



PROYECTO:

**PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE LOS REGADÍOS DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DE LLÍRIA. CANAL PRINCIPAL DEL CAMP DEL TURIA (VALENCIA). INSTALACIÓN DE UNA RED DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN PARA ABASTECER A LOS CABEZALES DE RIEGO DESDE EL POZO DIVINA PROVIDENCIA.**

---

DOCUMENTO Nº1

## **ANEJO A LA MEMORIA**

---

### **ANEJO Nº13**

CÁLCULOS ESTRUCTURALES INSTALACION FOTOVOLTAICA

---

PROMOTOR: SEIASA – Sociedad Mercantil Estatal de Infraestructuras Agrarias

PROYECTISTA: JOSE MANUEL VILA GOMEZ  
Ingeniero Agrónomo.

FECHA: ENERO – 2.022

## ÍNDICE

1.-	ESTRUCTURA FOTOVOLTAICA.....	2
1.1.-	ESTRUCTURA FIJA DE SUELO .....	2
1.2.-	CÁLCULOS ESTRUCTURALES FABRICANTE.....	3

## 1.- ESTRUCTURA FOTOVOLTAICA

### 1.1.- ESTRUCTURA FIJA DE SUELO

Las estructuras económicamente más adecuadas consisten en soluciones industriales específicas para paneles fotovoltaicos en lugar de ir a una construcción específica para cada proyecto.

En el proyecto y presente anejo se ha comprobado la solución de un fabricante concreto. Alusín Solar, pudiéndose emplear cualquier otra solución que cumpla con las acciones consideradas en el emplazamiento de la instalación y que se especifican en el punto siguiente de este anejo.

Se aporta el cálculo estructural para unas condiciones de trabajo extremas, considerando una inclinación de estructura de 30°, aunque en proyecto se propone una inclinación de 15°.

A continuación, se describen las acciones consideradas para el cálculo estructural de la estructura.

#### Acciones Consideradas en el Informe Estructural aportado por Alusín Solar.

Peso módulos fotovoltaicos 12.00 kg/m<sup>2</sup>  
Sobrecarga de viento

Hipótesis considerada: Estructuras Aisladas

Zona Eólica	C
Velocidad básica	29 m/s
Grado de aspereza	III
Grado de inclinación	30°
Coefficiente de Obstrucción	0
Sobrecarga de nieve	
Zona	4
Altitud	900 m
Sobrecarga de Nieve	1,0 kN/m <sup>2</sup>

Las condiciones de carga para el proyecto, se muestran a continuación:

#### Acciones Consideradas en el Emplazamiento de la Estructura Proyectada.

Peso módulos fotovoltaicos 10.81 kg/m<sup>2</sup>  
Sobrecarga de viento

Hipótesis considerada: Estructuras Aisladas

Zona Eólica	A
Velocidad básica	26 m/s
Grado de aspereza	II
Grado de inclinación	15°

**ANEJO Nº 13: CÁLCULOS ESTRUCTURALES**

	Coeficiente de Obstrucción	0
Sobrecarga de nieve		
	Zona	5
	Altitud	210 m
	Sobrecarga de Nieve	0,3 kN/m <sup>2</sup>

Por tanto, como las acciones consideradas en el emplazamiento de la estructura proyectada son menores a las acciones consideradas para el cálculo de la estructura tipo aportada por el fabricante, la estructura presentará un comportamiento satisfactorio desde el punto de vista de la seguridad resistente.

El constructor podrá optar por otra estructura de sujeción. Deberá aportar los cálculos estructurales de la misma y certificando su idoneidad según EUROCÓDIGO ó CTE.

Las cargas a considerar en los cálculos estructurales son las descritas anteriormente como acciones consideradas en el emplazamiento de la estructura proyectada.

## 1.2.- CÁLCULOS ESTRUCTURALES FABRICANTE

Se aporta el cálculo estructural en las condiciones más desfavorables (las acciones obtenidas en este cálculo se consideran como acciones máximas, ya que las condiciones de trabajo en el emplazamiento del proyecto son menos exigentes).

Peso módulos fotovoltaicos	12.00 kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga de viento	

Hipótesis considerada: Estructuras Aisladas

	Zona Eólica	C
	Velocidad básica	29 m/s
	Grado de aspereza	III
	Grado de inclinación	30º
	Coeficiente de Obstrucción	0
Sobrecarga de nieve		
	Zona	4
	Altitud	900 m
	Sobrecarga de Nieve	1,0 kN/m <sup>2</sup>

# INFORME:

## SIMULACIÓN COMPORTAMIENTO RESISTENTE

### SISTEMA ESTRUCTURAL MUNIELLOS PARA

### SOPORTE PANELES PV.

**INFORME:** 126R2019\_00\_00

**DENOMINACIÓN:** SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO RESISTENTE SISTEMA ESTRUCTURAL MUNIELLOS PARA SOPORTE PANELES PV.

**ÍTEM:** SISTEMA ESTRUCTURAL MUNIELLOS. HUERTO SOLAR 30°.

**CLIENTE:** ALUSÍN SOLAR, S.L.

**ELABORADO POR:** TÁCTICA DESARROLLO INDUSTRIAL S.L.

Ed/Rev	Modificaciones	Fecha
0/0	Edición original	04-04-19

Ed/Rev	Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
0/0	E.R.P	J.L.S.	J.L.S.

## ÍNDICE

1.	OBJETO.....	3
2.	ANTECEDENTES.....	3
3.	ORDENACIÓN DEL TRABAJO .....	3
4.	METODOLOGÍA .....	4
4.1.	ESTADOS LÍMITES .....	4
4.1.1.	Estados Límite Últimos (ELU) .....	5
4.1.2.	Estados Límite de Servicio (ELS) .....	5
4.2.	PROCEDIMIENTO DE TRABAJO .....	5
5.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA: MODELIZACIÓN .....	6
5.1.	MODELIZACIÓN.....	9
6.	DISCRETIZACIÓN EN ELEMENTOS FINITOS .....	10
6.1.	ELEMENTO BEAM 189.....	10
7.	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	10
8.	CONDICIONES DE CONTORNO .....	12
8.1.	APOYOS.....	12
8.2.	ACCIONES.....	12
8.3.	CASOS DE CARGA.....	13
9.	TÉCNICA DE CÁLCULO.....	15
9.1.	ANÁLISIS ESTÁTICO .....	15
9.2.	análisis de estabilidad elástica .....	15
10.	POSTPROCESO DE RESULTADOS .....	16
10.1.	RESULTADOS ANÁLISIS ESTÁTICO.....	16
10.1.1.	Resistencia: Tensiones .....	16
10.1.2.	Desplazamientos: Flechas.....	21
10.2.	RESULTADOS ANÁLISIS ESTABILIDAD ELÁSTICA .....	22
11.	VALIDACIÓN RESULTADOS Y COMPROBACIONES ADICIONALES .....	24
11.1.	REACCIONES .....	25
12.	CONCLUSIONES.....	27

## 1. OBJETO

El presente trabajo, desarrolla la comprobación del comportamiento resistente del sistema de soportes para paneles fotovoltaicos basado en perfiles de aluminio denominado 'Sistema Muniellos'

El peticionario del presente estudio ha sido la empresa ALUSIN SOLAR S.L., quien también ha proporcionado los datos necesarios para poder acometer el estudio.

**El objetivo del presente estudio será, la comprobación del comportamiento resistente del conjunto de los perfiles que configuran el SISTEMA estructural MUNIELLOS, frente a los distintos modos de fallo originados por las cargas climáticas normativas, todo ello a partir de la documentación y los datos proporcionados por ALUSIN SOLAR S.L., validando el mismo para la configuración propuesta.**

## 2. ANTECEDENTES

Se han establecido, de mutuo acuerdo con ALUSIN SOLAR S.L., los siguientes ítems de estudio:

-  Construcción de un modelo PARAMÉTRICO de elementos finitos que permita reproducir los distintos modos de fallo aplicables al SISTEMA MUNIELLOS BULNES con 30° de inclinación en sus pórticos y posición vertical de los paneles PV, frente a la carga de viento normativa.
-  Elaboración de un informe justificativo con las conclusiones obtenidas.

Desarrollado todo el trabajo de simulación, se procede a la emisión del presente documento como cierre de proyecto.

## 3. ORDENACIÓN DEL TRABAJO

Para valorar la seguridad estructural del SISTEMA en estudio, se ha optado por realizar un análisis en profundidad con la ayuda de un modelo paramétrico 3D, buscando reproducir los modos de fallo predominantes, como consecuencia de las condiciones de contorno aplicables (cargas y apoyos).

Así, la memoria propiamente dicha, comienza con la METODOLOGÍA seguida en el estudio y la DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO y su MODELIZACIÓN, de manera que los esquemas de cálculo adoptados con sus inevitables simplificaciones, permitan reproducir los distintos estados límites o modos de fallo posibles.

Se continúa con la DISCRETIZACIÓN EN ELEMENTOS FINITOS, describiendo los elementos finitos empleados, sus opciones y la teoría que subyace a su formulación, así como con la enumeración de las

TÍTULO DOCUMENTO	ED/REV	FECHA	CÓDIGO	Página
INFORME SIMULACIÓN	0/0	04-04-2019	126R2019	3/27

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES y las CARGAS Y CONDICIONES DE CONTORNO empleadas en cada caso.

Posteriormente se comenta la TÉCNICA DE CÁLCULO, donde se analizan los algoritmos de solución empleados en cada caso, para dar paso a la fase de POSTPROCESO DE RESULTADOS, donde se revisan tanto los RESULTADOS del ANÁLISIS ESTÁTICO: TENSIONES EN RESISTENCIA y FLECHAS EN DESPLAZAMIENTOS, así como la ESTABILIDAD ELÁSTICA: MODOS DE PANDEO obtenidos (globales y locales).

Por último, en la VALIDACIÓN DE RESULTADOS y en las CONCLUSIONES, se realizan los comentarios finales que matizan el presente informe.

A lo largo del mismo, se incluyen distintas figuras con las visualizaciones tanto del modelo, como de los resultados obtenidos.

## 4. METODOLOGÍA

Metodológicamente en el trabajo se distinguen dos fases fundamentales:

-  En una primera fase se valoran los distintos “estados límite” o modos de fallo, según los factores susceptibles de condicionar la seguridad del conjunto.
-  En una segunda fase se simulan los efectos de la aplicación de los mismos sobre la estructura en estudio, con ayuda del método de los elementos finitos.

