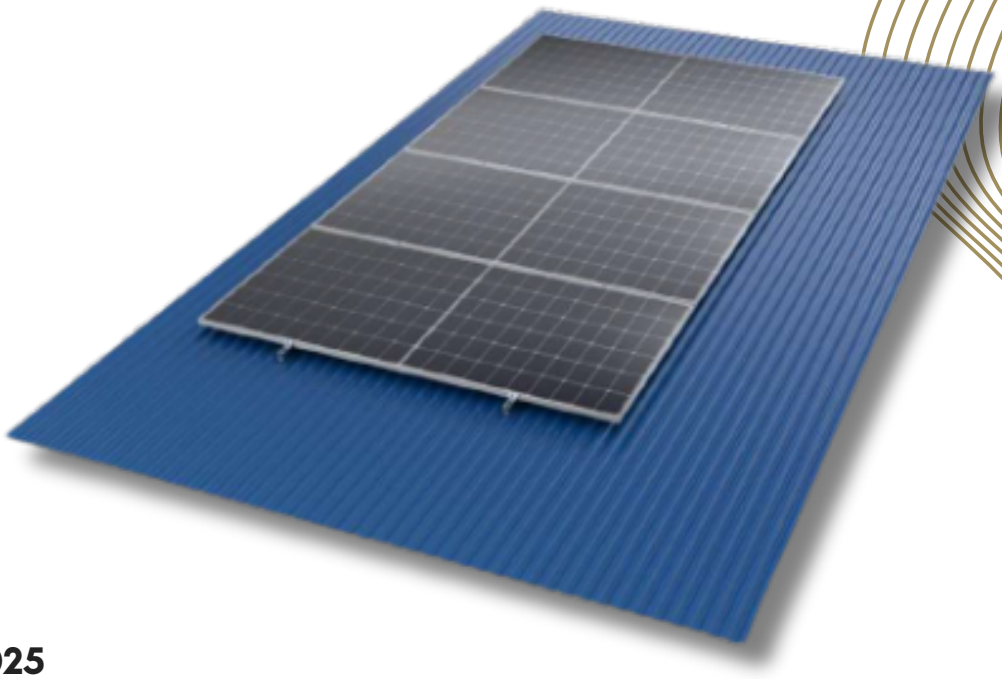
833®
QUALITY MOUNTING SYSTEMS

ESTUDIO DE CARGAS

833 K7 - MINI RAIL 120X29MM PARA 4 MÓDULOS

SUNCONNECTION WORLDWIDE SLU

- **Telf:** +34 868 076 098
- **Correo electrónico**: ingenieria@833solar.com
- **Web**: www.833solar.com



2025

1.ESTUDIO DE CARGAS

SELECCIÓN DE MÓDULOS

- **Longitud: 2,278 metros**
- **Ancho: 1,134 metros**
- **Espesor: 30 - 35 mm**
- **Peso: 32,5kg**

COLOCACIÓN DE MÓDULOS

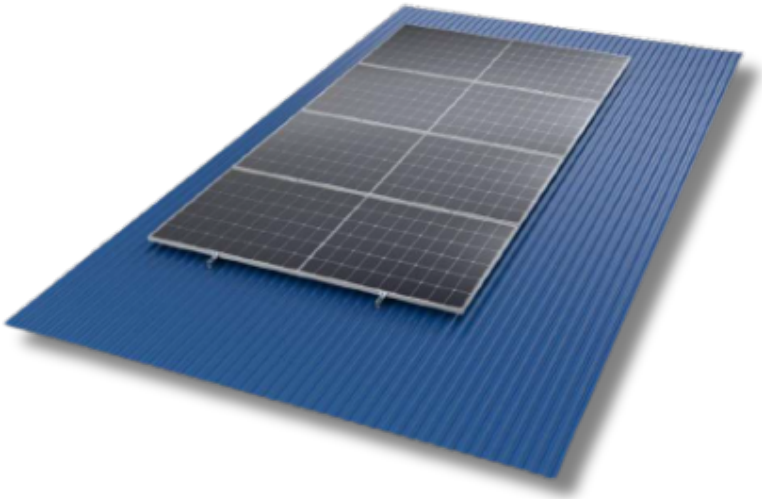
- **Tipo de superficie:** cubierta INCLINADA

