générales, actions du vent	Novembre de 2008
Sollicitud	Résumé des résultats des essais et des simulations de vent	Junio de 2009
BS EN 1993-1-1	Eurocode 3 : Conception des structures en acier – Partie 1-1	01.10.2006
BS EN 1993-1-1/NA	Annexe nationale à l'Eurocode 3 : Conception des structures en acier – Partie 1-1	01.12.2008
BS EN 1999-1-1	Eurocode 9 – Conception des structures en aluminium, partie 1-1	01.08.2010
BS EN 1999-1-1/NA	Annexe nationale à l'Eurocode 9 – Conception des structures en aluminium, partie 1-1	01.05.2010

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES MATÉRIAUX

Matériau en aluminium

- **Structure en aluminium** AL6005-T5
- **Densité:** $\rho = 27,1 \text{ kN/m}^3$
- **Module d'élasticité:** $E = 6,9 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
- **Coefficient de dilatation linéaire:** $\alpha = 2,32 \times 10^{-5}$
- **Coefficient de Poisson:** $\nu = 0,33$
- **Résistance à la traction, à la compression et à la flexion:** $f_s = 220 \text{ N/mm}^2$

Actions permanentes dues au poids propre

- **Charge permanente:**
 - Spécifications du module photovoltaïque:
 - **Dimensions :** $2,278 \text{ m} \times 1,134 \text{ m} \times 30 \text{ mm}$; **poids:** $32,5 \text{ kg}$
 - Charge permanente du module photovoltaïque:
 - **$G = 32,5 \times 9,8 / (2,278 \times 1,134) / 1000 = 0,1233 \text{ kN/m}^2$**

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES MATÉRIAUX

Actions variables dues au vent

- Calcul de la vitesse de base du vent V_b :

$$V_b = C_{dir} \times C_{season} \times V_o = 1,0 \times 1,0 \times 35 = 35 \text{ m/s.}$$

Où:

- **C_{dir}** : facteur directionnel, valeur recommandée : 1,0 ;
- **C_{season}** : facteur saisonnier, valeur recommandée : 1,0 ;
- **V_o** : vitesse de référence du vent ; $V_o = 35 \text{ m/s.}$

- Calcul de la vitesse moyenne du vent :

$$V_m(z) : V_m(z) = C_r(z) \cdot C_o(z) \cdot V_b$$

Où :

- **$C_o(z)$** : coefficient topographique, valeur recommandée : 1,0.
- **$C_r(z)$** : facteur de rugosité calculé à l'aide de la formule ;
- **Facteur de rugosité : $C_r(z)$**
 - **$C_r(z) = K_r \cdot \ln(Z/Z_o)$ avec $Z_{min} \leq Z \leq Z_{maximo}$**
 - **$C_r(z) = C_r(Z_{min.})$ avec $Z \leq Z_{min.}$**

Où :

- **K_r** : facteur du terrain, calculé à l'aide de la formule ;
- **Z** : hauteur du système photovoltaïque, prise comme $Z = 15 \text{ m}$ pour ce projet.
- **Z_o et $Z_{min.}$** : paramètres du terrain ;

TERRAIN	DESCRIPTION	z_o (m)	z_{min} (m)
0	Mer ou zone côtière exposée à la mer ouverte	0,003	1
I	Lacs ou zones plates et horizontales, avec une végétation insignifiante et sans obstacles	0,01	1
II	Zone avec une végétation basse, telle que des pelouses, et des obstacles isolés (arbres, bâtiments), avec des séparations d'au moins 20 fois la hauteur de ces obstacles.	0,05	2
III	Zone avec une couverture végétale ou des bâtiments réguliers, ou avec des obstacles isolés espacés d'au plus 20 fois leur hauteur (comme les villages, les zones suburbaines ou les forêts permanentes)	0,3	5
IV	Zone dont au moins 15 % de la superficie est couverte de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m	1,0	10
REMARQUE: les catégories de terrain sont illustrées dans la section A.1			

