

**SIDEA**

ENGINEERING SOLUTIONS  
Advanced Engineering

**GALIGRU**

SISTEMAS DE SEGURIDAD

**Estudio Baranda Atornillable EN-13374**

180-J871-RP4-1628

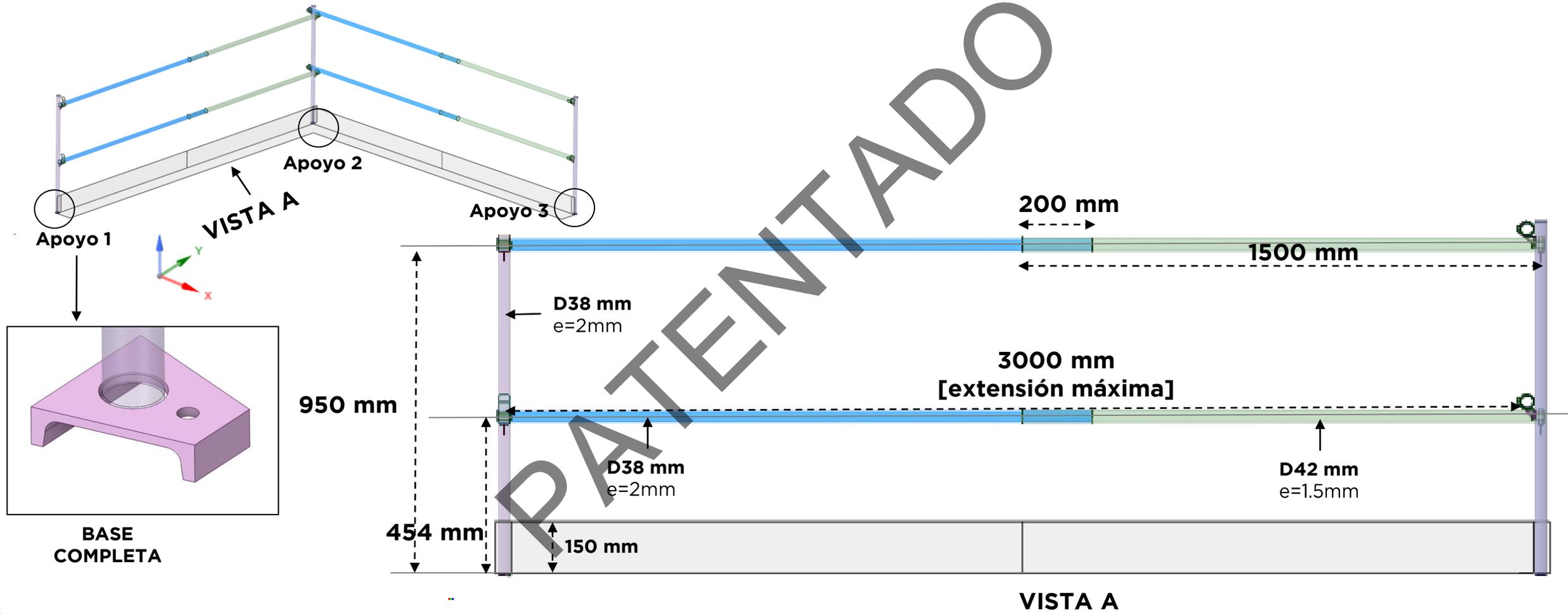
14/02/2023



## Contexto

- GALIGRU desea evaluar varios de sus sistemas de seguridad mediante cálculos por método elementos finitos [FEM] para su posterior certificación. En este documento se presentan los cálculos para el sistema de baranda atornillable con guardacuerpo según el estándar **EN-13374**
- Se evaluará el sistema según la normativa como sistema de protección clase A evaluado para los tres distintos casos de carga:
  - Estado límite de servicio **[ELS]**
  - Estado límite último **[ELU]**
  - Carga accidental **[CA]**
- El presente documento pretende dar a conocer las condiciones de contorno utilizadas para el análisis así como los resultados obtenidos para los diferentes casos de carga propuestos por la norma

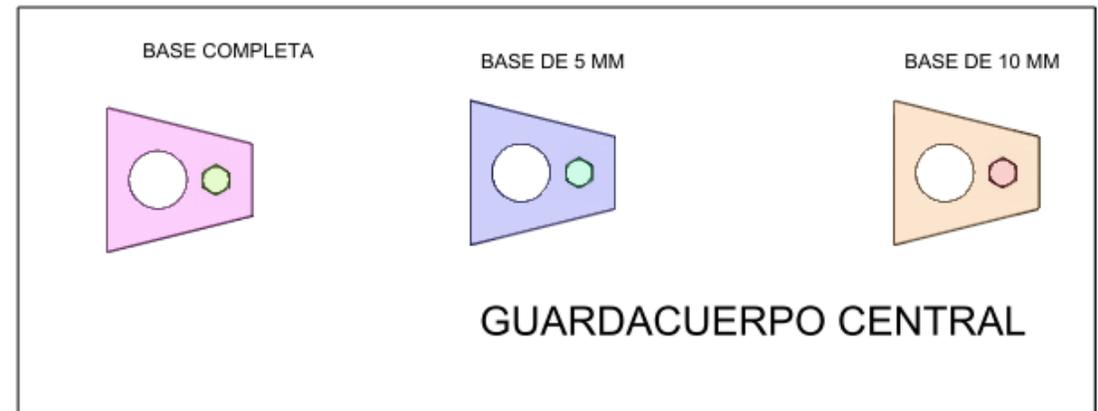
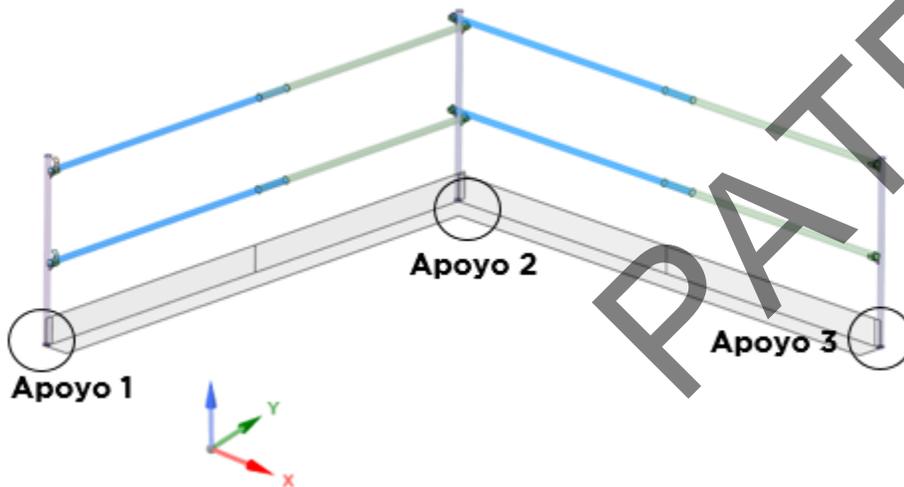
# Geometría



