



SERVICIOS DE INGENIERÍA

SIMULACIÓN ESTRUCTURAL DE SISTEMA PROVISORIO DE PROTECCION DE BORDE SPB02

INFORME DE RESULTADOS

1	12/06/2024	REVISIÓN FINAL	CCC	RMA	RMA	LFS
0	24/04/2024	REVISIÓN FINAL	CCC	RMA	RMA	LFS
B	04/04/2024	REVISIÓN DE CLIENTE	CCC	RMA	RMA	LFS
A	04/04/2024	REVISIÓN INTERNA	CCC	RMA	RMA	-
Revisión	Fecha	EMITIDO PARA	Preparó	Revisó	Aprobó	Revisión Cliente
GLG-004 Nº DE PROYECTO		PRECISIONLABS		PLABS-GLG-004 Nº de Documento		

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	OBJETIVOS.....	2
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3.	ALCANCES.....	2
4.	METODOLOGÍA.....	3
4.1	CASOS DE CARGA.....	3
4.2	MATERIAL.....	7
4.3	DISCRETIZACIÓN.....	8
5.	RESULTADOS.....	9
5.1	RESUMEN DE RESULTADOS – CLASE A.....	9
5.2	RESUMEN DE RESULTADOS – CLASE B.....	11
5.3	RESUMEN DE RESULTADOS – CLASE C.....	12
5.4	VERIFICACIÓN DE CONDICIONES DE ANCLAJE.....	13
6.	CONCLUSIONES.....	15
7.	REFERENCIAS.....	15

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción se encuentra en una constante búsqueda de aumento en niveles de seguridad durante sus procesos, por ende, los proveedores de sistemas de seguridad se enfrentan a un desafío constante en optimizar sus diseños.

En este marco, GALIGRU, se encuentra diseñando un sistema provisional de protección de borde. Debido a la alta exigencia y complejidad de la problemática se enfocan recursos en estudios de simulación estructural avanzados.

Dado lo anterior, se ha solicitado a PRECISIONLABS realizar un estudio para identificar las zonas críticas del sistema de protección pudiendo asegurar así su integridad estructural bajo las condiciones de diseño.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la distribución de esfuerzo y deformaciones mediante una simulación estructural del sistema provisional de protección de borde SPB02, para los distintos escenarios planteados en la norma UNE-EN 13374.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

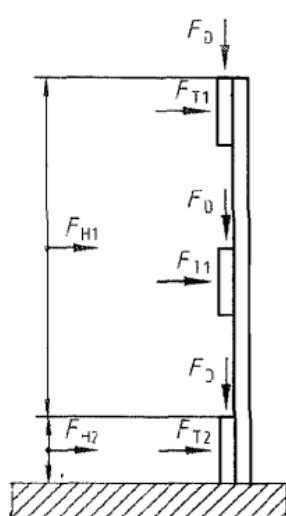
- Obtener un perfil que permita que el sistema sea autónomo sin intervención en el encofrado, considerando las limitaciones de deformación y esfuerzos de la estructura, dadas por las normas especializadas.

3. ALCANCES

El alcance del estudio comprende principalmente la identificación de zonas que estén sometidas a esfuerzos y deformaciones fuera de lo permisible mediante un análisis de elementos finitos (FEA) en un sistema de protección e borde. Para determinar estos esfuerzos y deformaciones, se estudia el sistema bajo distintas condiciones de trabajo, las cuales son consideradas en la norma UNE-EN 13374.

4. METODOLOGÍA

El estudio considera el análisis estructural de los escenarios descritos para protecciones de borde clase A, llamados Estado Límite de Servicio (ELS), Estado Limite Ultimo (ELU), Carga Accidental (CA) y Fuerzas debidas al Viento (FV). Además, se consideran los casos de carga para protecciones de borde clase B y C.



Leyenda

$F_D =$	1,25 kN
$F_{T1} =$	0,3 kN (flecha máxima 55 mm)
$F_{T2} =$	0,2 kN (flecha máxima 55 mm)
$F_{H1} =$	0,3 kN
$F_{H2} =$	0,3 kN
F_{T1}	Fuerza aplicada para cumplir los requisitos de flecha (aplicada a las barandillas y postes, perpendicularmente al plano de 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

Figura 4.1, Esquema de cargas perpendiculares, horizontales y verticales [UNE-EN 13374].

4.1 CASOS DE CARGA

En consideración de la norma UNE-EN 13374, protección de borde clase A, se establecen los siguientes casos de carga (ver Figura 4.1):

- ELS aplicando las fuerzas respectivas en un poste extremo, poste central, baranda central o baranda extremo. Esto a modo de encontrar el escenario más desfavorable.
- ELU aplicando las fuerzas respectivas en un poste extremo, poste central, baranda central o baranda extremo. Esto a modo de encontrar el escenario más desfavorable.
- CA aplicando las fuerzas respectivas en un poste extremo, poste central, baranda central o baranda extremo. Esto a modo de encontrar el escenario más desfavorable.
- FV aplicando las fuerzas respectivas todos los elementos estructurales.
- Combinación de cargas considerando los casos ELU y FV de acuerdo a la norma.

Además, se considera una inclinación de 15° del soporte con respecto a la vertical, siendo este un escenario límite de inclinación para sistemas de protección de borde clase A.

Los resultados de todas las configuraciones de carga se muestran en la Sección 5.