Z_{max} : valeur recommandée de 200 m ;

Facteur de terrain K_r:

$$K_r = 0,19 \cdot (Z_0/Z_{0,II})^{(0,07)} = 0,19 \cdot (0,3/0,05)^{(0,07)} = 0,215$$

Où :

- Z₀ longueur de rugosité pour la catégorie de terrain III ; Z₀ = 0,3 mètre ;
- Z_{0,II} la valeur du tableau, 0,05 m ;
- Z_{min} = 5 m

Par conséquent,

- $Cr(z) = K_r \cdot \ln(Z/Z_0) = 0,215 \cdot \ln(15/0,3) = 0,843$
- $Vm(z) = Cr(z) \cdot Co(z) \cdot Vb = 0,843 \cdot 1 \cdot 35 = 29,491 \text{ m/s}$

- Calcul de la pression dynamique du vent q_p ;

$$q_p = \rho \cdot [Vm(z)]^2 = 1,25 \cdot (29,491)^2 = 1,087 \text{ kN/m}^2$$

Où:

- ρ : densité de l'air, valeur recommandée : 1,25 kg/m³

- Calcul de la pression maximale du vent q_p (z) :

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot Iv(z)]^{1/2} \cdot q_p$$

Où:

- Iv(z) : intensité de turbulence, calculée à l'aide de la formule :
- $Iv(z) = K_t / [Co(z) \cdot \ln(Z/Z_0)]$ si Z_{min} ≤ Z ≤ Z_{max}
- $Iv(z) = Iv(Z_{min})$ si Z ≤ Z_{min}

Où:

- K_t : facteur de turbulence, valeur recommandée : 1,0 ;
- Co(z) : coefficient topographique, valeur recommandée : 1,0 ;
- Z : hauteur du système photovoltaïque ; Z = 15 m ;
- Z₀ et Z_{min} : paramètres du terrain pour la catégorie III : Z₀ = 0,3 m ;
- Z_{min} = 5 m ;
- Z_{max} : valeur recommandée de 200 m ;

Par conséquent,

- $Iv(z) = K_t / [Co(z) \cdot \ln(Z/Z_0)] = 1 / [1 \cdot \ln(15/0,3)] = 0,256$.
- $Qp(z) = [1 + 7 \cdot Iv(z)]^{1/2} \cdot Qp = (1 + 7 \cdot 0,256)^{1/2} \cdot 1,087 = 1,516 \text{ kN/m}^2$.

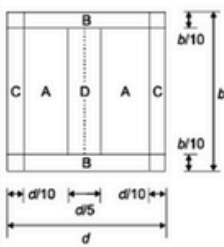
- Calcul de la pression du vent W_p :

- Pression W_p = q_p(z) · C_{pe} = 1,516 · 0,4 = 0,6065 kN/m²
- Aspiration W_{p'} = q_p(z) · C_{pe} = 1,516 · (-0,7) = - 1,0614 kN/m²

Où:

- C_{pe}: coefficient de force du vent, pris comme 0,4 pour le vent en pression et comme - 0,7 pour le vent en aspiration avec une inclinaison de 10°
 - C_{pe} vent en pression = 0,4
 - C_{pe} vent en aspiration = (-0,7)