Modelo 3D Sistema Baranda

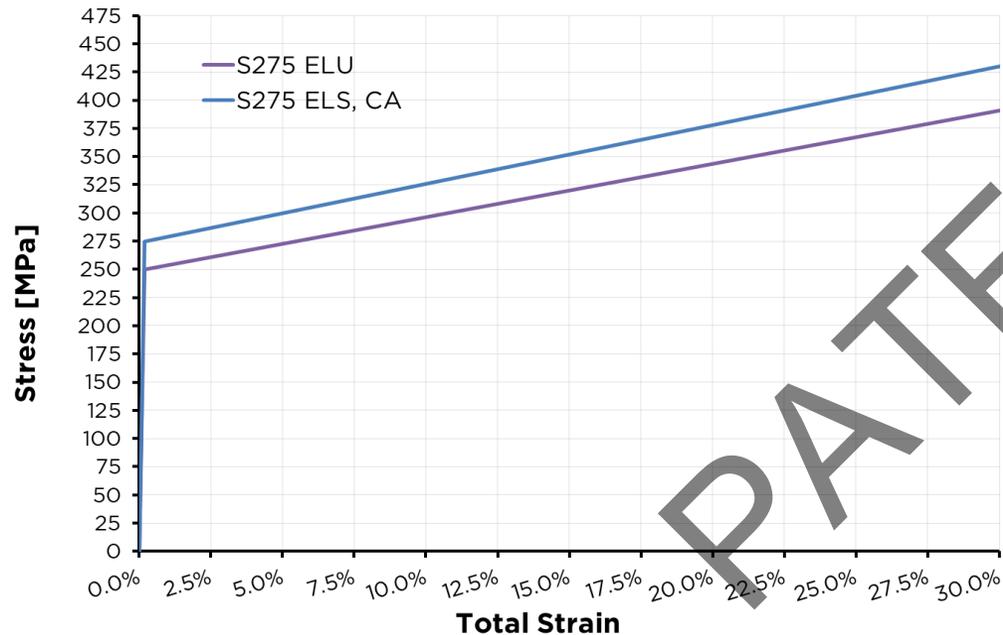
# Geometría

- Es necesario hacer la **evaluación de 3 bases distintas**, tal como se muestra en la figura de la derecha
- Los diferentes casos de carga han sido estudiados considerando la **base completa** (Ver diapositiva anterior)
- Una vez obtenidas las reacciones de **los casos de estado de límite último**, se procederá a analizar de manera local las otras bases (se analiza la base de 5mm por ser la más desfavorable) en cada uno de los apoyos (**Apoyo 1, 2, y 3**)



# Materiales

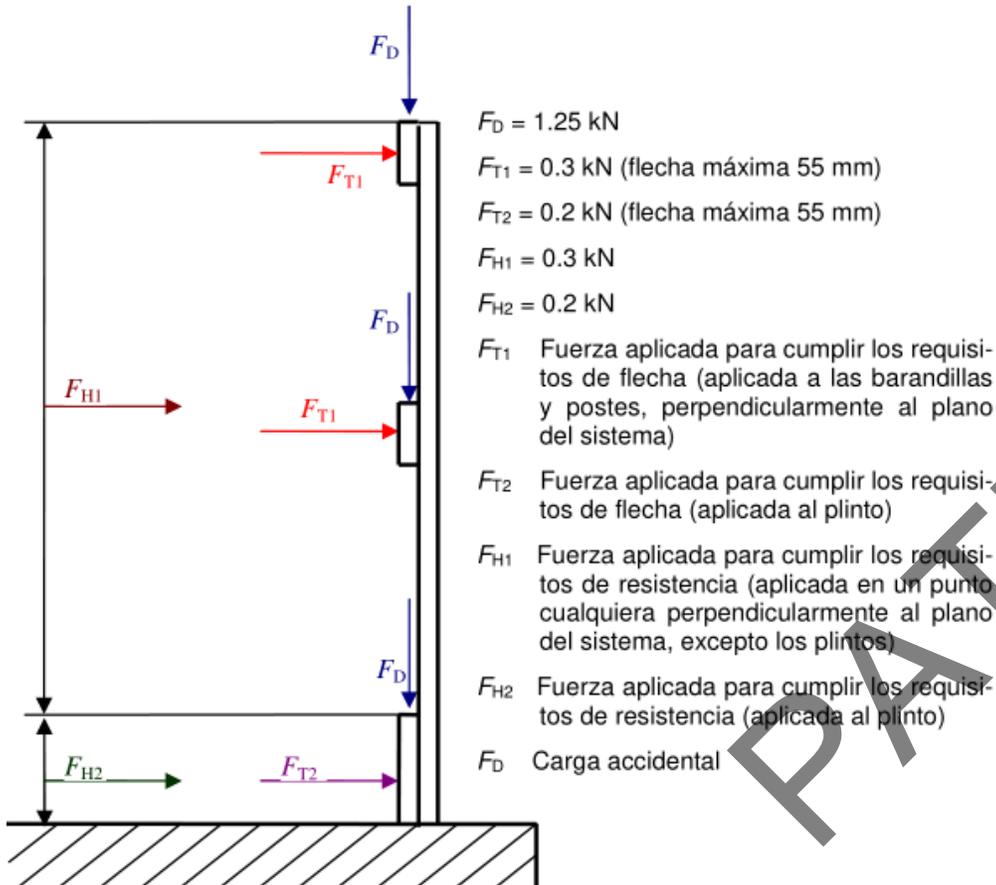
- El material utilizado para los diferentes análisis es el Acero S275 para todas las partes de la estructura
- Para los casos de **Estado de Servicio y Carga Accidental** el coeficiente de minoración del **límite elástico del material** es igual a **1**, mientras que para los casos de **Estado de límite último**, este valor es igual a **1.1**



|                               | S275 ELS, CA<br>[ $\gamma_M=1$ ] | S275 ELU<br>[ $\gamma_M=1.1$ ] |
|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Densidad [kg/m <sup>3</sup> ] | 7750                             | 7750                           |
| Módulo Young [MPa]            | 210000                           | 210000                         |
| Ratio Poisson                 | 0.3                              | 0.3                            |
| Yield stress $f_y$ [MPa]      | 275                              | 250                            |
| Ultimate stress $f_u$ [MPa]   | 430                              | 390                            |

## Propiedades material

## Casos de carga



$$F_D = 1.25 \text{ kN}$$

$$F_{T1} = 0.3 \text{ kN (flecha máxima 55 mm)}$$

$$F_{T2} = 0.2 \text{ kN (flecha máxima 55 mm)}$$

$$F_{H1} = 0.3 \text{ kN}$$

$$F_{H2} = 0.2 \text{ kN}$$

$F_{T1}$  Fuerza aplicada para cumplir los requisitos de flecha (aplicada a las barandillas y postes, perpendicularmente al plano del sistema)

$F_{T2}$  Fuerza aplicada para cumplir los requisitos de flecha (aplicada al plinto)

$F_{H1}$  Fuerza aplicada para cumplir los requisitos de resistencia (aplicada en un punto cualquiera perpendicularmente al plano del sistema, excepto los plintos)

$F_{H2}$  Fuerza aplicada para cumplir los requisitos de resistencia (aplicada al plinto)