### 4.1. ESTADOS LÍMITES

En el método de los estados límite, se definen éstos como aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que la estructura (o elemento estructural) no cumple alguna de las funciones para las que ha sido proyectada.

Generalmente los estados límites se clasifican en:

-  Estados límite últimos.
-  Estados límite de servicio.

TÍTULO DOCUMENTO	ED/REV	FECHA	CÓDIGO	Página
INFORME SIMULACIÓN	0/0	04-04-2019	126R2019	4/27

#### 4.1.1. ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS (ELU)

Se relacionan con la seguridad del conjunto y sus elementos resistentes, siendo todos aquellos modos de fallo que pueden producir una puesta fuera de servicio el SISTEMA, por colapso o por rotura del conjunto, o una parte del mismo.

Tras valorar las acciones que debe soportar la estructura de aluminio en estudio, se consideran como significativos los siguientes modos de fallo:

-  Resistencia, sin superar el valor de agotamiento de tensiones en ninguno de sus puntos.
-  Pérdida de la estabilidad elástica global (en todo el conjunto) o local (en alguna barra o pieza).

No se considera el estado límite de equilibrio estático como sólido rígido (vuelco y deslizamiento), al suponer que la estructura soporte de los paneles solares configurada con las reglas del SISTEMA MUNIELLOS en cada caso, se hinca de forma adecuada (a partir de las reacciones presentadas en las Figuras 15 y 16 del presente informe).

Tampoco se considera el estado límite de fatiga, al no verse la estructura sometida a ciclos de carga repetidos de forma continuada, según las indicaciones recibidas (comportamiento estático).

#### 4.1.2. ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO (ELS)

Se consideran como estados límite de servicio o de utilización, todas aquellas situaciones a las que se pueda ver sometido el conjunto y que motiven que no se cumplan los requisitos de funcionalidad, de durabilidad o de aspecto requeridos.

-  El estado límite de deformación excesiva (flechas o giros), se comprobará explícitamente.
-  El estado límite de vibraciones, caracterizado por la producción en la estructura de vibraciones de una determinada amplitud y frecuencia, función de sus frecuencias naturales de vibración, se considera también en el presente informe.

En cualquier caso, tanto las uniones, como la ejecución en taller y el eventual montaje en obra, las tolerancias dimensionales y la protección de las superficies, deben respetar todo lo indicado en la correspondiente normativa de aplicación en cada caso.

### 4.2. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

Debe comprobarse que el SISTEMA ESTRUCTURAL en estudio, no supere ninguno de los estados límite anteriormente definidos.

TÍTULO DOCUMENTO	ED/REV	FECHA	CÓDIGO	Página
INFORME SIMULACIÓN	0/0	04-04-2019	126R2019	5/27

El procedimiento de comprobación para un cierto estado límite, consiste en deducir, por una parte, el efecto de las acciones aplicadas sobre el esquema resistente y, por otra, la respuesta del mismo para la situación límite en estudio.

El estado límite quedará garantizado si se verifica, con una fiabilidad aceptable, que la respuesta estructural no es inferior que el efecto de las acciones aplicadas.

Para la determinación del efecto de las acciones, debe considerarse la definición de las mismas y los casos de carga contemplados en el apartado 8 del presente informe.

Para la determinación de la respuesta estructural, debe idealizarse tanto la geometría del SISTEMA, como las acciones y las condiciones de apoyo mediante un modelo matemático adecuado, es decir, que sea capaz de reproducir el modo de fallo en estudio.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA: MODELIZACIÓN

En las Figuras 1, 2, 3 y 4 se resumen de forma gráfica las distintas secciones de los perfiles de aluminio utilizados en la materialización de las posibles configuraciones resistentes a base de pórticos y correas, que posibilita el SISTEMA MUNIELLOS.

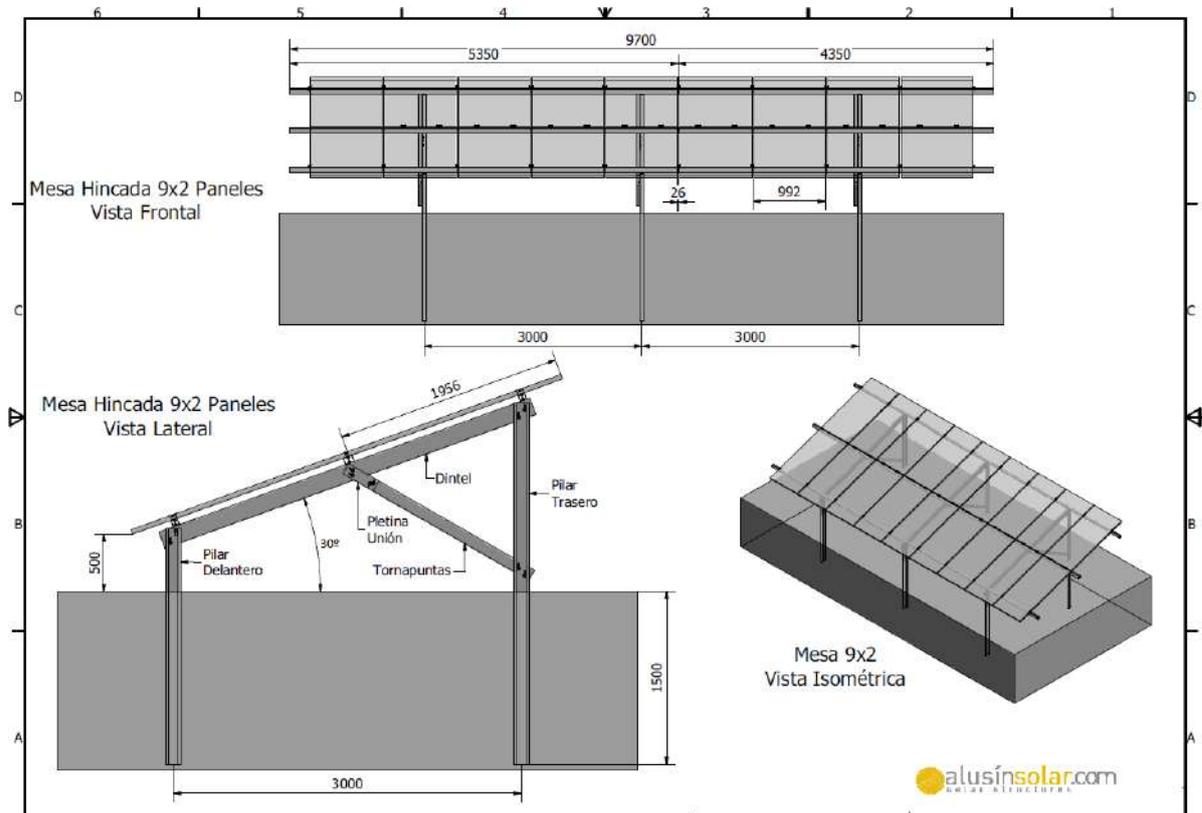


Figura 1: Secciones Perfiles SISTEMA ESTRUCTURAL MUNIELLOS.

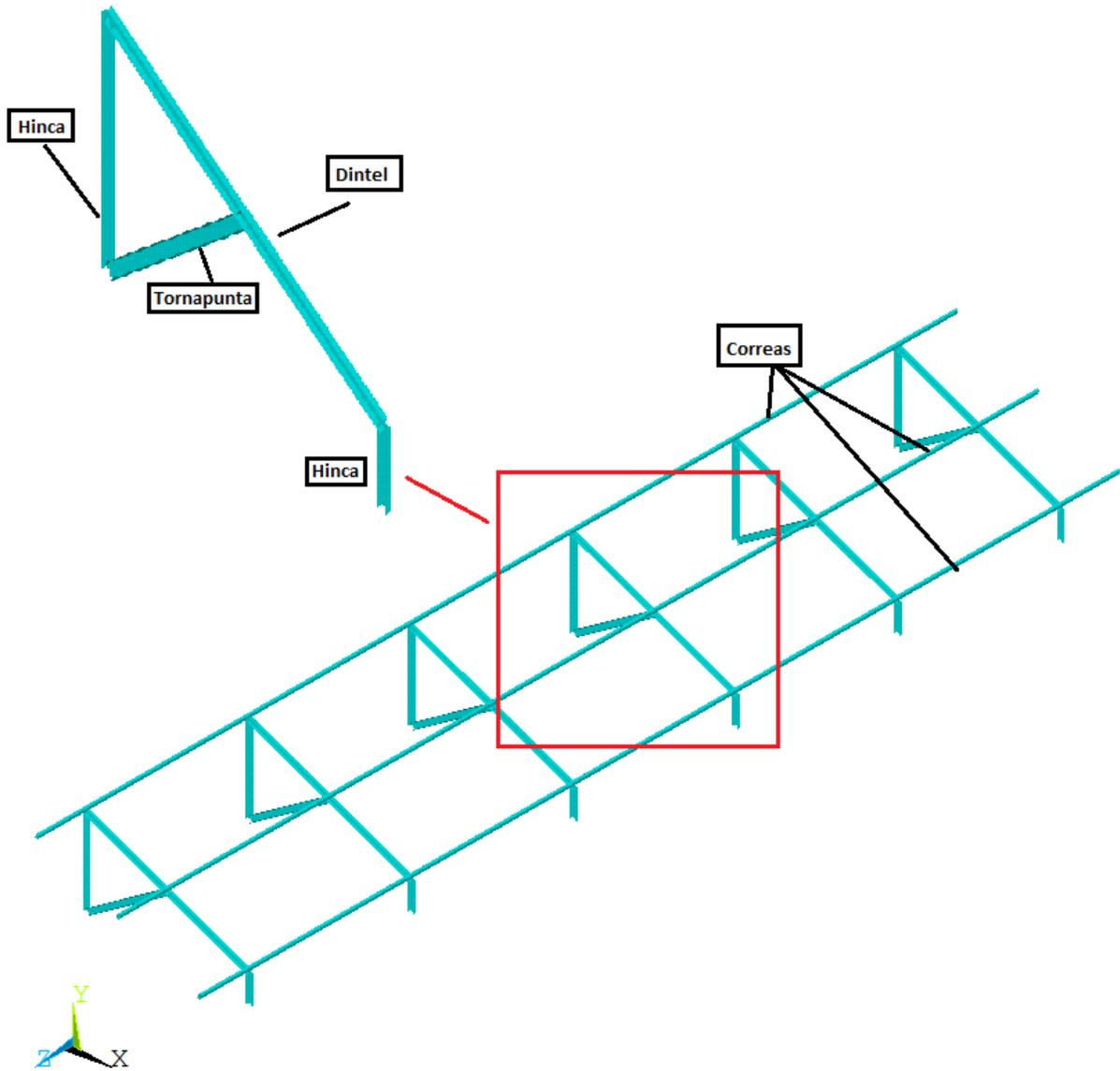


Figura 2: Modelo MEF.