Tabla 7.7
Valores de $c_{p,net}$ y c_f para marquesinas a dos aguas

			Coeficientes de presión neta $c_{p,net}$			
			Plano de referencia 			
Ángulo de la cubierta α [°]	Bloqueo ϕ	Coefficiente global de fuerza c_f	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
- 20	Valor máximo para cualquier ϕ	+ 0,7	+ 0,8	+ 1,6	+ 0,6	+ 1,7
	Valor mínimo para $\phi = 0$	- 0,7	- 0,9	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Valor mínimo para $\phi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
- 15	Valor máximo para cualquier ϕ	+ 0,5	+ 0,6	+ 1,5	+ 0,7	+ 1,4
	Valor mínimo para $\phi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Valor mínimo para $\phi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 10	Valor máximo para cualquier ϕ	+ 0,4	+ 0,6	+ 1,4	+ 0,8	+ 1,1
	Valor mínimo para $\phi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,5	- 0,6
	Valor mínimo para $\phi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 5	Valor máximo para cualquier ϕ	+ 0,3	+ 0,5	+ 1,5	+ 0,8	+ 0,8
	Valor mínimo para $\phi = 0$	- 0,5	- 0,7	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Valor mínimo para $\phi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
+ 5	Valor máximo para cualquier ϕ	+ 0,3	+ 0,6	+ 1,8	+ 1,3	+ 0,4
	Valor mínimo para $\phi = 0$	- 0,6	- 0,6	- 1,4	- 1,4	- 1,1
	Valor mínimo para $\phi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,5
+ 10	Valor máximo para cualquier ϕ	+ 0,4	+ 0,7	+ 1,8	+ 1,4	+ 0,4
	Valor mínimo para $\phi = 0$	- 0,7	- 0,7	- 1,5	- 1,4	- 1,4
	Valor mínimo para $\phi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,8
+ 15	Valor máximo para cualquier ϕ	+ 0,4	+ 0,9	+ 1,9	+ 1,4	+ 0,4
	Valor mínimo para $\phi = 0$	- 0,8	- 0,9	- 1,7	- 1,4	- 1,8
	Valor mínimo para $\phi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,2	- 1,6	- 2,1
Ángulo de la cubierta α [°]	Bloqueo ϕ	Coefficiente global de fuerza c_f	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
+ 20	Valor máximo para cualquier ϕ	+ 0,6	+ 1,1	+ 1,9	+ 1,5	+ 0,4
	Valor mínimo para $\phi = 0$	- 0,9	- 1,2	- 1,8	- 1,4	- 2,0
	Valor mínimo para $\phi = 1$	- 1,3	- 1,4	- 2,2	- 1,6	- 2,1
+ 25	Valor máximo para cualquier ϕ	+ 0,7	+ 1,2	+ 1,9	+ 1,6	+ 0,5
	Valor mínimo para $\phi = 0$	- 1,0	- 1,4	- 1,9	- 1,4	- 2,0
	Valor mínimo para $\phi = 1$	- 1,3	- 1,4	- 2,0	- 1,5	- 2,0
+ 30	Valor máximo para cualquier ϕ	+ 0,9	+ 1,3	+ 1,9	+ 1,6	+ 0,7
	Valor mínimo para $\phi = 0$	- 1,0	- 1,4	- 1,9	- 1,4	- 2,0
	Valor mínimo para $\phi = 1$	- 1,3	- 1,4	- 1,8	- 1,4	- 2,0

NOTA — los valores + indican una acción neta en sentido descendente.
los valores - indican una acción neta en sentido ascendente

■ PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES MATÉRIAUX

Actions variables dues à la neige

- Calcul de la pression effective de la neige $S_{k,v}$
 $S_{k,v} = u \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \cdot \cos\theta$

Où,

- **u**: Coefficient de pente de neige, $u = 0,8$ avec angle $\theta < 30^\circ$;
- $u = 0,8 \cdot (60 - \theta) / 30$ avec angle $30^\circ < \theta < 60^\circ$.
- **C_e**: Coefficient d'exposition, valeur recommandée 1;
- **C_t**: Coefficient thermique, valeur recommandée 1;

S_k: Pression de neige de base **$S_k = 0,40 \text{ kN/m}^2$**

Par conséquent,

$$S_{k,v} = u \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \cdot \cos\theta = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,40 \cdot \cos(10^\circ) = 0,315 \text{ kN/m}^2$$

