

INFORME DE EVALUACIÓN

DE SISTEMA DE ANDAMIO UNIDIRECCIONAL (FACHADA) DE COMPONENTES PREFABRICADOS.

NÚMERO <i>Number</i>	IE100222
FECHA DE EMISIÓN <i>Date of issue</i>	27 de Septiembre de 2010
PÁGINA <i>Page</i>	1 de 84

MUESTRA DE ENSAYO <i>Test specimen</i>	Identificación según peticionario: <i>Sistema de andamio de servicio unidireccional (fachada) mediante componentes prefabricados.</i> Nº Albarán: 54427
SOLICITANTE <i>Applicant</i>	GRAVA DE FERGOM, S.L. Av. de Huerta, 24, 1ª. 46120 Alborcua
FECHA/S DE ENSAYO <i>Date/s of test</i>	25/02/2010 – 15/06/2010

SIGNATARIO/S AUTORIZADO/S <i>Autorized signatory/ies</i>		
DOCUMENTO FIRMADO DIGITALMENTE MEDIANTE FIRMA ELECTRÓNICA LEGAL / Electronic Signature		

ÍNDICE

- 1. OBJETO Y ALCANCE.**
- 2. NORMATIVA TÉCNICA DE APLICACIÓN.**
- 3. DESCRIPCIÓN MÉTODOS DE EVALUACIÓN PARA LOS SISTEMAS DE ANDAMIO UNIDIRECCIONALES (FACHADA)**
 - 3.1 INTRODUCCIÓN. MÉTODO DE EVALUACIÓN.**
 - 3.2 MÉTODO ANÁLITICO.**
 - 3.3 MÉTODO EXPERIMENTAL.**
 - 3.3.1 Ensayos estáticos de resistencia sobre plataformas de trabajo.**
 - 3.3.2 Ensayos estáticos de resistencia sobre las protecciones laterales.**
 - 3.3.3 Ensayo de vibración sobre configuración del sistema para evaluación de los mecanismos de conexión.**
 - 3.3.4 Ensayo de carga cíclica en peldaños de las escaleras integradas en el andamio.**
 - 3.4 EQUIPAMIENTO PARA ENSAYOS. CONFIGURACIÓN Y DISPOSICIONES DE ENSAYOS.**
- 4. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ANDAMIO UNIDIRECCIONAL EVALUADO.**
- 5. RESULTADOS.**
 - 5.1 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN MEDIANTE ENSAYOS:**
 - 5.1.1 Ensayos estáticos de resistencia sobre plataformas de trabajo.**
 - 5.1.2 Ensayos estáticos de resistencia sobre las protecciones laterales.**
 - 5.1.3 Ensayo de vibración sobre configuración del sistema para evaluación de los mecanismos de conexión.**
 - 5.1.4 Ensayo de carga cíclica en peldaños de las escaleras integradas en el andamio.**
 - 5.2 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ANÁLITICA.**
- 6. CONCLUSIONES**
- 7. REPORTAJE FOTOGRÁFICO**
 - 7.1 ENSAYOS ESTÁTICOS DE RESISTENCIA SOBRE PLATAFORMAS DE TRABAJO.**
 - 7.2 ENSAYOS ESTÁTICOS DE RESISTENCIA SOBRE LAS PROTECCIONES LATERALES.**
 - 7.3 ENSAYO DE VIBRACIÓN SOBRE CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA PARA EVALUACIÓN DE LOS MECANISMOS DE CONEXIÓN.**
 - 7.4 ENSAYO DE CARGA CÍCLICA EN PELDAÑOS DE LAS ESCALERAS INTEGRADAS EN EL ANDAMIO**
- 8. ANEXOS DE CÁLCULO**

1.-OBJETO Y ALCANCE:

La empresa peticionaria GRAVA DE FERGOM S.L., solicita a AIDICO, la realización de la evaluación de conformidad del **sistema de andamio unidireccional de fachada** (modelo **CK**, según denominación del peticionario), de acuerdo con las normas técnicas de aplicación, UNE-EN 12810 y UNE-EN 12811.

Las muestras seleccionadas y suministradas por el peticionario se someten a los métodos experimentales y analíticos especificados en la normativa de aplicación, teniendo en cuenta las condiciones reales de instalación en obra del sistema, y según las especificaciones contempladas en el Manual de Instrucciones y de Montaje, con las limitaciones que se pudieran dar debido a su evaluación en condiciones de Laboratorio.

Los ensayos se han llevado a cabo en el *Laboratorio de Elementos de Seguridad de AIDICO*, ya que se trata de un centro que cuenta con la Infraestructura y Equipamiento necesarios para la realización de este tipo de ensayos, y que está especializado en la verificación experimental de los Medios de Protección, Medios Auxiliares y Equipamientos específicos para el desarrollo de los trabajos temporales de obra.

El presente documento referencia las condiciones y resultados de la evaluación, con las consideraciones y limitaciones que expresamente se puedan señalar en el mismo. Teniendo en cuenta que el presente informe de evaluación no supone, como tal, certificación de producto alguna.

2.- NORMATIVA TÉCNICA DE APLICACIÓN:

Actualmente los **requisitos específicos** que deben cumplir los sistemas de andamio de componentes prefabricados, para trabajos temporales de obra, se encuentran recogidos en las siguientes **normas técnicas europeas** de aplicación:

- **UNE EN 12810-1:2003** “Andamios de fachada de componentes prefabricados. Parte 1: Especificaciones de los productos”,
- **UNE EN 12810-2:2003** “Andamios de fachada de componentes prefabricados. Parte 2: Métodos particulares para el diseño estructural”
- **UNE EN 12811-1:2003** “Equipamiento para trabajos temporales de obra. Parte 1: Andamios. Requisitos de comportamiento y diseño general”,
- **UNE EN 12811-2:2004** “Equipamiento para trabajos temporales de obra. Parte 2: Información sobre los materiales”.
- **UNE EN 12811-3:2002** “Equipamiento para trabajos temporales de obra. Parte 3: Ensayo de carga”.

A pesar de que todas ellas son de aplicación, para los andamios de fachada, la UNE-EN 12810 es el documento normativo que trata específicamente los sistemas de andamio unidireccional de fachada.

Esta normativa técnica europea establece los requisitos mínimos de resistencia y seguridad del conjunto del sistema de andamio unidireccional de fachada, y de los componentes que lo forman. Asimismo, introduce las definiciones de los principales componentes, elementos y conceptos, para estos equipos de trabajo:

- ✓ **Sistema** de andamio.
 - Conjunto de componentes que pueden interconectarse, diseñados fundamentalmente para el sistema;
 - Conjunto evaluado de configuraciones;
 - Manual de producto.
- ✓ **Componente:** Parte desmontable del sistema, por ejemplo, una diagonal o un marco vertical.
- ✓ **Elemento:** Parte solidaria (por ejemplo, soldada) con un componente, por ejemplo, un travesaño de un marco vertical.
- ✓ **Unión o dispositivo de conexión:** Dispositivo para la unión de dos o más componentes.
- ✓ **Acoplamiento:** dispositivo utilizado para conectar dos tubos.
- ✓ **Placa base:** placa utilizada para distribuir la carga en un montante sobre un área mayor.
- ✓ **Base regulable:** Placa base que dispone de un dispositivo de regulación vertical.
- ✓ **Larguero:** componente horizontal, normalmente en la dirección de la dimensión mayor del andamio de trabajo.
- ✓ **Protección lateral:** Conjunto de componentes que forman una barrera para proteger a la gente del riesgo de caída en altura y para retener materiales.
- ✓ **Montante:** elemento vertical de soporte de la estructura del andamio.
- ✓ **Travesaño:** Elemento, normalmente horizontal, en la dirección de la dimensión más pequeña del andamio de trabajo.
- ✓ **Plataforma:** Una o más unidades de plataforma en un módulo del mismo nivel.
- ✓ **Unidad de plataforma:** Unidad (prefabricada o de otro tipo), que soporta una carga en sí misma y que forma la plataforma o parte de la plataforma y puede formar una parte estructural de un andamio de trabajo.
- ✓ **Área de trabajo:** suma de plataformas en un nivel, para proporcionar a la gente un sitio elevado y seguro para trabajar y para dar acceso a su trabajo.
- ✓ **Configuración del sistema:** configuración del sistema que comprende una estructura completa (por ejemplo, un andamio o una torre de soporte de carga), o una parte representativa de la misma.
- ✓ **Conjunto normalizado de configuraciones del sistema:** conjunto específico de configuraciones del sistema para el propósito de diseño estructural y evaluación.
- ✓ **Evaluación:** proceso que tiene por objeto comprobar que se cumplen todos los requisitos especificados.
- ✓ **Andamio de trabajo:** construcción temporal que se precisa para proporcionar un lugar seguro de trabajo para la construcción, mantenimiento, reparación o demolición de edificios y otras estructuras, y para el acceso necesario.

3.- DESCRIPCIÓN MÉTODOS DE EVALUACIÓN PARA LOS SISTEMAS DE ANDAMIO UNIDIRECCIONALES (FACHADA)

3.1. INTRODUCCIÓN. MÉTODO DE EVALUACIÓN.

De acuerdo a la normativa de aplicación, el proceso de evaluación que ésta establece para la verificación de los requisitos de los andamios tubulares de componentes prefabricados, debe realizarse por vía analítica (cálculo) y experimental (ensayos):

1. Analítica, mediante análisis numérico para la configuración tipo del sistema de andamio, realizando una evaluación estructural del conjunto y de algunos componentes de forma independiente, para la magnitud y tipología de acciones que expresamente establece la normativa.
2. Ensayos mecánicos (estáticos y dinámicos), sobre los principales componentes del sistema, para la evaluación experimental de los diferentes requisitos de carga.

3.2 MÉTODO ANALÍTICO.

El método analítico de evaluación del sistema de andamio unidireccional de fachada, formado por componentes prefabricados, consistirá por una parte, en la comprobación de los resultados de los ensayos, mediante métodos numéricos, así como para complementar los resultados experimentales obtenidos, por la otra. La norma técnica de aplicación UNE-EN 12810 indica las diferentes acciones que debe resistir el sistema objeto de la evaluación, así como sus principales componentes, y las combinaciones de carga más desfavorables a las que puede estar sometido.

De este modo, debe verificarse que los valores de deformación y resistencia, producto de las acciones (individuales y combinadas) aplicadas, no excedan los valores máximos de los parámetros indicados por la normativa, así como de la resistencia máxima de las configuraciones tipo analizadas.

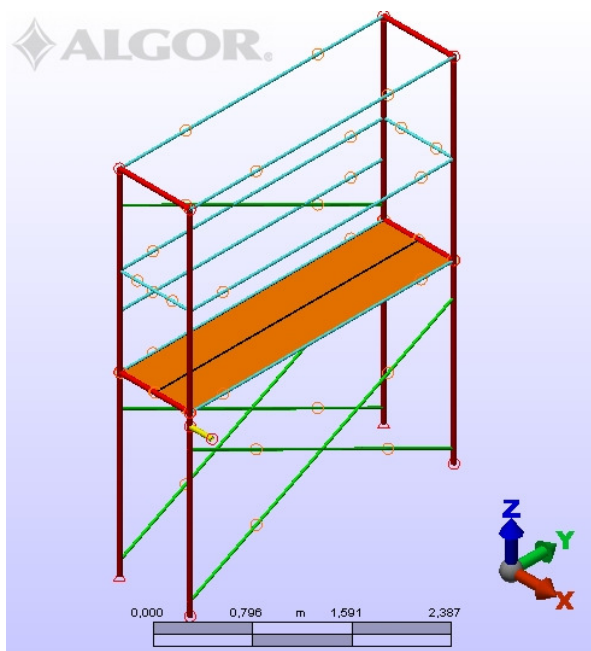


Imagen 1: Detalle del módulo básico usado en la evaluación analítica para aplicación de cargas individuales.

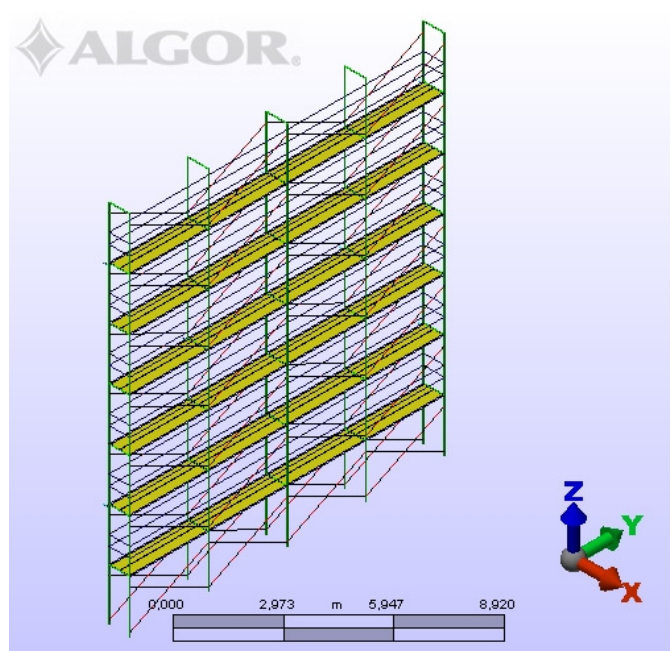


Imagen 2: Detalle de la configuración tipo completa de evaluación, para la aplicación de las combinaciones de carga consideradas.

Así, las variables a tener en cuenta, para las condiciones de análisis son:

- Las tensiones de Von Mises. Tensiones existentes en el área de la unidad de plataforma de trabajo, con las que puede apreciarse si la tensión resultante de las acciones aplicadas, alcanza, o no, el valor del material para su plastificación, o bien para su rotura.
- Las tensiones más desfavorables en el caso peor que se producen sobre los componentes tubulares. Observando como en el caso anterior la tensión existente y comparándola con los valores característicos del material para plastificación y rotura.
- Las deformaciones máximas y mínimas, puesto que el modelo aplicado corresponde con el estudio del comportamiento carga – deformación.

Se definen así las condiciones de carga sobre el modelo, para el análisis numérico del sistema de andamio unidireccional de fachada modelo CK.

- Condición de carga 1. Acciones aplicadas en el área de trabajo:

Las cargas de servicio en las áreas de trabajo, son establecidas en la tabla 3 de la norma UNE-EN 12811-1. Cada área de trabajo debe ser capaz de soportar varias cargas: q_1 , F_1 , F_2 y q_2 de forma separada pero no acumulada.

- Condición de carga 1.1 Carga de servicio uniformemente distribuida q_1 (clase 5: 4,5 kN/m²)
- Condición de carga 1.2 Carga concentrada F_1 (3 kN concentrada en un área de 500x500 mm)
- Condición de carga 1.3 Carga concentrada F_2 (1 kN concentrada en un área de 200x200 mm)
- Condición de carga 1.4 Carga en un área parcial q_2 ($q_2= 7,5$ kN/m² y $a_p=0,4$)

- Condición de carga 2. Acción horizontal de trabajo:

En ausencia del viento, el andamio debe soportar una carga horizontal de trabajo hipotética, que representa las operaciones durante el uso, actuando en todos los niveles donde la plataforma o área de trabajo esté cargada.

Para cada tramo considerado, la carga hipotética de trabajo no debe ser menor del 2.5% del total de la carga uniformemente distribuida q_1 sobre dicho tramo que en el caso estudiado será de 0.3 kN actuando en el nivel del área de trabajo, y debiéndose aplicar separadamente en paralelo y perpendicular al módulo.

- Condición de carga 2.1 Carga horizontal de trabajo paralela a fachada.
- Condición de carga 2.2 Carga horizontal de trabajo perpendicular a fachada.

- Condición de carga 3. Acciones sobre las protecciones laterales:

- Condición de carga 3.1 Carga descendente: puntual vertical y descendente de 1,25 kN.
- Condición de carga 3.2 Carga ascendente: puntual ascendente de 0,3 kN.
- Condición de carga 3.3 Carga horizontal: puntual de 0,3 kN (0,15 kN sobre el rodapié)

- Condición de carga 4. Acciones del viento

Las cargas de viento se calculan asumiendo que hay presión dinámica sobre un área de referencia del andamio de trabajo, área proyectada en la dirección del viento. Su valor se obtiene como el producto de la presión dinámica, la superficie expuesta al viento, el coeficiente de sitio y el de fuerza aerodinámica. Se incluirán en la condición de carga 5.

- Condición de carga 5. Combinación de acciones:

Cada estructura considerada debe resistir las peores combinaciones de carga a las que puede estar sometida. Tanto para el caso de carga de viento de servicio, como para el de máxima carga de viento.

Para andamios unidireccionales de fachada, las combinaciones de cargas se recogen en el apartado 6.2.9.2 de la UNE-EN 12811-1, con dos situaciones posibles: la condición de servicio y la de fuera de servicio.

Así, para cada combinación considerada, el viento (tanto para condición de servicio, como para fuera de servicio) se aplicará en dos direcciones sobre el andamio completo de fachada; la primera aplicada paralela a la fachada, y la segunda, perpendicular.

Para condición de servicio la carga uniformemente distribuida, para andamio de clase 5, actuando sobre el área de trabajo del nivel de plataforma más desfavorable, será de 4,5 kN/m²

Si una configuración de andamio presenta más de un nivel de plataforma de trabajo, debe tomarse el 50% de la carga q_1 especificada, para actuar sobre el área de trabajo en el nivel inmediato superior o inferior (condición de servicio)

Para la condición de fuera de servicio establece un % de la carga uniformemente distribuida, actuando en el nivel de plataforma más desfavorable. El valor depende de la clase de andamio, para clase 5 el porcentaje será del 50%, lo que representa materiales almacenados en el área de trabajo.

PROGRAMA DE CÁLCULO

El programa de cálculo utilizado, es un software de análisis por elementos finitos, conocido comercialmente como ALGOR, v.23.01, con un módulo de simulación de eventos mecánicos, con contrato de soporte y actualización en vigor a nombre de AIDICO.

Con este software se han realizado todos los modelos de análisis numérico del conjunto normalizado de configuraciones del sistema de andamio unidireccional de fachada, modelo CK, indicado en la normativa de aplicación, para las diferentes configuraciones de cargas estáticas actuando de forma individual o combinada sobre el conjunto del sistema, así como sobre sus diferentes componentes indicados en la misma.

Asimismo, el software de cálculo utilizado permite el análisis correspondiente a las dos hipótesis de carga (condición de servicio, y condición fuera de servicio, respectivamente), consideradas por la normativa técnica de aplicación.

3.3 MÉTODO EXPERIMENTAL.

Los ensayos descritos en la normativa de aplicación para verificar experimentalmente algunos de los requisitos que establecen para los sistemas de andamio de componentes prefabricados, son:

3.3.1 Ensayos estáticos de resistencia sobre plataformas de trabajo.

Estos ensayos se realizan para verificar la capacidad de carga de las unidades de plataforma de trabajo, con la que se obtendrá la clase resistente de la misma (de acuerdo a lo indicado en la tabla 3 en el apartado 6.1.3 de la *UNE-EN 12811-1:2003*). Para ello, se realizan 3 ensayos de carga estática sobre la unidad de plataforma de trabajo:

- Ensayo de carga uniformemente distribuida sobre la superficie de la unidad de plataforma de trabajo.

Este ensayo se realiza sobre un sólo módulo de andamio, con dos plataformas de trabajo, con una luz entre montantes verticales de 3m.

Carga de ensayo inicial mínima, de 300 daN/m² para la plataforma de trabajo a ensayar, correspondiendo a una clase resistente 4.

- Ensayo de carga estática concentrada sobre superficie de 200x200mm en el centro de la plataforma.

Sobre una unidad de plataforma de trabajo se sitúa la placa de acero, de 200x200m y 25mm de espesor, para la aplicación de la carga concentrada de 100 daN.

- Ensayo de carga estática concentrada sobre superficie de 500x500mm en el centro de la plataforma.

Igual que en el caso anterior, se sitúa una placa de acero, de 500x500m y 25mm de espesor, con la que se aplicará la carga de 300 daN requerida para el ensayo. Como la carga se aplica sobre una unidad de plataforma, que tiene un ancho de 400mm, la carga concentrada equivalente aplicada será de 240 daN.

Nota: 1 daN = 1 kg

3.3.2 Ensayos estáticos de resistencia sobre las protecciones laterales.

Con estos ensayos se verifica la capacidad resistente de las barandillas integradas en la estructura del andamio bajo cargas puntuales, de tipo accidental, o producidas durante el trabajo habitual en el propio sistema. Estos ensayos se realizarán siguiendo las indicaciones del apartado 6.2.5 de la norma, la *UNE-EN 12811-1:2003*. Se realizan 5 ensayos de carga estática sobre los diferentes componentes de la protección:

- Un ensayo de carga estática vertical descendente en la posición más desfavorable de la barandilla principal (centro de la protección lateral correspondiente)
- Un ensayo de carga estática vertical ascendente en la posición más desfavorable de la barandilla principal (centro de la protección lateral correspondiente)
- Un ensayo de carga estática horizontal en la posición más desfavorable de la barandilla principal (centro de la protección lateral correspondiente)
- Un ensayo de carga estática horizontal en la posición más desfavorable de la barandilla intermedia (centro de la protección lateral correspondiente)

- Un ensayo de carga estática horizontal en la posición más desfavorable del rodapié (centro de la protección lateral correspondiente)

3.3.3 Ensayo de vibración sobre configuración del sistema para evaluación de los mecanismos de conexión.

Este ensayo se realiza para evaluar y comprobar que los mecanismos de conexión (en este caso el pasador de conexión entre montantes, diagonales, largueros y protecciones laterales), que pueden ser susceptibles de soltarse bajo los efectos de posibles y frecuentes inversiones de carga, no se aflojan, ni desconectan, en ningún momento. El ensayo se realizará de acuerdo al apartado 8.6 de la *UNE-EN 12810-1:2003*, el 4.3.2 de la *UNE-EN 12810-2:2003*, y al 7.4 de la *UNE-EN 12811-3:2002*.

Se realizarán 3 ensayos idénticos y consecutivos, con 3000 repeticiones a 5Hz cada uno de ellos, junto a las uniones tipo “pasador” de las diagonales con el montante correspondiente.