Las diferentes combinaciones de carga se muestran esquemáticamente en las Figuras 4.2 a 4.6.

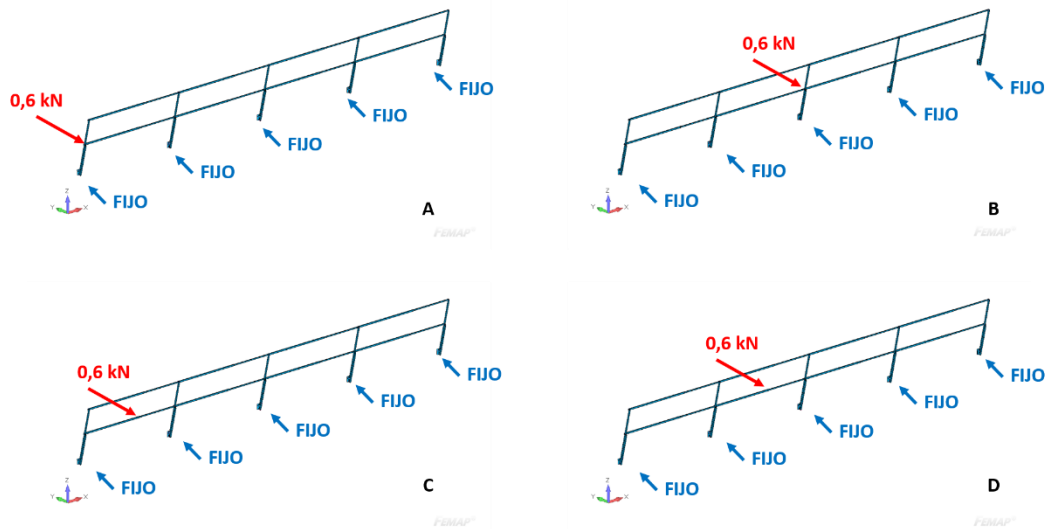


Figura 4.2, Esquema de sistema de cargas para caso ELS.

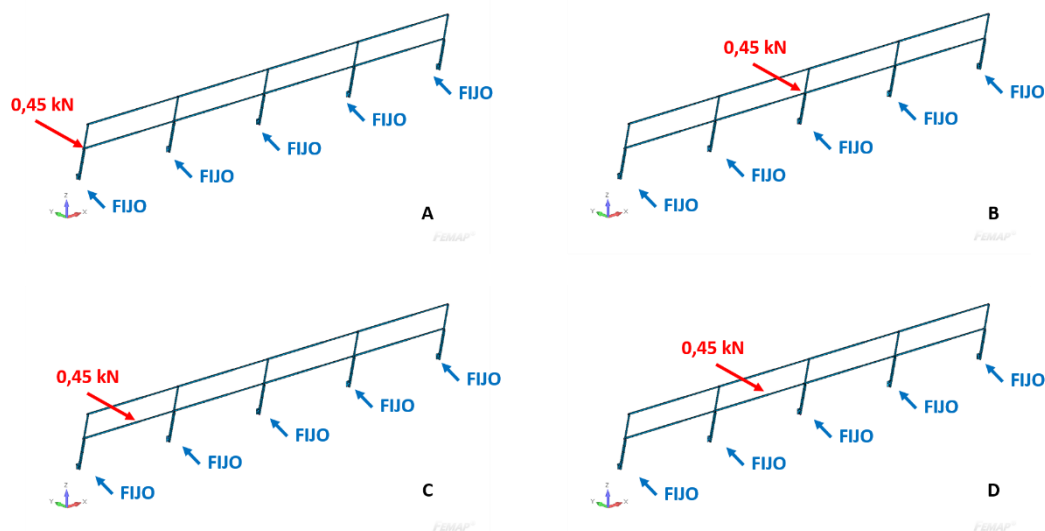


Figura 4.3, Esquema de sistema de cargas para caso ELU.

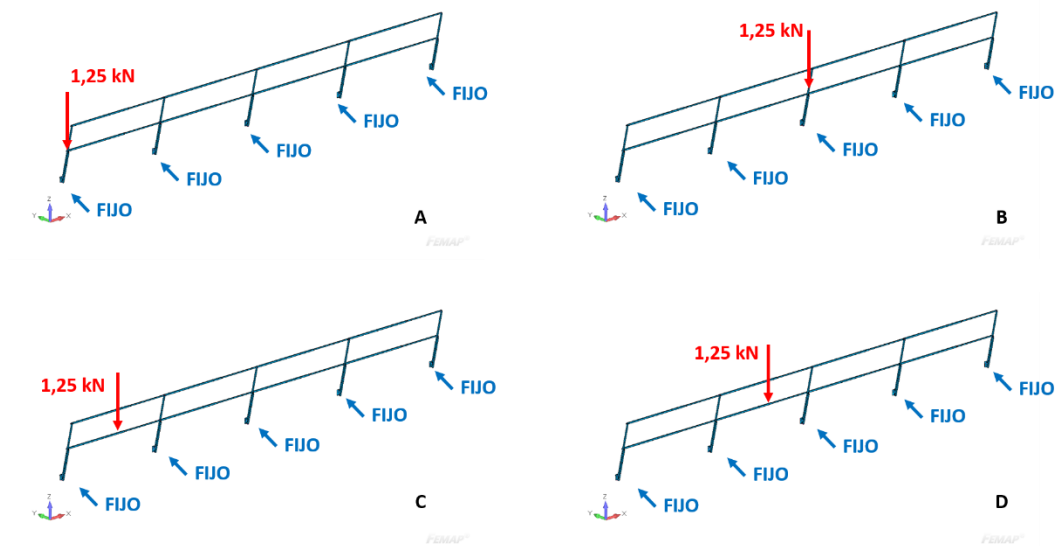


Figura 4.4, Esquema de sistema de cargas para caso CA.