CONFIGURACIÓN BÁSICA

- **Selección del sistema**: 833-K7
- **Zona de vientos 1, 2, 3, 4:** 35m/s
- **Altura de instalación:** 15 metros
- **Grado de aspereza del entorno:** III

2.LISTA DE PIEZAS DEL SISTEMA

PIEZAS		
833 MR120-29	Mini Rail tipo U de 45mm para chapa ondulado o trapezoidal de 120mm, con EPDM y cuatro tornillos	
833 GF-50MM	Universal ajustable (25-35mm), con placa conductora, grapa final, L50 mm	
833 GI-50MM	Universal ajustable (28-35mm), con placa conductora y resorte, grapa intermedia, L50mm	



3.BASES DEL DISEÑO

NORMATIVA

SUPOSICIÓN DE CARGA	NOMBRE	FECHA
BS EN 1990	Eurocódigo - Fundamentos del diseño estructural	01.01.2005
BS EN 1990/NA	Anexo. Nacional del Eurocódigo - Bases del diseño estructura	04.06.2009
BS EN 1990/NA	Eurocódigo - Fundamentos del diseño estructural	30.06.2009
BS EN 1991-1-3	Eurocódigo 1 - Acciones sobre estructuras - Parte 1-3: Acciones generales, Cargas de nieve	01.08.2005
BS EN 1991-1-3/NA	Anexo Nacional del Eurocódigo 1 – Acciones sobre estructuras – 1-3: Acciones generales, Cargas de nieve	29.06.2007
BS EN 1991-1-4	Eurocódigo 1 - Acciones sobre estructuras - Parte 1-4: Acciones generales, Acciones del viento	15.05.2011
BS EN 1991-1-4/NA	Anexo Nacional del Eurocódigo 1 - Acciones sobre estructuras - Parte 1-4: Acciones generales, Acciones del viento	Noviembre de 2008
Solicitud	Resumen de los resultados de las pruebas y simulaciones de viento	Junio de 2009
BS EN 1993-1-1	Eurocódigo 3: Diseño de estructuras de acero - Parte 1-1	01.10.2006
BS EN 1993-1-1/NA	Anexo Nacional del Eurocódigo 3: Diseño de estructuras de acero - Parte 1-1	01.12.2008
BS EN 1999-1-1	Eurocódigo 9 - Diseño de estructuras de aluminio Parte 1-1	01.08.2010
BS EN 1999-1-1/NA	Anexo Nacional del Eurocódigo 9 - Diseño de estructuras de aluminio Parte 1-1	01.05.2010

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Material de aluminio

- **Estructura de aluminio:** AL6005-T5
- **Densidad:** ρ=27,1 kN/m3
- **Módulo elástico:** E=6,9×104 N/mm2
- **Coeficiente de expansión lineal:** α=2,32×10-5
- **Coeficiente de Poisson:** ν=0,33
- **Resistencia a la tracción/compresión/flexión:** fs=220 N/mm2

Acciones permanentes debidas al peso propio

- **Carga permanente:**
  - Especificaciones del módulo fotovoltaico:
    - ***2,278 m × 1,134m × 30 mm, peso del módulo: 32,5 kg***
  - Carga permanente del módulo fotovoltaico:
    - ***G=32,5·9,8/(2,278·1,134)/1000=0,1233 kN/m2***

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Acciones variables debidas al viento

- **Cálculo de la velocidad básica del viento Vb:**
  ***Vb*=Cdir·Cseason·V_o=1,0·1,0·35=35 m/s**

  Donde:
  - ***Cdir factor direccional, valor recomendado 1,0;***
  - ***Cseason: factor estacional, valor recomendado 1,0;***
  - ***Vo: Velocidad del viento de referencia: Vo=35 m/s***