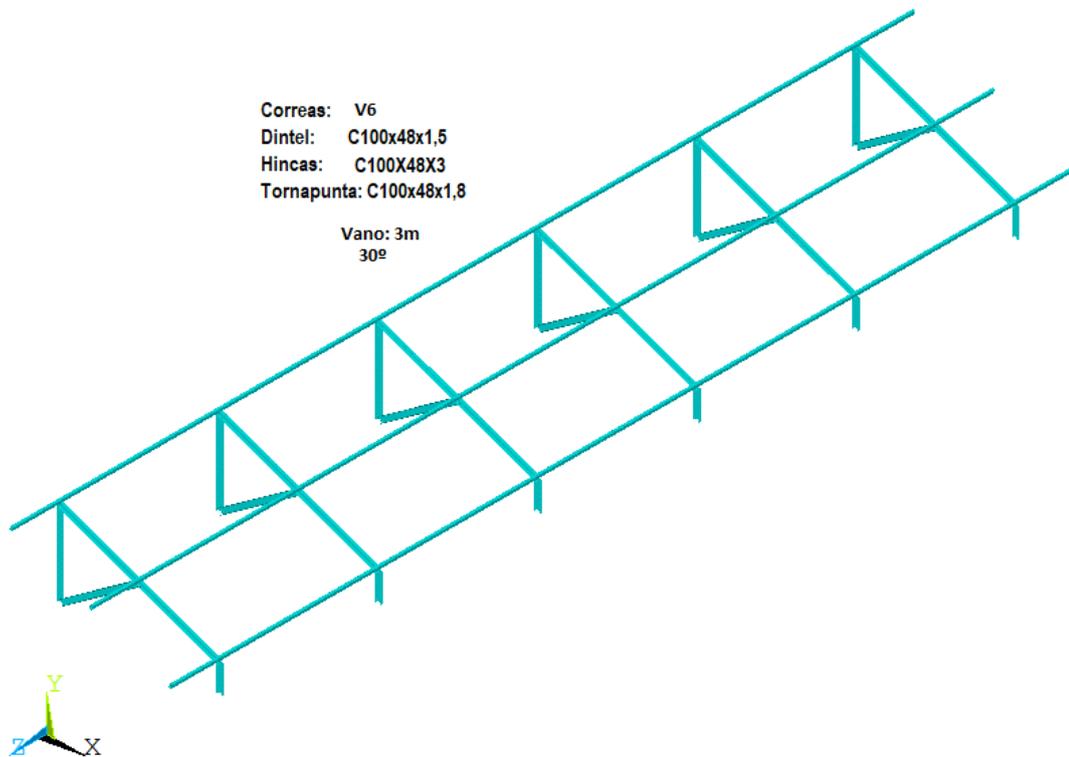


Figura 3: Modelo MEF. Perfiles.

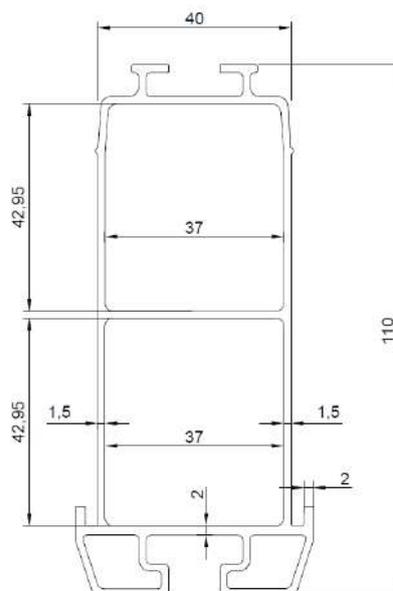


Figura 4: Detalle correas. Perfil V6.

TÍTULO DOCUMENTO	ED/REV	FECHA	CÓDIGO	Página
INFORME SIMULACIÓN	0/0	04-04-2019	126R2019	8/27

Para realizar las simulaciones se considera un panel tipo de dimensiones 1956mm. x 992 mm instalado en posición vertical (dimensión 1.956 mm perpendicular a las correas).

La mesa tipo adoptada como modelo para realizar los estudios de simulación (Figura 2), está compuesta por 5 pórticos (atado inferior o rastrel + poste trasero, puntal o pie + dintel inclinado 30°), separados 3.000 mm con voladizos en sus extremos a la longitud recomendada de 1.000 mm (1/3 de la separación entre pórticos).

## 5.1. MODELIZACIÓN

Dado el sistema estructural descrito anteriormente, se plantea su idealización haciendo uso de la **teoría de la elasticidad en 3D**, con las simplificaciones admitidas por los supuestos de la resistencia de materiales.

De igual forma y en primera aproximación, se presupone un comportamiento **elástico lineal** para el material utilizado.

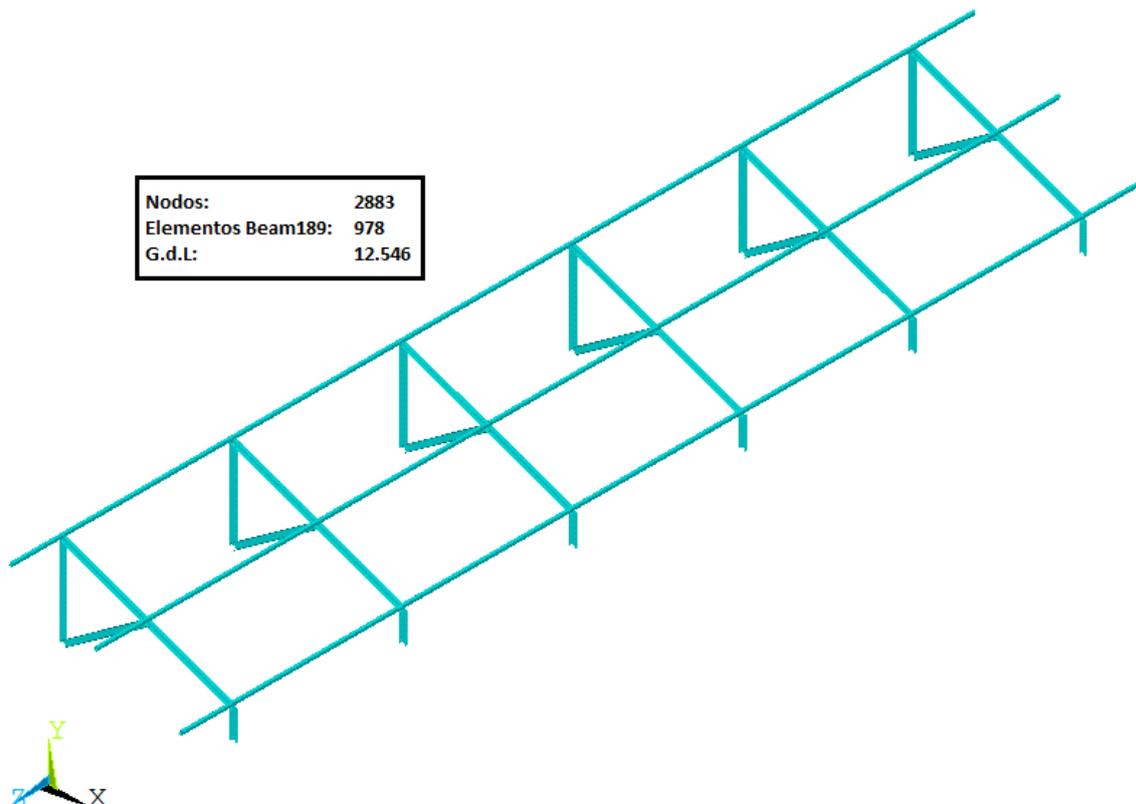


Figura 5: Modelo MEF para cada configuración en estudio.

## 6. DISCRETIZACIÓN EN ELEMENTOS FINITOS

Los distintos elementos empleados en la discretización se describen en los siguientes subapartados.

Para una información complementaria sobre la teoría que sustenta el uso de tales elementos, se remite al lector a la consulta del *Elements Manual* del programa ANSYS en su versión 12.0 o posterior.

### 6.1. ELEMENTO BEAM 189

Para simular los perfiles extruidos, se decide emplear el elemento Beam189 (ver *Figura 3*).

Se trata de un elemento que implementa la teoría de vigas de Timoshenko con tres nodos (extremos e intermedio), con lo cual emplea funciones cuadráticas para la interpolación.

#### BEAM189 3-D Quadratic Finite Strain Beam

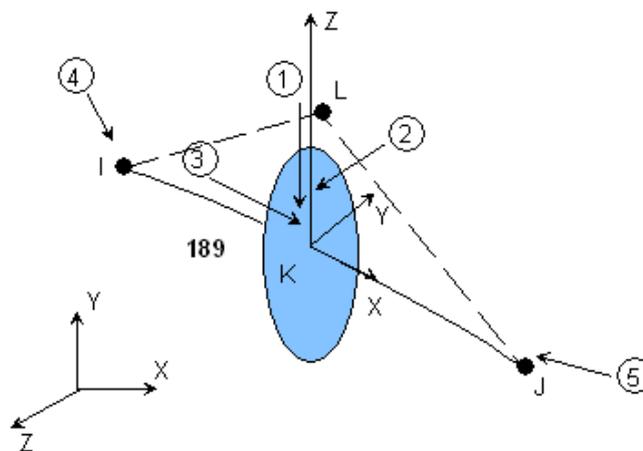


Figura 6: Representación esquemática del elemento BEAM 189.

Máximo tamaño de arista de cada elemento: 100 mm.

## 7. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

En los siguientes puntos se recogen los valores de las distintas propiedades mecánicas de los materiales a emplear, necesarias para simular el comportamiento estructural del conjunto:

TÍTULO DOCUMENTO	ED/REV	FECHA	CÓDIGO	Página
INFORME SIMULACIÓN	0/0	04-04-2019	126R2019	10/27

**ALUMINIO aleaciones EN AW-6063(T6) y EN AW-6082(T6):**

- ↳ Módulo de elasticidad.....69.000 MPa
- ↳ Módulo de Poisson.....0,33
- ↳ Densidad.....2.700 Kg/m<sup>3</sup>

De igual forma, la tensión de comparación que se emplea para la comprobación estructural en la etapa de postproceso será de:

**EN AW-6082(T6):** (correas)

- ↳ 250 MPa (límite elástico).
- ↳ 290 MPa (límite de rotura).