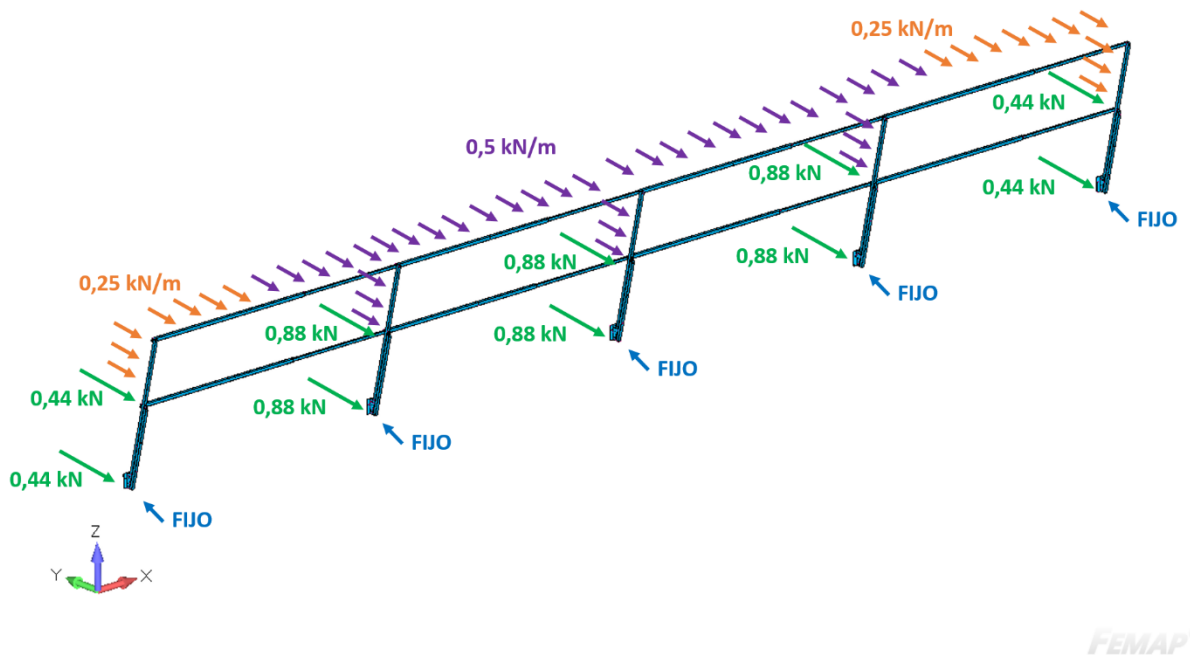


Figura 4.5, Esquema de sistema de cargas para caso fuerza de viento.

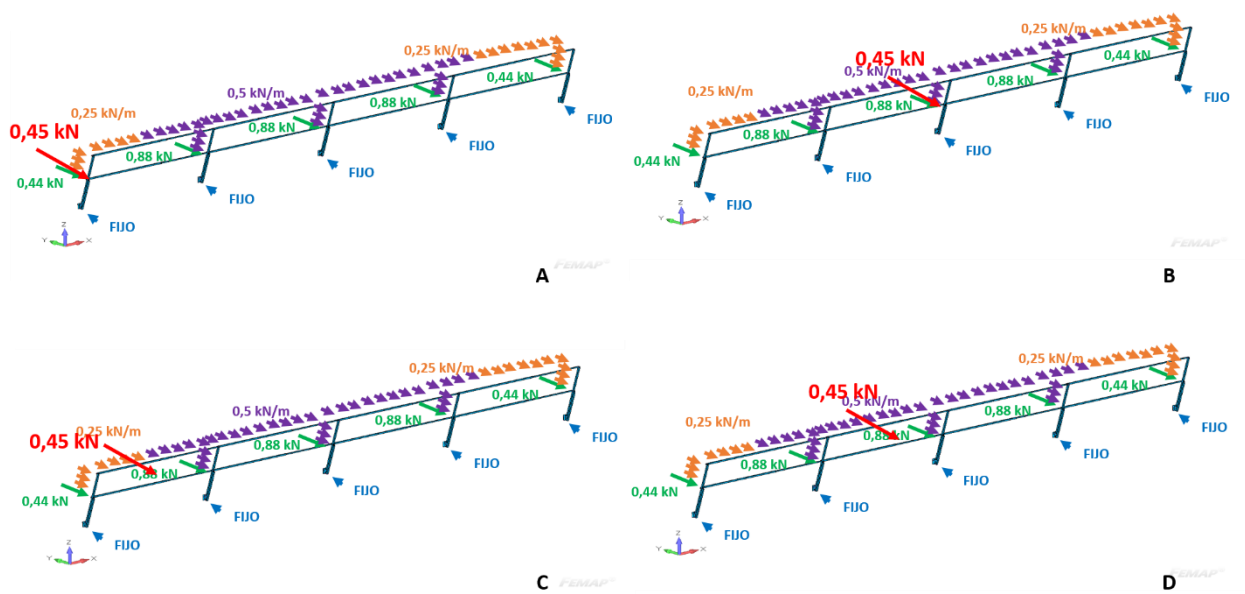


Figura 4.6, Esquema de sistema de cargas para caso de combinación de cargas.