- **Cálculo de la velocidad media del viento:**
  Vm(z): Vm(z)=Cr(z)·Co(z)·Vb

  Dónde,
  - ***Co(z):*** Coeficiente topográfico, valor recomendado 1,0.
  - ***Cr(z):*** factor de rugosidad, calculado mediante fórmula;
  - ***factor de rugosidad: Cr(z)***
    - ***Cr(z)=Kr·ln(Z/Z_o) con Zmín.≤Z≤Zmáximo***
    - ***Cr(z)=Cr(Zmín.) con Z≤Zmín.***

  Dónde,
  - ***Kr:*** Factor del terreno, calculado mediante fórmula;
  - ***Z:*** Altura del sistema fotovoltaico, tomada como Z=15 m para este proyecto.
  - ***Z_oy Zmín.:*** Parámetros del terreno;

TERRENO	DESCRIPCIÓN	z_o (m)	z_{min} (m)
0	Mar o área costera expuesta al mar abierto	0,003	1
I	Lagos o área plana y horizontal con vegetación insignificante y sin obstáculos	0,01	1
II	Área con vegetación baja como césped y obstáculos aislados (árboles, edificios) con separaciones de al menos 20 veces de altura de los obstáculos	0,05	2
III	Área con cobertura regular de vegetación o edificios o con obstáculos aislados con separaciones de máximo 20 veces la altura de los obstáculos (como pueblos, terreno suburbano, bosque permanente)	0,3	5
IV	Área en la que al menos el 15% de la superficie está cubierta con edificios y su altura promedio excede los 15m	1,0	10

NOTA: las categorías de terreno se ilustran en A.1.

Zmax: Valor recomendado 200 m;
Factor del terreno Kr:
Kr=0,19·(Z_o/Z_o,II)^0,07=0,19·(0,3/0,05)^0,07=0,215

Donde,
- ***Z_o:*** Longitud de la rugosidad, para la categoría de terreno III, Z_o=0,3 metros;
- ***Z_o,***II Valor de tabla 0,05 m;
- ***Zmin=5 m***

Por lo tanto
- ***Cr(z)=Kr·ln(Z/Z_o)=0,215·ln(15/0,3)=0,843***
- ***Vm(z)=Cr(z)·Co(z)·Vb=0,843·1·35=29,491 m/s***

- **Cálculo de la presión dinámica del viento qp;**
  qp=ρ·[Vm(z)] ^2≙1,25·(29,491) ^2≙1,087 kN/m2

Donde,
- ***ρ:Densidad del aire, valor recomendado 1,25 kg/m^3.***

- **Cálculo de la presión máxima del viento qp (z):**
  qp (z)=[1+7·Iv(z)]·1/2·qp

Donde,
- ***Iv(z):*** Intensidad de turbulencia, calculada mediante la fórmula:
- ***Iv(z)=K_1/[Co(z)·ln(Z/Z_o)] si Zmin.≤Z≤Zmax***
- ***Iv(z)=Iv(Zmin) si Z≤Zmín.***

Donde,
- ***K_1:*** Factor de turbulencia, valor recomendado 1,0;
- ***Co(z):*** Coeficiente topográfico, valor recomendado 1,0;
- ***Z:*** Altura del sistema fotovoltaico, Z=15 m;
- ***Z_o y Zmín.***: Parámetros del terreno, para la categoría de terreno III, Z_o=0,3 m,
- ***Zmin.***= 5 m;
- ***Zmax***: Valor recomendado 200 m;

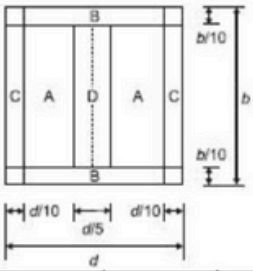
Por lo tanto
- ***Iv(z)=K_1/[Co(z)·ln(Z/Z_o)]=1/[1·ln(15/0,3)]=0,256***
- ***qp(z)=[1+7·Iv(z)]·1/2·qp=(1+7·0,256)·1/2·1,087=1,516 kN/m2***

- **Cálculo de la presión del viento Wp:**
  Presión Wp=qp(z)·Cpe=1,516·0,4=0,6065 kN/m2
  Succión Wp'=qp(z)·Cpe=1,516·(-0,7)=-1,0614 kN/m2