En cualquier caso y como ya se ha indicado se presupone un comportamiento elástico-lineal del aluminio.

**ACERO tipo A992:** (Dintel, hincas y tornapunta)

- ↳ Módulo de elasticidad.....210.000 MPa
- ↳ Módulo de Poisson.....0,3
- ↳ Densidad.....7.850 Kg/m<sup>3</sup>

De igual forma, la tensión de comparación que se emplea para la comprobación estructural en la etapa de postproceso será de (materiales certificados):

- ↳ Límite elástico:
  - ↳  $e \leq 16$  mm: 275 MPa
  - ↳  $16$  mm <  $e \leq 40$  mm: 265 MPa
  - ↳  $40$  mm <  $e \leq 63$  mm: 255 MPa
- ↳ Límite de rotura:
  - ↳  $3$  mm <  $e \leq 100$  mm: 410 MPa

## 8. CONDICIONES DE CONTORNO

Sobre el modelo de elementos finitos, se establecen las condiciones de contorno tanto en desplazamientos impedidos (apoyos), como en cargas, que permiten simular los modos de fallo en estudio.

### 8.1. APOYOS

Sobre el modelo de elementos finitos, se han impedido los desplazamientos según se indica en la Figura 6.

### 8.2. ACCIONES

Las distintas acciones individuales sobre las configuraciones en estudio, se resumen en el presente apartado con sus valores característicos.

Para la valoración de las acciones del viento se ha seguido todo lo indicado en el documento del CTE "Documento Básico SE-AE Acciones en la edificación. Apartado 3.3: Viento" y en el "Anejo D: Acción del viento", adoptando los siguientes parámetros:

-  Presión dinámica del viento: 0,52 kN/m<sup>2</sup>.
-  Grado de aspereza del entorno tipo III, que se corresponde con una "Zona rural accidentada o llana con obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas", presentando un coeficiente de exposición de 1,6f (se considera una altura máxima para el conjunto de las estructuras de 3 m).
-  Coeficientes de fuerza de +1,2 en presión y -1,4 en succión, siguiendo la tabla 10.3.1 de coeficientes totales de la norma EN 1991-1-4, para marquesinas a un agua inclinadas 30° en relación a la horizontal.

Las anteriores consideraciones dan lugar a distintos valores de presión y succión que caracterizan la acción del viento en las distintas situaciones; éstas junto con el resto de acciones se pasan a resumir en los siguientes puntos.

-  Acción variable del viento:
  - Viento Presión: +0,99 kN/m<sup>2</sup> [=0,52x1,6x1,2].
  - Viento Succión: -1,16 kN/m<sup>2</sup> [=0,52x1,6 x (-1,4)].
-  Carga variable de nieve:
  - 1 KN/m<sup>2</sup>

☛ Acciones permanentes:

- Peso panel solar: equivale a unos 12 kg/m<sup>2</sup>, según dimensiones y tamaños habituales en catálogos comerciales.
- Peso propio de la estructura tipo (242,22 kg, modelo FEM)

### 8.3. CASOS DE CARGA

Se consideran los siguientes casos de carga; tanto el peso propio de la estructura, como el peso de los paneles y las acciones climáticas, se consideran actuando como cargas repartidas a lo largo de las correas.

☛ CASO DE CARGA I: (VIENTO EN PRESIÓN + NIEVE ver *Figura 6*):

- ELU: 1,35 x pesos propios + 1,50 x acción del viento + 1,50 x 0,50 x carga de nieve.
- ELS: 1,00 x pesos propios + 1,00 x acción del viento + 1,00 x 0,50 x carga de nieve.

☛ CASO DE CARGA II: (VIENTO EN SUCCIÓN ver *Figura 6*):

- ELU: 0,80 x pesos propios + 1,50 x acción del viento.
- ELS: 0,80 x pesos propios + 1,00 x acción del viento.

En el postproceso (apartado 10) de resultados se utilizará la combinación de acciones de ELU, para revisar la resistencia y el ELS, para revisar los desplazamientos; la inestabilidad elástica, aunque estrictamente hablando es un Estado Límite Último, se revisará como Estado Límite de Servicio, para una mejor interpretación de los multiplicadores de carga, según la técnica de cálculo utilizada.

TÍTULO DOCUMENTO	ED/REV	FECHA	CÓDIGO	Página
INFORME SIMULACIÓN	0/0	04-04-2019	126R2019	13 27

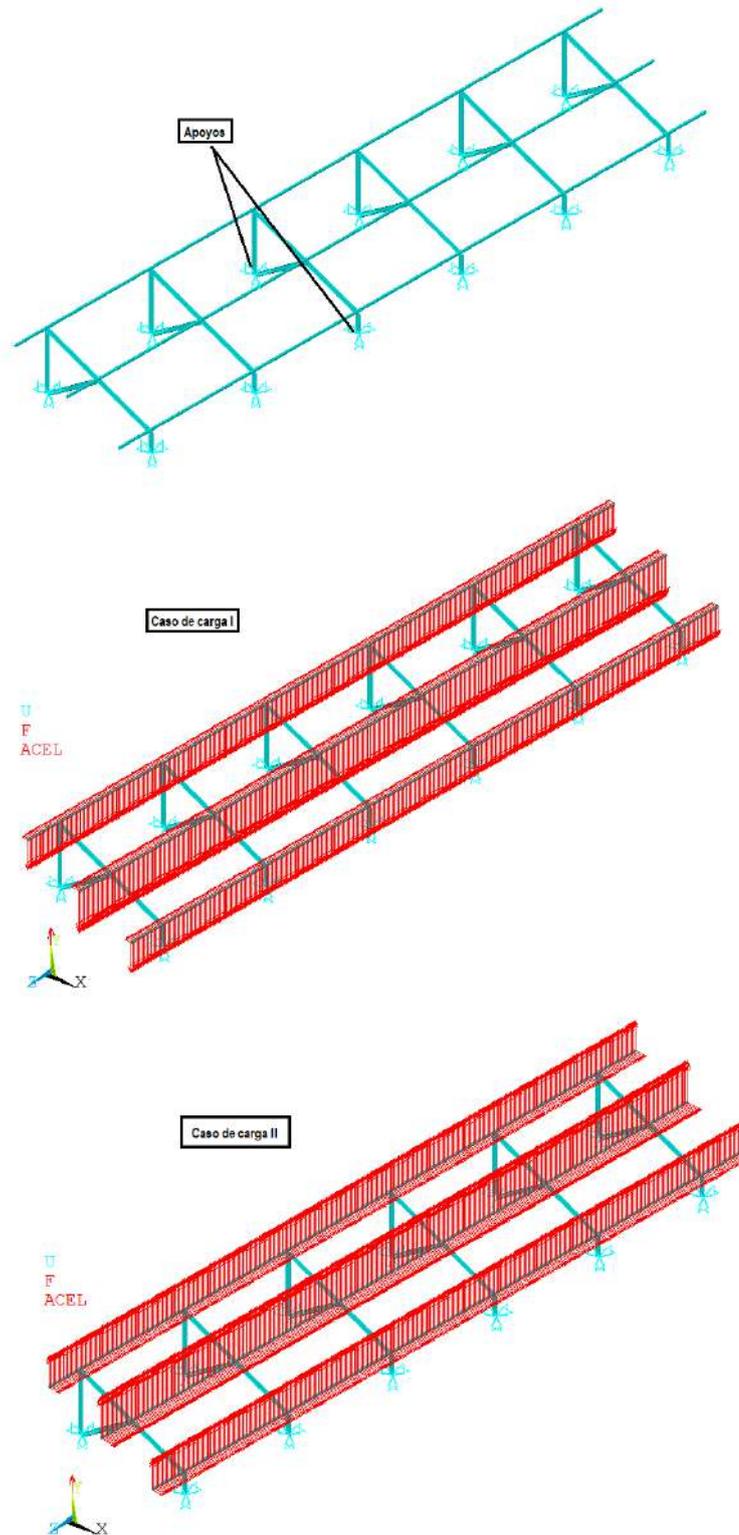


Figura 7: Apoyos y casos de carga I y II.

TÍTULO DOCUMENTO	ED/REV	FECHA	CÓDIGO	Página
INFORME SIMULACIÓN	0/0	04-04-2019	126R2019	14/27

## 9. TÉCNICA DE CÁLCULO

Las condiciones que en principio debe satisfacer todo análisis estructural son las de equilibrio y las de compatibilidad, teniendo en cuenta el comportamiento tenso-deformacional de los materiales.

### 9.1. ANÁLISIS ESTÁTICO

Se realizará un análisis lineal, basado en la hipótesis de comportamiento elástico-lineal del aluminio y en la consideración del equilibrio en la estructura sin deformar, a partir del siguiente esquema:

$$[K]\{u\} = \{F\}$$

 Siendo:

- $[K]$  = Matriz de Rigidez de la pieza o conjunto en estudio.
- $\{u\}$  = Vector de desplazamientos nodales.
- $\{F\}$  = Vector de fuerzas.

Al tratarse de una discretización que presupone un comportamiento elástico lineal, se origina un sistema de ecuaciones lineales (una para cada grado de libertad) que se resolverán empleando el algoritmo que por defecto presenta ANSYS para solucionar este tipo de problemas: SPARSE DIRECT SOLVER.

### 9.2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ELÁSTICA

En el caso del análisis de estabilidad elástica, correspondiente al estado límite de pandeo, caracterizando la carga de bifurcación de equilibrio o carga crítica, se obtienen los multiplicadores de la carga (autovalores) que llevarían a la pieza o conjunto en estudio a una situación de equilibrio elástico inestable, así como los modos o formas de pandeo asociados a las mismas (autovectores).

La obtención de la carga de bifurcación de equilibrio se plantea a partir de la siguiente formulación:

$$([K] + \lambda_i[S])\{\phi_i\} = \{0\}$$

↳ Siendo:

- $[K]$  = Matriz de rigidez de la pieza o conjunto en estudio
- $\lambda_i$  = Autovalor
- $[S]$  = Matriz de rigidización tensional del sistema
- $\{\phi_i\}$  = Autovector

Posteriormente se aplica el mencionado algoritmo de extracción de “**Block Lanczos**” previsto para estos casos.