Les effets des actions à prendre en considération

1. Charge permanente du module photovoltaïque **G: $0,1233 \text{ kN/m}^2$**
2. Charge de neige $S_{k,v}$: **$0,315 \text{ kN/m}^2$**
3. Actions du vent :
 - **W_p : $0,6065 \text{ kN/m}^2$ Pression**
 - **W_p' : $-1,0614 \text{ kN/m}^2$ Aspiration**

Combinaisons de charge de carga

Pour le calcul de la résistance à l'état limite ultime, on utilise :

- **Avec charge de neige: $1,35 G + 0,9 W_p + 1,5 S_{k,v}$**
- **Avec charge de vent sous pression: $1,35 G + 1,5 W_p + 0,75 S_{k,v}$**
- **Avec charge de vent à aspiration: $0,9 G + 1,5 W_p'$**

Remarque:

- **G**: poids propre,
- **$S_{k,v}$** : charge de neige
- **W_p** : représente l'action du vent sous pression
- **W_p'** : représente l'action du vent par aspiration;

Pour le calcul de la déviation à l'état limite de service :

- **Avec charge de neige: $1,0 G + 0,6 W_p + 1,0 S_{k,v}$**
- **Avec charge de vent sous pression: $1,0 G + 1,0 W_p + 0,5 S_{k,v}$**
- **Avec charge de vent à aspiration: $1,0 G + 1,0 W_p'$**

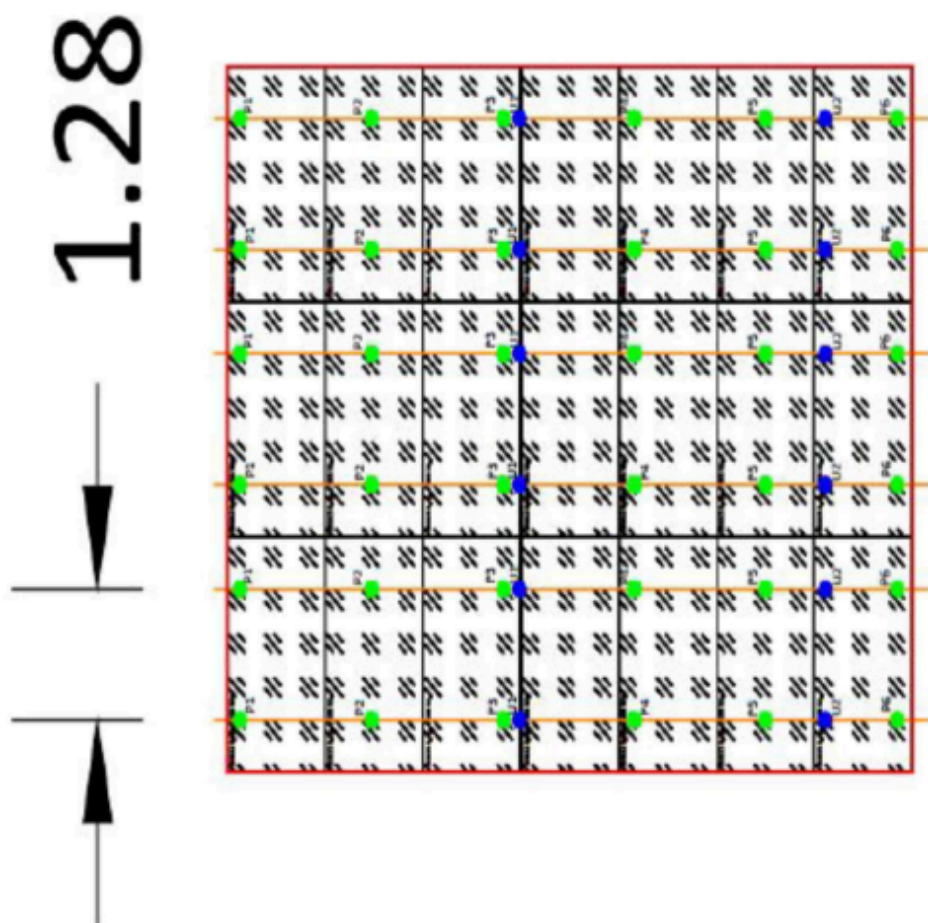
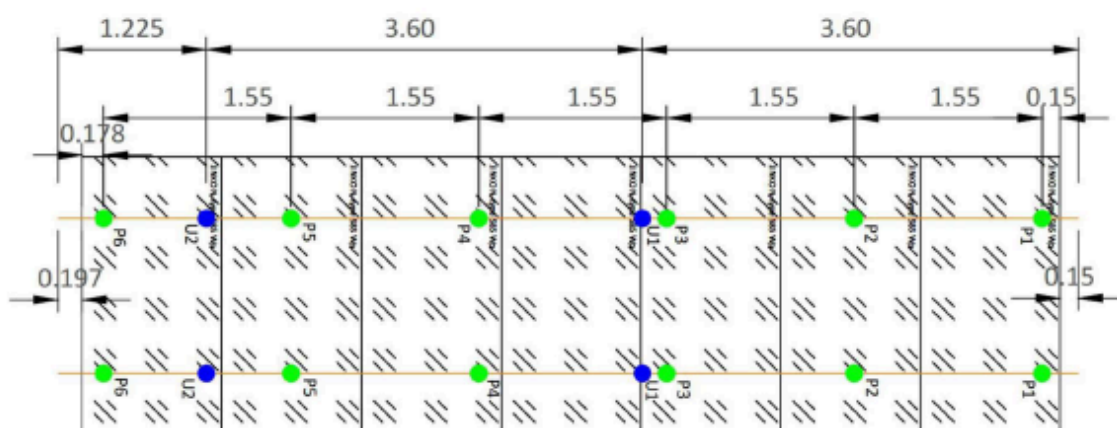
Remarque:

- **G**: poids propre,
- **$S_{k,v}$** : charge de neige
- **W_p** : représente l'action du vent sous pression
- **W_p'** : représente l'action du vent par aspiration;

4. CALCULS DE STRUCTURE

DESCRIPTION STRUCTURELLE

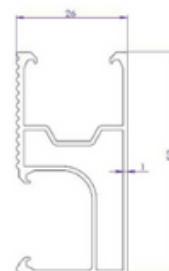
Ce projet prend pour exemple une disposition de 1x7 composants.



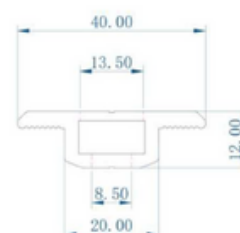
VERIFICACIÓN DE LAS PIEZAS

1. Vérifiez la résistance des pièces soumises à des contraintes.

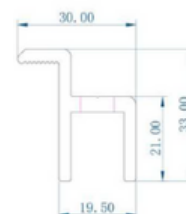
- Propriétés du matériau du rail :
 - Matériau du rail : AL6005-T5 ;
 - Les caractéristiques géométriques de la section transversale sont les suivantes :
 - Section transversale $A = 201,1 \text{ mm}^2$;
 - Moment d'inertie (axe fort) : $I = 25\,117,7 \text{ mm}^4$;
 - Module de résistance $W = 2\,100 \text{ mm}^3$.



- Propriétés du matériau de l'agrafe intermédiaire :
 - Matériau : AL6005-T5 ;
 - Surface effective : $A = 199,7 \text{ mm}^2$;
 - Moment d'inertie (axe fort) : $I = 31\,341,2 \text{ mm}^4$;
 - Module de résistance $W = 1\,015,4 \text{ mm}^3$.