Donde,
- ***Cpe***: Coeficiente de fuerza del viento, tomado como 0,4 para viento en succión y -0,7para viento en succión con una inclinación de 10°:
  - ***Cpe viento a presión = 0,4***
  - ***Cpe vienton a succión= (-0,7)***

Net pressure coefficients $c_{p,net}$

Key plan



Roof angle α [°]	Blockage φ	Overall Force Coefficient c_f	Zone A	Zone B	Zone C	Zone D
- 20	Maximum all φ	+ 0,7	+ 0,8	+ 1,6	+ 0,6	+ 1,7
	Minimum φ = 0	- 0,7	- 0,9	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum φ = 1	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
- 15	Maximum all φ	+ 0,5	+ 0,6	+ 1,5	+ 0,7	+ 1,4
	Minimum φ = 0	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum φ = 1	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 10	Maximum all φ	+ 0,4	+ 0,6	+ 1,4	+ 0,8	+ 1,1
	Minimum φ = 0	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,5	- 0,6
	Minimum φ = 1	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 5	Maximum all φ	+ 0,3	+ 0,5	+ 1,5	+ 0,8	+ 0,8
	Minimum φ = 0	- 0,5	- 0,7	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum φ = 1	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
+ 5	Maximum all φ	+ 0,3	+ 0,6	+ 1,8	+ 1,3	+ 0,4
	Minimum φ = 0	- 0,6	- 0,6	- 1,4	- 1,4	- 1,1
	Minimum φ = 1	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,5
+ 10	Maximum all φ	+ 0,4	+ 0,7	+ 1,8	+ 1,4	+ 0,4
	Minimum φ = 0	- 0,7	- 0,7	- 1,5	- 1,4	- 1,4
	Minimum φ = 1	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,8
+ 15	Maximum all φ	+ 0,4	+ 0,9	+ 1,9	+ 1,4	+ 0,4
	Minimum φ = 0	- 0,8	- 0,9	- 1,7	- 1,4	- 1,8
	Minimum φ = 1	- 1,3	- 1,3	- 2,2	- 1,6	- 2,1
+ 20	Maximum all φ	+ 0,6	+ 1,1	+ 1,9	+ 1,5	+ 0,4
	Minimum φ = 0	- 0,9	- 1,2	- 1,8	- 1,4	- 2,0
	Minimum φ = 1	- 1,3	- 1,4	- 2,2	- 1,6	- 2,1

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Acciones variables debidas a la nieve

- **Cálculo de la presión de nieve efectiva Sk, v**
  Sk,v=u·Ce·Ci·Sk·cosθ

  Donde,
  - ***u: Coeficiente de pendiente de nieve, u = 0,8 con ángulo θ < 30°;***
  - ***u = 0,8 · (60 - θ) / 30 con ángulo 30° < θ < 60°.***
  - ***Ce: Coeficiente de exposición, valor recomendado 1;***
  - ***Ct: Coeficiente térmico, valor recomendado 1;***

  Sk: Presión de nieve básica ***Sk=0,40 kN/m2***

  Por lo tanto,
  Sk,v=u·Ce·Ct·Sk·cosθ=0,8·1·1·0,40 ·cos (10°)=0,315 kN/m2

Efecto de acciones a considerar

1. Carga permanente del módulo fotovoltaico G: ***0,1233 kN/m2***
2. Carga de nieve Sk, v: ***0,315 kN/m²***
3. Acciones del viento**:**
   - ***Wp: 0,6065 kN/m² Presión***
   - ***Wp': -1,0614 kN/m² Succión***

Combinaciones de carga

Para el cálculo de resistencia en estado límite último:
- **Con carga de la nieve: 1,35 G + 0,9 Wp + 1,5 Sk,v**
- **Con carga de viento a presión: *1,35 G + 1,5 Wp + 0,75 Sk,v***
- **Con carga de viento a succión: 0,9 G + 1,5 Wp'**

***Nota*:**
- ***G***: peso propio,
- ***Sk,v:*** carga de nieve
- ***Wp:*** representa la acción de viento a presión
- ***Wp':*** representa la acción de viento a succión;