La intensidad de carga se calcula mediante la fórmula: $\pm 0.1 * R_k / (\gamma_M * \gamma_F)$ (considerando γ_M como el coeficiente de seguridad del material, y la γ_F el de fuerza), tratándose R_k de la resistencia característica, como la resistencia mínima para provocar un fallo a nivel global (o individual) y que se ha estimado previamente mediante ensayo de caracterización.

3.3.4 Ensayo de carga cíclica en peldaños de las escaleras integradas en el andamio.

Este ensayo se realiza para evaluar la capacidad resistente de los peldaños, mediante la aplicación de una carga repetida (fenómeno de fatiga), en el estado límite de servicio. Ensayo de acuerdo al apartado 6.2.4 de la *UNE-EN 12811-1:2003*, el 8.5 de la *UNE-EN 12810-1:2003*, y al 7.3 de la *UNE-EN 12811-3:2002*.

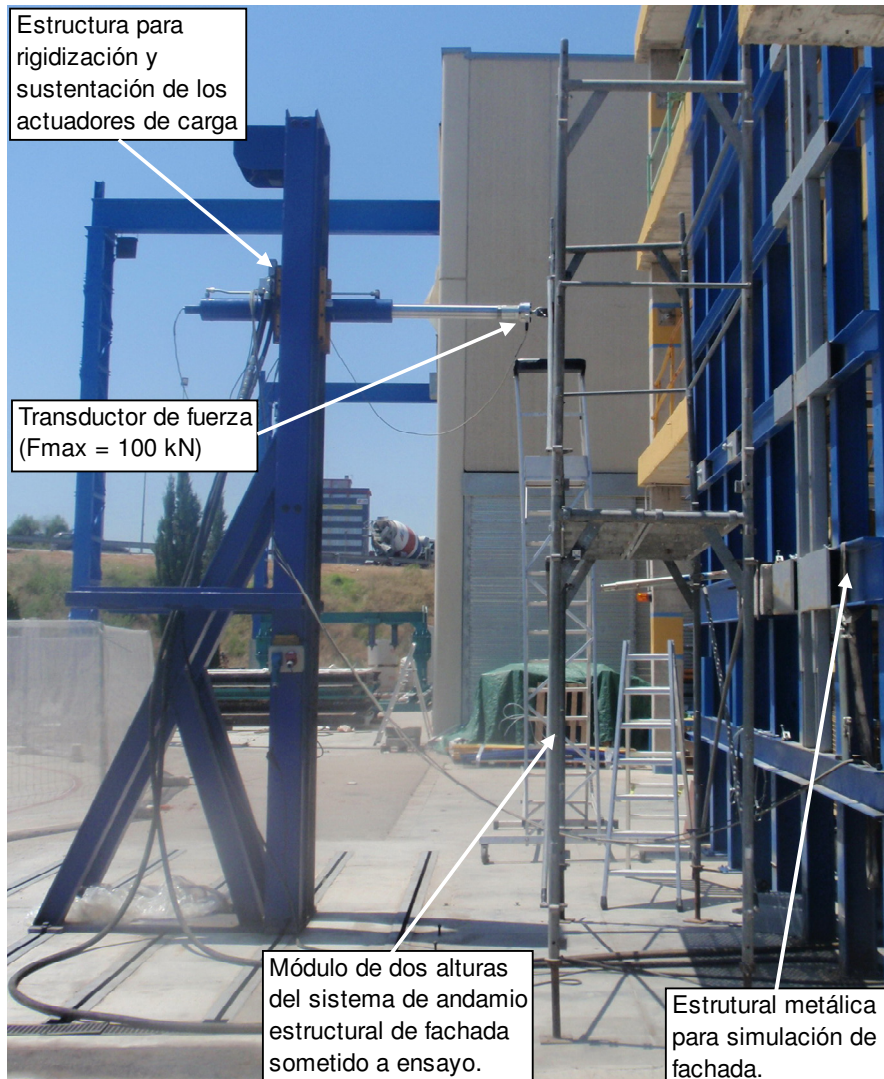
De este modo, se realizan dos series de ensayos consecutivos. El primero, en el centro del peldaño, y el segundo, en su lateral (con el eje de aplicación de la carga a una distancia menor o igual a 100mm desde el propio lateral), con una carga vertical descendente de 150 daN (sobre una superficie de 100x100 mm²), durante 300.000 ciclos de carga-descarga; se considera una frecuencia de uso de 3.5 Hz, siendo ésta representativa del uso cíclico de este componente.

3.4 EQUIPAMIENTO PARA ENSAYOS. CONFIGURACIÓN Y DISPOSICIONES DE ENSAYOS.

Para la realización de los ensayos sobre el sistema de andamio unidireccional de fachada modelo *CK*, y registrar los parámetros de fuerza y desplazamiento correspondientes, se emplea el siguiente equipamiento:

- ❖ Banco hidráulico para ensayos de estructuras (para el control del conjunto del equipo de ensayos)
- ❖ Actuadores hidráulicos con células de carga integradas de 25 kN y 100 kN, y transductores de desplazamiento.
- ❖ Estructuras soportes para rigidización y sustentación de los actuadores de carga, tanto en posición vertical como horizontal.

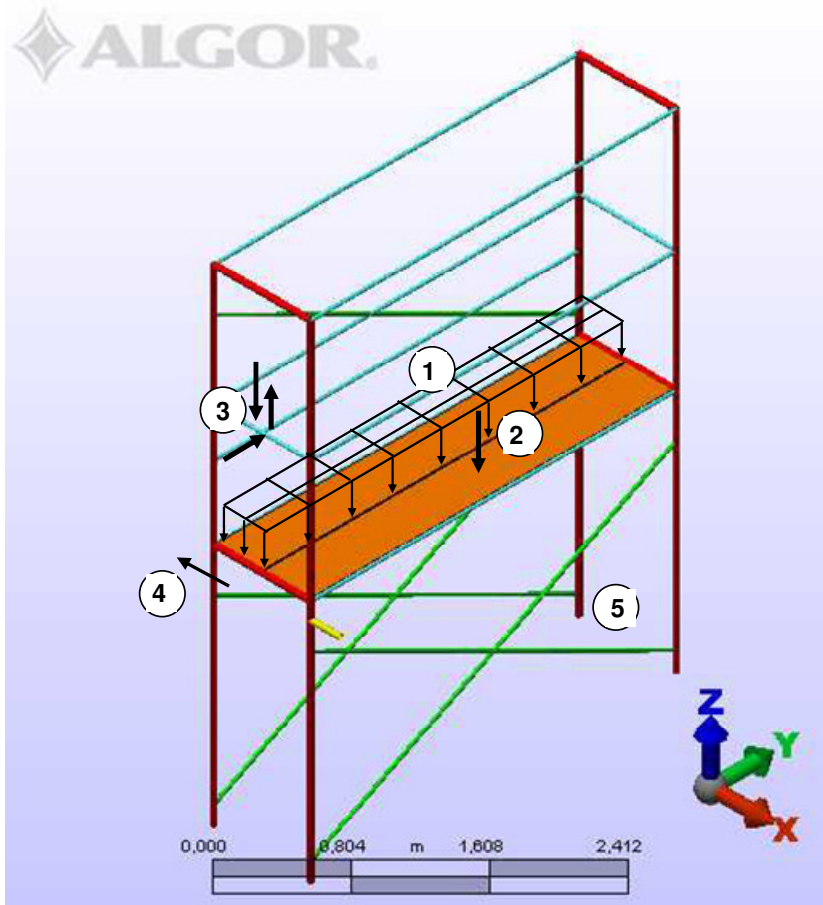
- ❖ Estructura metálica mallada para simulación de fachada, que permite la realización de los ensayos reproduciendo el patrón de anclaje al tipo de estructura portante descrita por el peticionario.
- ❖ Sistema de adquisición y tratamiento de datos, a partir de los registros primarios de los transductores de fuerza y de desplazamiento.
- ❖ Flexómetro y calibre digital calibrados.



Fotografía 1: Vista general de una muestra de ensayo del sistema de andamio, sometida a carga estática y arriostrada a la estructura soporte de fachada (un módulo con dos alturas)

CONFIGURACIÓN Y DISPOSICIÓN DE ENSAYOS

En cada una de las muestras de ensayo, los sistemas de carga se aplicarán en los puntos y disposiciones definidos en el siguiente croquis, sobre los diferentes componentes del sistema. Éstas se seleccionan bajo criterios normativos, características técnicas del sistema de andamio (ficha técnica, manual de instrucciones, etc.) y análisis previo del laboratorio para la selección de las configuraciones más desfavorables del sistema, zonas críticas del sistema (por ejemplo, en el centro del vano de las protecciones laterales)



Croquis 3D: Módulo con 2 alturas del sistema andamio con las diferentes distribuciones de ensayo realizadas.

Disposición 1: Ensayo estático de carga distribuida sobre plataforma de trabajo: 54427-1

Disposición 2: Ensayo estático de carga concentrada sobre plataforma de trabajo: 54427-2

Disposición 3: Ensayo estático de resistencia sobre protecciones laterales: 54427-3

Disposición 4: Ensayo de vibración sobre configuración del sistema para evaluar mecanismos de conexión: 54427-4

Disposición 5: Ensayo de carga cíclica en peldaños de las escaleras integradas: 54427-5

Las muestras objeto de ensayo, son identificadas con el número de albarán (referencia interna de AIDICO) 54427. Empleándose la siguiente nomenclatura para su identificación: **ALBARÁN-X-Y**

Donde:

X = 1, 2, 3, 4 o 5, hace referencia a cada una de las diferentes disposiciones de ensayo consideradas.

Y= 1, 2 o 3, hace referencia a cada uno de los diferentes ensayos realizados dentro de cada una de las diferentes disposiciones, atendiendo a la posición de aplicación de la carga, etc.

Por ejemplo:

54427-3-3: ensayo de carga estática horizontal sobre las protecciones de borde.

4.- IDENTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ANDAMIO UNIDIRECCIONAL EVALUADO.

Los componentes del módulo mínimo del sistema de andamio unidireccional de fachada, objeto del proceso de evaluación experimental especificado en el punto anterior, presentan las siguientes características, de acuerdo a la información suministrada por el peticionario:

- ❖ Marcos verticales: componentes prefabricados de acero S235, sección 48.3x3.2 mm (igual para los montantes y el travesaño) y una longitud de 2000 mm; con unas cartelas de refuerzo de los puntos de unión entre los montantes y el travesaño del marco, de sección 320x60x7 mm.
- ❖ Protección lateral, formada por tubo horizontal con sistema de anclaje mediante pasador, a los montantes de los marcos verticales, funcionando además como sistema de cierre lateral del andamio. Tubo de acero S235, con sección de 27x2.5mm, y longitud 870mm.
- ❖ Elementos de arriostramiento: largueros y diagonales. Fabricados con tubo de acero S275, de sección 27x2.5mm, y 2942mm y 3450mm de longitud respectivamente.
- ❖ Unidades de plataforma: componentes fabricados con chapa de acero S235, de sección 400x60mm, 1.5mm de espesor, y 3 m de longitud.
- ❖ Bases regulables: con placa de apoyo de acero de 140x140mm² de superficie, y 10mm de espesor, y un vástago roscado de 37 mm de diámetro y 480 mm de longitud.
- ❖ Componente de anclaje: tubo horizontal de acero S235, y sección 48.3x3.2mm, para el arriostrado al muro o la estructura sobre la que se monta y apoya el módulo de andamio, fijándose a uno de los montantes de uno de los dos marcos, mediante una acoplamiento giratorio.
- ❖ Escalera integrada entre niveles, de acero.



Fotografía 2: Vista general del proceso de montaje *in situ* del sistema, con 2 módulos de 2 alturas.

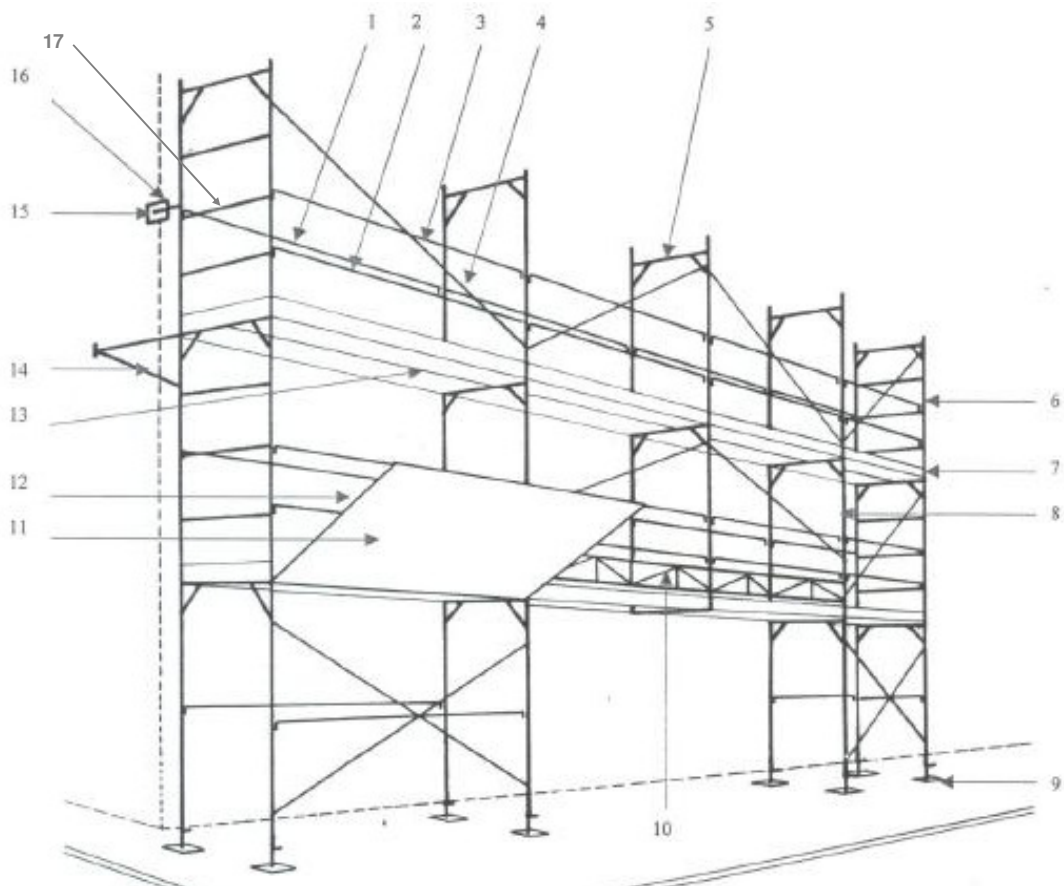


Imagen 3: Esquema general de los componentes del andamio.

- | | |
|----------|--|
| 1, 2, 3: | Longitudinales. |
| 4: | Diagonal de rigidización. |
| 5, 6, 8: | Marco vertical. |
| 7: | Rodapié. |
| 9: | Placas de asiento. |
| 10: | Cercha montada. |
| 11: | Visera de protección. |
| 12: | Soporte visera. |
| 13: | Unidades de plataforma de trabajo. |
| 14: | Ménsula. |
| 15, 16: | Patrón de anclaje, con siguientes características: Tubo acero + acoplamiento giratorio + taco mecánico |
| 17: | Protecciones laterales. |



Fotografía 4: Vista general de muestra a evaluar, durante proceso de ensayo, con un módulo de una altura, en el que se pueden identificar los marcos verticales, las riostras diagonales, los husillos y las plataformas de trabajo.

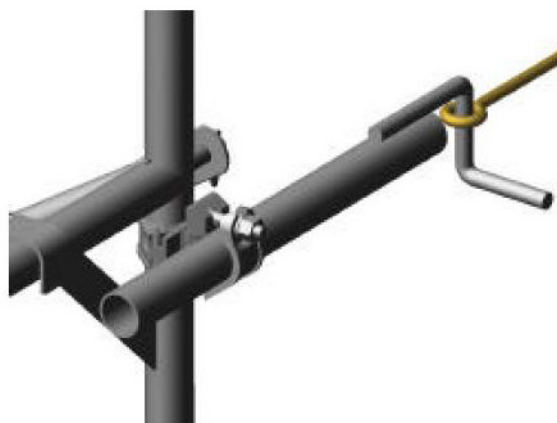


Imagen 4: Detalle de un ejemplo de arriostrado a fachada del sistema de andamio, mediante anclaje mecánico y acoplamiento giratorio.



Fotografía 5: Vista general de muestra a evaluar, durante proceso de ensayo, con 1 módulo de 2 alturas, en el que se pueden identificar los marcos verticales, las riostras diagonales y horizontales, los husillos y las plataformas de trabajo.

5.- RESULTADOS EVALUACIÓN.

5.1 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN EXPERIMENTAL.

5.1.1 Ensayo estático de resistencia sobre plataformas de trabajo.

Ensayo de carga uniformemente distribuida (54427-1)

La plataforma resiste de forma adecuada la carga uniformemente distribuida de 540 kg, por lo que se comprueba la idoneidad para la clase 5.



Fotografía 6: Vista de detalle de la muestra evaluada, durante proceso de ensayo, con 1 módulo de 1 altura, con la carga uniformemente distribuida.

Ensayo de carga estática concentrada sobre superficie de 200x200mm (54427-2-1)

Ante la aplicación progresiva de la carga de ensayo requerida, 100 daN, se comprueba una deformación máxima media de 15.54 mm. Una vez descargada la plataforma, se comprueba una deformación remanente de 1.31 mm. Ante estos valores, se comprueba que:

- la deformación máxima es inferior al 1% de la longitud total de la plataforma (es decir, menor que 30mm)
- la deformación entre la plataforma cargada y la descargada es inferior a 25mm.

En los dos casos ensayados, se comprueba como los resultados son de acuerdo a los requisitos marcados por la norma, cumpliéndose ambos requisitos.

Ensayo de carga estática concentrada sobre superficie de 500x500mm (54427-2-2)

Ante la aplicación progresiva de la carga de ensayo requerida, 240 daN, se alcanza una deformación máxima media de 20.91 mm. Y una vez descargada la plataforma, se

comprueba una deformación remanente de 4.13 mm. Ante estos valores, se comprueba como:

- la deformación máxima es inferior al 1% de la longitud total de la plataforma (es decir, menor que 30mm)
- la deformación entre la plataforma cargada y la descargada es inferior a 25mm.

5.1.2 Ensayo estático de resistencia sobre la protección lateral.

Ensayo de carga estática vertical descendente sobre la barandilla principal (54427-3-1)

Tras la aplicación de la carga descendente vertical de 125 daN sobre la barandilla superior de la protección lateral, se comprueba el estado de la misma, sus conexiones a los montantes de los marcos del módulo de andamio, etc., así como su flecha máxima bajo carga, y la misma una vez retirada la carga. Se comprueba como esta barandilla alcanza una flecha máxima de 5.51 mm.

Ensayo de carga estática vertical ascendente sobre la barandilla principal (54427-3-2)

En este caso, y al igual que en la disposición anterior de ensayo, tras la aplicación de la carga correspondiente en la barandilla, se comprueba el estado de la misma, sus conexiones a los montantes de los marcos del módulo de andamio, etc., así como su flecha máxima bajo carga, y una vez retirada la misma. Así se comprueba como la barandilla, bajo la aplicación progresiva de carga hasta los 30 daN, alcanza una flecha máxima de 2.08 mm, sin sufrir ninguna anomalía estructural.



Fotografía 7: Vista de detalle de la muestra evaluada, durante proceso de ensayo, con 1 módulo de 2 alturas.

Ensayo de carga estática horizontal perpendicular sobre los componentes de la protección lateral (54427-3-3)

Tras aplicar la carga horizontal de ensayo, de 30 daN, en la zona más desfavorable del componente de la protección a ensayar, se comprueba que ésta no alcanza zonas de plastificación o rotura y su flecha instantánea máxima bajo carga no supera el valor de 35 mm.

Por lo que al finalizar el ensayo, se registró una flecha máxima de 3.35 mm, y para el listón intermedio, 3.46 mm. En ambos casos, no se supera el límite de flecha máxima establecida por la normativa (35 mm).

Para el rodapié, una vez aplicada la carga horizontal intermedia de 15 daN, se comprueba el estado del rodapié, sus conexiones a los montantes de los marcos del módulo de andamio, etc., alcanzándose una flecha máxima de aproximadamente 6.1 mm. Con lo que este componente también cumple el requisito normativo.

5.1.3 Ensayo de vibración para la evaluación sobre configuración del sistema para evaluación (54427-4)

En esta evaluación sobre los mecanismos de conexión para verificar su capacidad resistente frente a pequeños esfuerzos dinámicos, como los que se transmiten en una vibración, se le aplica una intensidad de carga de ± 80 kg, con 3000 ciclos de repetición, comprobándose que los elementos tipo cuña y pasador, no presentan anomalías estructurales a nivel local, ni un desalajo accidental de sus conexiones, ni fallo a nivel global.



Fotografía 8: Vista de detalle de la muestra evaluada, durante proceso de ensayo, con 1 módulo de 1 altura.

5.1.4 Ensayo de carga cíclica en peldaños de las escaleras integradas en el andamio (54427-5)

En este caso, se realiza la verificación de los peldaños de la escalera, mediante la aplicación de una carga de 150 daN durante 300.000 ciclos de carga y descarga, proceso que se repite 3 veces. Una vez finalizada la repetición de carga, se comprobó el estado del mismo, ya que las soldaduras no deben presentar grietas, ni daños perceptibles, ni desconexión de ningún tipo. De este modo, en ninguno de los tres casos ensayados, se produce desconexión, ni grietas o fallos observables en las soldaduras de los peldaños sometidos a la carga cíclica de ensayo, verificándose que los resultados obtenidos son conformes al requisito establecido por la norma, en cuanto a la capacidad de resistencia ante cargas cíclicas por parte de los peldaños de la escalera integrada en el sistema de andamio.