- Propriétés du matériau de l'agrafe d'extrémité :
 - Matériau : AL6005-T5 ;
 - Surface effective : $A = 247,7 \text{ mm}^2$;
 - Moment d'inertie (axe fort) : $I = 9\,051,2 \text{ mm}^4$;
 - Module de résistance $W = 1\,330,1 \text{ mm}^3$;



2. Calcul des actions

- Pour le calcul de la résistance à l'état limite ultime :
 - Charges de neige : $(1,35 G + 0,9 W_p + 1,5 S_{k,v}) \cdot \text{longueur}/2 = (1,35 \cdot 0,1233 + 0,9 \cdot 0,6065 + 1,5 \cdot 0,3151) \cdot 2,278/2 = \mathbf{1,350 \text{ kN/m}}$.
 - Avec un vent descendant (pression) : $(1,35 G + 1,5 W_p + 0,75 S_{k,v}) \cdot \text{Longueur}/2 = (1,35 \cdot 0,1233 + 1,5 \cdot 0,6065 + 0,75 \cdot 0,3151) \cdot 2,278/2 = \mathbf{1,495 \text{ kN/m}}$.
 - Avec vent ascendant (aspiration) : $(0,9 G + 1,5 W_p') \cdot \text{Longueur}/2 = (0,9 \cdot 0,1233 + 1,5 \cdot -1,0614) \cdot 2,278/2 = \mathbf{-1,687 \text{ kN/m}}$.

La force de succion du vent est la plus importante. Les calculs sont basés sur la force exercée par le vent succion.

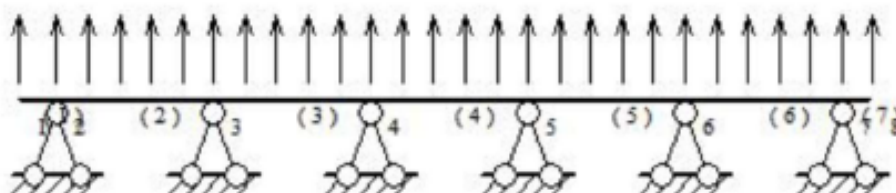
- Pour le calcul de la déformation à l'état limite de service :
 - Charges de neige : $(1,0 G + 0,6 W_p + 1,0 S_{k,v}) \cdot \text{longueur}/2 = (1,0 \cdot 0,1233 + 0,6 \cdot 0,6065 + 1,0 \cdot 0,3151) \cdot 2,278/2 = \mathbf{0,914 \text{ kN/m}}$.
 - Avec un vent descendant (pression) : $(1,0 G + 1,0 W_p + 0,5 S_{k,v}) \cdot \text{Longueur}/2 = (1,0 \cdot 0,1233 + 1,0 \cdot 0,6065 + 0,5 \cdot 0,3151) \cdot 2,278/2 = \mathbf{1,011 \text{ kN/m}}$.
 - Avec un vent ascendant (aspiration) : $(1,0 G + 1,0 W_p') \cdot \text{Longueur}/2 = (1,0 \cdot 0,1233 + 1,0 \cdot -1,0614) \cdot 2,278/2 = \mathbf{-1,068 \text{ kN/m}}$.

VÉRIFICATION DES PIÈCES

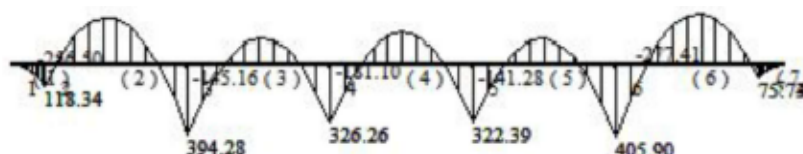
3. Analyse de vérification du rail

- **Analyse de modélisation** (efforts sur un seul rail)