$F_D$  Carga accidental

### • ELS [Estado límite de servicio]

Se aplican las fuerzas  $F_{T1}=0.3 \text{ kN}$  y  $F_{T2}=0.2 \text{ kN}$  en los puntos más desfavorables, es decir, en el centro de la barandilla [caso ELS1] y en uno de los postes [caso ELS2]. El criterio de aceptación es:

- Una deformación elástica máxima en el sistema  $\leq 55 \text{ mm}$

### • ELU [Estado límite último]

Para este cálculo se aplican unos coeficientes de mayoración de carga  $\gamma_F=1.5$  y un coeficiente de minoración del material  $\gamma_M=1.1$  [para metal dúctil]

Se aplican las fuerzas ya mayoradas  $F_{H1}=0.45 \text{ kN}$  y  $F_{H2}=0.3 \text{ kN}$  en los puntos más desfavorables, es decir, en el centro de la barandilla [caso ELU1] y en uno de los postes [caso ELU2]. El criterio de aceptación es:

- No llega a rotura tras aplicación de carga máxima
- Carga de rotura  $\geq 1.2$  carga máxima aplicada
- Deformación permanente  $\leq 0.1$  deformación elástica tras aplicación de carga máxima

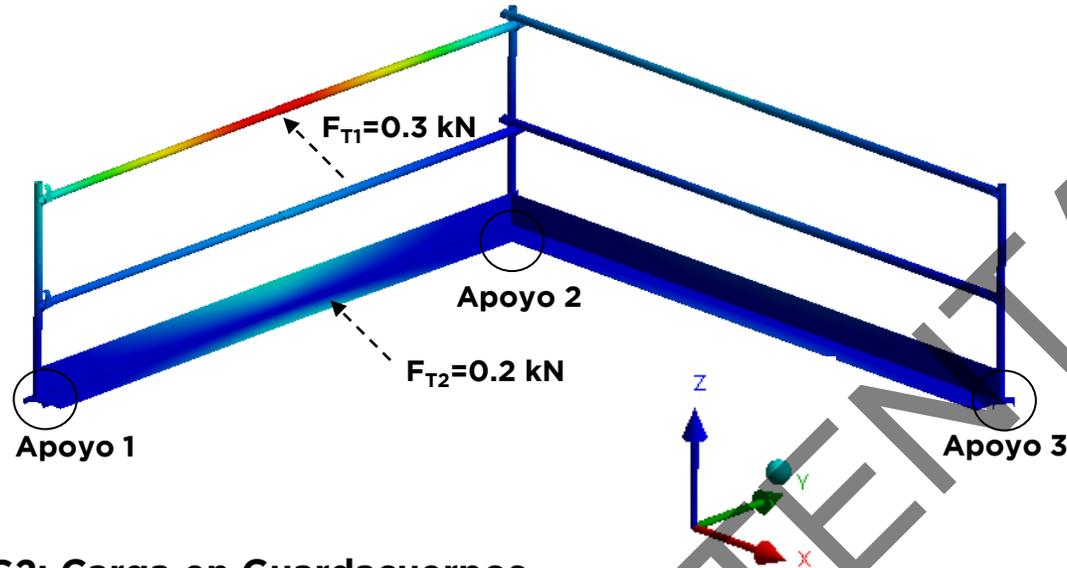
### • CA [Carga accidental]

Se aplican la fuerza vertical  $F_D=1.25 \text{ kN}$  en los puntos más desfavorables, es decir, en el centro de la barandilla [caso CA1] y en uno de los postes [caso CA2]. El criterio de aceptación es:

- No llega a rotura tras aplicación de carga máxima

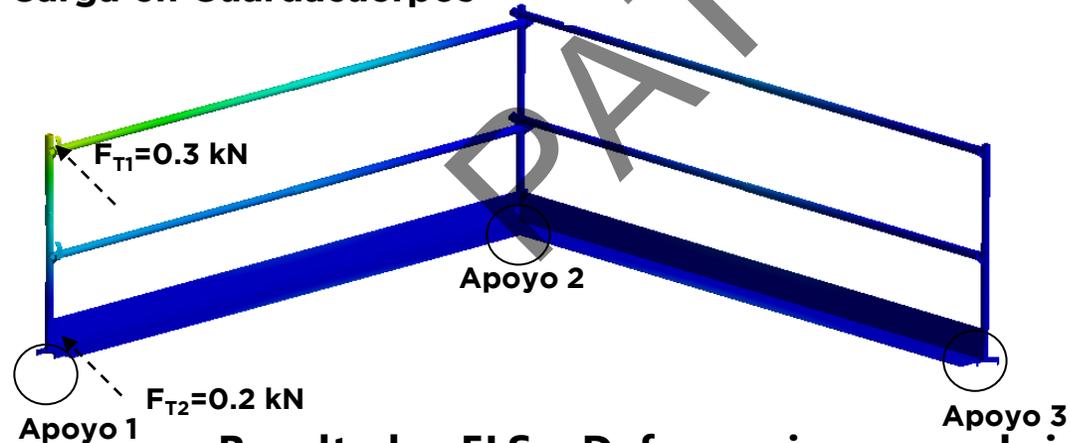
## Resultados ELS

### ELS1: Carga en el Centro de la Baranda



| CASO               | ELS1 | ELS2 |
|--------------------|------|------|
| Flecha máxima [mm] | 18.4 | 13.0 |
| Criterio [mm]      | 55   | 55   |
|                    | OK   | OK   |