## 10. POSTPROCESO DE RESULTADOS

Se revisarán tanto los distintos campos tenso-deformacionales generados, como la estabilidad elástica.

### 10.1. RESULTADOS ANÁLISIS ESTÁTICO

En los siguientes puntos se revisa la seguridad a vuelco y se comentan las tensiones y los desplazamientos máximos obtenidos para la configuración estructural en estudio.

#### 10.1.1. RESISTENCIA: TENSIONES

En las *Figuras de 7 a 10*, se recogen las visualizaciones de los campos de tensiones en Pascales, correspondientes a cada uno de los Casos de Carga (en Estado Límite Último y Estados Límite de Servicio), definidos en el apartado 8.3.

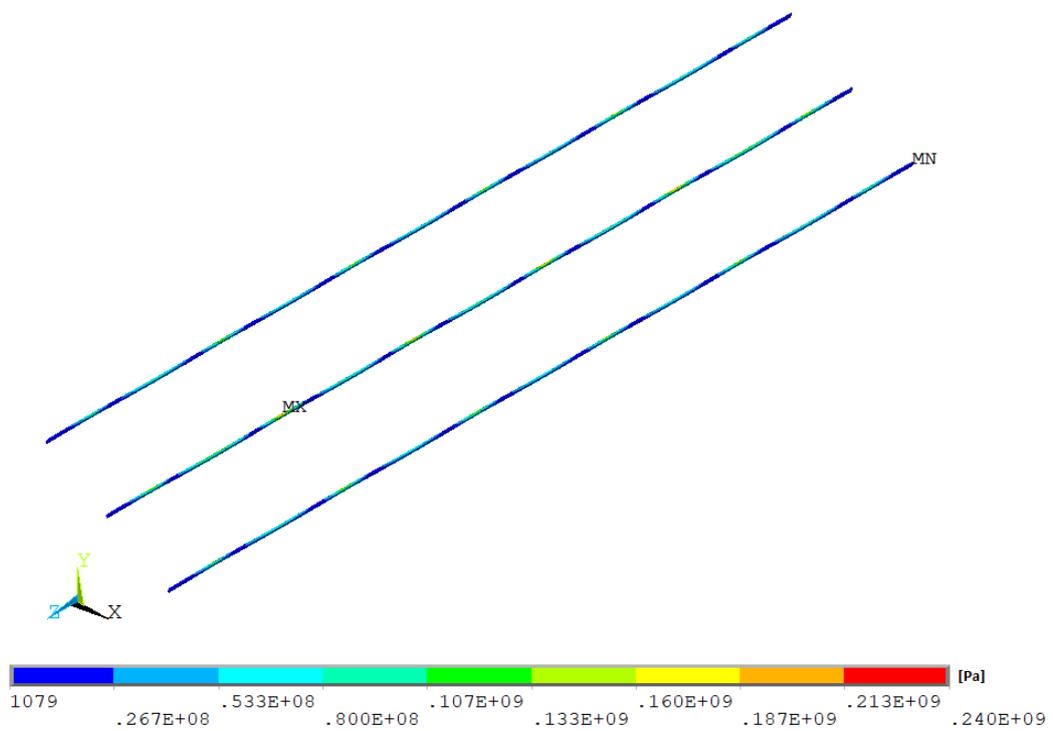
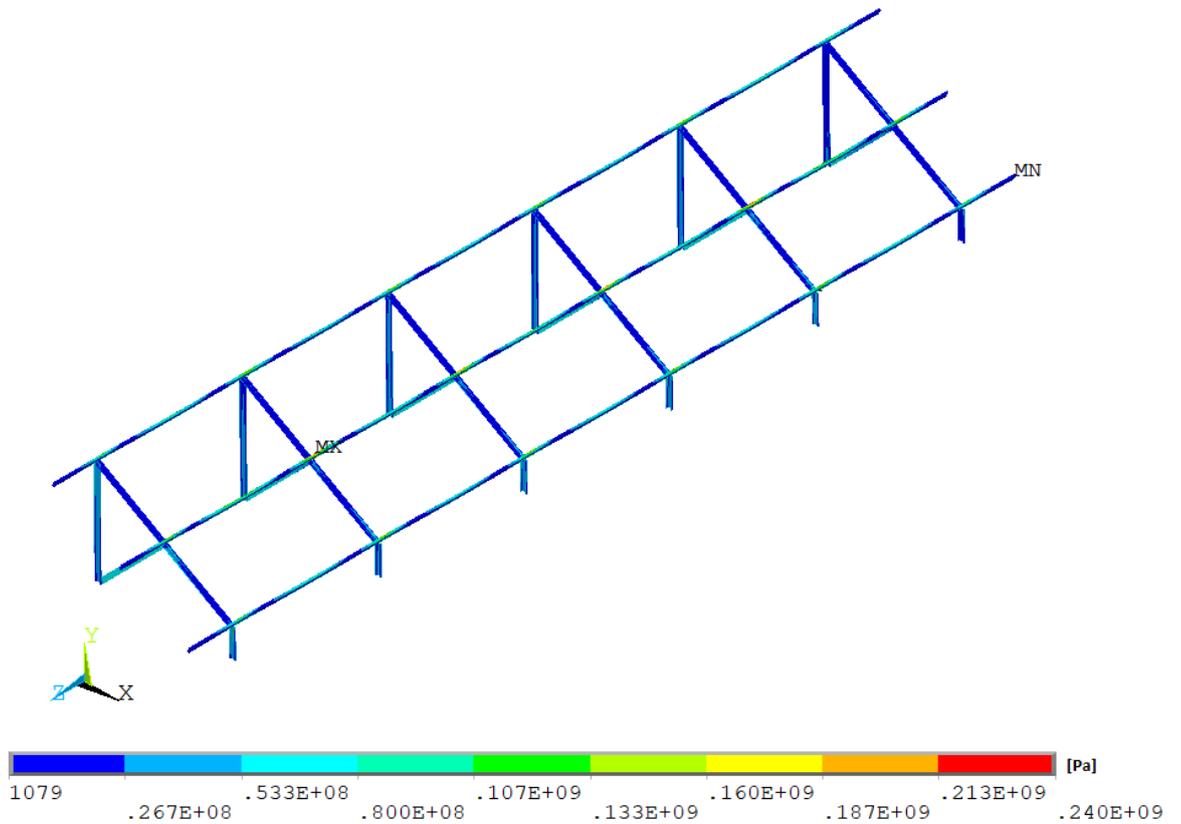


Figura 8: Tensiones equivalentes de Von Mises [Pa]. Caso I; [ELU].

TÍTULO DOCUMENTO	ED/REV	FECHA	CÓDIGO	Página
INFORME SIMULACIÓN	0/0	04-04-2019	126R2019	17/27

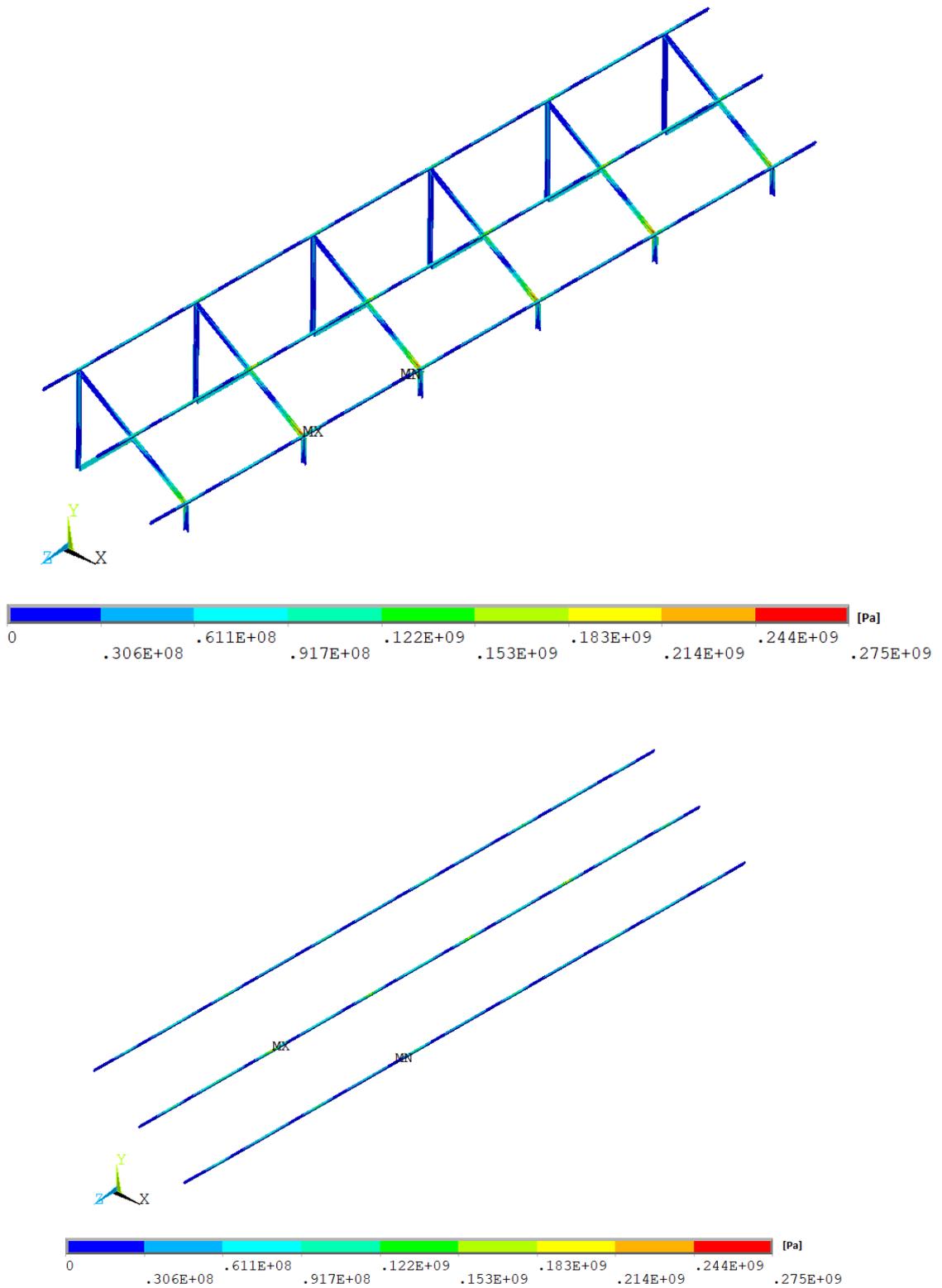


Figura 9: Tensiones equivalentes de Von Misses [Pa]. Caso II; [ELU].