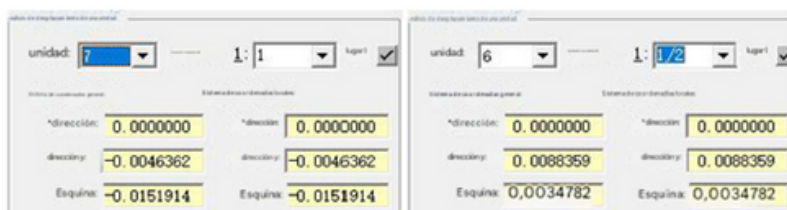
MODÈLE MÉCANIQUE



MODÈLE FLECTOR



TORSION DE LA COURBE



• Résultat de l'analyse :

- Moment de flexion maximal $M_{\max} = 0,4059 \text{ kN}\cdot\text{m}$
- Déviation maximale du porte-à-faux $v_1 = 4,6362 \text{ mm}$
- Déviation maximale au centre de la travée $v_2 = 8,8359 \text{ mm}$

• Analyse de vérification :

- Vérification de la résistance à la flexion :
 $\sigma_1 = M_{\max} / W = 0,4059 \cdot 10^6 / 2\,277,5 = 178 \text{ N/mm}^2 < f = 220 \text{ N/mm}^2$.

RÉPOND AUX EXIGENCES DE RÉSISTANCE

- Déviation du porte-à-faux :
 $v_1 = 4,6263 \text{ mm} < [v] = 2L_1/120 = 2 \cdot 300/120 = 5,0 \text{ mm}$
- Déviation à mi-course :
 $v_2 = 8,8359 \text{ mm} < [v] = L_2/120 = 1550/120 = 12,92 \text{ mm}$

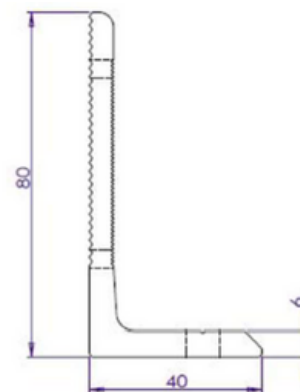
CONFORME À L'EXIGENCE DE DÉFLECTION

CONCLUSIÓN: EL RAIL CUMPLE CON LOS REQUISITOS

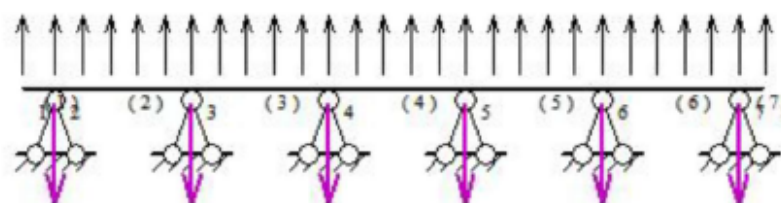
VÉRIFICATION DES PIÈCES

4. Vérification de l'ancrage pour toiture métallique

- Propriétés du matériau de l'ancrage
- Matériau : AL6005-T5 ;
- Surface effective $A = 247,7 \text{ mm}^2$;
- Moment d'inertie (axe fort) $I = 9051,2 \text{ mm}^4$;
- Module de résistance $W = 1330,1 \text{ mm}^3$



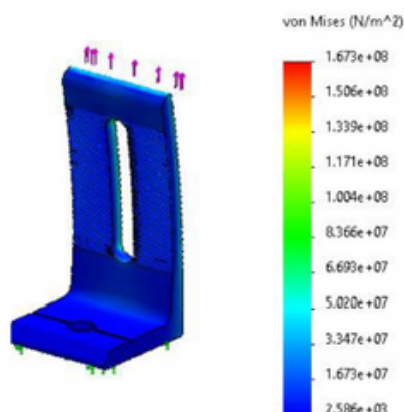
- Calcul des charges



	Reactions des supports de la structure			Données		
	nivel	vertical		tamaño	ángulo	
2	0.000	-1757.4	0.000	1757.4	-90.000	0.000
3	0.000	-2830.5	0.000	2830.5	-90.000	0.000
4	0.000	-2567.2	0.000	2567.2	-90.000	0.000
5	0.000	-2552.2	0.000	2552.2	-90.000	0.000
6	0.000	-2875.5	0.000	2875.5	-90.000	0.000
7	0.000	-1596.2	0.000	1596.2	-90.000	0.000

La force de réaction maximale transmise par le rail à l'ancrage est de $F = 2575,5 \text{ N}$.