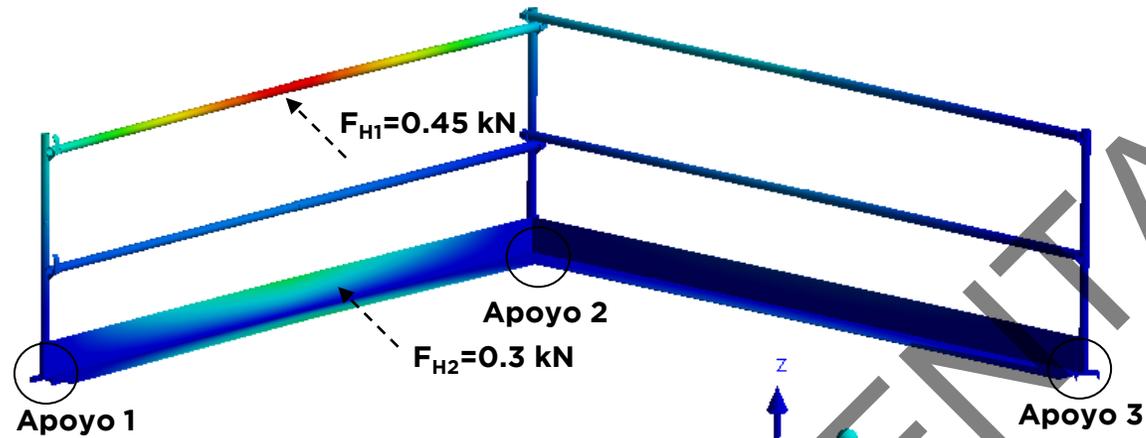
### ELS2: Carga en Guardacuerpos



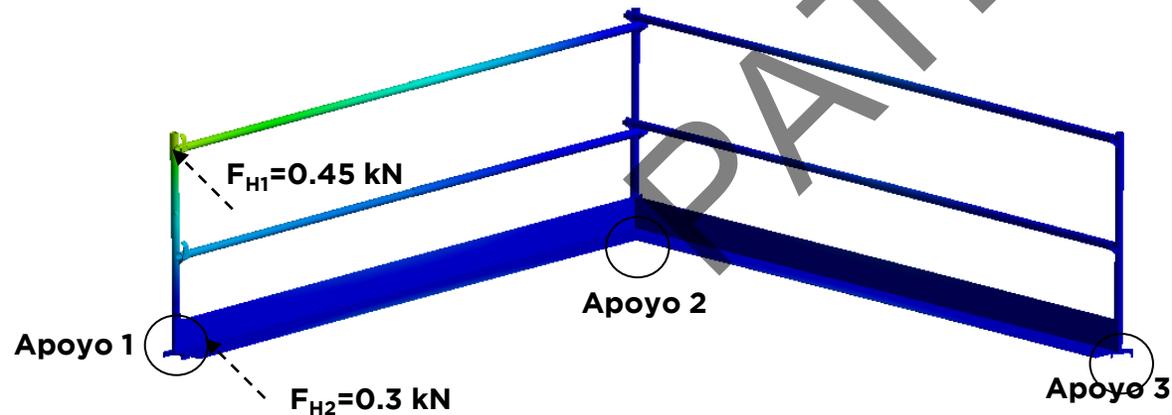
Resultados ELS – Deformaciones en el sistema [carga máxima]

## Resultados ELU

### ELU1: Carga en el Centro de la Baranda



### ELU2: Carga en Guardacuerpos



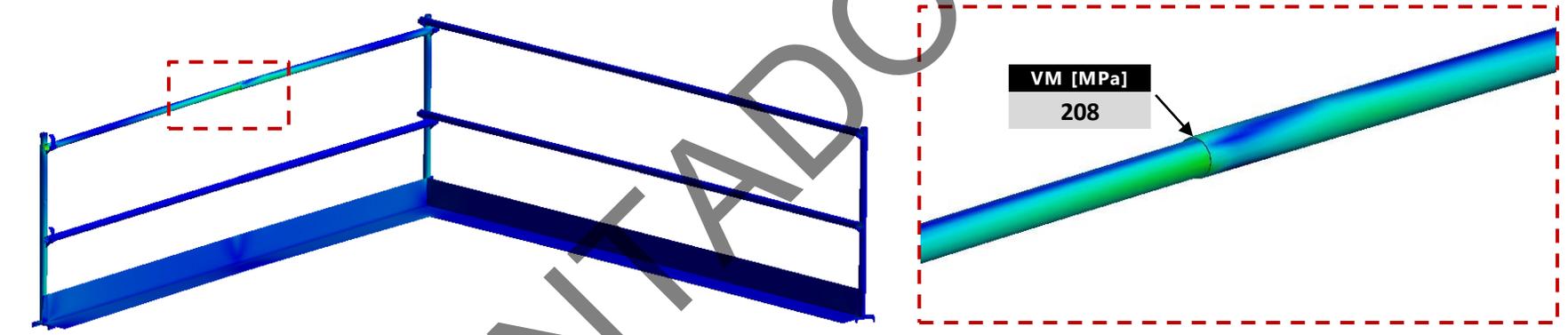
| CASO                                     | ELU1 | ELU2 |
|--|------|------|
| Flecha bajo carga máxima $\delta_2$ [mm] | 29.4 | 21.0 |
| Flecha remanente $\delta_3$ [mm]         | 0.0  | 0.0  |
| Criterio $\delta_3 / \delta_2$           | <10% | <10% |
|  | OK   | OK   |

Resultados ELU – Deformaciones en el sistema [carga máxima]

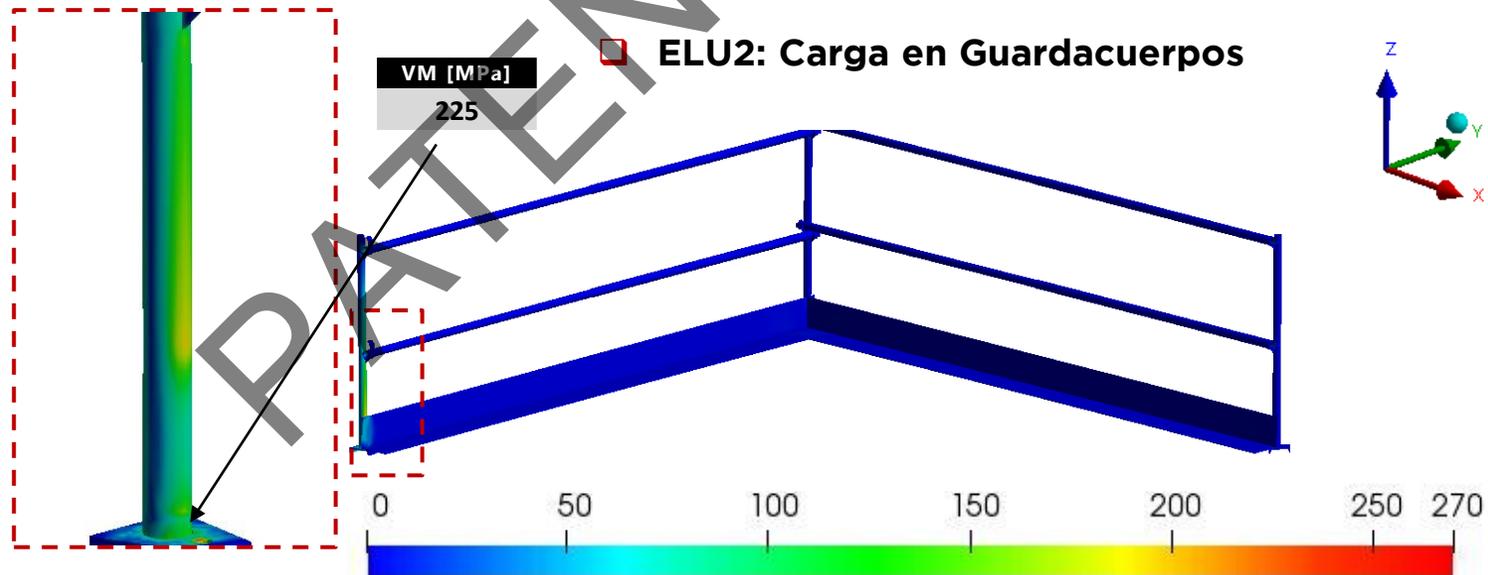
# Resultados ELU

| CASO                   | ELU1 | ELU2  |
|------------------------|------|-------|
| VM Stress Max [MPa]    | 208  | 225.0 |
| Plastic Strain Max [%] | 0.0  | 0.0   |
| Rotura                 | NO   | NO    |
|                        | OK   | OK    |