TABLA RESUMEN DE RESULTADOS

Componente evaluado	Ensayo	Tipo de acción aplicada	Magnitud carga (daN)	Flecha máxima (mm)	Flecha residual (mm)	Roturas / plastificación
Plataforma de trabajo	Estático de resistencia (uniformemente distribuida)	Carga de servicio uniformemente distribuida q_1	540	-	-	OK
	Estático de resistencia (concentrada 200x200)	Carga concentrada F_1	100	15,54	1,31	OK
	Estático de resistencia (concentrada 500x500)	Carga concentrada F_2	240	20,91	4,13	OK
Protecciones laterales	Estático de resistencia (carga vertical descendente)	Carga descendente	125	5,51	-	OK
	Estático de resistencia (carga vertical ascendente)	Carga ascendente	30	2,08	-	OK
	Estático de resistencia (carga horizontal perpendicular a la protección)	Carga horizontal	30 (superior)	3,35	-	OK
			30 (intermedia)	3,46	-	OK
			15 (rodapié)	6,1	-	OK
Mecanismos de conexión	De vibración sobre configuración sistema (mecanismo de conexión)	Vibración	± 80 (3000 ciclos)	-	-	OK
Peldaños escaleras integradas	Carga cíclica (durabilidad escalera) peldaños.	Carga cíclica	150 (3,5Hz / 300.000 ciclos)	-	-	OK

5.2 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ANÁLITICA.

En la siguiente tabla se desglosan las diferentes condiciones de carga (acciones individuales o combinadas), para unas unidades de plataforma de trabajo consideradas como de clase 5 de carga.

Condición de carga	Tipo de acción aplicada	Tensión máxima plataforma de trabajo	Tensión máxima tubos (N/m ²)	Desplazamiento máximo (mm)	Factor de seguridad (x)	Límite elástico (variable de comparación)
1.1	Carga uniformemente distribuida descendente	9,53 x10 ⁶ N/m ²	1,484x10 ⁸	2,5	2,284	2,35 x10 ⁸ N/m ²
1.2	Carga descendente concentrada	6,854 x10 ⁶ N/m ²	1,623x10 ⁸	12	2,123	2,35 x10 ⁸ N/m ²
1.3		5,97 x10 ⁶ N/m ²	1,548x10 ⁸	12	2,226	2,35 x10 ⁸ N/m ²
1.4	Carga uniforme descendente (en área parcial)	1,193x10 ⁷ N/m ²	1,743x10 ⁸	3	1,970	2,35 x10 ⁸ N/m ²
2.1	Carga puntual horizontal	6,23 x10 ⁶ N/m ²	1,778x10 ⁸	7	1,095	2,35 x10 ⁸ N/m ²
2.2		6,66 x10 ⁶ N/m ²	1,779x10 ⁸	7	1,052	2,35 x10 ⁸ N/m ²
3.1	Carga puntual descendente	5,56 x10 ⁶ N/m ²	1,189x10 ⁸	1,6	2,898	2,35 x10 ⁸ N/m ²
3.2	Carga puntual ascendente	5,56 x10 ⁶ N/m ²	1,093x10 ⁸	1,6	3,151	2,35 x10 ⁸ N/m ²
3.3	Carga puntual horizontal	5,55 x10 ⁶ N/m ²	1,093x10 ⁸	1,6	3,153	2,35 x10 ⁸ N/m ²
5.1	Combinación de cargas (servicio con viento paralelo)	9,58 x10 ⁶ N/m ²	1,846x10 ⁸	7	1,096	2,35 x10 ⁸ N/m ²
5.2	Combinación de cargas (servicio con viento perpendicular)	9,26 x10 ⁶ N/m ²	1,884x10 ⁸	7	1,094	2,35 x10 ⁸ N/m ²
5.3	Combinación de cargas (fuera de servicio, con viento paralelo)	7,87 x10 ⁶ N/m ²	1,772x10 ⁸	7,2	1,095	2,35 x10 ⁸ N/m ²
5.4	Combinación de cargas (fuera de servicio, con viento perpendicular)	7,55 x10 ⁶ N/m ²	1,986x10 ⁸	5,6	1,137	2,35 x10 ⁸ N/m ²

(x)Factor de seguridad: cociente entre el valor de la capacidad máxima del sistema evaluado por métodos teóricos, en este caso el valor de plastificación del acero S235, y el valor obtenido mediante cálculo para cada una de las condiciones de carga

Las diferentes condiciones de carga presentadas previamente se encuentran desarrolladas, junto a toda la información de resultados correspondiente a cada una de ellas, en el documento de anexos adjunto al informe.

A continuación se muestran algunos ejemplos de los resultados obtenidos para las condiciones de carga evaluadas.

EJEMPLO CONDICIÓN DE CARGA 1.1

Acción: Carga uniformemente distribuida sobre plataforma de trabajo (2 unidades de plataforma de 0.3 x 0.3m.)

Tomando como ejemplo esta condición para carga uniformemente distribuida q_1 sobre unidad de plataforma de trabajo, se comprueba que tanto los valores de las tensiones, para la plataforma o área de trabajo (en el caso de clase de carga 5) como para el sistema de barras que forman la configuración representativa del andamio estudiado, no alcanzan los valores de límite elástico del material. Así, la configuración evaluada no llega a plastificar, no fracasa.

Asimismo, analizando los resultados de deformación adjuntos, se comprueba como la flecha máxima en el conjunto de la muestra analizada no alcanza el valor máximo fijado por la norma de aplicación.

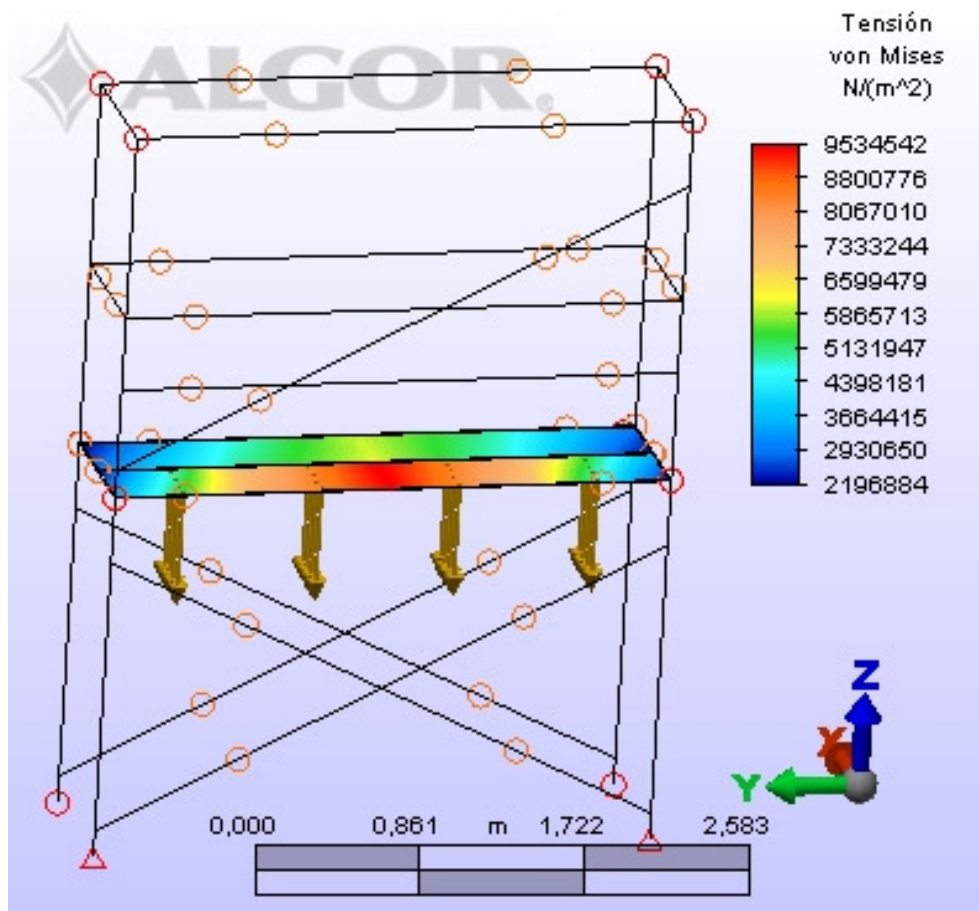


Imagen 5: Gráfico de resultado de las tensiones de Von Mises para la carga uniformemente distribuida.

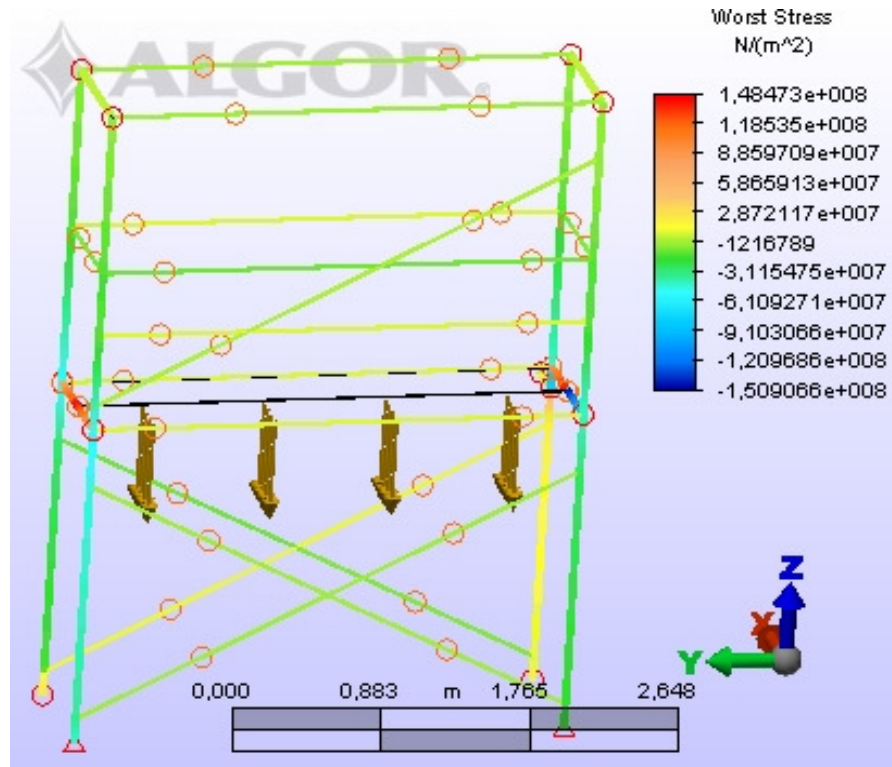


Imagen 6: Gráfico de resultado de la tensión máxima para la carga uniformemente distribuida.

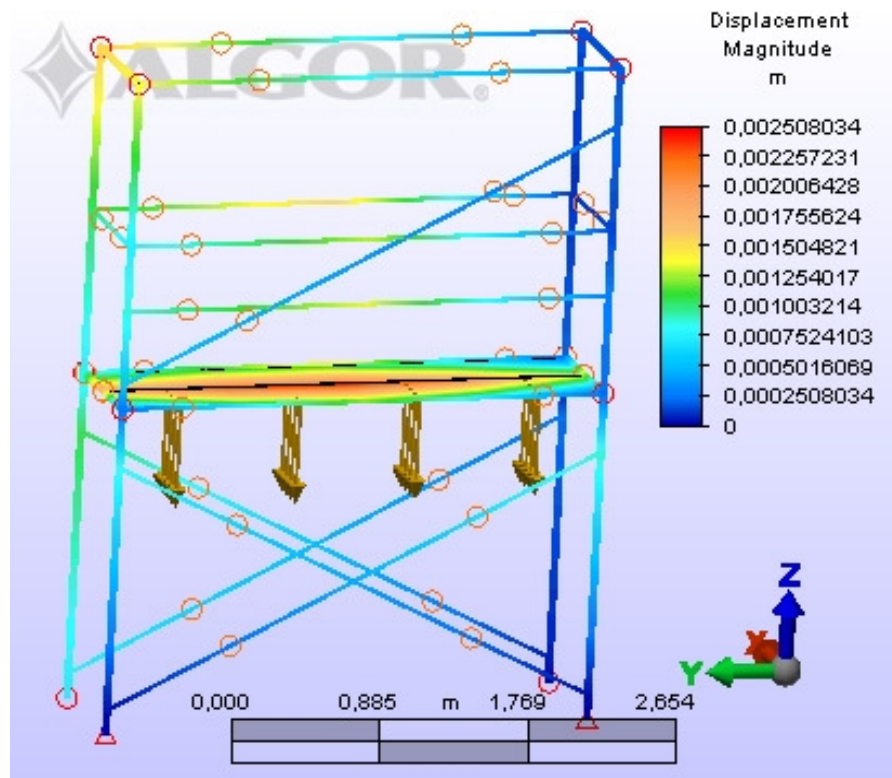


Imagen 7: Gráfico de resultado de las deformaciones causadas por la carga uniformemente distribuida.

EJEMPLO CONDICIÓN DE CARGA 5.1

Acción: Combinación de cargas (acciones horizontales y del viento). Consideradas como cargas puntuales aplicadas y repartidas en cada uno de los nudos de los diferentes niveles del andamio y sobre una de sus caras.

Para el caso de la condición de carga de combinación de acciones, los resultados que se muestran a continuación, son el efecto de las acciones aplicadas sobre la configuración completa del sistema de andamio unidireccional de fachada modelo CK evaluado. Se comprueba que los valores de las tensiones, para las unidades de plataforma de trabajo, y para el sistema de barras que conforman el resto de la estructura del andamio, no alcanzan tensiones de plastificación (es decir, son menores o iguales que el límite elástico) Al mismo tiempo se observa que las deformaciones sufridas bajo las acciones solicitantes no superan los valores máximos de flecha fijados por la norma.

Así, y tomando como ejemplo el caso de la condición de servicio con viento paralelo a fachada para unidades de plataforma de clase de carga 5, se obtienen los siguientes resultados:

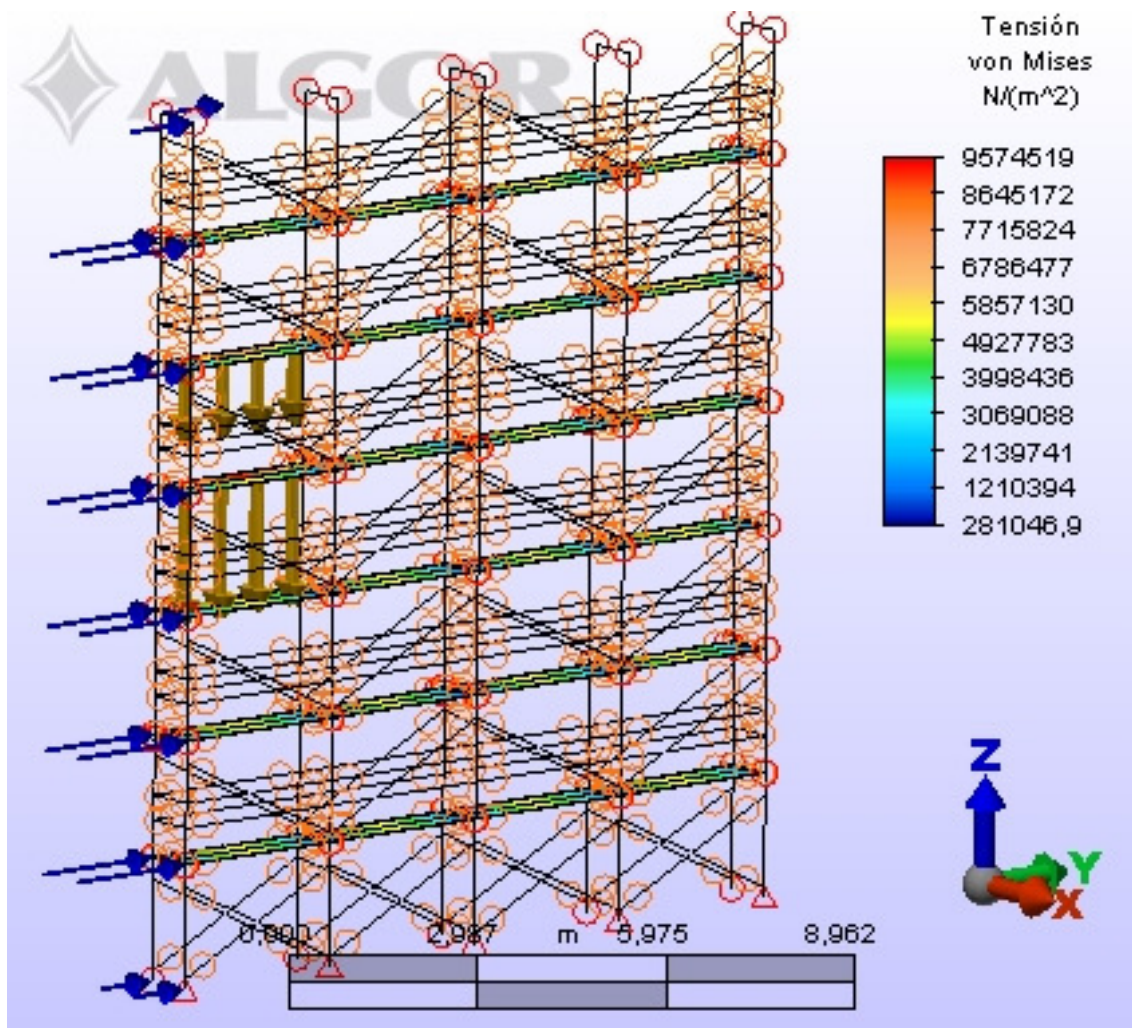


Imagen 8: Gráfico de resultado de las tensiones de Von Mises, inducidas por la combinación de carga de viento paralela a fachada, y cargas uniformemente distribuidas sobre plataformas de trabajo de la configuración completa del sistema de andamio objeto del estudio.

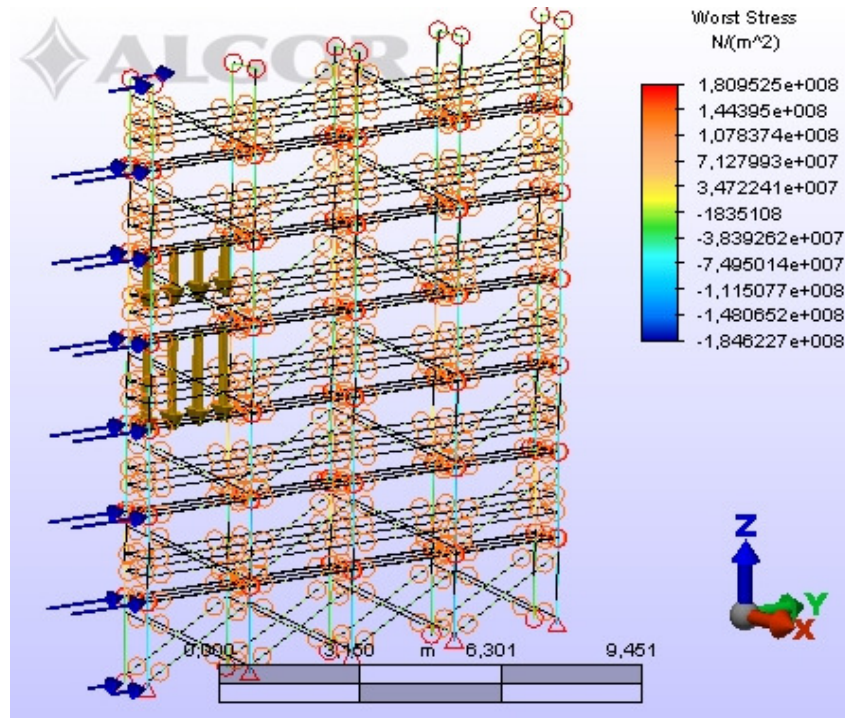


Imagen 9: Gráfico de resultado para la tensión máxima, inducida por la combinación de carga de viento paralela a fachada, y cargas uniformemente distribuidas sobre plataformas de trabajo de la configuración completa del sistema de andamio objeto del estudio.

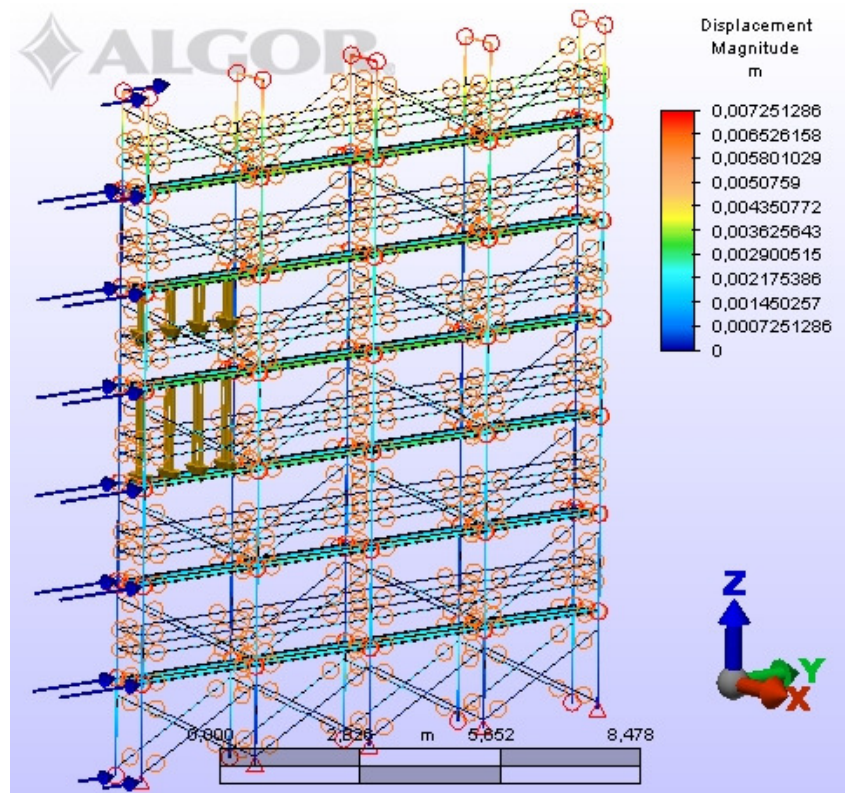


Imagen 10: Gráfico de resultado de los desplazamientos inducidos por la combinación de carga de viento paralela a fachada, y cargas uniformemente distribuidas sobre plataformas de trabajo de la configuración completa del sistema de andamio objeto del estudio.