Las cargas de viento fueron calculadas a partir de la norma UNE-EN 13374, que en su apartado 6.3.3, indica la evaluación de fuerzas debidas al viento. Esto considera una presión de viento igual a 0.6 kN/m² cuando se evalúa solo este escenario (UNE-EN 13374 apartado 6.3.3.2). En cambio, cuando se considera el viento en un escenario de fuerzas combinadas, esta presión debe considerarse igual a 0.2 kN/m² (UNE-EN 13374 apartado 6.3.4).

6.3.3.2 Evaluación de las fuerzas debidas al viento. Las fuerzas debidas al viento, F_w , deben calcularse suponiendo que la presión del viento se ejerce sobre una superficie efectiva del sistema de protección de borde, no teniendo en cuenta los apantallamientos. Se debe determinar como sigue:

$$F_w = \sum (c_{f,i} \cdot q_i \cdot A_i)$$

donde

F_w es la resultante de las fuerzas debidas al viento;

$c_{f,i}$ es el coeficiente de fuerza aerodinámico para los componentes i de la protección de borde (c_m puede ser utilizado sin corrección);

c_m es el coeficiente de fuerza de un componente con esbeltez infinita;

q_i es la presión del viento actuando sobre los componentes i y debe tomarse igual a 0,6 kN/m²;

A_i es el área de referencia de los componentes de la protección de borde.

UNE-EN 13374 apartado 6.3.3.2

6.3.4 Combinaciones de cargas. Las combinaciones de cargas, comprenden los tipos de carga siguientes y deben establecerse para:

- Las cargas horizontales de acuerdo con el apartado 6.3.1;
- La carga debida al viento de acuerdo con el apartado 6.3.3, donde q_i puede tomarse como igual a $0,2 \text{ kN/m}^2$.

Sólo debe considerarse el estado límite último.

UNE-EN 13374 apartado 6.3.4

Además, se consideró la superficie cubierta por la malla utilizada en el sistema de seguridad con una permeabilidad del 69%, lo que afecta directamente al cálculo de fuerzas efectivas de viento sobre la estructura.

Para el caso de protección de borde clase B, se considera el ensayo dinámico especificado en el apartado 7.5.2.1 de la norma UNE-EN 13374, estableciendo como condición que la estructura debe poder absorber una energía cinética de 1100 J en cualquier sitio a lo largo de la protección (a una altura menor a 200 mm por encima de la superficie de trabajo). Más aún, el sistema de protección debe poder absorber una energía cinética de 500 J, en todas las partes a alturas superiores a los 200 mm. Cabe señalar que el sistema no necesita estar en condiciones de ser utilizado despues del ensayo, como se menciona en el apartado 6.4.2 de la norma UNE-EN 13374.

Finalmente, para el caso de protección de borde clase C, el sistema debe poder absorber una energía cinética de 2200 J en cualquier sitio a lo largo de la protección, a una altura de 200 mm por encima de la superficie de trabajo. Este ensayo dinámico debe se realiza de acuerdo al apartado 7.5.2.2 de la norma UNE-EN 13374. En este caso, el impactador no debe pasar a través de la protección de borde y la flecha mínima entre los postes debe ser de 200 mm, en el momento que esta energía haya sido absorbida. Cabe señalar que el sistema no necesita estar en condiciones de ser utilizado despues del ensayo, como se menciona en el apartado 6.4.3 de la norma UNE-EN 13374.

4.2 MATERIAL

Las vigas se consideran como construidas con perfiles de acero ASTM A-36. En la Tabla 4.1 se indican las propiedades mecánicas del material utilizado.

Tabla 4.1 Propiedades mecánicas

Propiedad	Unidad	ASTM A36
Esfuerzo de ruptura	[MPa]	400*
Esfuerzo de fluencia	[MPa]	250

Propiedad	Unidad	ASTM A36
Módulo de elasticidad	[GPa]	200
Módulo de Poisson	[-]	0.3

(*) Se considera el menor valor dentro del rango declarado por los proveedores de acero, siendo este es el caso más desfavorable.

4.3 DISCRETIZACIÓN

En las Figuras 4.2 y 4.3 se muestra la discretización de la geometría utilizado para la resolución del modelo numérico.