ELU1: Carga en el Centro de la Baranda



ELU2: Carga en Guardacuerpos

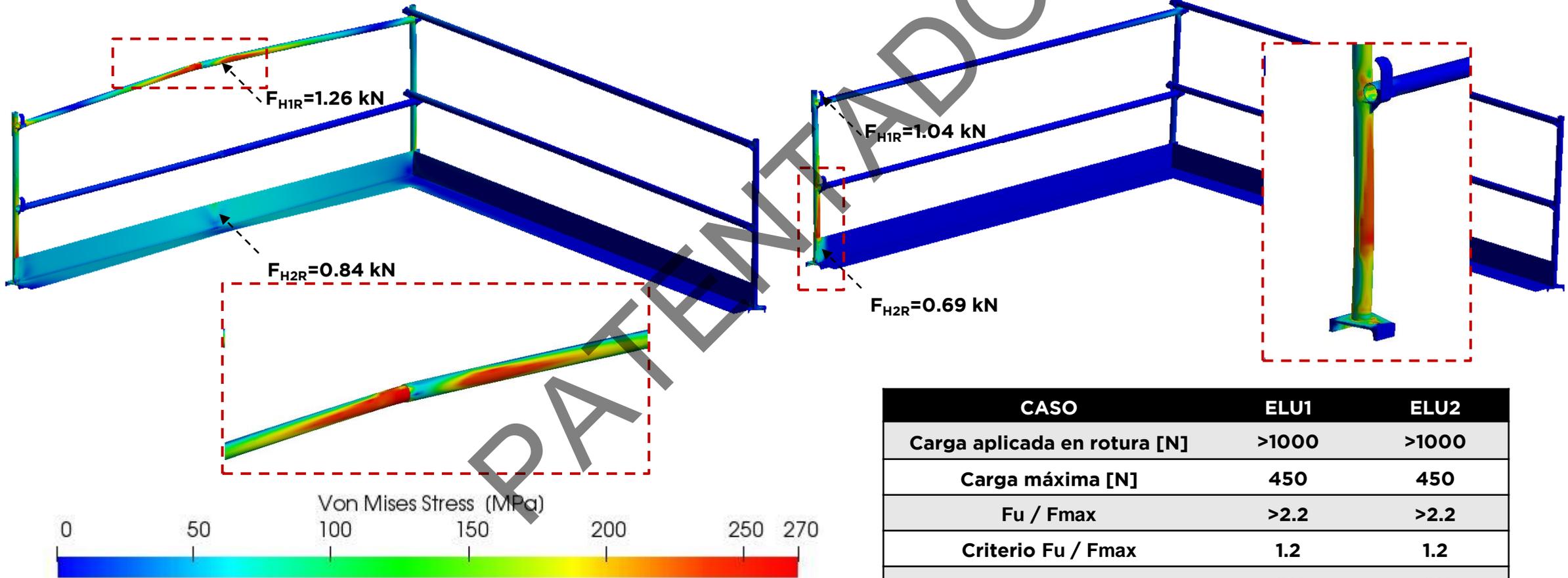


Resultados ELU – Tensiones en el sistema [carga máxima]

## Resultados ELU: Carga Límite

ELU1: Carga en el Centro de la Baranda

ELU2: Carga en Guardacuerpos

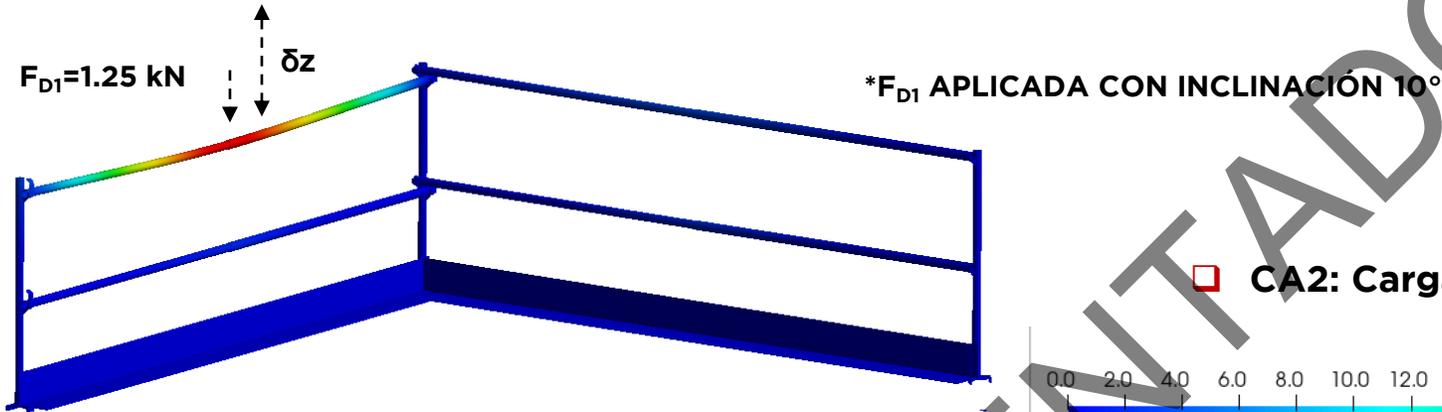


| CASO                         | ELU1  | ELU2  |
|------------------------------|-------|-------|
| Carga aplicada en rotura [N] | >1000 | >1000 |
| Carga máxima [N]             | 450   | 450   |
| Fu / Fmax                    | >2.2  | >2.2  |
| Criterio Fu / Fmax           | 1.2   | 1.2   |
|                              | OK    | OK    |

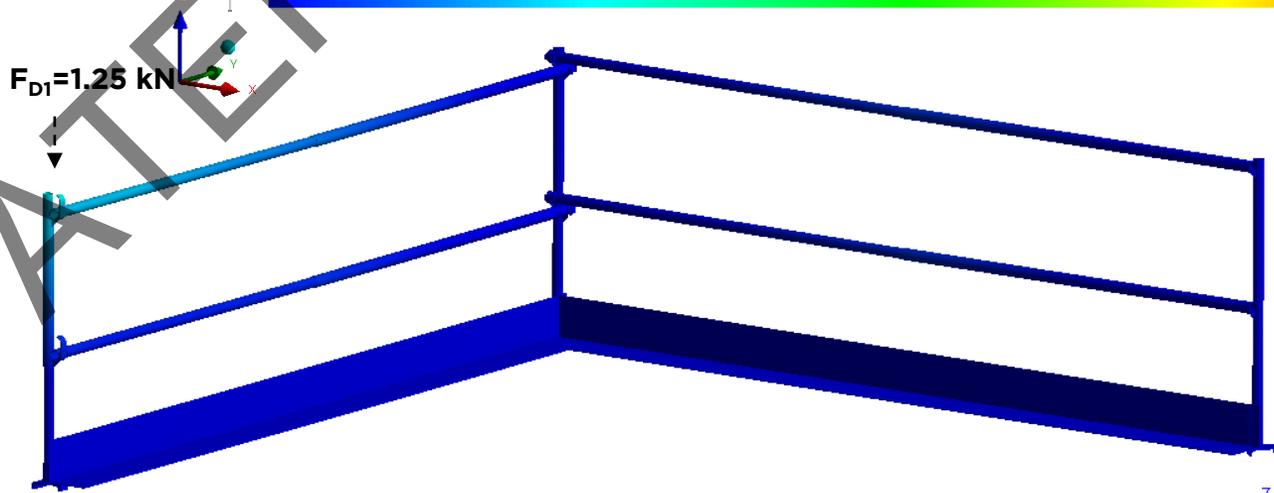
Resultados ELU – Tensiones en Estado de Carga Límite