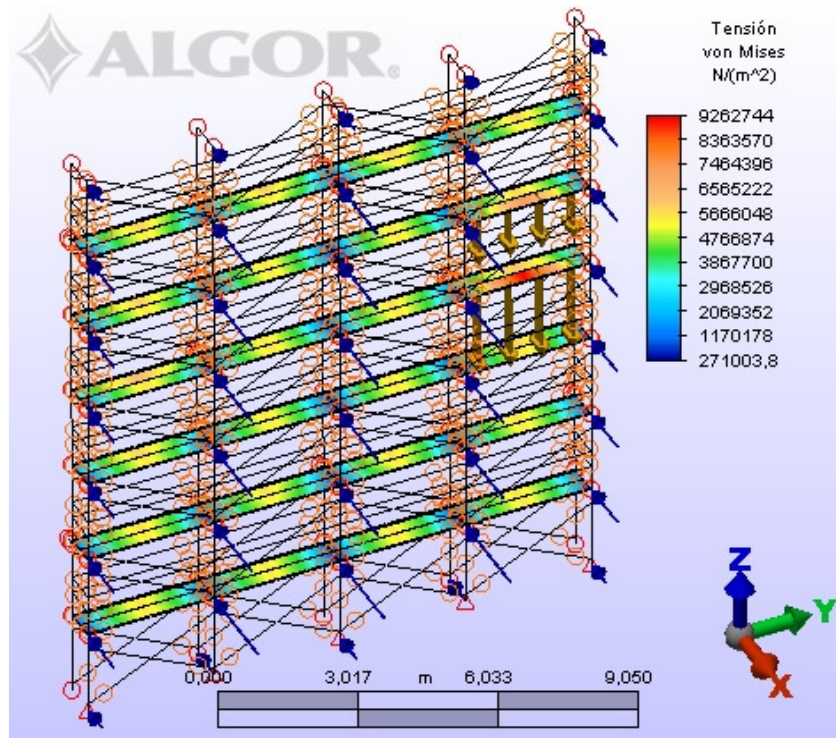


Imagen 11: Gráfico de resultado de las tensiones de Von Mises, inducidas por la combinación de carga de viento perpendicular a fachada, y cargas uniformemente distribuidas sobre plataformas de trabajo de la configuración completa del sistema de andamio objeto del estudio.

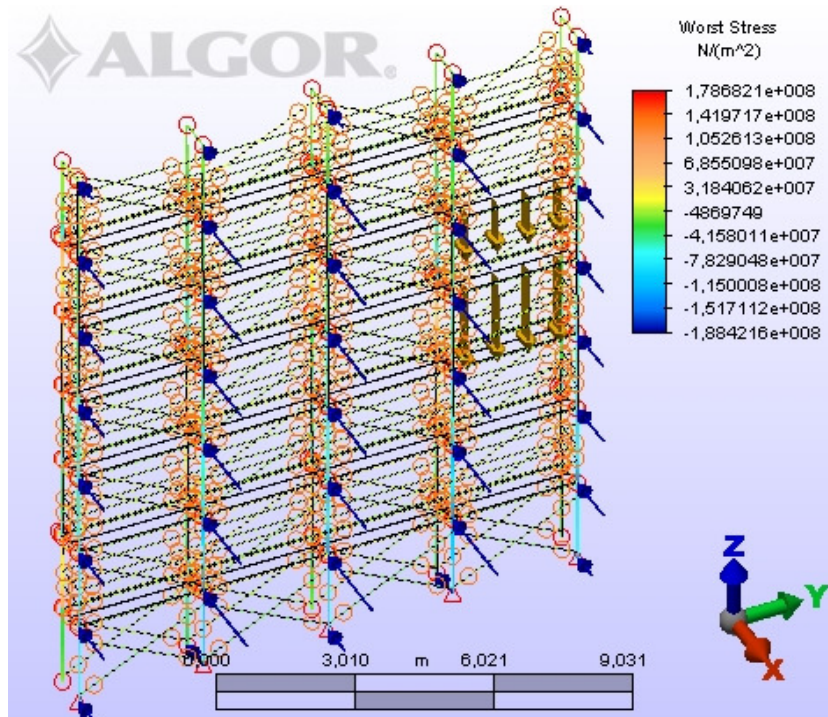


Imagen 12: Gráfico de resultado para la tensión máxima, inducida por la combinación de carga de viento perpendicular a fachada, y cargas uniformemente distribuidas sobre plataformas de trabajo de la configuración completa del sistema de andamio objeto del estudio.

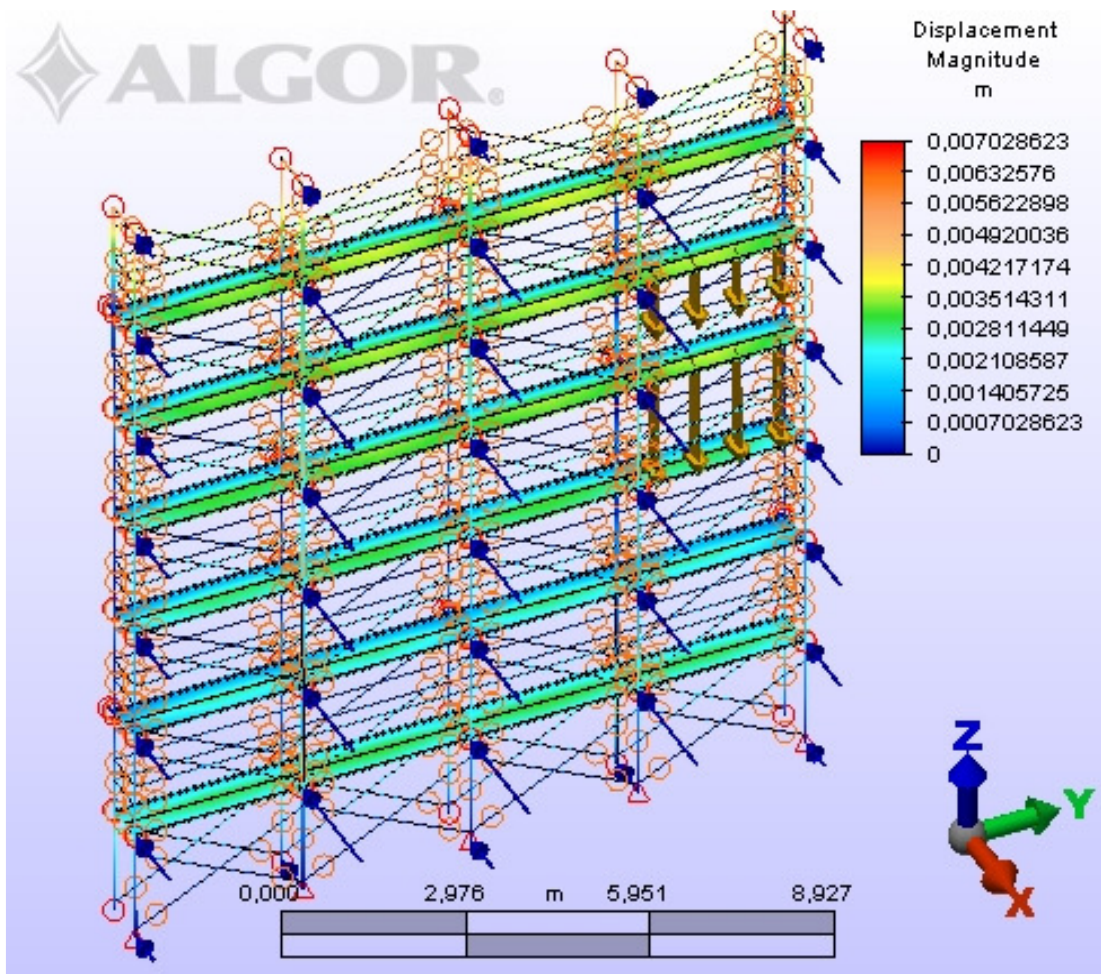


Imagen 13: Gráfico de resultado de los desplazamientos inducidos por la combinación de carga de viento perpendicular a fachada, y cargas uniformemente distribuidas sobre plataformas de trabajo de la configuración completa del sistema de andamio objeto del estudio.

6 CONCLUSIONES.

Habiéndose realizado una evaluación de conformidad, de acuerdo con las normas técnicas UNE-EN 12810 y UNE-EN 12811, para el andamio de fachada de componentes prefabricados, modelo CK (identificación según peticionario), por medio de métodos experimentales y analíticos, y teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Evaluación analítica (cálculo), realizada para una configuración tipo del sistema, como un andamio completo de 14m de altura (7 niveles de trabajo), 12 m de longitud (4 módulos con plataformas de 3m), y 0.6m de ancho (2 unidades de plataforma de 0.3m), para la calidad de los materiales especificada por el peticionario y que presenta una colocación particular de los componentes interconectados, incluyendo su forma de arriostramiento y método de anclaje a fachada, de acuerdo con el croquis que se muestra a continuación:
- Evaluación experimental (ensayos en laboratorio), realizada para una sección representativa del andamio, verificándose los requisitos de:
 - Clase resistente en las plataformas de trabajo.
 - Resistencia en las protecciones laterales.
 - Adecuación mecanismos de conexión tipo cuña frente a las vibraciones
 - Carga cíclica en los peldaños de las escaleras integradas en el andamio

Ésta, ha resultado satisfactoria, para las condiciones que expresamente se especifican en el presente informe técnico, y que se corresponde a un andamio con la siguiente designación:

Andamio EN 12810 -- 5N -- SW06/300 -- H2 -- A -- ST

Correspondiendo a las siguientes características dimensionales y estructurales:

Clasificación del Sistema de Andamio Unidireccional de Fachada, modelo CK	
Carga de servicio	Plataformas de trabajo de clase de carga 5 (ej. 450 kg/m ²)
Plataformas y sus apoyos	N , plataformas de trabajo diseñadas sin ensayo de caída.
Anchura del sistema	SW06 : plataformas de trabajo del sistema evaluado de anchura inferior a 0.9 m, y longitud 300 cm.
Altura libre	H2 ($h_3 = 1,99\text{m} \geq 1,9 \text{ m}$; $h_{1a} = 1,94 \text{ m} \geq 1,9 \text{ m}$; $h_{1b} \geq 1,9 \text{ m}$; $h_2 = 1,78 \text{ m} \geq 1,75 \text{ m}$)
Revestimiento	A sistema evaluado sin equipamiento de revestimiento
Método de acceso vertical	ST , con escalera de acceso integrada.

7.- REPORTAJE FOTOGRÁFICO

7.1 ENSAYOS ESTÁTICOS SOBRE PLATAFORMAS DE TRABAJO.

7.1.1 Ensayo de carga estática distribuida:



Fotografía 9: Detalle del ensayo de aplicación de carga distribuida sobre la plataforma de trabajo (54427-1)



Flecha máxima entre la plataforma de trabajo y el elemento de distribución de carga, producida por la carga distribuida sobre la superficie de trabajo.

Fotografía 10: Detalle donde se puede observar la flecha máxima producida por la aplicación de la carga distribuida (54427-1)

7.1.2 Ensayo de carga estática concentrada sobre superficie de 200x200mm:

Fotografía 11: Instantánea de la aplicación de la carga concentrada sobre la superficie de 200x200mm sobre la unidad de plataforma de trabajo del módulo del andamio estructural de fachada objeto del ensayo (54427-2-1)



Fotografía 12: Imagen del proceso de medición de la deformación máxima de la plataforma de trabajo bajo carga, mediante medidor láser calibrado (54427-2-1)



Fotografía 13: Vista general del momento de aplicación de la carga concentrada (54427-2-1)

7.1.3 Ensayo de carga estática concentrada sobre superficie de 500x500mm:

Fotografía 14: Instantánea aplicación carga concentrada en superficie de 500x500mm sobre unidad de plataforma de trabajo (54427-2-2)



Fotografía 15: Vista general del momento de aplicación de la carga concentrada (54427-2-2)

7.2 ENSAYOS ESTÁTICOS DE RESISTENCIA DE LAS PROTECCIONES LATERALES.

7.2.1 Ensayo de carga estática vertical descendente sobre la barandilla principal:



Fotografía 16: Instantánea del proceso de aplicación de la carga estática vertical descendente sobre la zona central (zona más desfavorable) de la barandilla principal de la protección lateral del módulo del andamio estructural de fachada objeto del ensayo (54427-3-1)



Fotografía 17: Detalle de la aplicación de la carga estática vertical descendente.

7.2.2 Ensayo de carga estática vertical ascendente sobre la barandilla principal:



Fotografía 18: Instantánea aplicación de carga estática vertical ascendente sobre la zona más desfavorable de la barandilla principal (54427-3-2)



Fotografía 19: Detalle aplicación carga estática vertical ascendente (54427-3-2)

7.2.3 Ensayo de carga estática horizontal sobre la barandilla principal:



Fotografía 20: Detalle 1 aplicación carga estática horizontal sobre barandilla principal de la protección lateral del andamio estructural de fachada objeto de ensayo (54427-3-3)



Fotografía 21: Detalle 2 aplicación carga estática horizontal sobre barandilla principal (54427-3-3a)

7.2.4 Ensayo de carga estática horizontal sobre la barandilla intermedia:



Fotografía 22: Instantánea aplicación carga estática horizontal sobre barandilla intermedia de la protección lateral del andamio estructural de fachada objeto de ensayo (54427-3-3b)

7.2.5 Ensayo de carga estática horizontal sobre el rodapié:



Fotografía 23: Detalle aplicación carga estática horizontal sobre rodapié (54427-3-3c)

7.3 ENSAYO DE VIBRACIÓN SOBRE CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE ANDAMIO PARA EVALUAR ADECUACIÓN MECANISMOS DE CONEXIÓN.



Fotografía 24: Instantánea ensayo de vibración, con actuador conectado junto al mecanismo de conexión de la diagonal con el montante (54427-4)



Muesca producida por el cierre del pasador tras la finalización de los 3 ciclos de carga y descarga,

Fotografía 25: Detalle estado del mecanismo de conexión tras el ensayo (54427-4)

7.4 ENSAYO DE FATIGA MEDIANTE CARGA CÍCLICA EN PELDAÑOS DE LAS ESCALERAS INTEGRADAS EN EL ANDAMIO.



Fotografía 26: Instantánea ensayo de fatiga de peldaño de la escalera de acceso del sistema de andamio objeto de ensayo (54427-5)



Fotografía 27: Detalle aplicación carga dinámica de vibración sobre peldaños de la escalera de acceso del andamio (54427-5)

AIDICO responde únicamente de los resultados sobre los métodos de análisis empleados consignados en este documento y referidos, exclusivamente, a los materiales o muestras que se indican en el mismo y que queden en su poder, limitando a éstos la responsabilidad profesional y jurídica del centro. Salvo mención expresa, las muestras han sido libremente elegidas y enviadas por el solicitante.

Este documento resume los resultados obtenidos en las pruebas descritas anteriormente y solicitadas por la empresa peticionaria como autocontrol propio del producto, sin tener carácter alguno de certificación

Los resultados del presente informe se consideran propiedad del peticionario y, sin autorización previa, AIDICO se abstendrá de comunicarlos a un tercero.

AIDICO no se hace responsable, en ningún caso, de la interpretación o uso indebido que pueda hacerse de este documento, cuya reproducción parcial sin la autorización escrita de AIDICO está totalmente prohibida.

8.- ANEXOS DE CÁLCULO

Introducción evaluación analítica

La evaluación analítica del sistema de andamio unidireccional de fachada, modelo *CK*, se realiza mediante el análisis numérico de los requisitos en cuanto a su diseño estructural, empleando para ello una herramienta específica de evaluación por el método de los elementos finitos.

El método de los Elementos Finitos permite resolver por métodos matemáticos tradicionales gradientes de esfuerzos, desplazamientos, temperatura, flujo de fluidos, problemas viscoelásticos y campo electromagnéticos.

El método utilizado se caracteriza por dividir la estructura en un número finito de partes, llamadas “elementos”, cuyo comportamiento se especifica mediante un número finito de parámetros asociados a ciertos puntos característicos denominados “nodos”. Estos nodos son los puntos de unión de cada elemento con sus adyacentes.

La herramienta específica de cálculo avanzado empleada para la evaluación y el análisis, por elementos finitos es el software ALGOR v23.1.

La evaluación del comportamiento estructural de la configuración del sistema de andamio, viene dada por la magnitud y tipología de las acciones definidas en el apartado 6.2 de la norma *UNE-EN 12811-1:2005*.

Así, el modelo adoptado es suficientemente preciso y robusto, como para predecir el comportamiento estructural del sistema, con el objeto de analizar la estructura para determinar la distribución de fuerzas y momentos, con los que poder verificar la capacidad de carga de una configuración tipo del sistema, así como su comportamiento significativo carga – desplazamiento.

La norma *UNE-EN 12811-1:2005* establece que la estabilidad lateral de la estructura del andamio, tanto global como localmente, debe ser verificada cuando esté sometida a las diferentes acciones de diseño. Esto incluye la capacidad de carga y la estabilidad posicional frente a movimientos deslizantes, elevación y vuelco.

De este modo, en el momento que una sección transversal, componente o mecanismo de conexión de la configuración del sistema sobrepase su capacidad de carga, el sistema se calificará como no aceptable.

La evaluación de las acciones sobre el modelo analizado, se realiza a partir de dos configuraciones tipo del sistema. Una primera, que comprende una sección representativa del andamio, y una segunda sobre el andamio completo.

1. Tipología de acciones. Descripción.

- Acciones en el área de trabajo:

Cada área o plataforma de trabajo debe ser capaz de soportar varias cargas: una carga de servicio uniformemente distribuida q_1 , dos cargas concentradas F_1 , F_2 y una carga en un área parcial del área de trabajo q_2 . Debiendo soportarlas de forma separada, pero no acumulada.

- Acción horizontal de trabajo:

En ausencia de viento, el andamio de trabajo debe ser capaz de soportar una carga horizontal de trabajo hipotética, que simularía las operaciones durante uso, actuando en todos los niveles donde el área de trabajo esté cargada.

- Acciones sobre protecciones horizontales:
Todos los componentes de las protecciones laterales, excepto rodapiés, deben ser capaces de soportar cargas verticales, una descendente y otra ascendente, y horizontales.
- Acciones del viento:
Las acciones de viento deben calcularse asumiendo una presión dinámica sobre un área de referencia del andamio evaluado, equivalente al área proyectada en la dirección del viento. Su valor se obtiene como el producto de cuatro factores: presión dinámica del viento, superficie expuesta al viento, coeficiente de sitio y coeficiente de fuerza aerodinámica.
- Acciones dinámicas:
Representa el exceso de carga causado por efectos dinámicos, derivados del uso de medios accionados mecánicamente, en condiciones de servicio.
- Combinación de acciones:
 - Condición de servicio.
 - Condición fuera de servicio.

Cada configuración tipo de la estructura evaluada debe ser capaz de resistir las peores combinaciones de carga a las que puede estar sometida. Tanto para el caso de carga de viento de servicio, como para el caso de máxima carga de viento.

2. Descripción parámetros y modelo de cálculo para la configuración del sistema de andamio unidireccional objeto de esta evaluación.

La herramienta específica de cálculo avanzado empleada para la evaluación numérica del sistema de andamio unidireccional de fachada, modelo *CK*, permite definir distintos tipos de elementos: barra, viga, membrana, brick, placa, tetraedro, muelle, rígido, gap y composite.

Los elementos utilizados para la modelación, tanto para la configuración total del andamio, como para la sección representativa del mismo serán los elementos viga y placa. Se definen las *vigas* como secciones tubo, con las que se modelizarán montantes, largueros, protecciones y arriostramientos.

Se elige el tipo **placa** para modelizar las plataformas de trabajo, debido a que presentan resistencia a cortante.

En ambos casos el material considerado será acero S235, con sus características definidas en el propio prontuario incorporado en el software.

La comprobación de la estabilidad estática y dinámica, y el cálculo de las tensiones y de las deformaciones, se realizará mediante los métodos establecidos en la norma, basados en la mecánica de estructuras y en general, en la teoría de la elasticidad.

Así, de entre todos los modelos de cálculo existentes en el software (lineal, no lineal, térmico y electrostático) se elige el modelo de análisis lineal, y dentro de éste, el modelo para tensión estática con modelos de materiales lineales.

A su vez la configuración del sistema, tanto la representativa como la completa, deberá tener unas condiciones de contorno aplicadas sobre la estructura. Estas condiciones son:

1. Condiciones de contorno en nudos estructurales.
2. Condiciones de contorno en barras.
3. Acciones (bien sean puntuales o distribuidas)

Condiciones de contorno en nudos (puntos teóricos donde 2 o más elementos se unen) estructurales:

- Nodos de apoyo de la estructura sobre el terreno.
- Nodos de arriostramiento a fachada.
- Nodos de conexión montante con montante.

Condiciones de contorno en tubos:

- Arriostramientos.
- Largueros.
- Barandillas.
- Conexión plataforma con montante.

La unión entre elementos tubulares es considerada como una conexión rígida, siempre y cuando el elemento de conexión vertical, o espiga, esté permanentemente fijado a un montante, y cuando los diámetros exteriores no excedan los 60mm. De este modo no es necesario modelizar las conexiones como articulaciones ideales.

Cuando se suponga que las uniones se modelizan como conexiones rígidas, se tendrán que tener en cuenta los efectos de las imperfecciones propias del sistema, incluyendo tensiones residuales e imperfecciones geométricas, como por ejemplo las inclinaciones entre los montantes. Además, se deben considerar las imperfecciones de la estructura por desviaciones angulares en las uniones entre montantes. Estas inclinaciones entre componentes verticales se tendrán en cuenta en dos casos principales: Para la inclinación entre montantes tubulares sucesivos y para la inclinación entre una base regulable y un montante tubular.

El punto de apoyo de las placas bases sobre el terreno, se considera como una articulación en el plano de los arriostramientos a fachada del andamio y como un empotramiento en el resto.

La conexión entre las uniones y la fachada, deben estar configuradas de manera que las uniones sean libres para rotar sobre ejes en el plano de la fachada y no deben transmitir fuerzas verticales a esta.