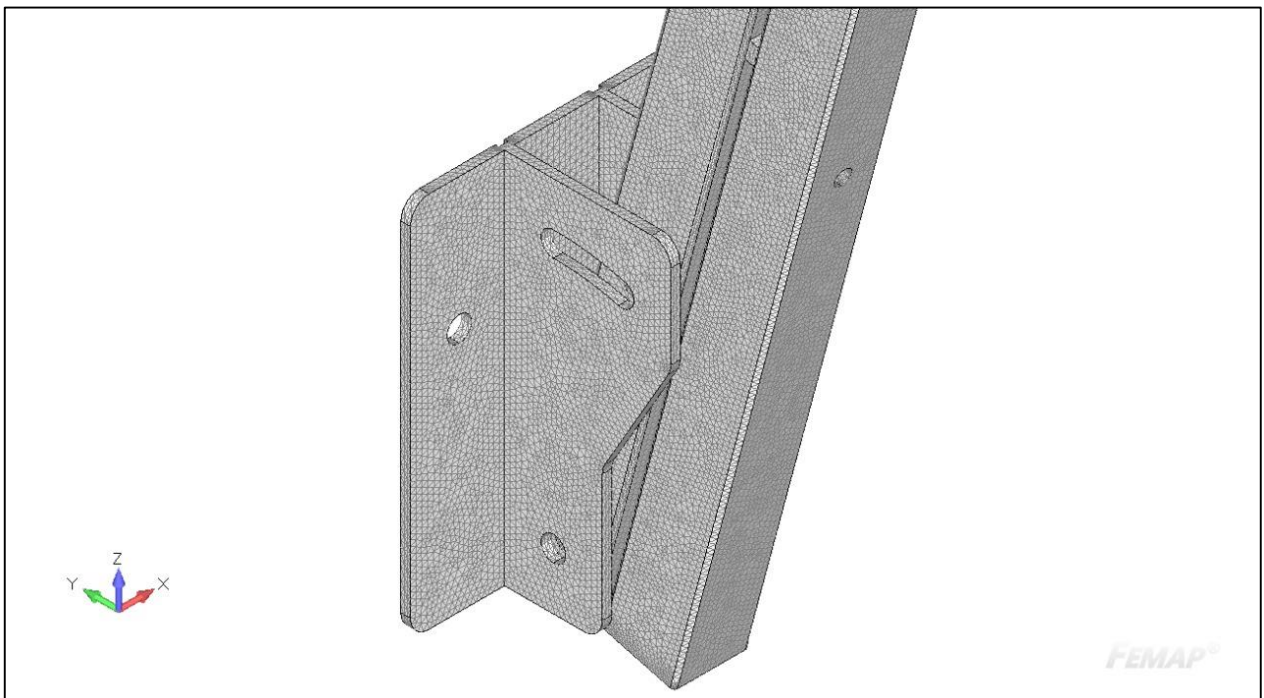


Figura 4.2, Detalle de discretización.

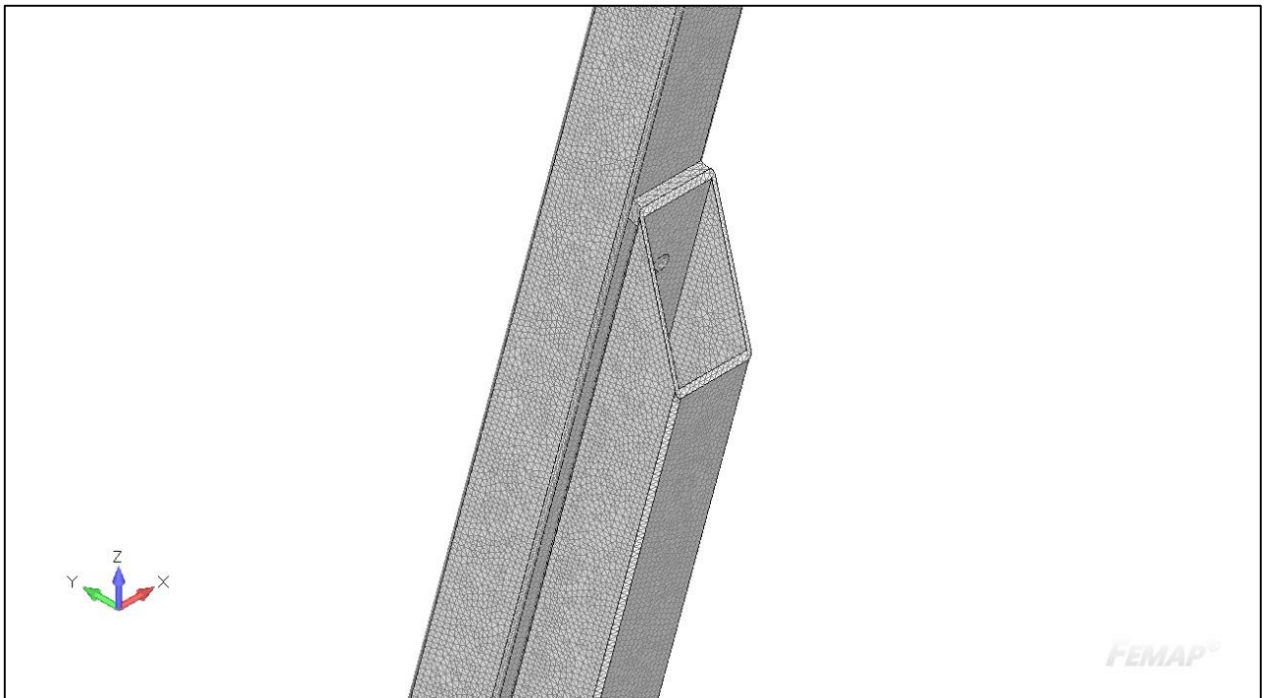


Figura 4.3, Detalle de discretización.

Se buscó la mejor relación entre tiempo de cálculo y precisión de resultados de esfuerzos y deformaciones.