# Resultados CA

□ CA1: Carga en el Centro de la Baranda



□ CA2: Carga en Guardacuerpos



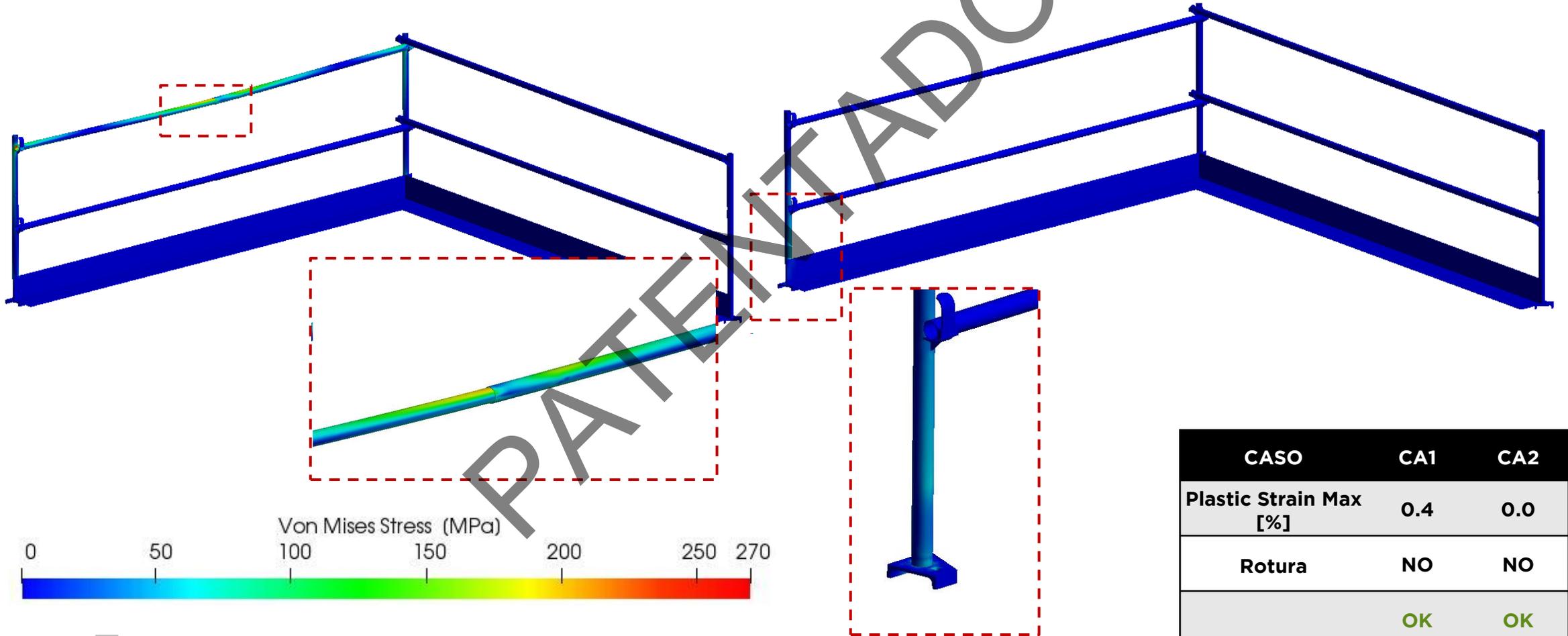
| CASO               | CA1  | CA2  |
|--------------------|------|------|
| Flecha máxima [mm] | 43.4 | 10.3 |
| $\delta z$ [mm]    | 41.8 | 3.4  |
| Rotura             | NO   | NO   |
|                    | OK   | OK   |

## Resultados CA – Deformaciones en el sistema

# Resultados CA

□ CA1: Carga en el Centro de la Baranda

□ CA2: Carga en Guardacuerpos

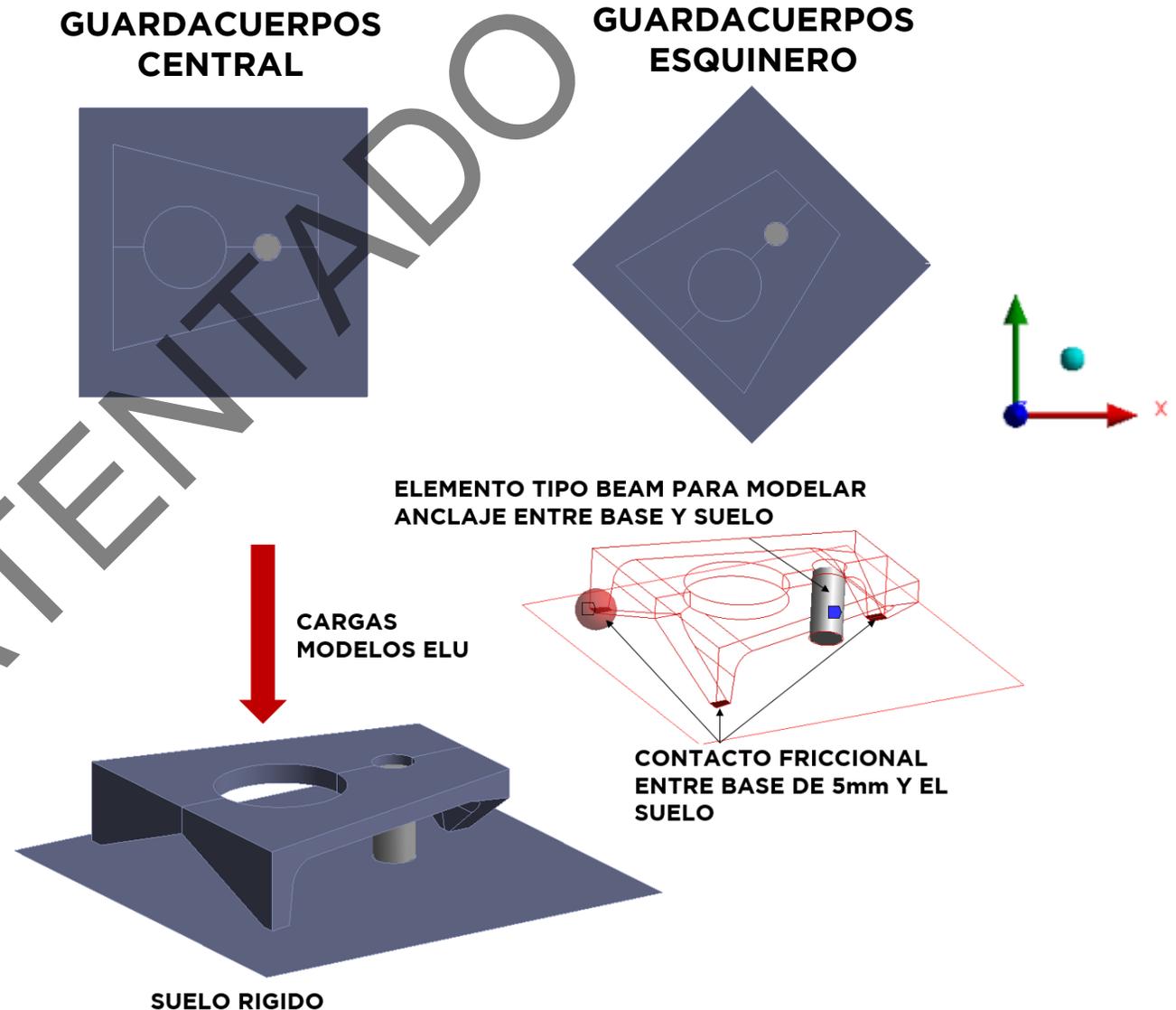


| CASO                   | CA1 | CA2 |
|------------------------|-----|-----|
| Plastic Strain Max [%] | 0.4 | 0.0 |
| Rotura                 | NO  | NO  |
|                        | OK  | OK  |