La evaluación de las acciones sobre el modelo de análisis, se realiza a partir de dos configuraciones tipo del sistema. La primera, que comprende una sección representativa del andamio, y una segunda sobre el andamio completo.

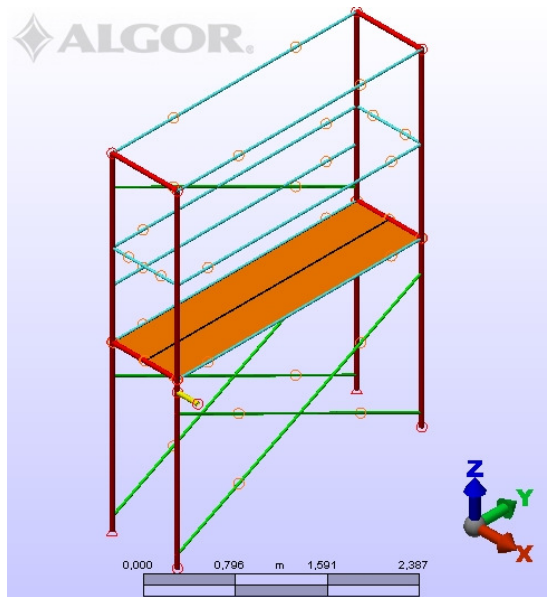


Imagen 14: Configuración representativa del sistema, consistente en 1 módulo de 2 alturas, las 2 primeras del sistema completo, compuesto por: diagonales, marcos verticales, largueros, protecciones laterales, unidades de plataforma de trabajo, y 1 arriostramiento a fachada.

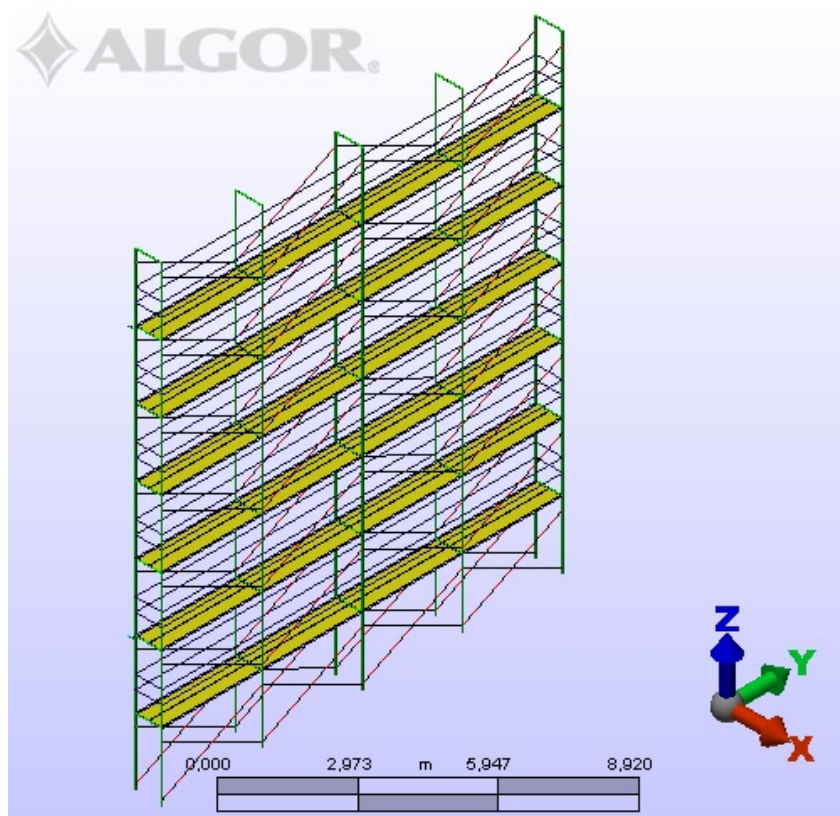


Imagen 15: La configuración tipo para el sistema de andamio unidireccional, completo, arriostrado a fachada, tendrá una altura total de 14m, correspondiente a 7 niveles de plataforma de trabajo y una longitud de 12m (4 módulos de 3m)

La norma de aplicación *UNE-EN 12810-2:2003*, establece que el diseño estructural del sistema de configuraciones tipo de cada sistema de andamio unidireccional prefabricado debe seguir uno de estos dos procedimientos:

Procedimiento 1: Sistema modular mediante marco vertical con el que se verifica el comportamiento significativo carga – desplazamiento.

Procedimiento 2: Únicamente para sistema mediante marco con el que se verifica el mínimo factor de pandeo elástico.

Para el proceso de evaluación analítica del sistema de andamio unidireccional de fachada objeto de estudio, se comprobará el diseño estructural mediante el Procedimiento 1.

Se admite que la seguridad de esta estructura es la adecuada, cuando mediante los métodos numéricos, y sometiendo la estructura a las acciones definidas en el apartado 6.2 de la norma *UNE-EN 12811-1*, se comprueba que:

- la estructura en su conjunto, y para cada uno de sus componentes, es estáticamente estable,
- las tensiones calculadas no sobrepasan las condiciones de agotamiento correspondientes, y,
- las deformaciones calculadas no sobrepasan en ningún punto los límites de deformaciones indicados en la norma.

Descripción del procedimiento de evaluación:

La evaluación analítica del sistema de andamio unidireccional de fachada objeto de estudio, se realiza con el modelo de cálculo definiendo varias situaciones para el andamio de fachada, correspondientes a las acciones aplicadas según indica la normativa.

Debe verificarse que los valores de los efectos de las acciones no exceden los valores de las resistencias de los componentes de la estructura. Asimismo se debe verificar que las deformaciones producidas por las acciones no exceden los valores determinados, para todos los componentes, con lo que se comprueba el comportamiento significativo carga – desplazamiento.

Así, los resultados que más interesan para estas condiciones son:

- Las *tensiones de Von Mises*: tensiones existentes en el área o plataforma de trabajo, con lo que se puede apreciar si la tensión resultante de las acciones aplicadas, alcanza el valor del material para su plastificación o bien para su rotura.
- Las *tensiones más desfavorables* en el caso peor que se producen sobre los elementos **tubo**. Se observa la tensión existente y se compara con los valores característicos del material para plastificación y rotura.
- Las *deformaciones máximas y mínimas*, puesto que el modelo aplicado es el procedimiento 1, correspondiente al estudio del comportamiento carga – deformación.

Se definen así, varias situaciones de aplicación de carga a la estructura, que conformarán los distintos condición de cargas aplicados para el análisis numérico del andamio unidireccional de fachada.

- **Condición de carga 1. Acciones aplicadas en el área de trabajo:**

Las cargas de servicio en las áreas de trabajo, serán las especificadas en la tabla 3 de la norma *UNE-EN 12811-1:2005*. Cada área de trabajo debe ser capaz de soportar varias cargas: q_1 , F_1 , F_2 , q_2 de forma separada pero no acumulada.

- Condición de carga 1.1 Carga de servicio uniformemente distribuida q_1

La norma establece que cada área de trabajo debe ser capaz de soportar la carga uniformemente distribuida q_1 , siendo para la clase de carga 4 del área de trabajo un valor de 3 kN/m². Para la clase de carga 5, la carga que debe poder soportar el área de trabajo es de 4.5 kN/m².
- Condición de carga 1.2 Carga concentrada F_1

Cada unidad de plataforma debe ser capaz de soportar la carga F_1 , siendo para una clase de carga 4 y 5, de 3 kN concentrada en un área de 500x500mm. Cuando, como en el caso estudiado, una unidad de plataforma tiene menos de 500mm de anchura, la carga F_1 , se reduce para esta unidad en proporción a su anchura, aunque según establece la norma *UNE-EN 12881-1*, no se reducirá la carga a menos de 1.5 kN.
- Condición de carga 1.3 Carga concentrada F_2

Cada unidad de plataforma debe ser capaz de soportar la carga F_2 , siendo para una clase de carga 4 y 5, de 1 kN concentrada en un área de 200x200mm.
- Condición de carga 1.4 Carga en un área parcial q_2

Cada plataforma debe ser capaz de soportar una carga uniformemente distribuida en un área parcial q_2 , carga mayor que la carga de servicio uniformemente distribuida. El área parcial se obtiene multiplicando el área del módulo, A, por el factor de área parcial. Los valores indicados en la normativa para q_2 y para el factor de área parcial en una clase de carga 4 son: $q_2=5$ kN/m² y $a_p=0,4$; y para una clase de carga 5 son: $q_2=7,5$ kN/m² y $a_p=0,4$.
- **Condición de carga 2. Acción horizontal de trabajo:**

En ausencia de viento, el andamio debe soportar una carga horizontal de trabajo hipotética, que representa las operaciones durante el uso cotidiano del sistema de andamio objeto del estudio, actuando en todos los niveles donde la plataforma o área de trabajo esté cargada.

Para cada tramo considerado, la carga hipotética de trabajo no debe ser menor del 2.5% del total de la carga uniformemente distribuida q_1 sobre dicho tramo (en el caso estudiado será 0,09 kN), o 0,3 kN, el que sea el valor mayor. Por tanto se aplicará una carga de 0,3 kN actuando en el nivel del área de trabajo y debe aplicarse separadamente en paralelo y perpendicular al módulo.

 - Condición de carga 2.1 Carga horizontal trabajo paralela.
 - Condición de carga 2.2 Carga horizontal trabajo perpendicular.
- **Condición de carga 3. Acciones sobre las protecciones laterales:**
 - Condición de carga 3.1 Carga vertical descendente:

El elemento superior de la protección lateral, independientemente de su sistema de apoyo, debe ser capaz de resistir una carga puntual de 1,25 kN, vertical. Considerando esta carga como accidental y aplicada en la posición más desfavorable en una dirección descendente.
 - Condición de carga 3.2 Carga vertical ascendente:

Para revisar la fijación de todos los elementos de la protección lateral, excepto el rodapié, debe aplicarse una carga vertical puntual de 0,3 kN en sentido ascendente en la posición más desfavorable.

- Condición de carga 3.3 Carga horizontal:
 Los elementos superior e intermedio de la protección horizontal, independientemente de su sistema de apoyo, deben ser capaces de resistir una carga horizontal puntual de 0,3 kN, aplicada en la posición más desfavorable en dirección descendente (0,15 kN para el rodapié)

- **Condición de carga 4. Acciones del viento (Son incluidas en el Condición de carga 5):**
 Deben calcularse asumiendo que hay presión dinámica sobre un área de referencia del andamio, la proyectada en la dirección del viento. Su valor se obtiene como el producto de 4 factores: presión dinámica del viento, superficie expuesta al viento, coeficiente de sitio y coeficiente de fuerza aerodinámica. Siendo cada uno de los valores indicados los que se exponen a continuación:
 - a) La presión dinámica utilizada para el análisis del andamio será de 2 tipos:
 - Máxima carga de viento
 Máxima carga de viento, aplicada en la configuración tipo completa, es decir de 0 a 14m. De acuerdo a la fórmula $q(y) = 800 + 12.5y$, siendo y la altura en metros y $q(y)$ la presión dinámica del viento en N/m^2 . Se obtiene:

$y(m)$	$q (N/m^2)$
0	800
2	825
4	850
6	875
8	900
10	925
12	950
14	975
 - Carga de viento de servicio: Siendo una presión dinámica uniformemente distribuida de $0,2 \text{ kN/m}^2$
 - b) Área de referencia para la presión dinámica:
 Atendiendo a que la condición de revestimiento de la configuración tipo del sistema es un **andamio sin revestir**, el área de referencia utilizada será el área de cada componente proyectada en la dirección del viento.
 - c) Coeficiente de fuerza aerodinámica:
 Al tratarse de una estructura sin revestimiento, los coeficientes de fuerza aerodinámica, tanto para el viento normal a la fachada como para el paralelo, tendrán un valor de 1,3.
 - d) Coeficiente de sitio:
 Al tratarse de una estructura sin revestimiento los coeficientes de fuerza aerodinámica tendrán unos valores de 0,75 para viento normal a la fachada, y de 1,0 para viento paralelo a la fachada.

- **Condición de carga 5. Combinación de acciones**

Cada estructura de trabajo debe ser capaz de resistir las peores combinaciones de carga a las que puede estar sometida. Tanto para el caso de carga de viento de servicio, como para el caso de máxima carga de viento.

Para cada tipo de situación, el viento (tanto para condición de servicio, como fuera de servicio) se aplicará en dos direcciones sobre la configuración completa. Una primera paralela a fachada, y una segunda perpendicular a la misma.

Para los andamios unidireccionales de fachada, objeto de estudio, las combinaciones de cargas se recogen en el apartado 6.2.9.2, considerando dos tipos de situaciones: La condición de servicio y la condición fuera de servicio.

Acciones a considerar, según la combinación de acciones que marca la norma:

Tipo de acción	I Servicio	II Fuera de servicio
Peso propio	SI	SI
Carga de servicio repartida en el nivel más desfavorable	SI	NO
% de carga uniformemente repartida en el nivel inferior o superior	SI	NO
Porcentaje de la carga de servicio (según clase de andamio)	NO	SI
Viento (según se trate de servicio o máximo)	SI	SI

Para la condición de servicio, la carga de servicio uniformemente distribuida, será de 3 kN/m² aplicada sobre el nivel más desfavorable de la configuración, y unidad de plataforma de clase de carga 4. Será de 4,5 kN/m² para unidades de plataforma de clase de carga 5.

Si un andamio de trabajo tiene más de un nivel de plataforma, debe tomarse el 50% de la carga q_1 especificada para actuar sobre el área de trabajo en el nivel inmediato superior o inferior, en la condición de servicio.

Para la condición de fuera de servicio establece un % de la carga uniformemente distribuida, actuando en el nivel de plataforma más desfavorable. El valor depende de la clase de andamio, siendo para este caso, de clase 5, por lo que el porcentaje será del 50%, representando dicho valor de carga uniformemente distribuida la acumulación o almacenamiento de algunos materiales sobre el área de trabajo.

- **Condición de carga 6. Acciones dinámicas (no se consideran para el análisis numérico)**

La norma establece que las cargas dinámicas existentes pueden convertirse en una componente estática equivalente para la simplificación de su estudio, y así poder representar el exceso de carga causado por efectos dinámicos en condiciones de servicio; contemplándose 2 posibles casos, vertical y horizontal.

- a) El efecto dinámico de la carga de un elemento individual, excepto personas, moviéndose verticalmente por medios accionados mecánicamente, debiéndose representar mediante un 20% de incremento en el peso del elemento.
- b) El efecto dinámico de la carga de un elemento individual moviéndose horizontalmente, excepto personas, se representa mediante una fuerza estática equivalente de un 10% del peso del elemento, actuando en cualquiera de las direcciones horizontales posibles.

Resultados de la evaluación por cálculo

Condición de carga 1. Acciones aplicadas en el área de trabajo

Las imágenes adjuntas, son los resultados del efecto de las acciones aplicadas sobre la configuración representativa del andamio objeto de la evaluación. Se comprueba que los valores de las tensiones para la plataforma de trabajo (en los casos de clase de carga 4 y 5), y para el sistema de barras que forman la configuración representativa del andamio estudiado, no alcanzan los valores de límite elástico del material, por lo que la configuración del sistema de andamio unidireccional estudiado no alcanza valores de plastificación, es decir no pierde su integridad estructural.

Asimismo, se puede observar, analizando los resultados de deformaciones producidas por las acciones solicitantes estudiadas, que las deformaciones máximas en el conjunto de la muestra representativa del sistema no alcanzan los valores máximos fijados por la normativa vigente.

- **Condición de carga 1.1a Carga de servicio uniformemente distribuida q_1 , para clase de carga 4:**

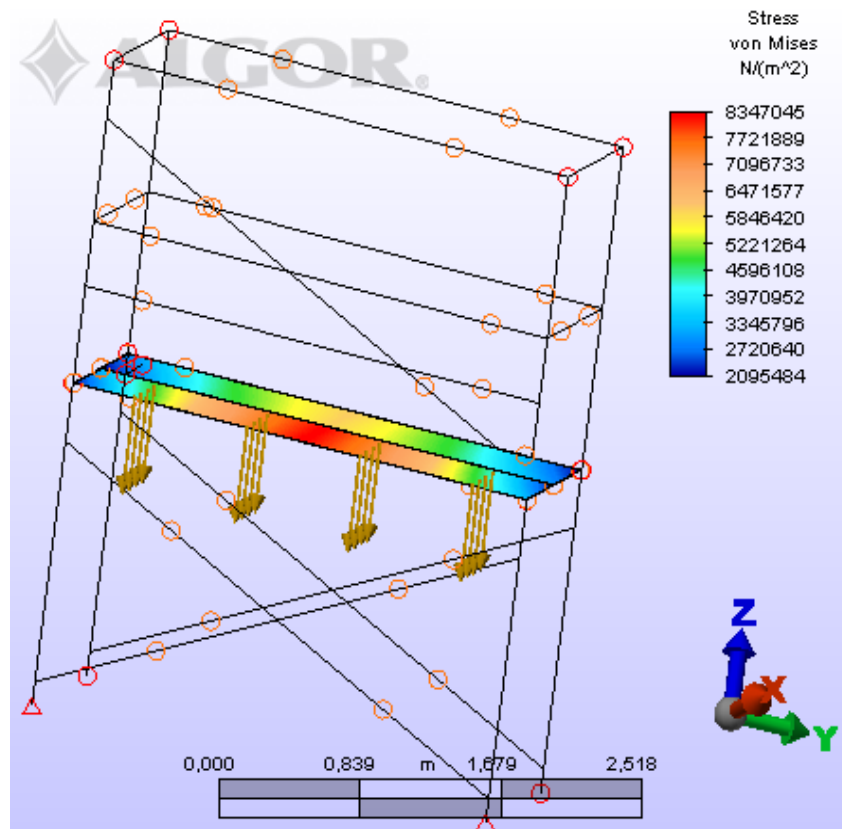


Imagen 16: Gráfico de resultado de las tensiones de Von Mises para q_1 sobre configuración simple de 1 módulo con 2 alturas.

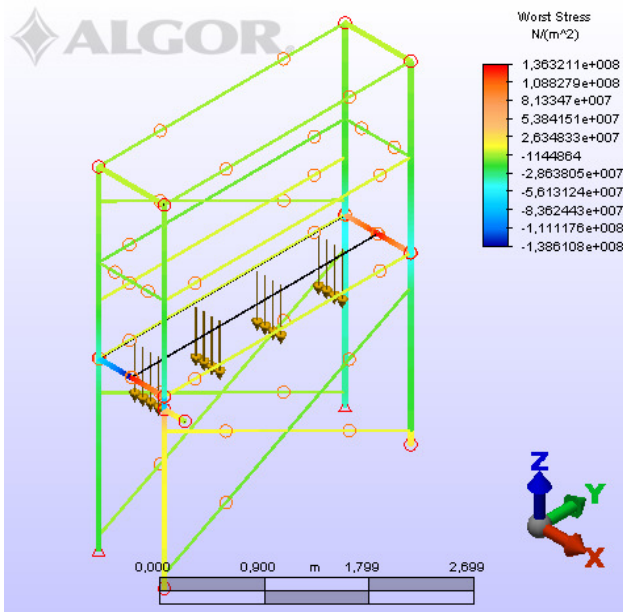


Imagen 17: Gráfico de resultado de las tensiones máximas para q_1 sobre configuración simple de 1 módulo con 2 alturas.

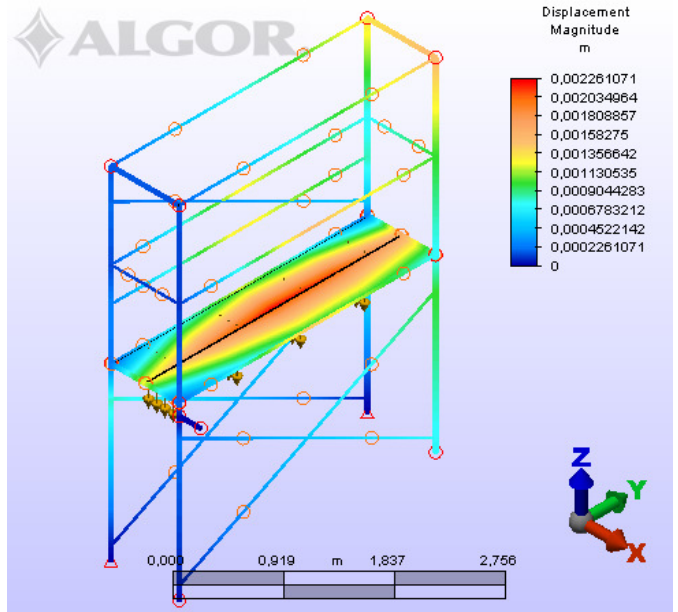


Imagen 18: Gráfico de resultado de los desplazamientos causados por la q_1 sobre configuración simple de 1 módulo con 2 alturas.

- **Condición de carga 1.1b Carga de servicio uniformemente distribuida q_1 para clase de carga 5**

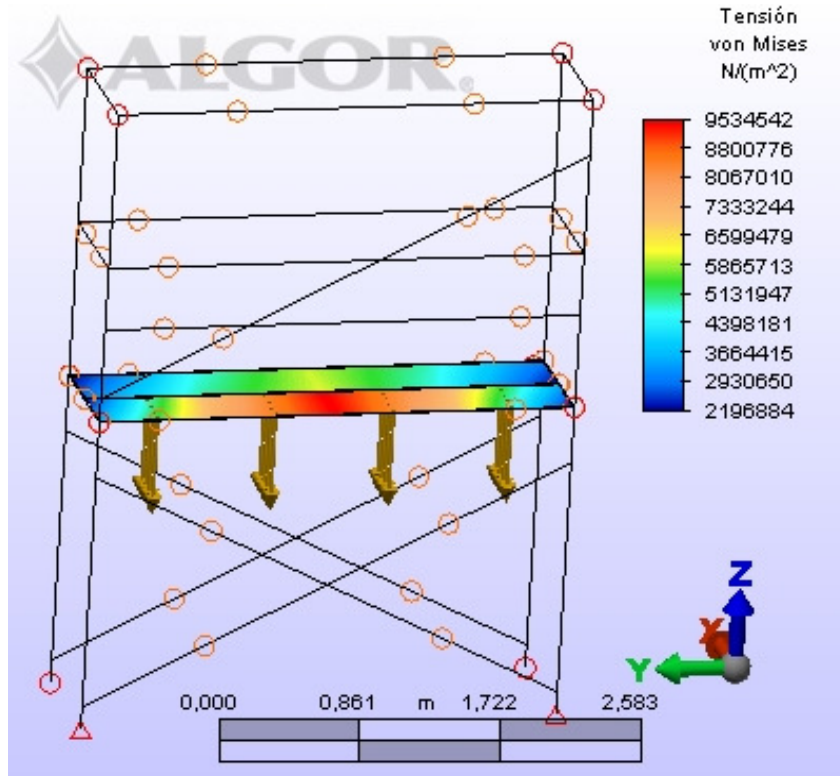


Imagen 19: Gráfico de resultado de las tensiones de Von Mises para q_1 sobre configuración simple de 1 módulo con 2 alturas.