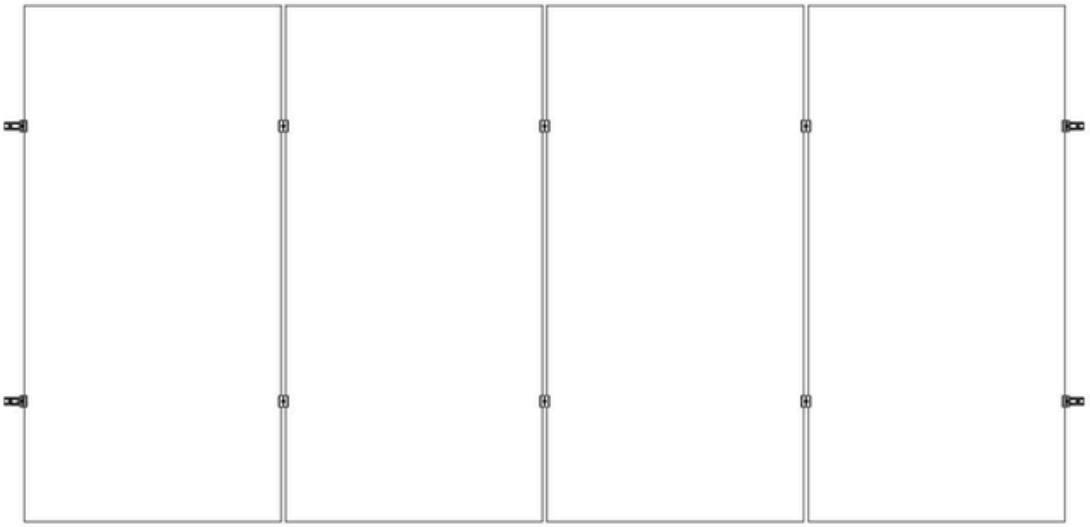
Para el cálculo de la deflexión en el estado límite de servicio:
- **Con carga de la nieve: 1,0 G + 0,6 Wp + 1,0 Sk,v**
- **Con carga de viento a presión: 1.0G + 1.0 Wp + 0,5 Sk,v**
- **Con carga de viento hacia arriba(succión): 1.0G + 1.0 Wp'**

Nota:
- ***G***: peso propio,
- ***Sk,v***: carga de nieve
- ***Wp***: representa la acción de viento a presión
- ***Wp'***: representa la acción de viento a succión;

4. CÁLCULOS DE LA ESTRUCTURA

DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL

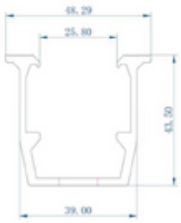
Este proyecto toma como ejemplo la disposición de 1x4 componentes.
Forma de presión puntual: presión media compartida por un carril de 45U (120mm)



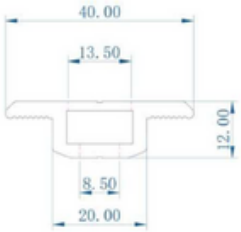
VERIFICACIÓN DE LAS PIEZAS

Verificar la resistencia de las piezas bajo acciones.

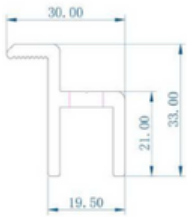
- **Propiedad del material del rail:**
  - **Material del rail: AL6005-T5;**
  - **Las características geométricas de la sección transversal del rail son:**
    - ***Área de sección transversal A=163,7 mm2;***
    - ***Momento de inercia (eje fuerte) I=16544,7 mm4;***
    - ***Módulo resistente W=1197 mm3***



- **Propiedad del material de la grapa intermedia:**
  - **Material: AL6005-T5;**
  - ***Área efectiva A=199,7 mm²;***
  - ***Momento de inercia(eje fuerte) I=31341,2 mm⁴;***
  - ***Módulo resistente W=1015,4 mm³***



- **Propiedad del material de la grapa final:**
  - **Material: AL6005-T5;**
  - ***Área efectiva A=247,7 mm²;***
  - ***Momento de inercia(eje fuerte) I=9051,2 mm⁴;***
  - ***Módulo resistente W=1330,1 mm³***