Resultados CA – Tensiones en el sistema

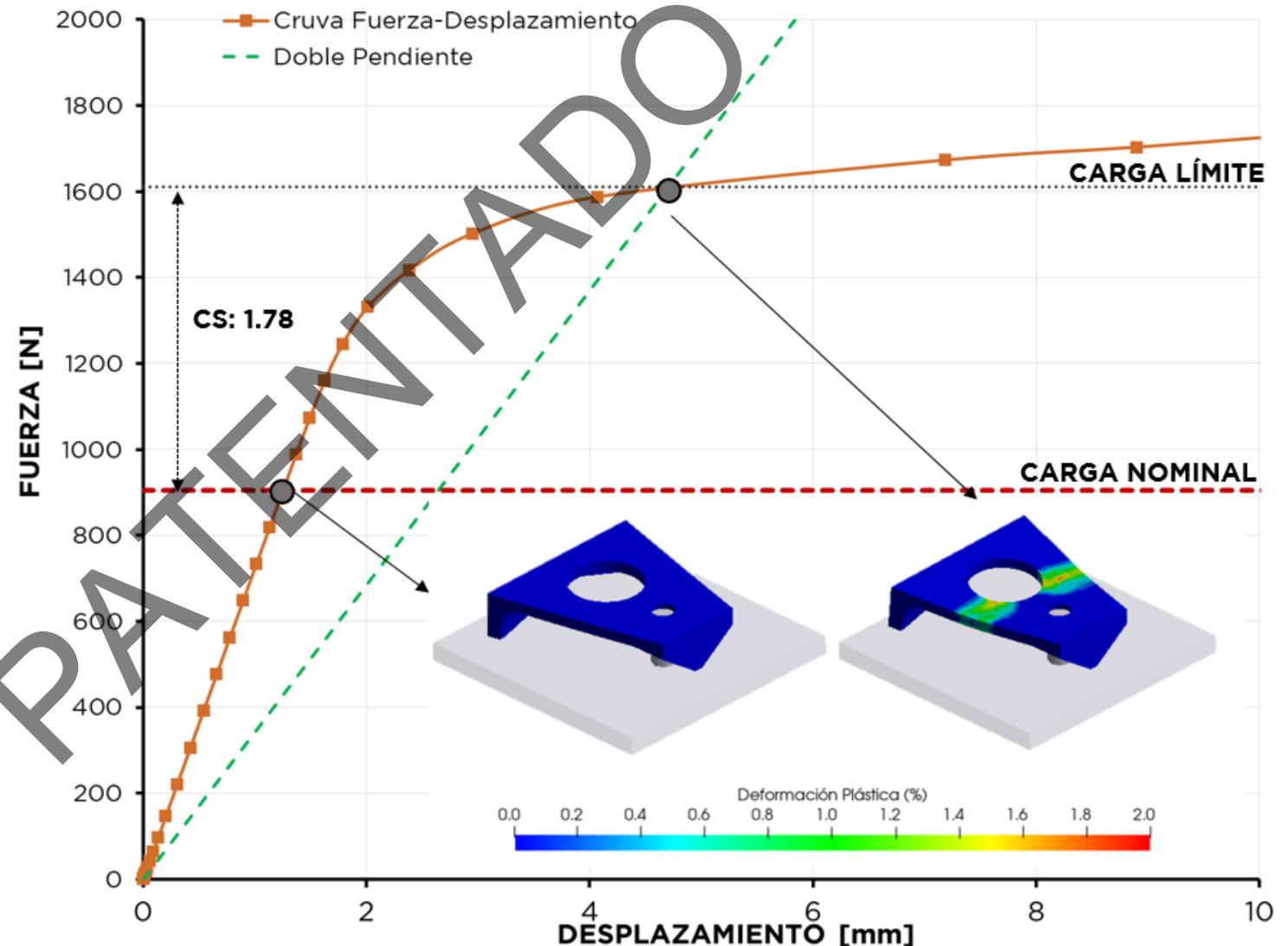
## Bases Baranda - Modelización

- Una vez llevados a cabo los cálculos relativos al estado de límite último (**ELU1 y ELU2**), en los cuales se ha considerado la base denominada como **base completa**, para los guardacuerpos central y esquinero, se procede a analizar de manera local el resto de bases requeridas por GALIGRU
- A partir de las reacciones obtenidas (fuerzas y momentos) en los diferentes apoyos (**Apoyo 1, 2 y 3**, respectivamente), para los dos casos de estado de límite último, se plantea un análisis local de la base en cuestión (**base de 5mm**, por ser la más desfavorable)
- Las condiciones de contorno utilizadas en el modelo local para el análisis de la base de la baranda se muestran en la figura de la derecha



## Bases Baranda - Resultados

- El escenario más crítico es el correspondiente a las reacciones obtenidas del caso **ELU 2** (Carga en guardacuerpos) actuando sobre el denominado **apoyo 1**
- A pesar de ser el escenario más crítico, la base de 5mm es capaz de aguantar la carga nominal en régimen elástico
- El colapso plástico, según el criterio de doble pendiente se da para una **carga de 1.78 veces mayor que para la carga nominal**

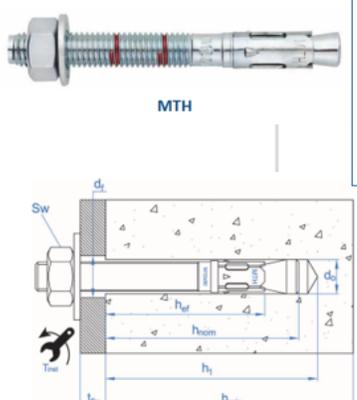


## Reacciones Pernos

- A partir de los cálculos **ELU1** y **ELU2**, se obtuvo la siguiente tabla de **esfuerzos de Tracción y Cortadura** para cada uno de los diferentes apoyos (**Apoyos 1, 2 y 3**)
- El mayor esfuerzo a **Tracción** tiene lugar en el **apoyo 2** del caso **ELU 1** con un valor de **0.55kN**
- El mayor esfuerzo a **Cortante** se da en el **apoyo 1** del caso **ELU 2** con un valor de **0.86 kN**
- Teniendo en cuenta estos valores y haciendo uso del catálogo proporcionado por GALIGRU <https://www.indexfix.com/> se procede a evaluar estas tensiones frente a las previstas por el catálogo para los pernos de tipo **Autoexpansivo (MTH)** y **Autotaladrante (TFE)**, respectivamente, ambos de **M12** según indicaciones

| ELU1         |         |         |              |         |         |
|--------------|---------|---------|--------------|---------|---------|
| Tracción (N) |         |         | Cortante (N) |         |         |
| Apoyo 1      | Apoyo 2 | Apoyo 3 | Apoyo 1      | Apoyo 2 | Apoyo 3 |
| 280          | 550     | 208     | 739          | 723     | 531     |
| ELU2         |         |         |              |         |         |
| Tracción (N) |         |         | Cortante (N) |         |         |
| Apoyo 1      | Apoyo 2 | Apoyo 3 | Apoyo 1      | Apoyo 2 | Apoyo 3 |
| 283          | 485     | 269     | 806          | 429     | 150     |