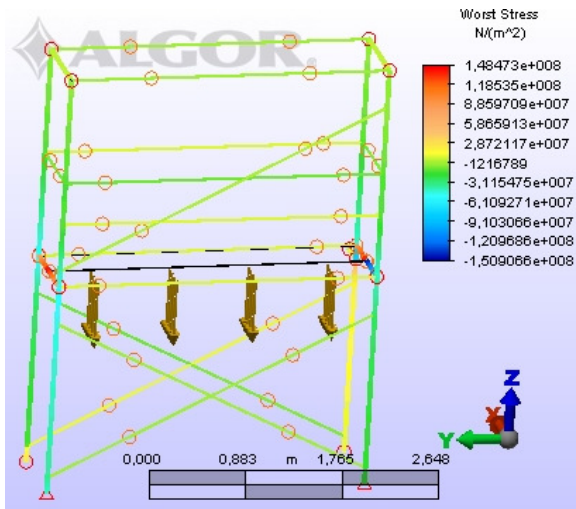


Imagen 20: Gráfico de resultado de las tensiones máximas para q_1 sobre configuración simple (1 módulo con 2 alturas)

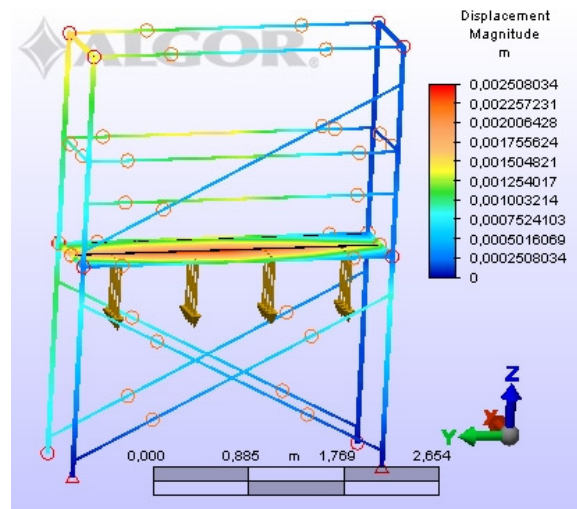


Imagen 21: Gráfico de resultado de los desplazamientos causados por la q_1 sobre configuración simple (1 módulo, 2 alturas)

- **Condición de carga 1.2 Carga concentrada F1 para clases de carga 4 y 5**

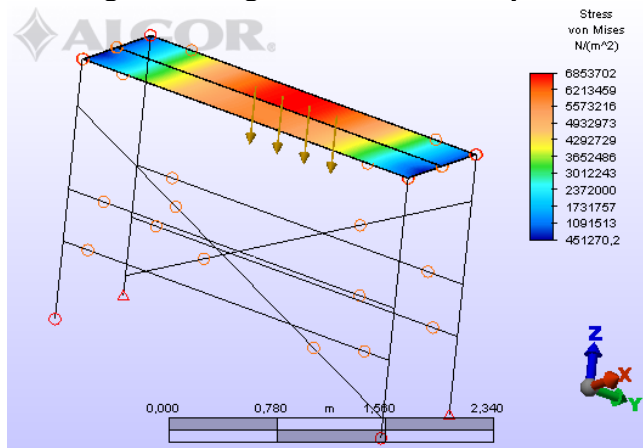


Imagen 22: Gráfico resultado tensiones de Von Mises para F_1 sobre config. simple (1 módulo, 1 altura)

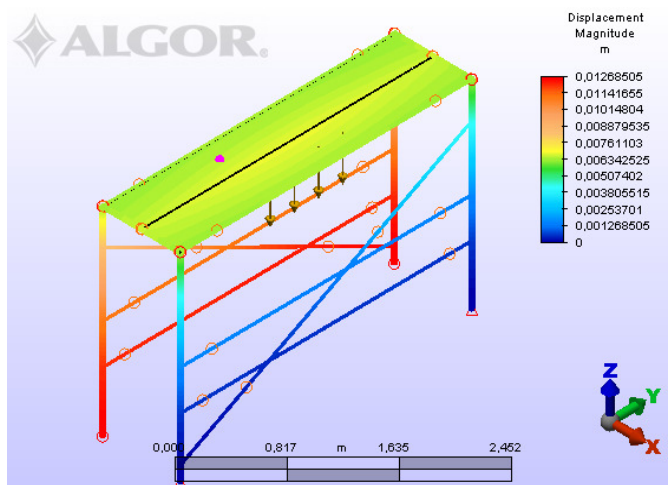


Imagen 23: Gráfico resultado desplazamientos causados por F_1 sobre config. Simple.

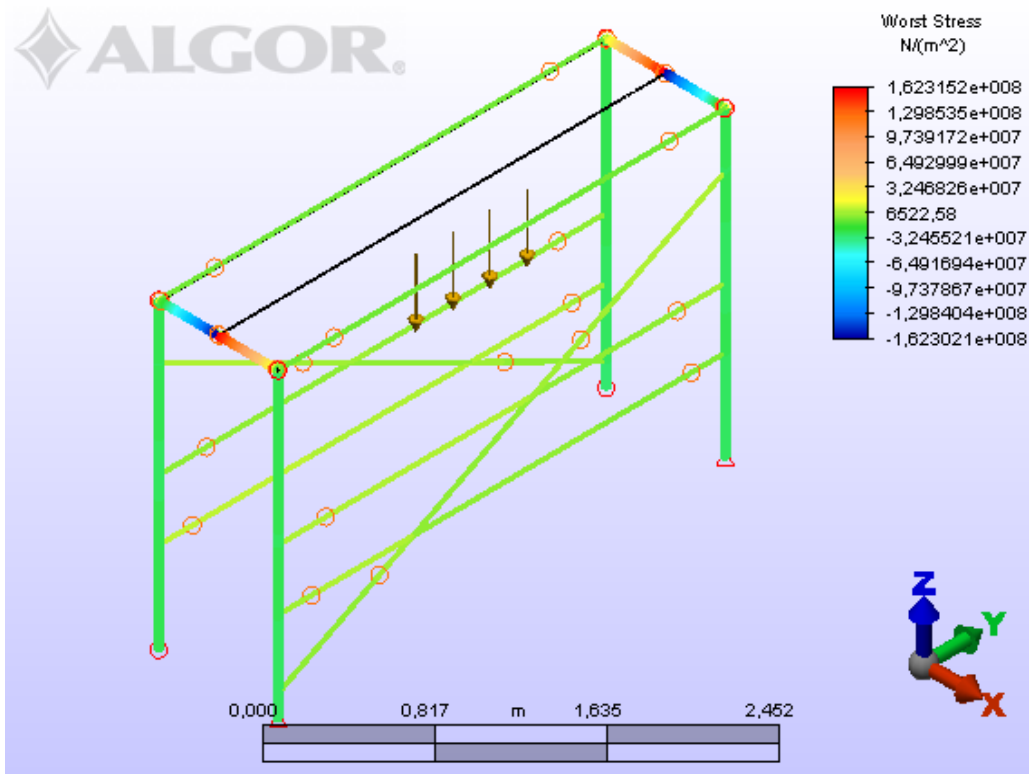


Imagen 24: Gráfico de resultado de las tensiones máximas para F_1 sobre configuración simple (1 módulo con 1 altura)

- **Condición de carga 1.3 Carga concentrada F_2 para clases de carga 4 y 5**

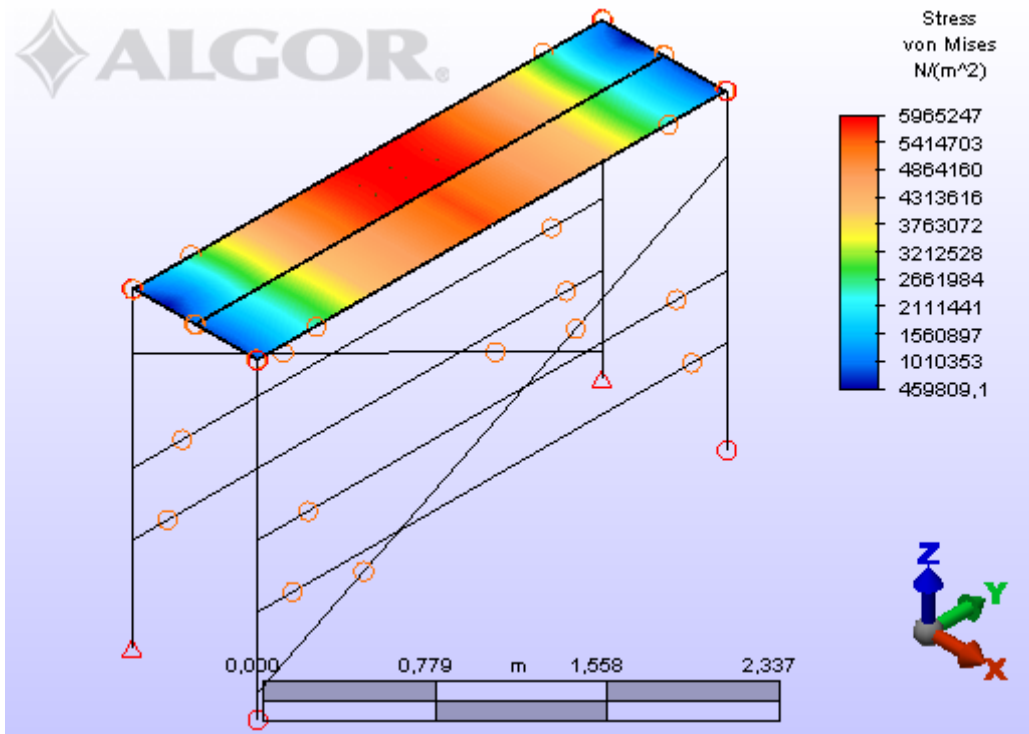


Imagen 25: Gráfico resultado tensiones de Von Mises para F_2 sobre config. simple (1 módulo, 1 altura)

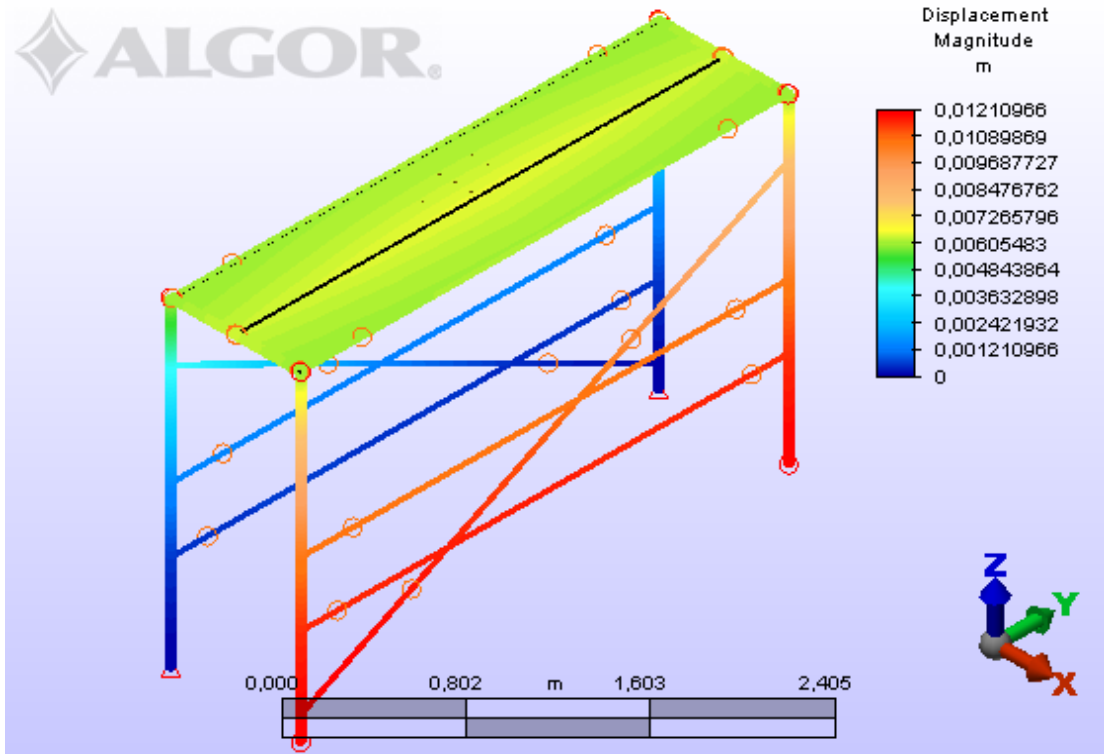


Imagen 26: Gráfico resultado desplazamientos causados por F_2 sobre configuración simple (1 módulo, 1 altura)

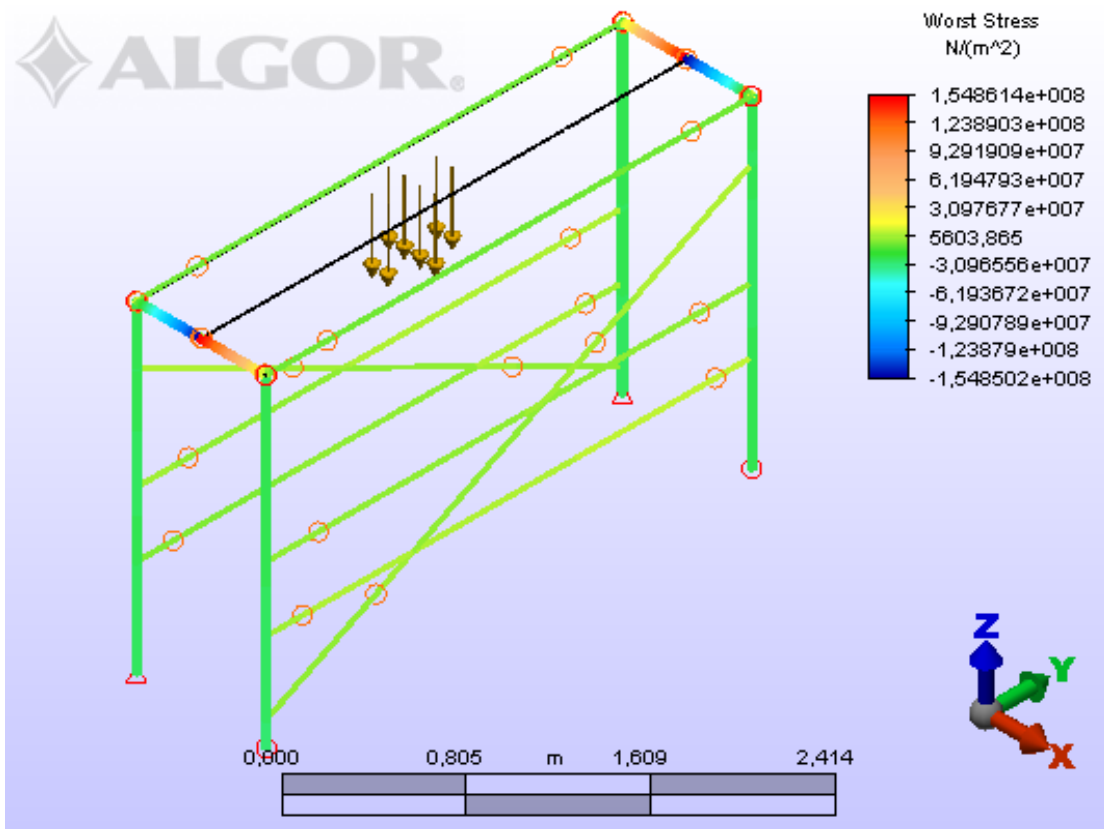


Imagen 27: Gráfico de resultado de tensión máxima para F_2 sobre configuración simple (1 módulo, 1 altura)

- Condición de carga 1.4a Carga en un área parcial q_2 para clase de carga 4

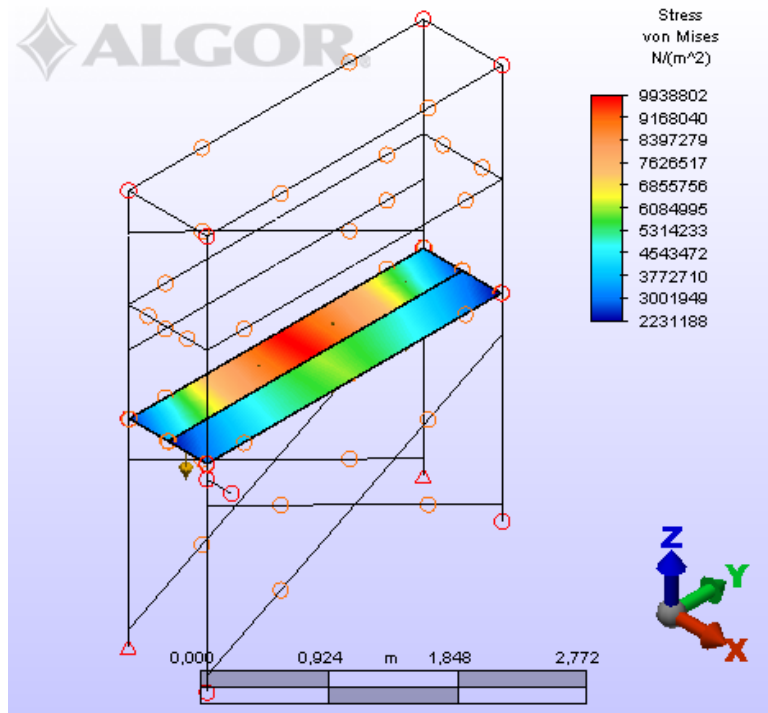


Imagen 28: Gráfico de resultado de tensión de Von Mises para q_2 sobre config. simple (1 módulo, 2 alturas)

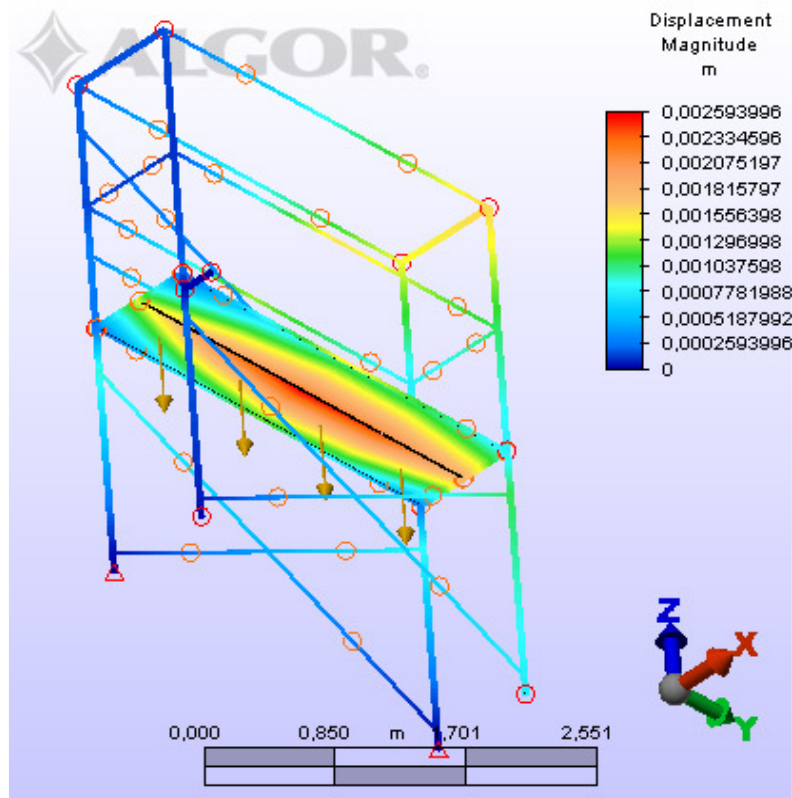


Imagen 29: Gráfico de resultado desplazamientos causados por F_2 sobre configuración simple (1 módulo, 2 alturas)

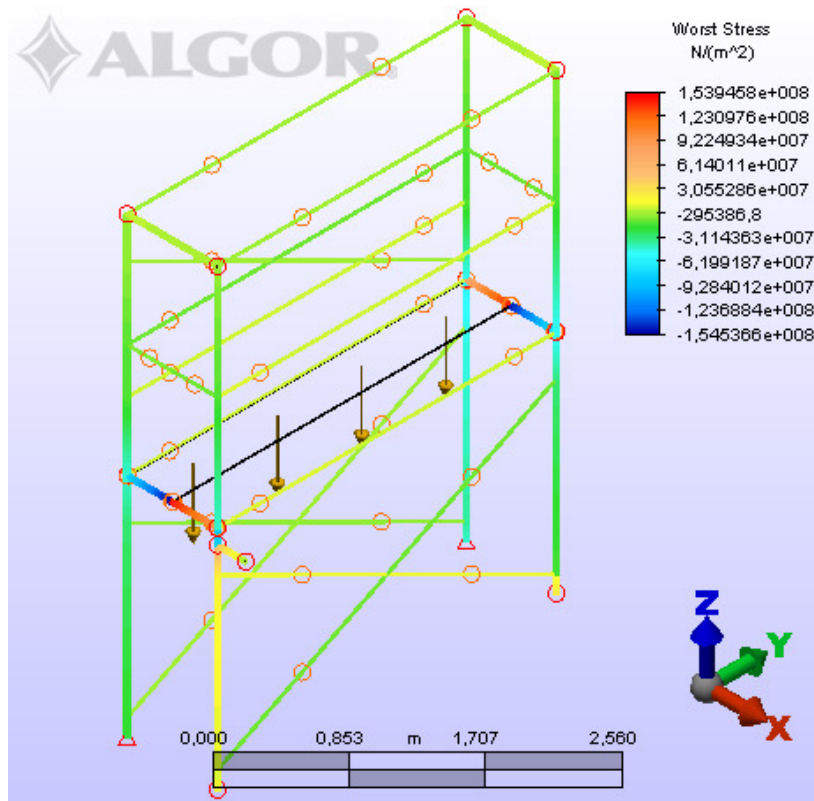


Imagen 30: Gráfico de resultado de tensión máxima para q_2 sobre configuración simple (1 módulo, 2 alturas)