TÍTULO DOCUMENTO	ED/REV	FECHA	CÓDIGO	Página
INFORME SIMULACIÓN	0/0	04-04-2019	126R2019	18/27

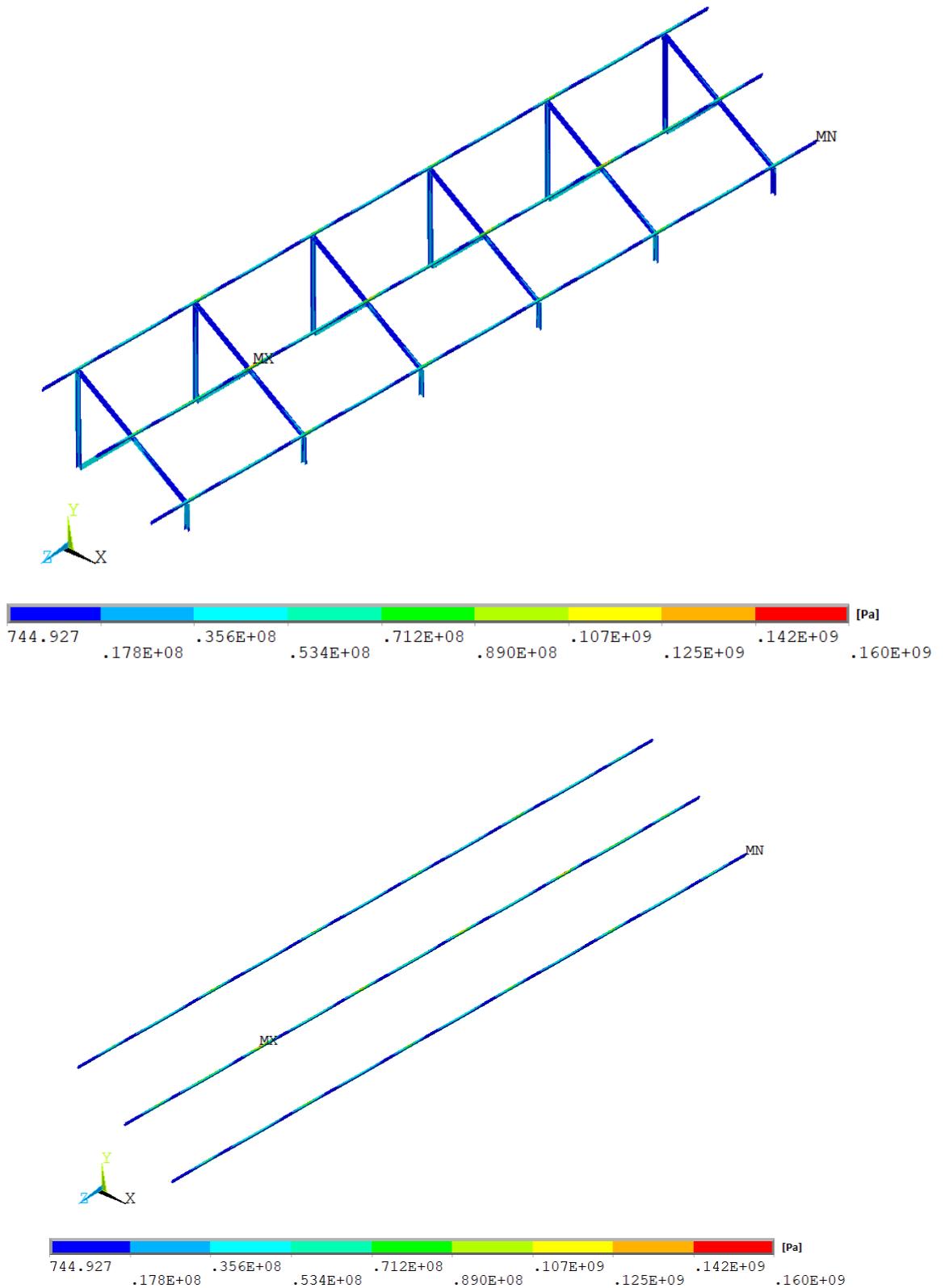


Figura 10: Tensiones equivalentes de Von Misses [Pa]. Caso I; [ELS].

TÍTULO DOCUMENTO	ED/REV	FECHA	CÓDIGO	Página
INFORME SIMULACIÓN	0/0	04-04-2019	126R2019	19/27

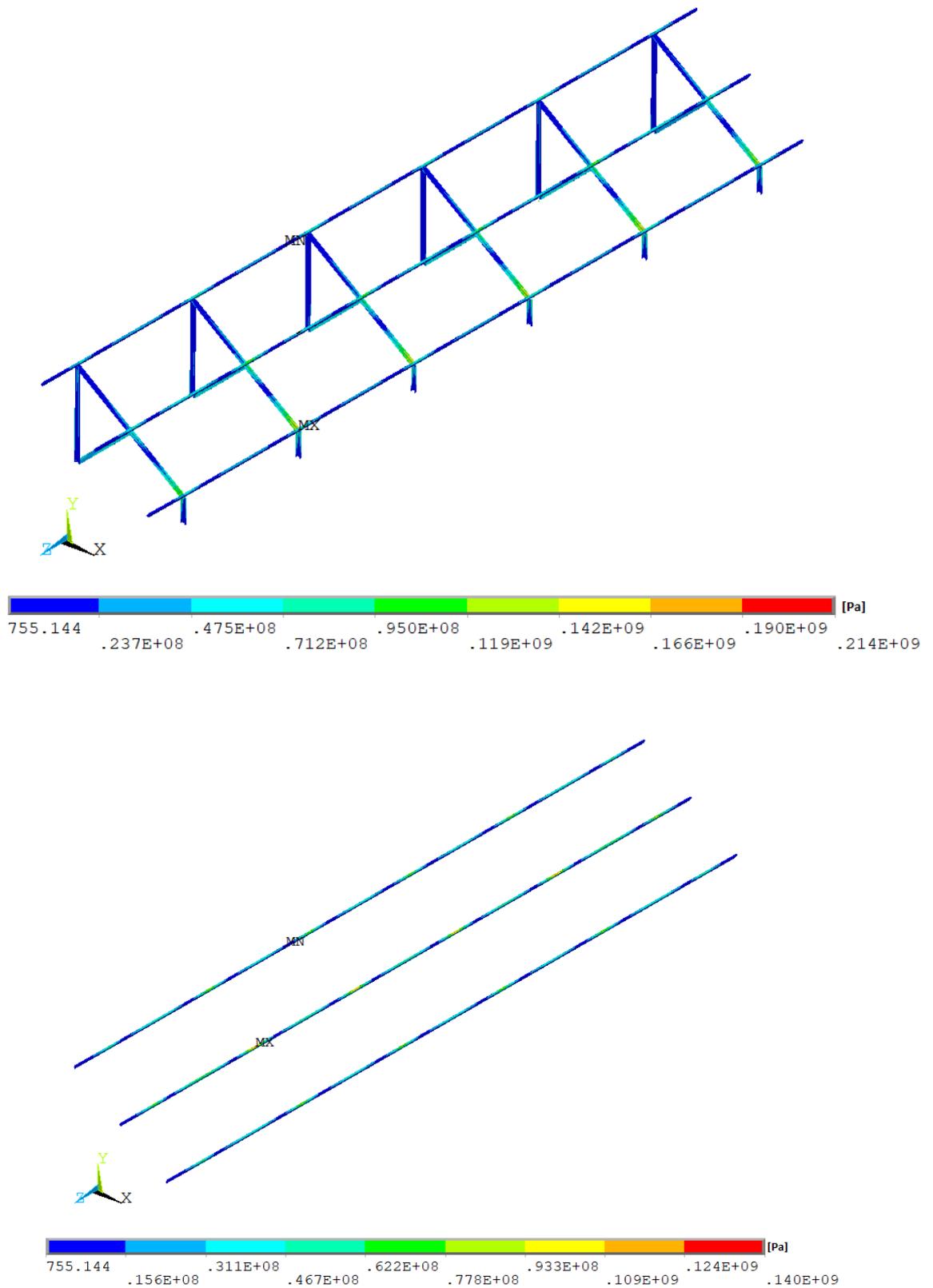


Figura 11: Tensiones equivalentes de Von Mises [Pa]. Caso II; [ELS].

TÍTULO DOCUMENTO	ED/REV	FECHA	CÓDIGO	Página
INFORME SIMULACIÓN	0/0	04-04-2019	126R2019	20/27

A la vista de las figuras anteriores, se observa que las tensiones se mantienen por debajo de límite elástico del material (250 Mpa para las correas y 275 Mpa para el resto de perfiles; ver apartado 7), garantizándose así la integridad del conjunto.

### 10.1.2. DESPLAZAMIENTOS: FLECHAS

En las Figuras 11 y 12, se recogen visualmente los valores del módulo de los desplazamientos totales en metros, correspondientes a cada uno de los Casos de Carga en estudio (ELS).

Se recomienda su observación a efectos de compatibilidad con el resto de elementos del sistema.