# Reacciones Pernos



**5.1 RESISTENCIAS CARACTERÍSTICAS [kN]**

| Parámetros generales |         |        |            | Profundidad de instalación estándar |                              | Profundidad de instalación reducida |                              |
|----------------------|---------|--------|------------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Familia              | Código  | Medida | Homologado | Tracción<br>N <sub>tk</sub>         | Cortadura<br>V <sub>tk</sub> | Tracción<br>N <sub>tk</sub>         | Cortadura<br>V <sub>tk</sub> |
| AH06050              | M6 x 60 |        | ✓          |                                     |                              |                                     |                              |
| AH06070              | M6 x 70 |        | ✓          |                                     |                              |                                     |                              |

| Parámetros generales |           |        |            | Profundidad de instalación estándar |                              | Profundidad de instalación reducida |                              |
|----------------------|-----------|--------|------------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Familia              | Código    | Medida | Homologado | Tracción<br>N <sub>tk</sub>         | Cortadura<br>V <sub>tk</sub> | Tracción<br>N <sub>tk</sub>         | Cortadura<br>V <sub>tk</sub> |
| AH12090              | M12 x 90  |        | ✓          | --                                  | --                           | 17,39                               | 17,39                        |
| AH12100              | M12 x 100 |        | ✓          |                                     |                              |                                     |                              |
| AH12110              | M12 x 110 |        | ✓          |                                     |                              |                                     |                              |
| AH12120              | M12 x 120 |        | ✓          |                                     |                              |                                     |                              |
| AH12130              | M12 x 130 |        | ✓          |                                     |                              |                                     |                              |
| AH12140              | M12 x 140 |        | ✓          | 25,78                               | 20,60                        | 17,39                               | 17,39                        |
| AH12160              | M12 x 160 |        | ✓          |                                     |                              |                                     |                              |
| AH12180              | M12 x 180 |        | ✓          |                                     |                              |                                     |                              |
| AH12200              | M12 x 200 |        | ✓          |                                     |                              |                                     |                              |
| AH12220              | M12 x 220 |        | ✓          |                                     |                              |                                     |                              |
| AH12250              | M12 x 250 |        | ✓          |                                     |                              |                                     |                              |

| Familia | Código    | Medida | Homologado | Tracción<br>N <sub>tk</sub> | Cortadura<br>V <sub>tk</sub> | Tracción<br>N <sub>tk</sub> | Cortadura<br>V <sub>tk</sub> |
|---------|-----------|--------|------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| AH10210 | M10 x 210 |        | ✓          |                             |                              |                             |                              |
| AH10230 | M10 x 230 |        | ✓          |                             |                              |                             |                              |
| AH12090 | M12 x 90  |        | ✓          | --                          | --                           | 17,39                       | 17,39                        |
| AH12100 | M12 x 100 |        | ✓          |                             |                              |                             |                              |
| AH12110 | M12 x 110 |        | ✓          |                             |                              |                             |                              |
| AH12120 | M12 x 120 |        | ✓          |                             |                              |                             |                              |
| AH12130 | M12 x 130 |        | ✓          |                             |                              |                             |                              |
| AH12140 | M12 x 140 |        | ✓          | 25,78                       | 20,60                        | 17,39                       | 17,39                        |
| AH12160 | M12 x 160 |        | ✓          |                             |                              |                             |                              |
| AH12180 | M12 x 180 |        | ✓          |                             |                              |                             |                              |
| AH12200 | M12 x 200 |        | ✓          |                             |                              |                             |                              |
| AH12220 | M12 x 220 |        | ✓          |                             |                              |                             |                              |
| AH12250 | M12 x 250 |        | ✓          |                             |                              |                             |                              |
| AH14145 | M14 x 145 |        | ✓          |                             |                              |                             |                              |
| AH14170 | M14 x 170 |        | ✓          | 31,95                       | 28,10                        |                             |                              |
| AH14220 | M14 x 220 |        | ✓          |                             |                              |                             |                              |
| AH14250 | M14 x 250 |        | ✓          |                             |                              |                             |                              |

- La figura de la izquierda muestra las resistencias a tracción y cortante para los pernos de tipo **autoexpansivos (MTH) de M12** dados por el catálogo

La tabla expuesta debajo muestra la comparativa entre los valores de esfuerzos obtenidos a partir del modelo FEA y el valor dado por el catálogo

- El **resultado es favorable** ya que se cumple el criterio de que los esfuerzos combinados de tensión y cortante sean inferiores a 1

|      | MÉTRICA PERNO | MODELO FEA             |                        | VALOR CATÁLOGO: AUTOEXPANSIVO MTH |                        | Combined |      |
|------|---------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------|----------|------|
|      |               | F <sub>T,Ed</sub> [kN] | F <sub>V,Ed</sub> [kN] | F <sub>V,Rd</sub> [kN]            | F <sub>t,Rd</sub> [kN] |          |      |
| ELU1 | Apoyo 1       | M12                    | 0,28                   | 0,74                              | 17,39                  | 17,39    | 0,05 |
|      | Apoyo 2       | M12                    | 0,55                   | 0,72                              | 17,39                  | 17,39    | 0,06 |
|      | Apoyo 3       | M12                    | 0,21                   | 0,53                              | 17,39                  | 17,39    | 0,04 |
| ELU2 | Apoyo 1       | M12                    | 0,28                   | 0,81                              | 17,39                  | 17,39    | 0,06 |
|      | Apoyo 2       | M12                    | 0,49                   | 0,43                              | 17,39                  | 17,39    | 0,04 |
|      | Apoyo 3       | M12                    | 0,27                   | 0,15                              | 17,39                  | 17,39    | 0,02 |



## Conclusiones

- Se estudió el sistema de baranda perimetral de GALIGRU para las cargas detalladas en el estándar **EN-13374**
- En cuanto a los cálculos **ELS**, la **flecha máxima fue 18 mm**, por debajo de los 55 mm de límite en la norma, por lo que se considera un **resultado satisfactorio**
- En cuanto a los cálculos **ELU**:
  - La **flecha remanente máxima fue 1%**, por debajo del 10% de límite en la norma
  - **No se alcanzó rotura** tras la aplicación de la carga máxima
  - La **carga de rotura fue mayor a 2.2 veces la carga máxima**, mejor que el 1.2 de mínimo en la norma por lo que se considera un **resultado satisfactorio**
- En cuanto a los cálculos **CA**, **no se alcanzó la rotura** tras aplicar la carga accidental, por tanto el **resultado es satisfactorio**
- Los **pernos de M12** de los tipos **MTH** y **TFE** son suficientes para soportar las cargas en estado de límite último