5. RESULTADOS

Debido a la cantidad de componentes, casos de carga y tipos de resultados, se decide presentar sólo los más relevantes para cada caso. Más aún, se presenta una tabla resumen con los valores máximos de deformación y esfuerzo para cada caso de carga analizado.

5.1 RESUMEN DE RESULTADOS – CLASE A

La Tabla 5.1 presenta el resumen de resultados de esfuerzos máximos y desplazamientos máximos alcanzados más relevantes, desde un punto de vista de criticidad estructural para el sistema de protección de borde clase A.

Cabe señalar que, en todos los casos de carga analizados bajo estas condiciones, nunca se superaron los 55 mm de flecha establecidos como críticos por la norma (caso de carga ELS).

Tabla 5.1: Resumen de resultados estructurales

CASO DE CARGA		ESFUERZO DE VON MISES [MPa]	DESPLAZAMIENTO [mm]	FACTOR DE SEGURIDAD A LA FLUENCIA	FACTOR DE SEGURIDAD A LA RUPTURA
ELS	A	103.82	7.06	2.4	3.9
	B	104.83	7.21	2.4	3.8
	C	132.82	39.37	1.9	3.0
	D	132.34	37.89	1.9	3.0
ELU	A	74.08	5.23	3.4	5.4
	B	76.39	5.52	3.3	5.2
	C	121.18	29.85	2.1	3.3
	D	120.67	28.68	2.1	3.3
CA	A	44.19	3.43	5.7	9.1
	B	46.09	3.46	5.4	8.7
	C	264.00	33.67	0.9	1.5
	D	261.50	32.64	1.0	1.5
FV		188.91	24.05	1.3	2.1
COMBINACIÓN DE CARGAS	A	62.88	7.99	4.0	6.4
	B	86.76	3.59	2.9	4.6
	C	114.30	2.22	2.2	3.5
	D	110.59	1.46	2.3	3.6

Para el caso más desfavorable respecto a la resistencia del sistema, se muestra la distribución del esfuerzo equivalente de Von Mises en la Figura 5.1. Aquí se observa como los valores de esfuerzo están por debajo del esfuerzo de fluencia del material de construcción del sistema.

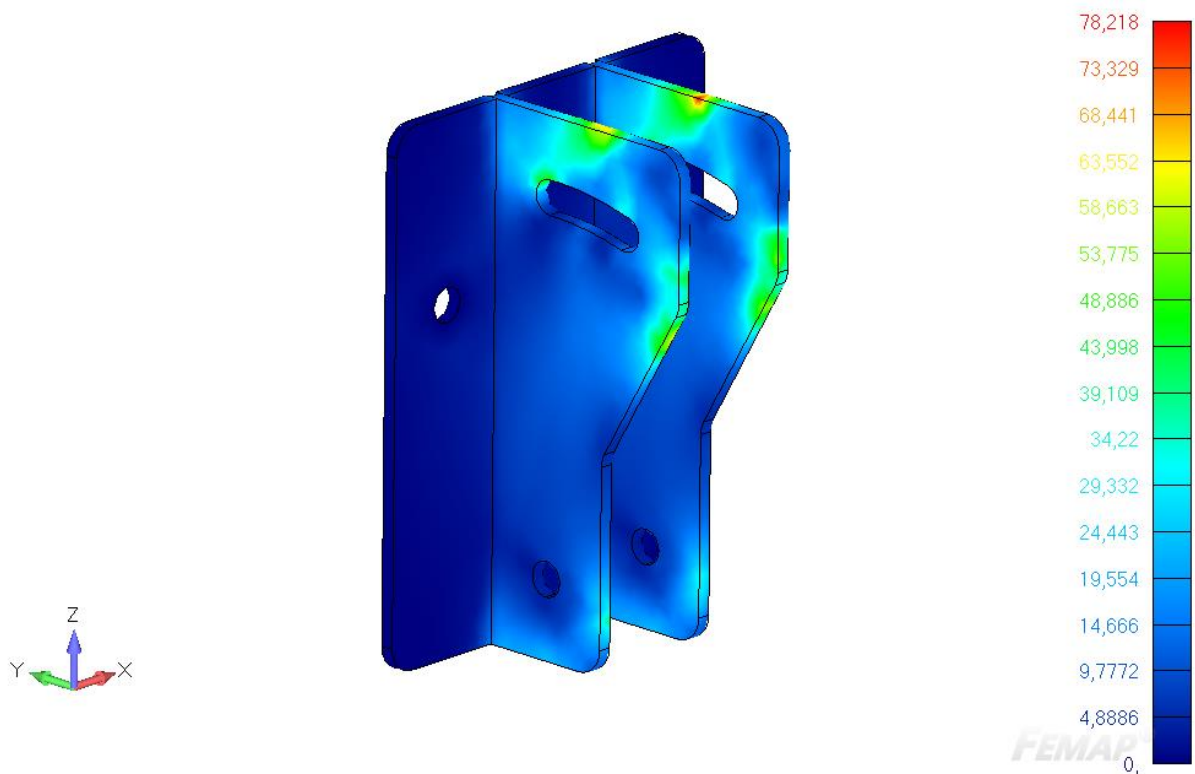


Figura 5.1, Distribución de esfuerzo de Von Mises (MPa).