- **Cálculo de acciones:**

  Para el cálculo de resistencia en estado límite último:
  - **Cargas de nieve:**(1,35 G + 0,9 Wp + 1,5 Sk,v) ·superficie pv (1,35·0,1233+ 0,9·0,6065 + 1,5·0,3151) ·2,278·1,134= **3,0612 kN**
  - **Con viento hacia abajo(presión):** (1,35 G + 1,5 Wp + 0,75 Sk,v) ·superficie pv (1,35·0,1233 + 1,5·0,6065 + 0,75·0,3151) ·2,278·1,134= **3,3907 kN**
  - **Con viento hacia arriba(succión):** (0,9 G + 1,5 Wp') · superficie pv (0,9·0,1233 + 1,5·-1,0614) ·2,278·1,134= **-3,8261 kN**

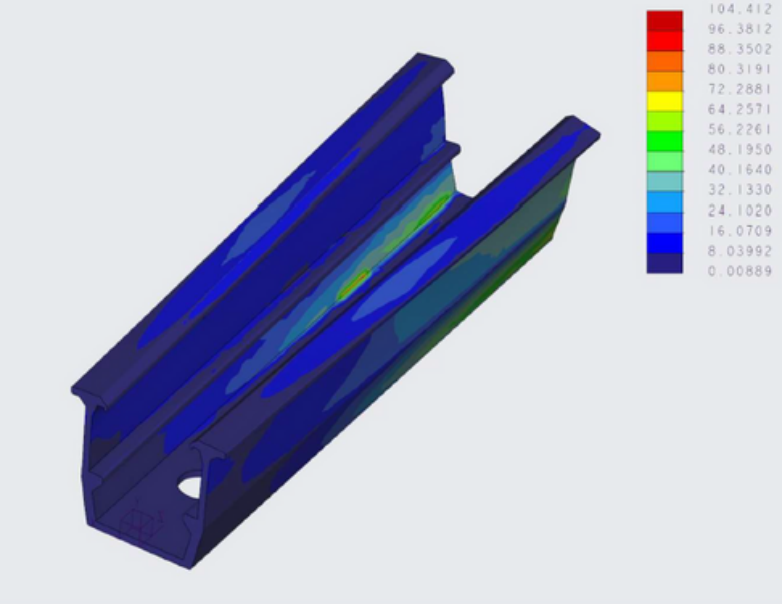
  La fuerza ejercida por el viento a succión es la mayor, Los cálculos se basan en la fuerza ejercida por el viento a succión.
  - **Presión en el extremo -3,8261 /4= -0,957 kN**
  - **Presión en el medio -3,8261/2= -1,913 kN**

  Para el cálculo de la deflexión en el estado límite de servicio:
  - **Cargas de nieve:** (1,0 G + 0,6 Wp + 1,0 Sk,v) ·superficie pv (1,0·0,1233+ 0,6·0,6065 + 1,0·0,3151) ·2,278·1,134= **2,073 kN**
  - **Con viento hacia abajo(presión):** (1,0 G + 1,0 Wp + 0,5 Sk,v) ·superficie pv (1,0·0,1233 + 1,0·0,6065 + 0,5·0,3151) ·2,278·1,134= **2,292 kN**
  - **Con viento hacia arriba(succión):** (1,0 G + 1,0 Wp') · superficie pv (1,0·0,1233 + 1,0·-1,0614) ·2,278·1,134= **-2,423 kN**

  La fuerza ejercida por el viento a succión es la mayor, Los cálculos se basan en la fuerza ejercida por el viento a succión.
  - **Presión en el extremo -2,423/4= -0,606 kN**
  - **Presión en el medio -2,423/2= -1,212 kN**

- **Análisis de verificación de rail**

1. ***Análisis de modelado*** (presión en el medio)