- Analyse du calcul
 - Analyse de modélisation



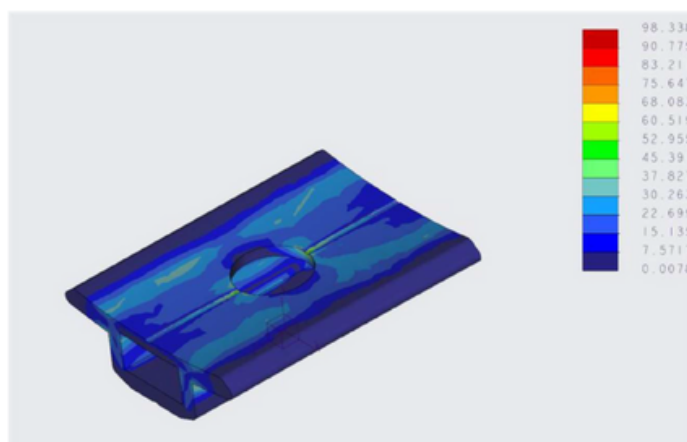
VÉRIFICATION DES PIÈCES

- Analyse de vérification de l'effort maximal dans l'ancrage.
 $\sigma_1 = 167,3 \text{ N/mm}^2 < f = 220 \text{ N/mm}^2$

CONCLUSION : LA FIXATION POUR TOITURE MÉTALLIQUE RÉPOND AUX EXIGENCES.

5. Vérification de la pince intermédiaire

- Analyse de modélisation (pression dans le milieu)

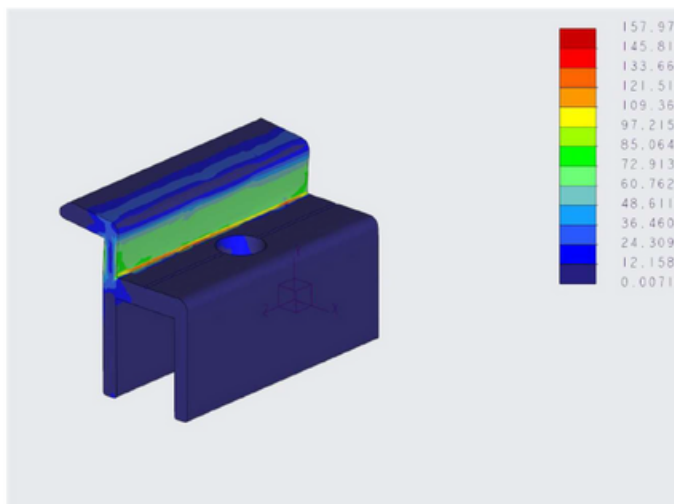


- Analyse de vérification de la tension maximale au niveau de l'agrafe intermédiaire:
 $\sigma_1 = 98,3 \text{ N/mm}^2 < f = 220 \text{ N/mm}^2$

CONCLUSION : LA PINCE INTERMÉDIAIRE RÉPOND AUX EXIGENCES

6. Analyse de vérification de pince finale

- Analyse de modélisation (pression dans le milieu)



VÉRIFICATION DES PIÈCES

- Analyse de vérification de l'effort maximal dans le pinde finale
 $\sigma_1 = 158 \text{ N/mm}^2 < f = 220 \text{ N/mm}^2$

CONCLUSION : LA GRIPE FINALE RÉPOND AUX EXIGENCES

CONCLUSION FINALE :

La résistance du système satisfait à toutes les exigences de conception.