5.2 RESUMEN DE RESULTADOS – CLASE B

Para este caso, se evalúa la integridad estructural del sistema de protección frente a un impacto, considerando diferentes niveles de energía cinética y posiciones de impacto a lo largo y alto de la estructura. El caso más desfavorable, produce un esfuerzo máximo en la base de los postes intermedios, alcanzando un valor de esfuerzo máximo igual a 102.86 MPa, al momento de la absorción de la energía.

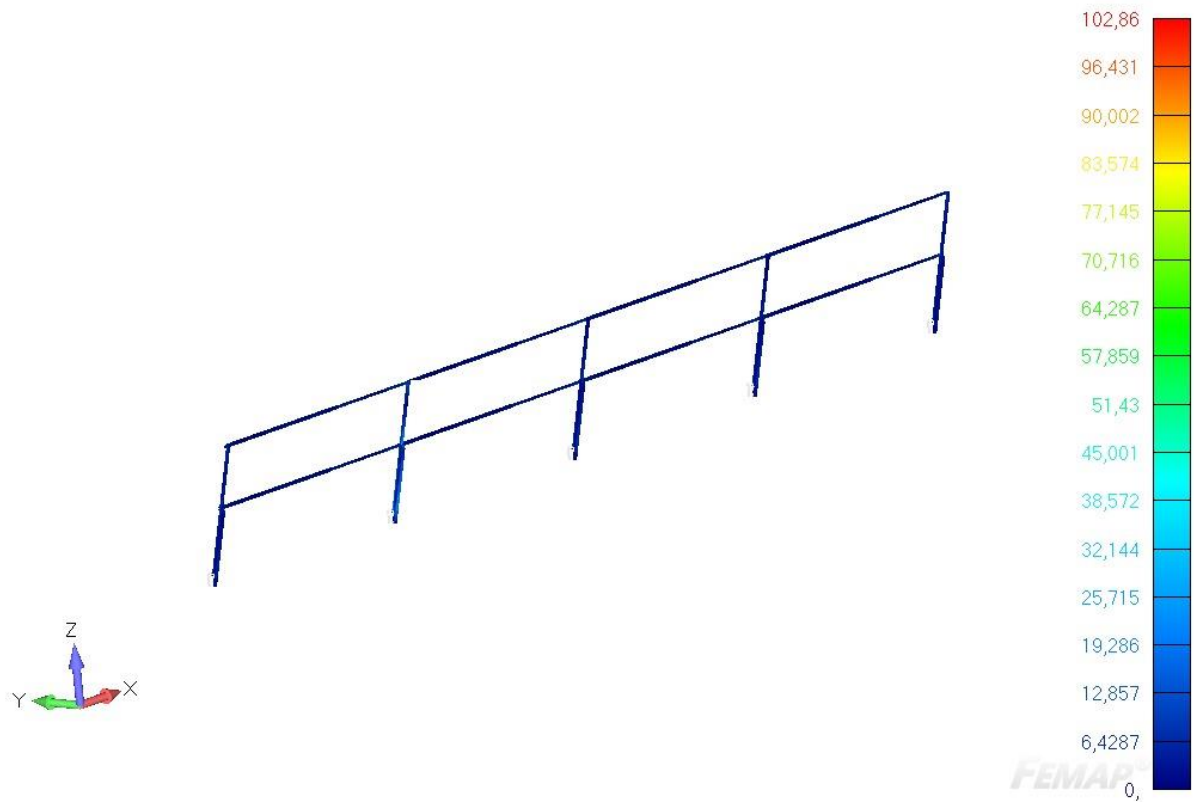


Figura 5.2, Distribución de esfuerzo de Von Mises (MPa).

5.3 RESUMEN DE RESULTADOS – CLASE C

Para este caso, se evalúa la integridad estructural del sistema de protección frente a un impacto, considerando diferentes niveles de energía cinética y posiciones de impacto. El caso más desfavorable, produce un esfuerzo máximo en la base de los postes intermedios, alcanzando un valor de esfuerzo máximo igual a 80.47 MPa, al momento de la absorción de la energía.