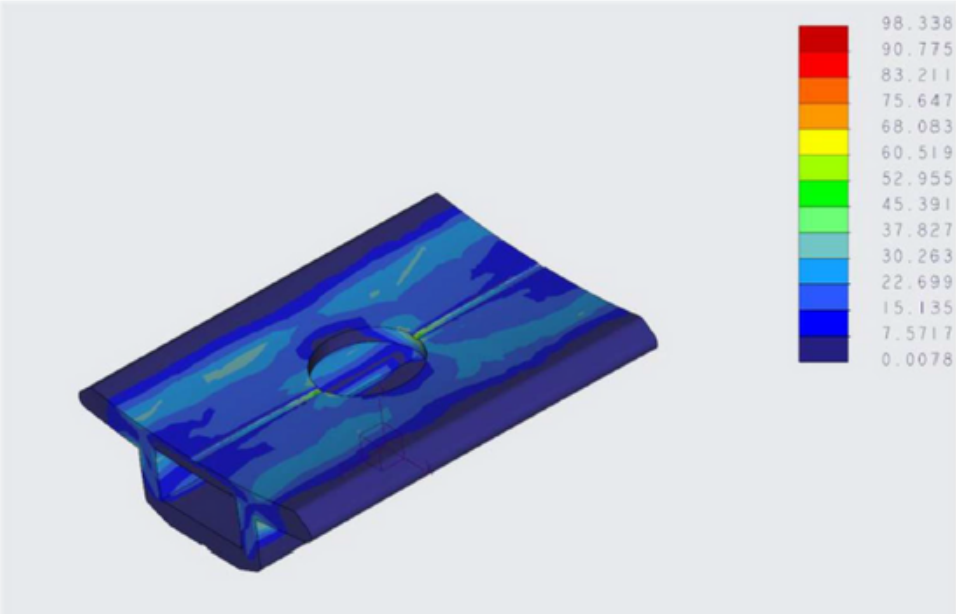


2. ***Análisis de verificación de tensión máxima en el rail:***
   σ1=104,4 N/mm²<f=220 N/mm²

CONCLUSIÓN: el rail cumple con los requisitos.

- **Análisis de verificación de la grapa intermedia**

1. ***Análisis de modelado*** (presión en el medio)

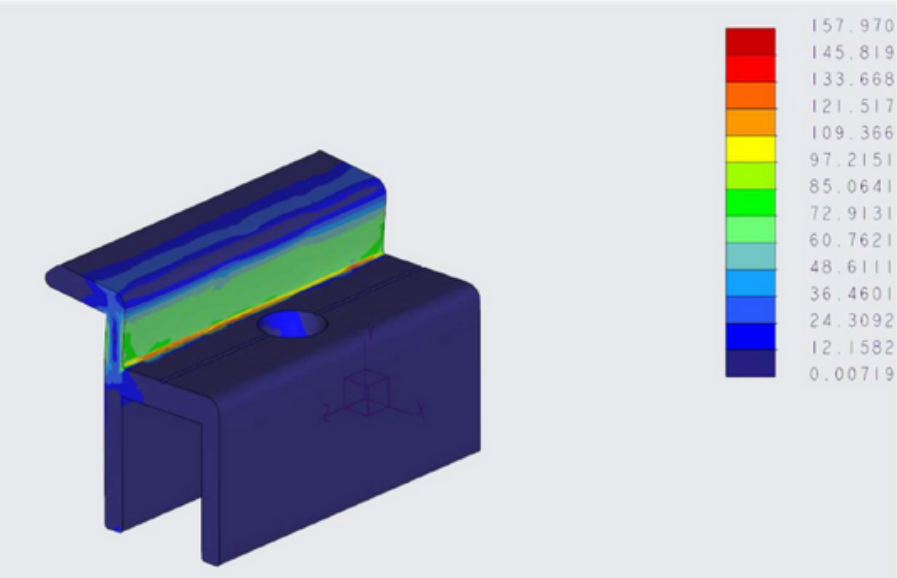


2. ***Análisis de verificación de tensión máxima en la grapa intermedia***
   σ1=98,3 N/mm²<f=220 N/mm²

CONCLUSIÓN: la grapa intermedia cumple con los requisitos.

- **Análisis de verificación de la grapa final**

1. ***Análisis de modelado*** (presión en el medio)



2. ***Análisis de verificación de tensión máxima en la grapa final:***
   $\sigma 1=158\ N/mm^2 < f=220\ N/mm^2$

CONCLUSIÓN: la grapa final cumple con los requisitos.

CONCLUSIÓN FINAL:
La resistencia del sistema satisface todos los requisitos de diseño.