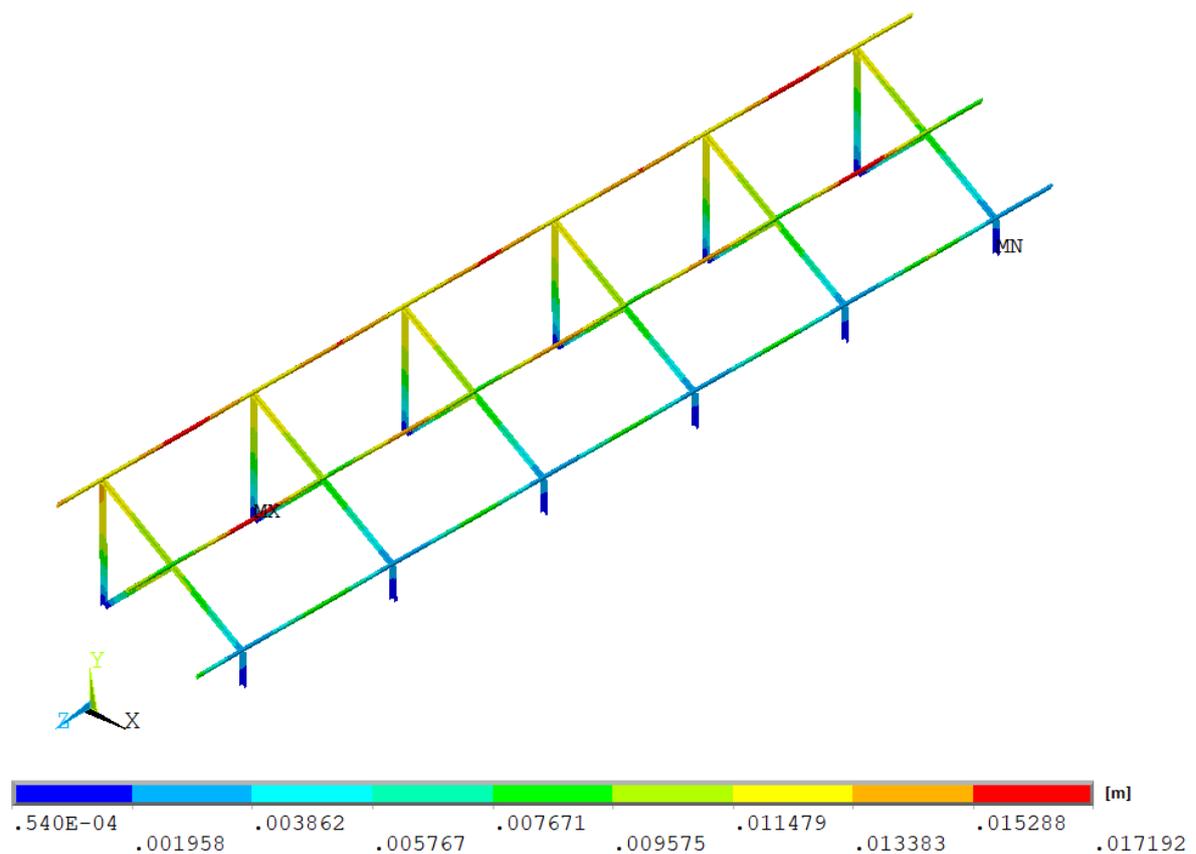


Figura 12: Módulo de los desplazamientos totales [m]. Caso I; [ELS].

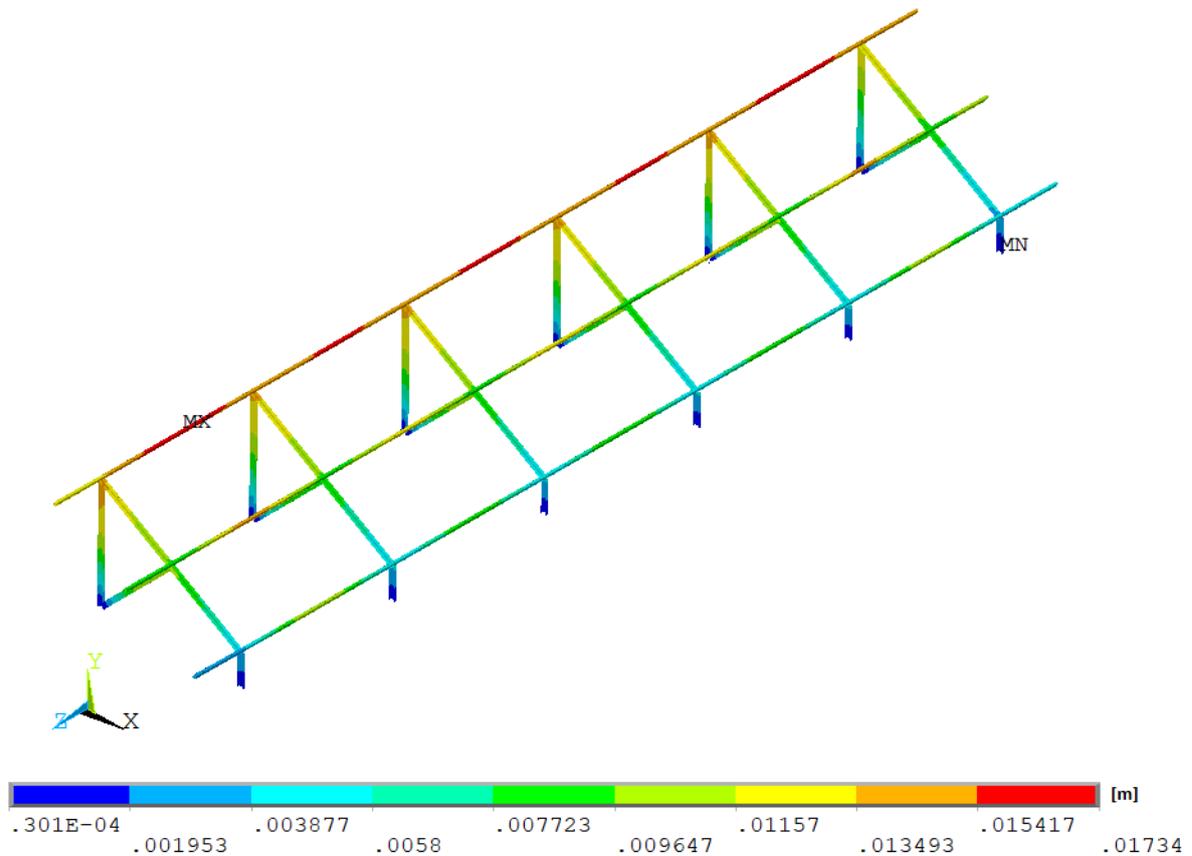


Figura 13: Módulo de los desplazamientos totales [m]. Caso I; [ELS].

## 10.2. RESULTADOS ANÁLISIS ESTABILIDAD ELÁSTICA

En las Figuras 14 y 15, se recogen las visualizaciones de los primeros autovalores y autovectores (o modos de pandeo) obtenidos con el análisis de estabilidad elástica (correspondientes a cada Caso de Carga en estudio).

Los autovalores se deben interpretar como el coeficiente de mayoración, por el que se deben multiplicar las cargas aplicadas, para que se origine el modo de pandeo correspondiente.

Se considera que un autovalor o multiplicador de la carga superior a 3,5, ofrece las suficientes garantías, frente a los distintos factores que hacen que la estructura pierda la necesaria estabilidad elástica.

Para asegurar el conjunto frente a modos de pandeo globales se incluyen arriostramientos en Cruz de San Andrés, realizados con pletina de 30x3 mm, en los pórticos centrales (ver figuras 14 y 15) para evitar así los modos de pandeo globales.

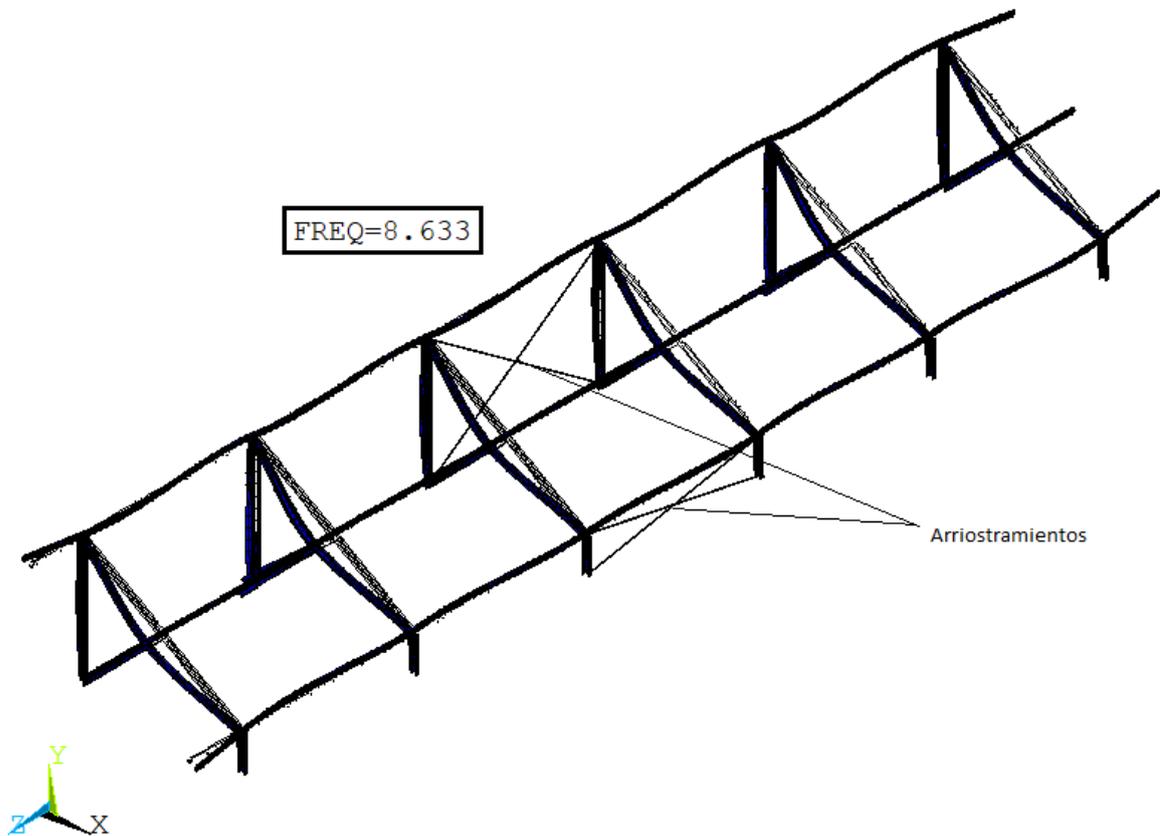


Figura 14: Análisis de Estabilidad Elástica Pandeo. Multiplicador: 8,633. Caso I; [ELS].