- **Condición de carga 1.4b Carga en un área parcial q_2 para clase de carga 5**

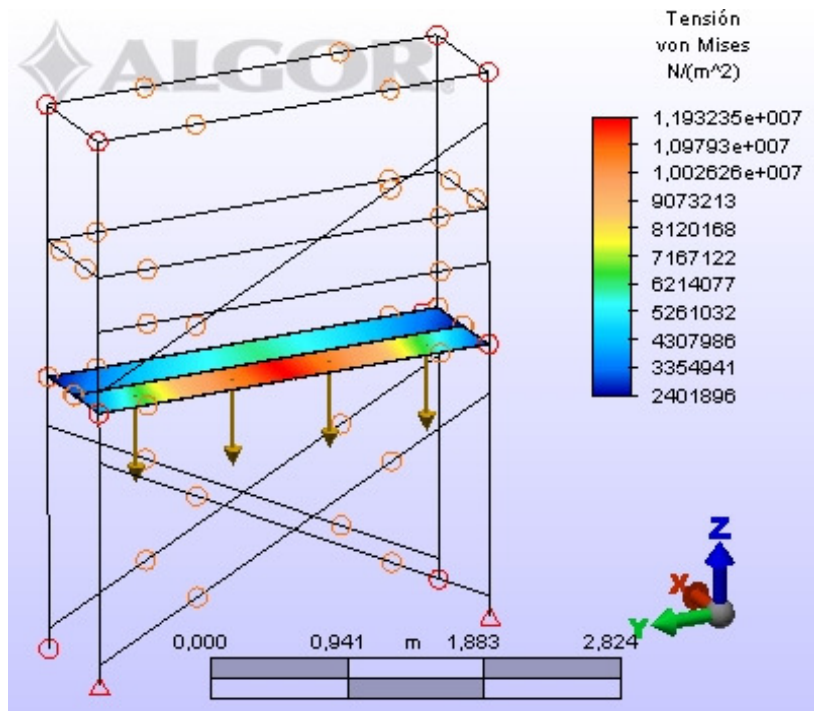


Imagen 31: Gráfico de resultado de tensión de Von Mises para q_2 sobre configuración simple (1 módulo, 2 alturas)

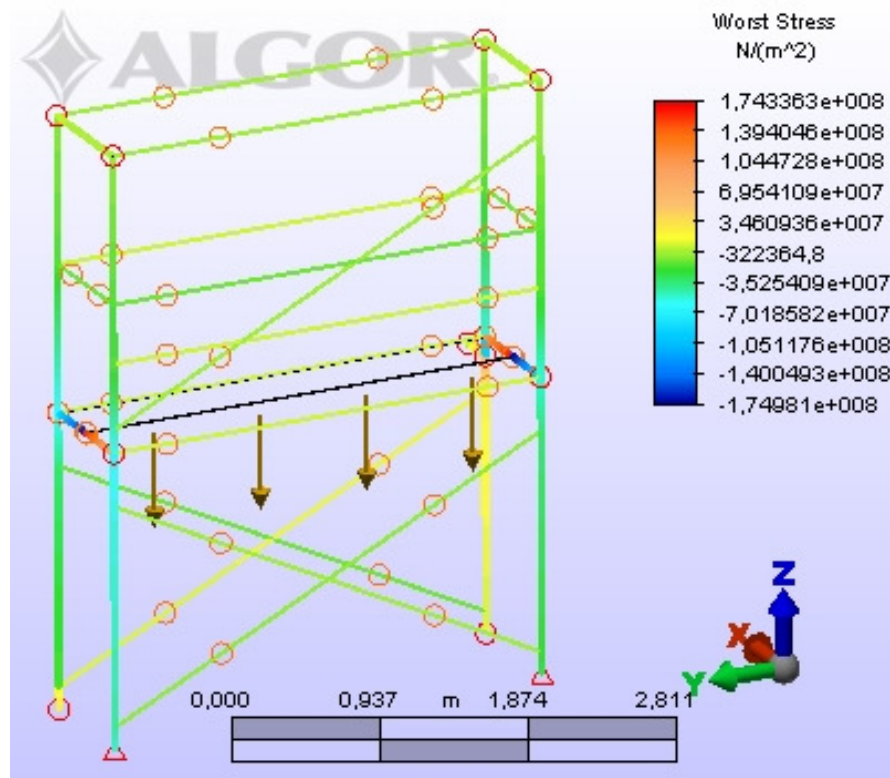


Imagen 32: Gráfico resultado tensión máxima para q_2 sobre configuración simple (1 módulo, 2 alturas)

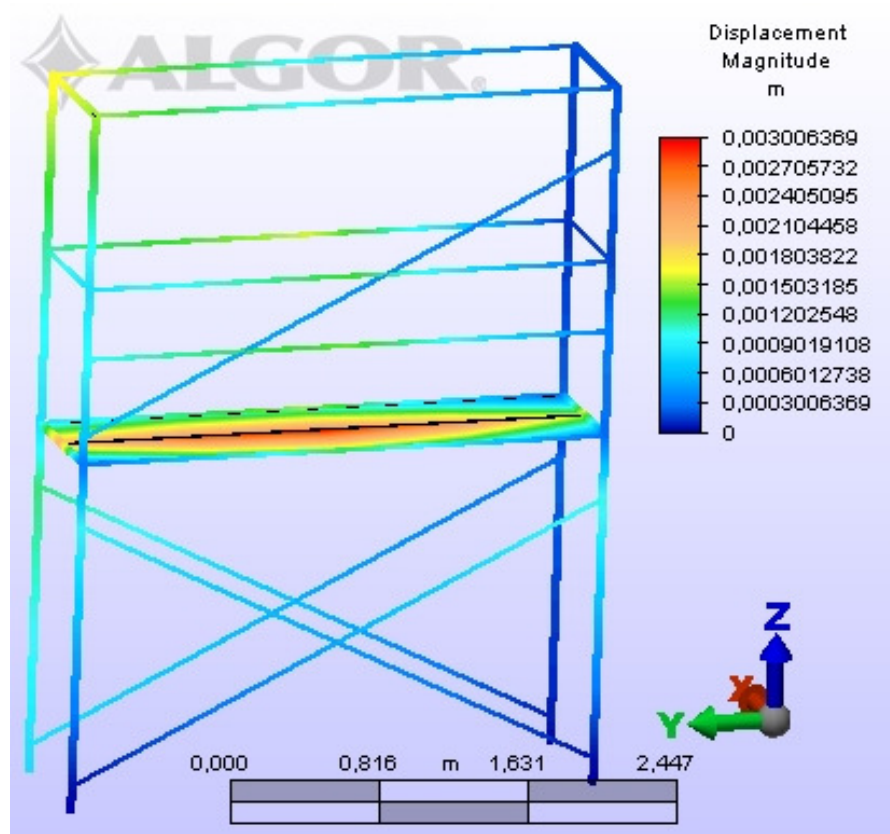


Imagen 33: Gráfico de desplazamiento causado por F_2 sobre configuración simple (1 módulo, 2 alturas)

Condición de carga 2. Acción horizontal de trabajo para clases de carga 4 y 5

Los gráficos que se adjuntan a continuación, muestran el efecto de las acciones aplicadas sobre la configuración tipo completa del sistema de andamio unidireccional objeto del estudio. Se comprueba que tanto los valores de tensiones, para las plataformas o áreas de trabajo como para el sistema de barras que forman la configuración representativa del andamio estudiado, no alcanzan los valores de límite elástico del material, por lo que la configuración del sistema estudiado en su totalidad no alcanza los valores de plastificación y por consiguiente los valores de rotura del material.

A su vez se observa analizando los gráficos de desplazamientos producidos bajo las acciones solicitantes estudiadas que las deformaciones máximas en el conjunto de la configuración completa no alcanzan los valores máximos fijados por la norma.

○ **Condición de carga 2.1 Carga horizontal de trabajo paralela a fachada**

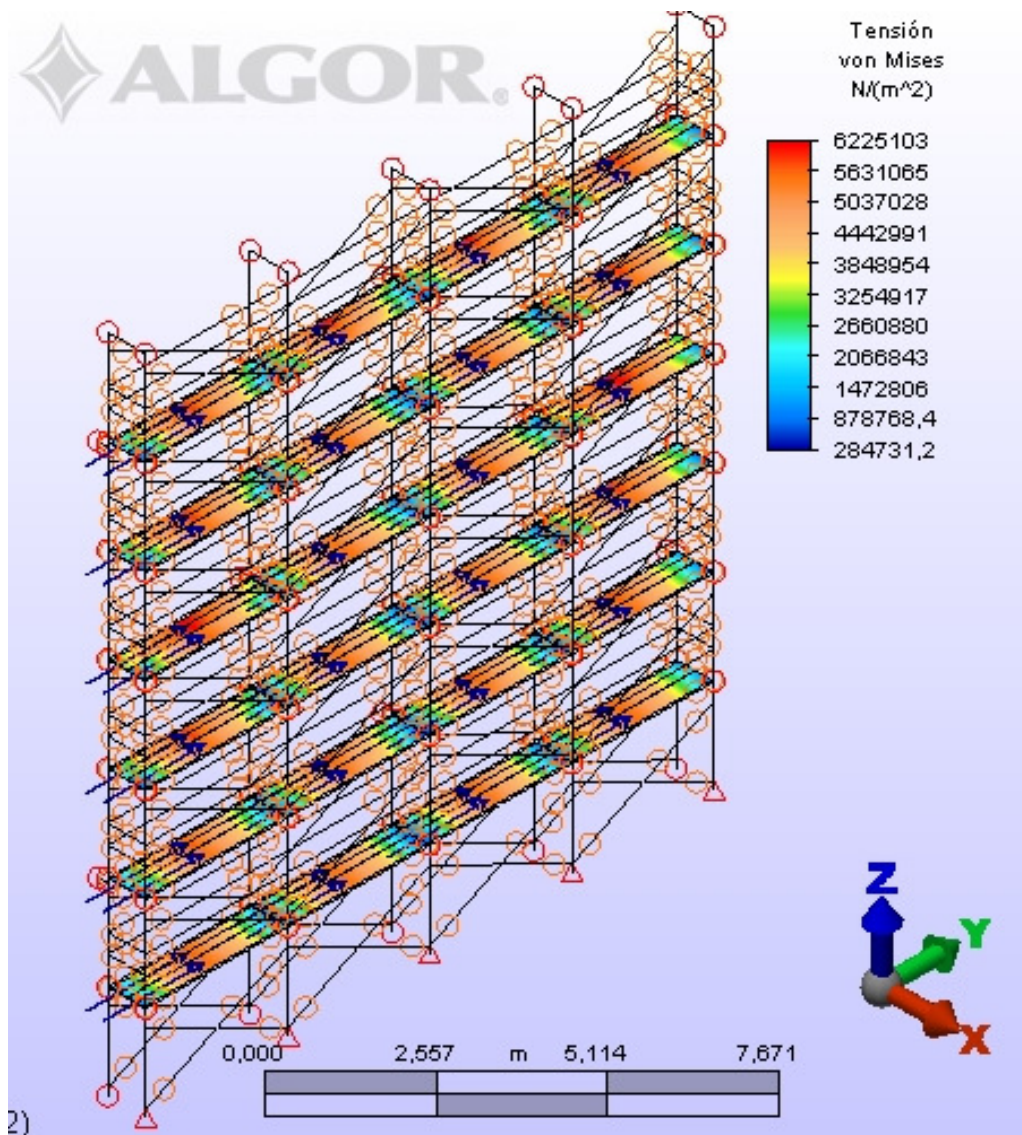


Imagen 34: Gráfico de resultado de tensión de Von Mises, causada por la aplicación de la carga horizontal paralela a fachada sobre la configuración tipo completa del sistema.

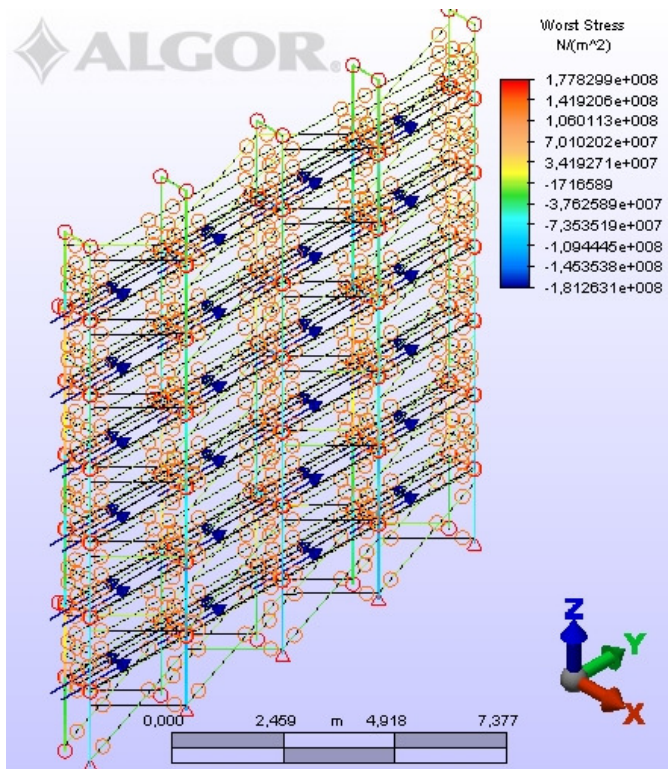


Imagen 35: Gráfico resultado tensión máxima, por aplicación de carga horizontal paralela a fachada sobre configuración tipo completa del sistema.

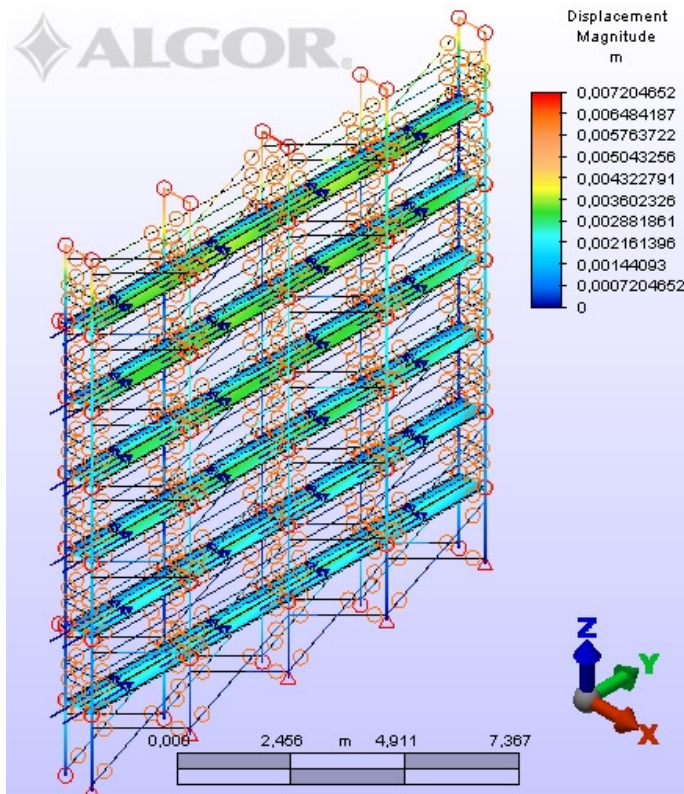


Imagen 36: Gráfico resultado desplazamientos, por aplicación de carga horizontal paralela a fachada sobre configuración tipo completa del sistema.

○ **Condición de carga 2.2 Carga horizontal de trabajo perpendicular a fachada**

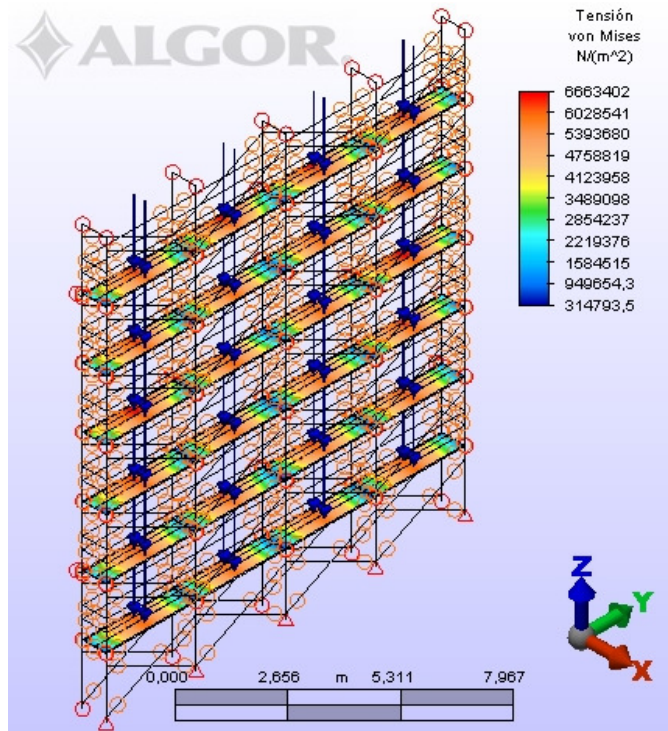


Imagen 37: Gráfico resultado tensión Von Mises, causada por aplicación carga horizontal perpendicular a fachada sobre configuración tipo completa del sistema.

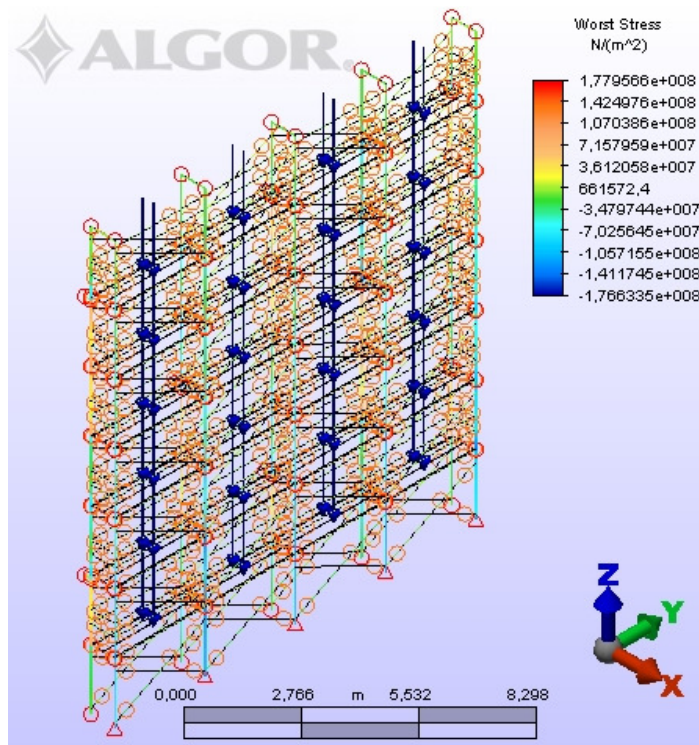


Imagen 38: Gráfico resultado tensión máxima, por aplicación de carga horizontal paralela a fachada sobre configuración tipo completa del sistema.

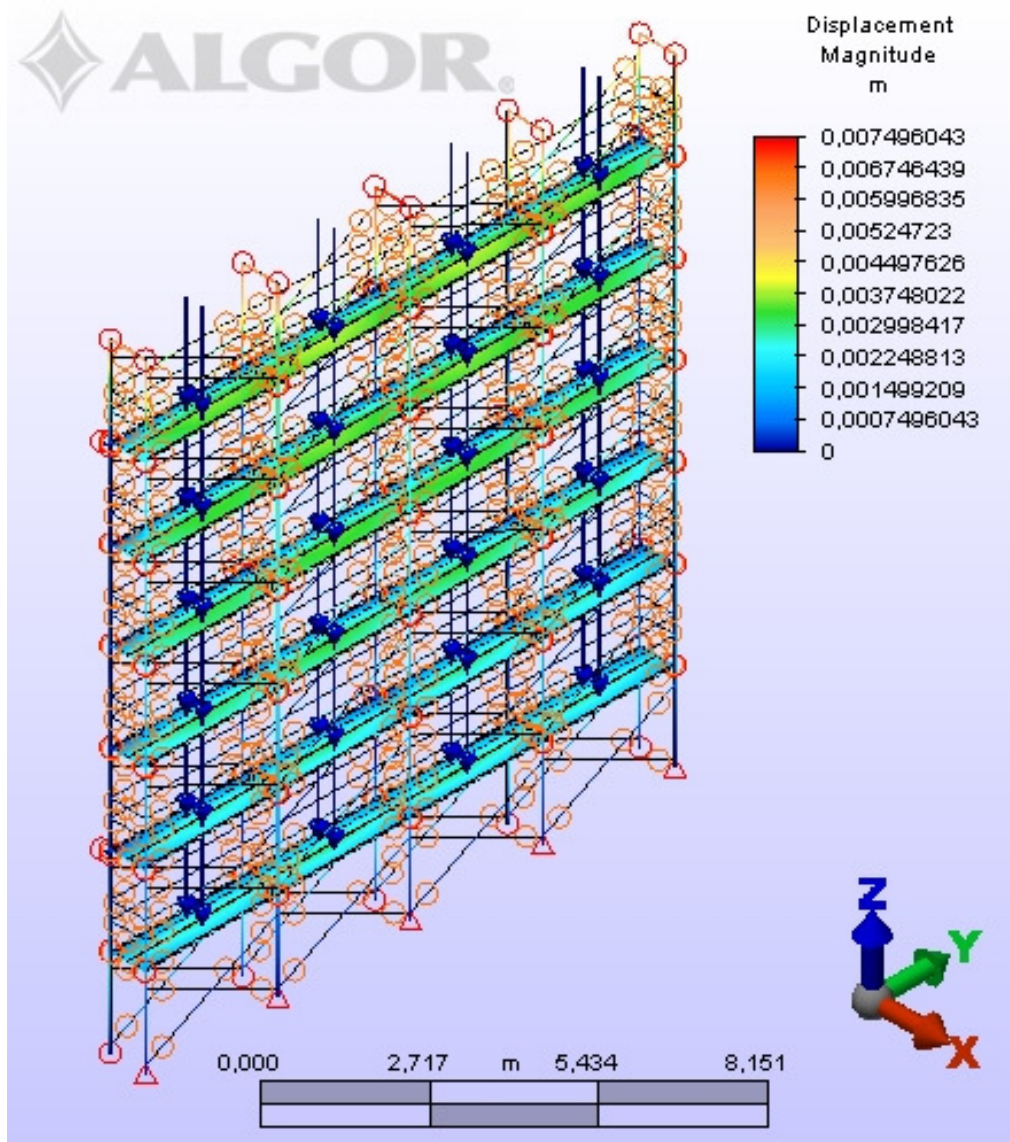


Imagen 39: Gráfico resultado desplazamientos, por aplicación de carga horizontal perpendicular a fachada sobre configuración tipo completa del sistema.