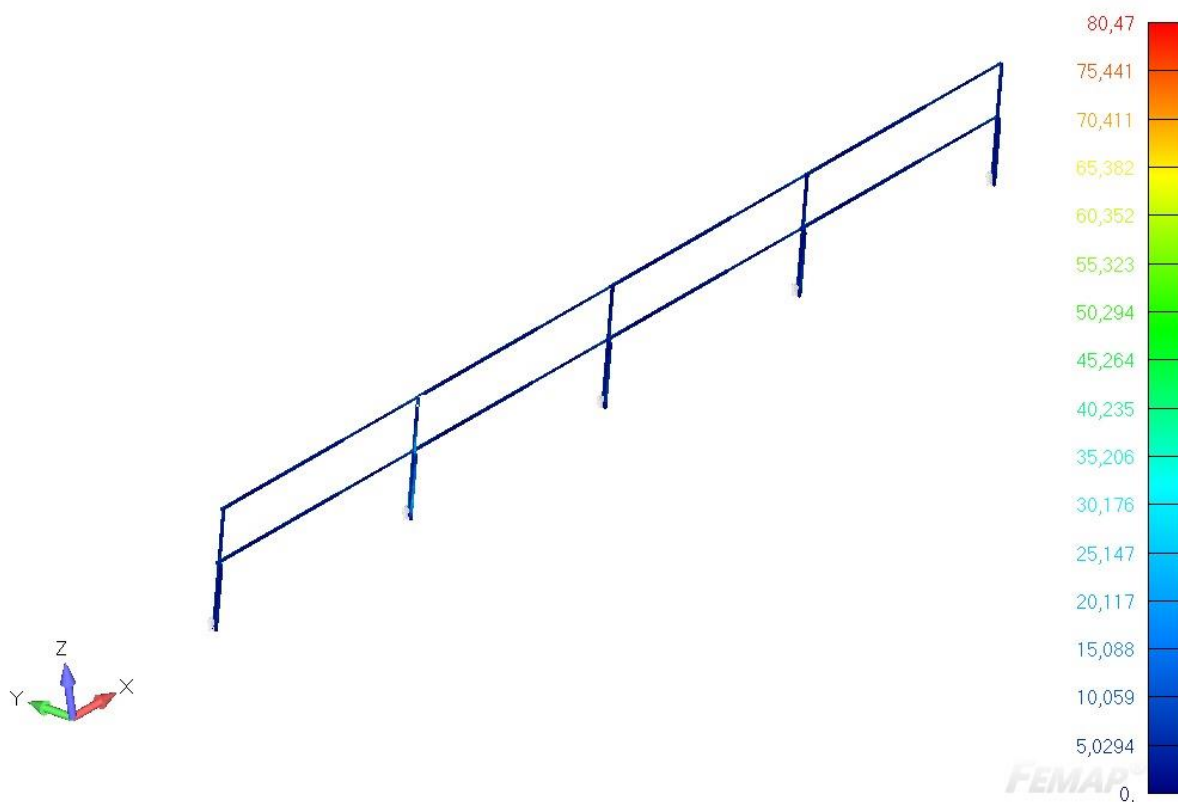


Figura 5.3, Distribución de esfuerzo de Von Mises (MPa).

5.4 VERIFICACIÓN DE CONDICIONES DE ANCLAJE

El sistema de anclaje del dispositivo bajo análisis consiste en dos pernos, los que estarán sometidos a tracción para los diferentes casos de carga ya descritos. Los pernos de anclaje considerados en el diseño corresponden al modelo AH12110 de la marca Index, con una resistencia mínima de cálculo en tracción de 17.19 [kN] para profundidad de instalación estándar y una resistencia mínima de cálculo en tracción de 11.60 [kN] para profundidad de instalación reducida. En la Tabla 5.2 se resumen las características de los pernos disponibles para la disposición de pernos de anclaje, considerando el valor de tensión máxima para los pernos a utilizar con tuerca.

Tabla 5.2: Resistencias de cálculo de pernos disponibles [kN]

Perno	Profundidad de instalación estándar		Profundidad de instalación reducida		Distancia a borde [mm]
	Tracción	Cortadura	Tracción	Cortadura	
AH12110	17.19	16.48	11.60	11.60	70
TFE10120	17.99	18.27	8.77	17.10	90

Se consideran todos los casos de carga para protecciones de borde clase A, establecidos en la sección 4.1, a modo de establecer el escenario más crítico para el sistema de anclaje.

En la Tabla 5.3 se presentan los valores máximos de fuerzas solicitantes en los pernos de anclaje para todos los casos de carga.

En el caso más desfavorable, el valor máximo de fuerza sobre un perno de anclaje alcanza los 7.99 [kN], siendo este inferior a la carga máxima recomendada para el modelo de perno de anclaje AH12110 en caso de profundidad de instalación estándar y reducida. Para el caso del perno TFE10120, solo se puede considerar en el caso de instalación de profundidad estándar.

Tabla 5.3: Fuerza máxima sobre un perno en anclaje del sistema

CASO DE CARGA	FUERZA MAXIMA DE TRACCION EN PERNO [kN]
ELS	3.2
ELU	2.4
CA	1.4
FV	7.99
COMB. DE CARGA	4.62

6. CONCLUSIONES

El diseño propuesto por GALIGRU para un sistema de protección de borde se considera exitoso, logrando reducir de gran manera los esfuerzos en toda su extensión. Más aún, se satisface la condición de flecha máxima establecida en la norma para las condiciones de carga ELS. Las magnitudes de los desplazamientos producto de las cargas se consideran satisfactorias para todos los casos de carga analizados.

Los esfuerzos en el sistema para los casos de carga analizados se concentran en la baranda extrema, resultando en las solicitaciones mayores en esa zona. Sin embargo, no se supera en ninguno de los casos analizados el valor del esfuerzo de fluencia, a excepción del caso de carga accidental que tiene como limitante el valor de la ruptura material.

En todos los casos, se cumple con la norma que establece límites para la estructura y su desempeño mecánico, tanto en flecha como en resistencia a la fluencia y ruptura.

Finalmente, se concluye que en las verificaciones de las condiciones de anclaje en escenarios críticos los pernos seleccionados AH12110 son suficientes para el sistema analizado, considerando todos los casos de carga.

7. REFERENCIAS

- [1] Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición, McGraw-Hill, 2012.
- [2] Terry F. Lehnhoff y Bradley A. Bunyard, Bolt thread and head fillet stress concentration factors, Journal of Pressure Vessel Technology, Vol. 122, 2000.
- [3] Walter D. Pilkey, Peterson's Stress Concentration Factors, Segunda edición, John Wiley & Sons, INC, 1997.