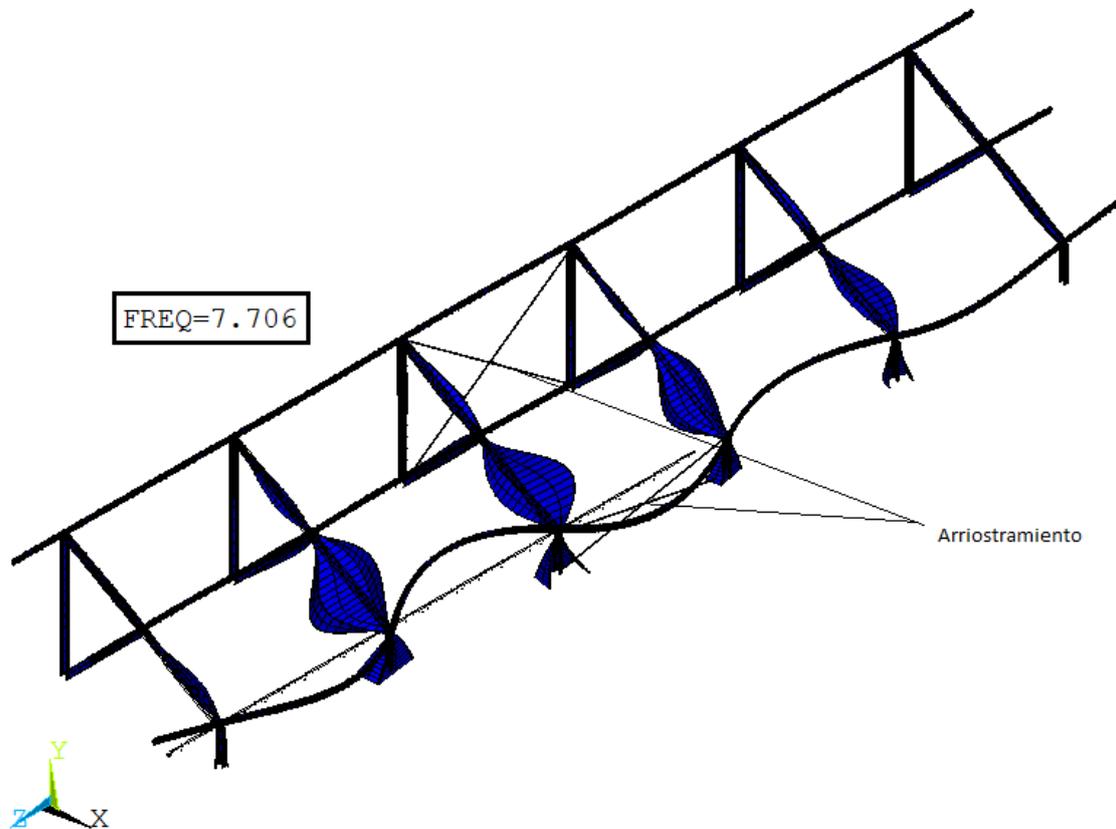


Figura 15: Análisis de Estabilidad Elástica Pandeo. Multiplicador: 7,706. Caso II; [ELS].

## 11. VALIDACIÓN RESULTADOS Y COMPROBACIONES ADICIONALES

Se han revisado tanto las deformadas, como las reacciones que se producen en cada caso de carga, comprobando que tanto las condiciones de equilibrio como las de compatibilidad se satisfacen siempre.

Para finalizar, en el siguiente apartado se incluyen las reacciones obtenidas para cada caso de carga en estudio, en la situación de estado límite de servicio (ELS).

Indicar que no se incluye en el presente informe la verificación de la adecuación de ningún tipo de correas o estructuras de apoyo existentes en el edificio / nave de cada instalación concreta; dichas verificaciones se podrán realizar por terceros a partir de las reacciones presentadas.

TÍTULO DOCUMENTO	ED/REV	FECHA	CÓDIGO	Página
INFORME SIMULACIÓN	0/0	04-04-2019	126R2019	24/27

## 11.1. REACCIONES

En las Figuras 16 a 17, se incluyen cuadros con las reacciones obtenidas en los puntos de apoyo para cada uno de los casos de carga en estudio (ELS).

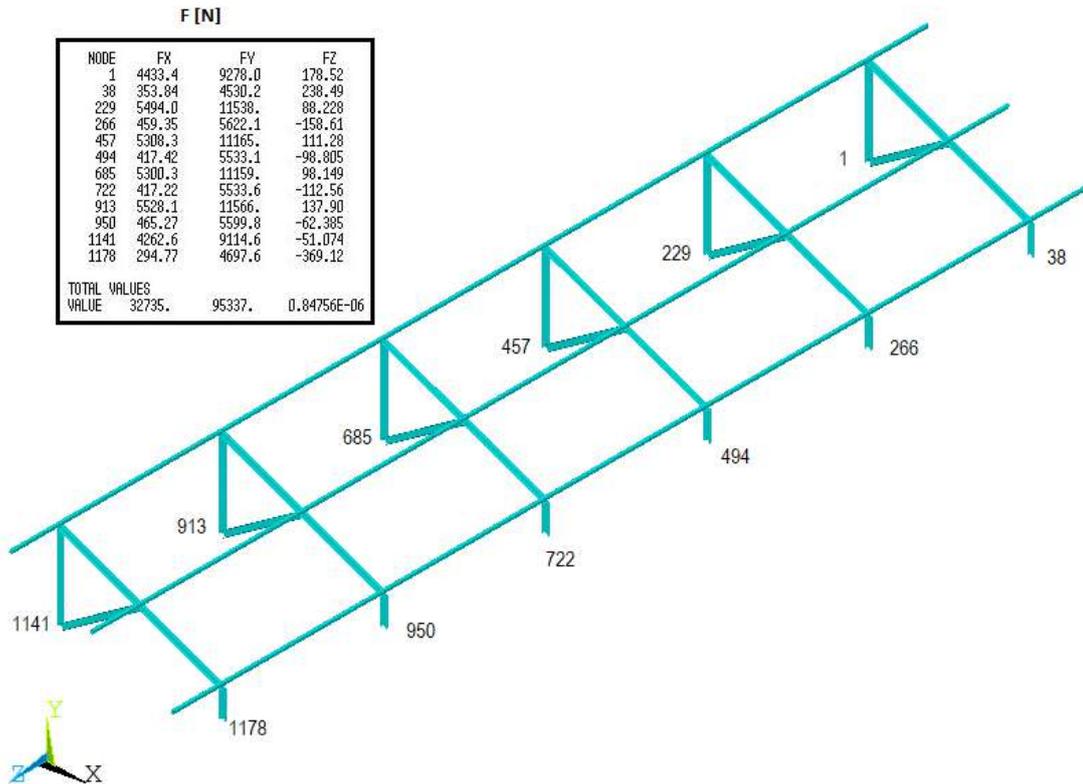


Figura 15: Reacciones (valores en Newtons); Caso I [ELS].

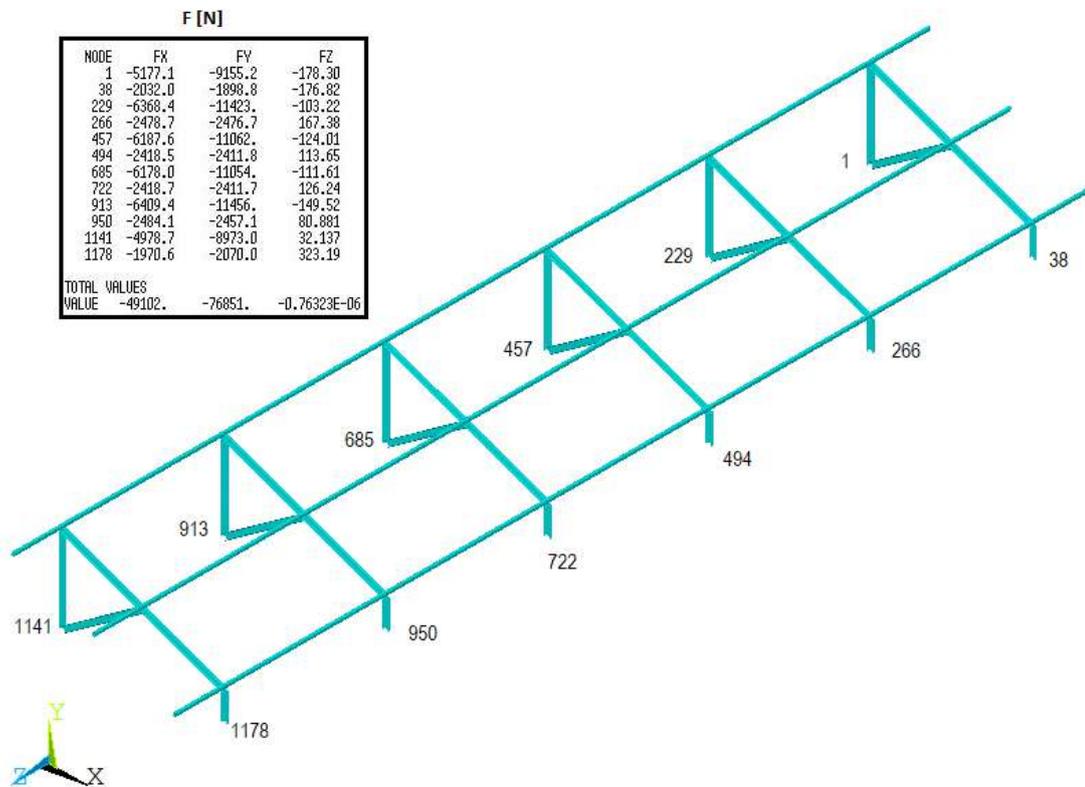


Figura 16: Reacciones (valores en Newtons); Caso II [ELS].

## 12. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos, se puede concluir que SISTEMA ESTRUCTURAL en estudio basado en perfiles extruidos de aluminio, presentará un *comportamiento* satisfactorio desde el punto de vista de la seguridad resistente, frente a los distintos modos de fallo originados por **cargas climáticas normativas, con vanos de 3 m entre pórticos y paneles PV instalados en sentido vertical**, siempre que se respeten las dimensiones geométricas y perfiles referenciados en el apartado 5, las calidades de los materiales indicadas en el apartado 7 y que en funcionamiento, no se superen los casos de carga supuestos en el apartado 8.

Los problemas estructurales pueden aparecer en cualquiera de los casos, si en algún momento, el conjunto de la estructura soporta acciones no previstas que supongan valores superiores a los adoptados en los casos de carga considerados en el presente informe (apartado 8.3).

Indicar, finalmente, que en cualquier caso se supone una correcta fabricación y montaje de la estructura de aluminio del SISTEMA MUNIELLOS, por personal especializado en este tipo de tareas.



En Gijón, 04 de abril de 2019



José Luis Suárez Sierra  
Ingeniero Industrial  
Colegiado N°: 2072

TÍTULO DOCUMENTO	ED/REV	FECHA	CÓDIGO	Página
INFORME SIMULACIÓN	0/0	04-04-2019	126R2019	27/27