Condición de carga 3. Combinación de acciones

Los gráficos que se adjuntan a continuación, muestran como resultado el efecto de las acciones aplicadas sobre la configuración tipo completa del sistema de andamio unidireccional objeto de evaluación. Se comprueba que tanto los valores de las tensiones para las plataformas o áreas de trabajo, como para el sistema de barras que forman la configuración representativa del sistema, no alcanzan los valores de límite elástico del material, por lo que no alcanza los valores de plastificación y así, se mantiene la integridad estructural del conjunto del sistema de andamio unidireccional de fachada, modelo *CK*, objeto de la evaluación.

Asimismo, analizando los gráficos de desplazamientos producidos bajo las acciones solicitantes estudiadas, se observa como las deformaciones máximas en el conjunto de la configuración completa no alcanzan los valores máximos fijados por la norma.

- **Condición de carga 3.1a Condición de servicio con viento paralelo a fachada para plataformas de trabajo de clase de carga 4**

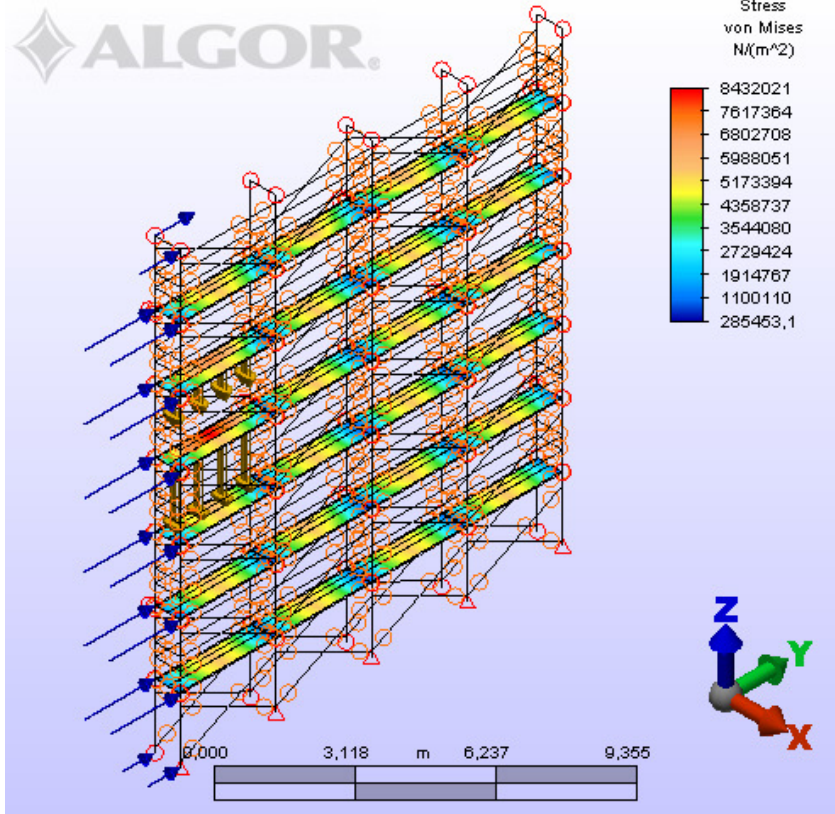


Imagen 40: Gráfico resultado tensión Von Mises, causada por condición de servicio con viento paralelo a fachada sobre configuración tipo del sistema (clase 4)

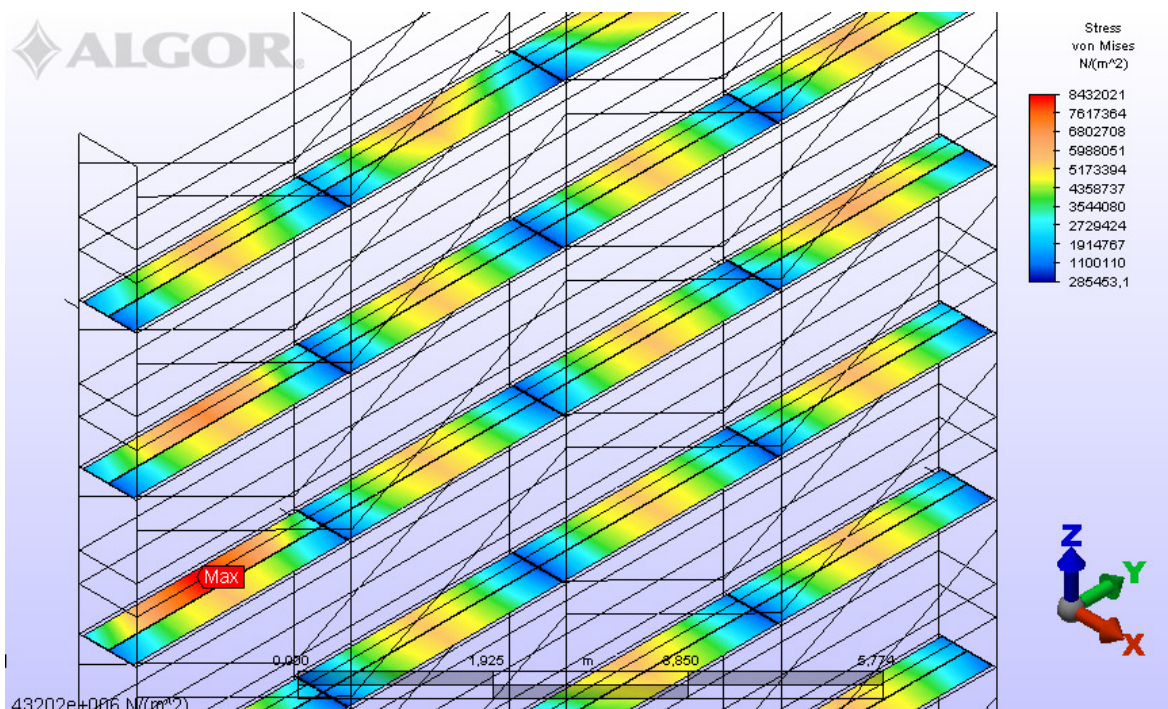


Imagen 41: Detalle gráfico resultado tensión Von Mises (tensión máxima)

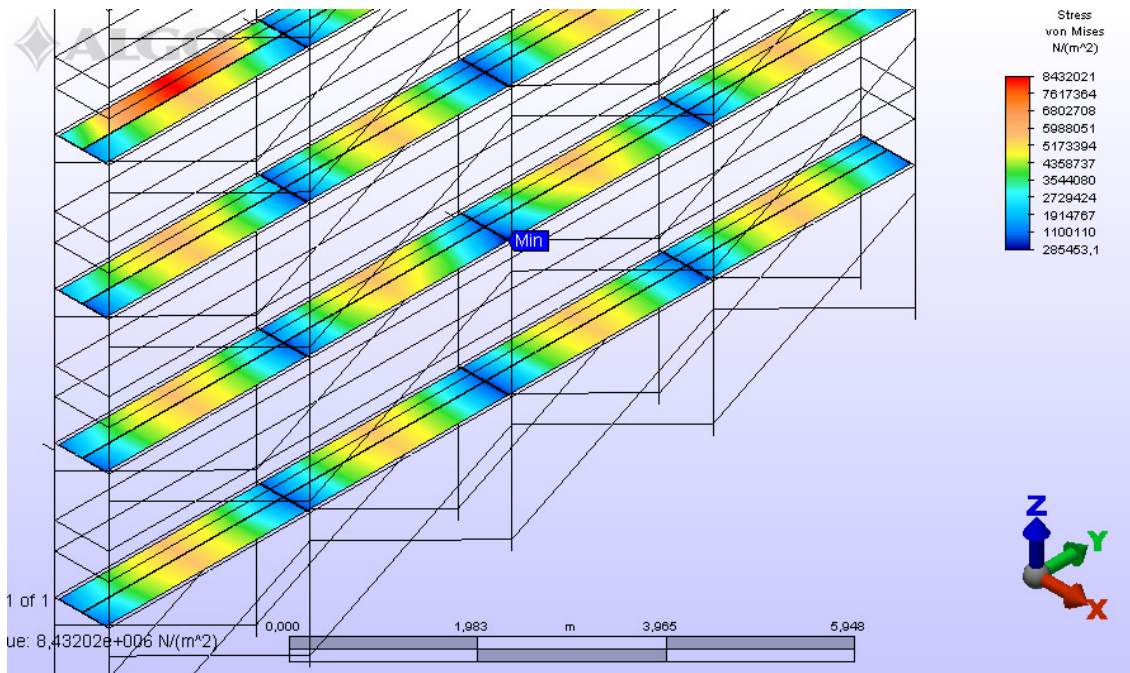


Imagen 42: Detalle gráfico resultado tensión Von Mises (tensión mínima)

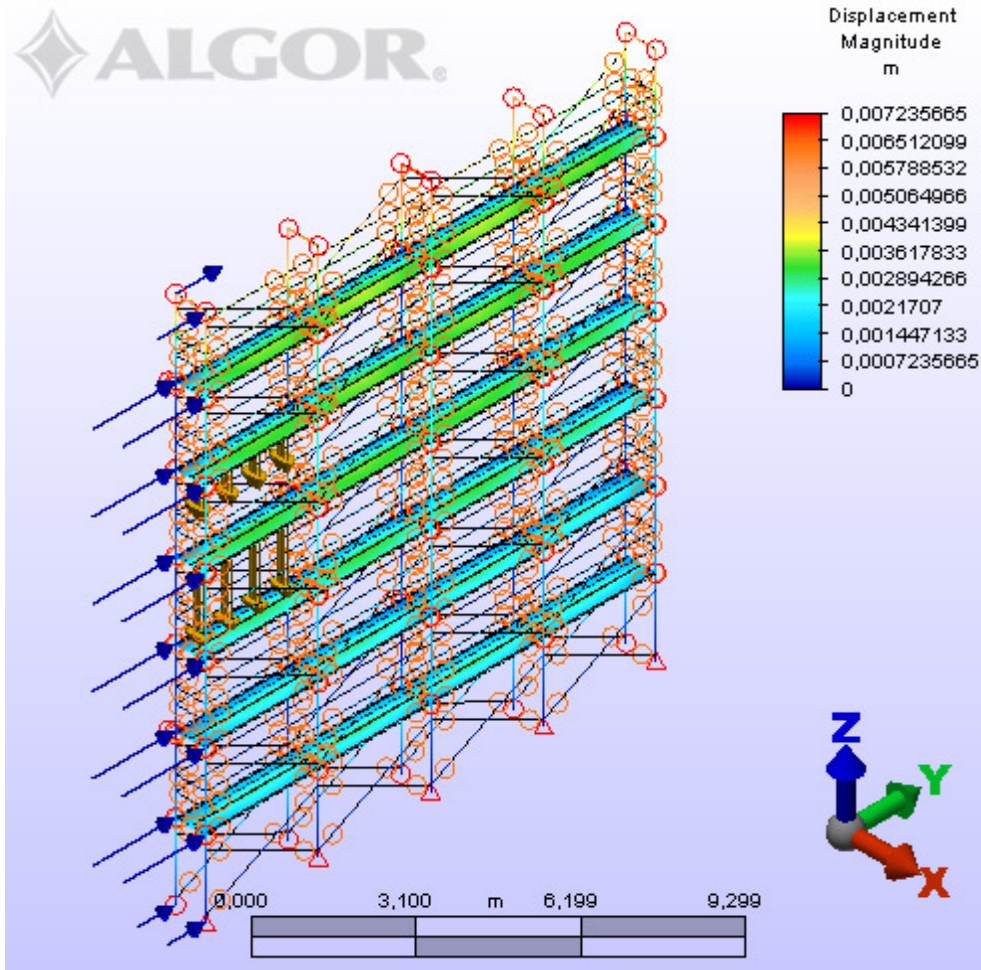


Imagen 43: Gráfico resultado desplazamientos, causada por condición de servicio con viento paralelo a fachada sobre configuración tipo del sistema (clase 4)

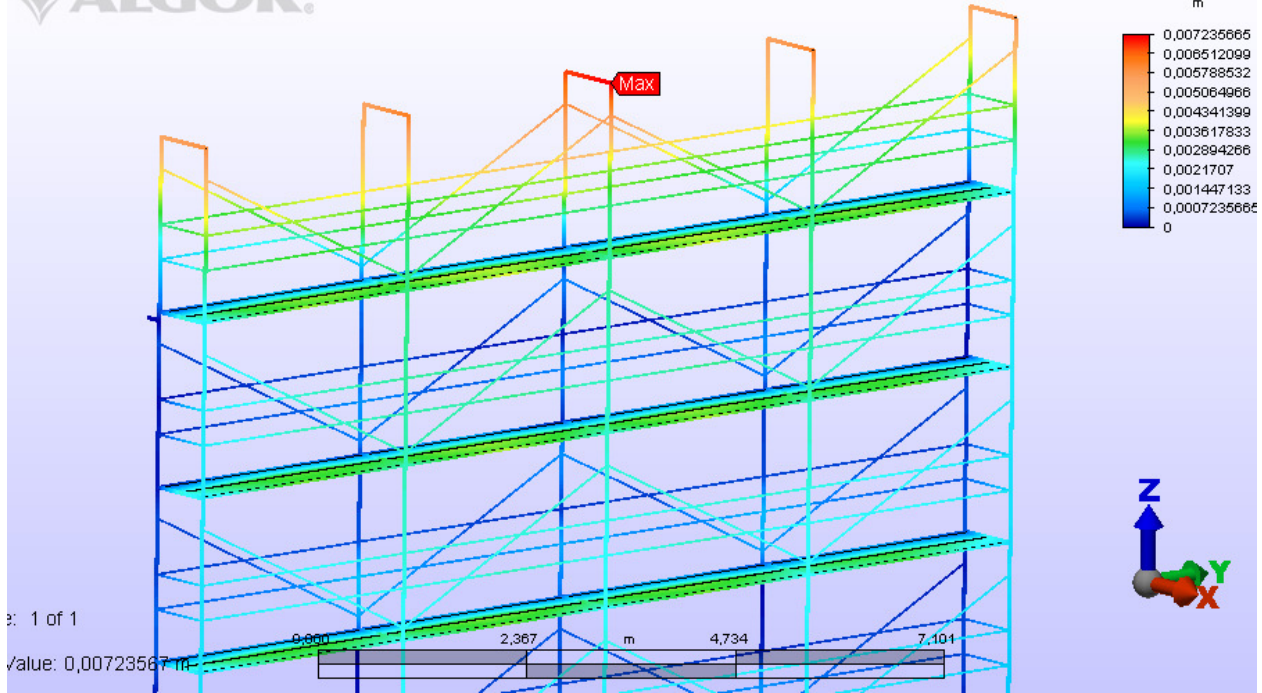


Imagen 44: Detalle gráfico del desplazamiento máximo obtenido.

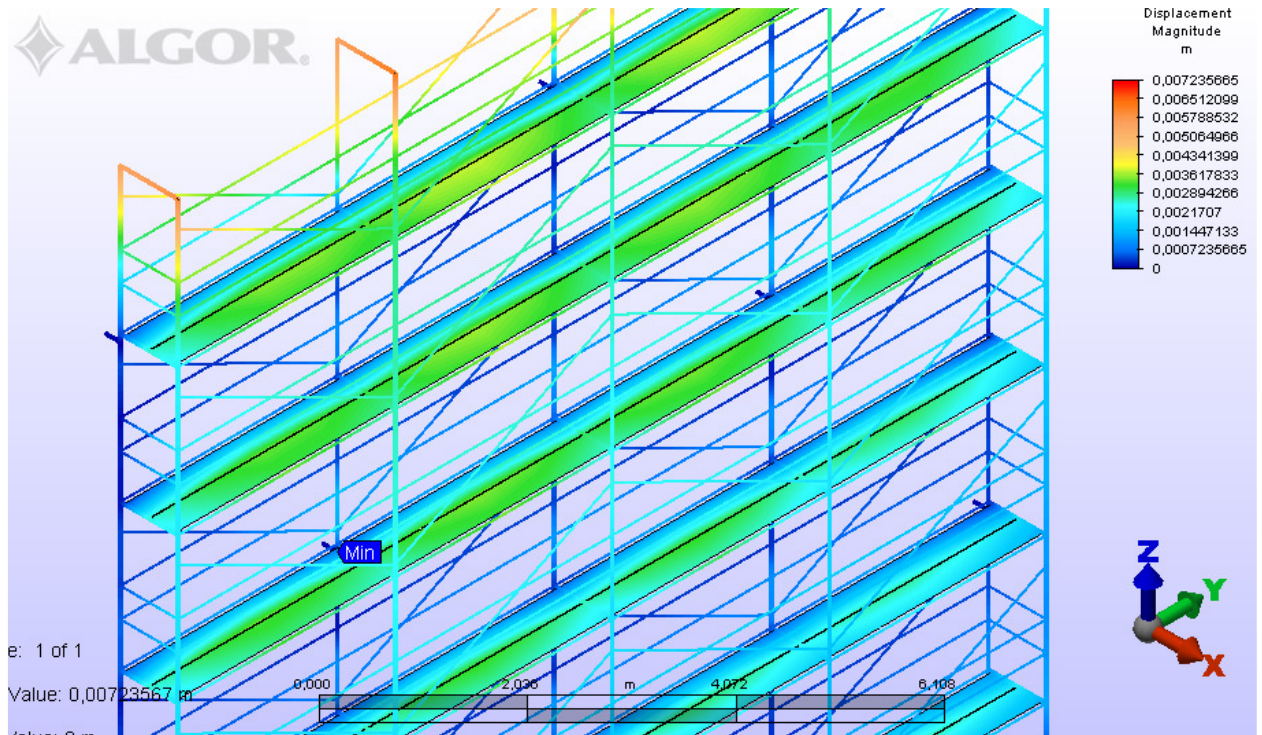


Imagen 45: Detalle gráfico del desplazamiento mínimo obtenido.

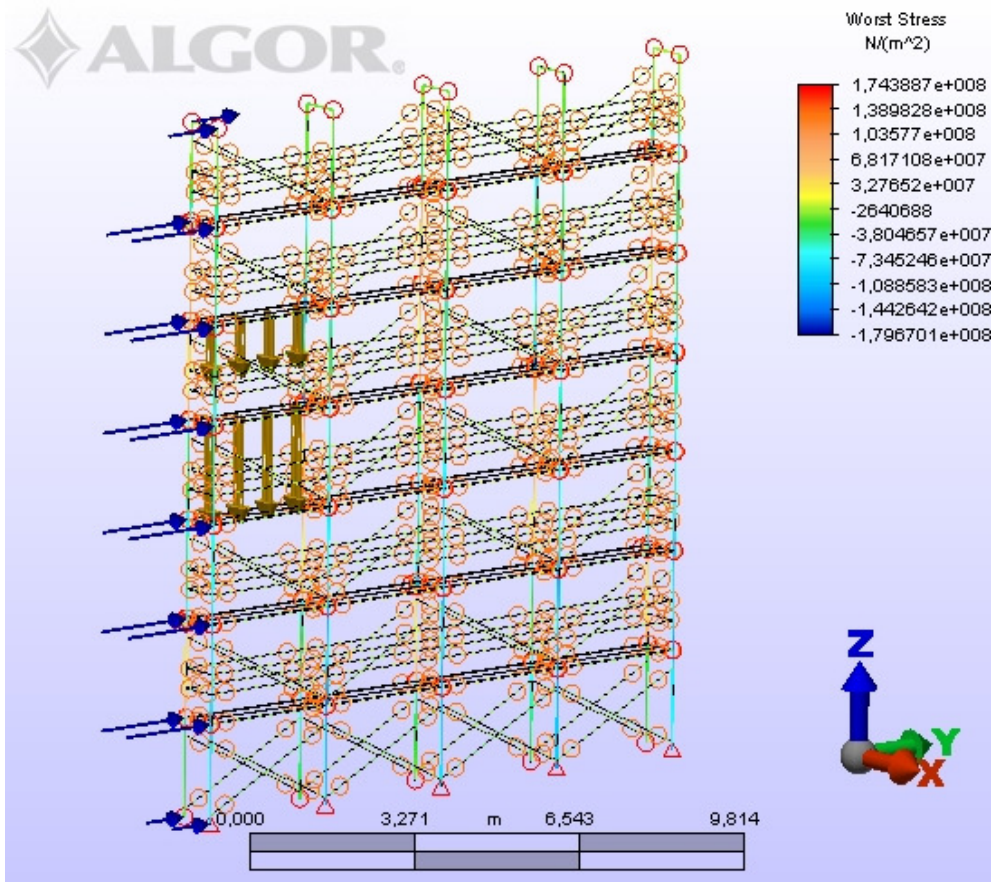


Imagen 46: Gráfico resultado tensión máxima, causada por condición de servicio con viento paralelo a fachada sobre configuración tipo del sistema (clase 4)

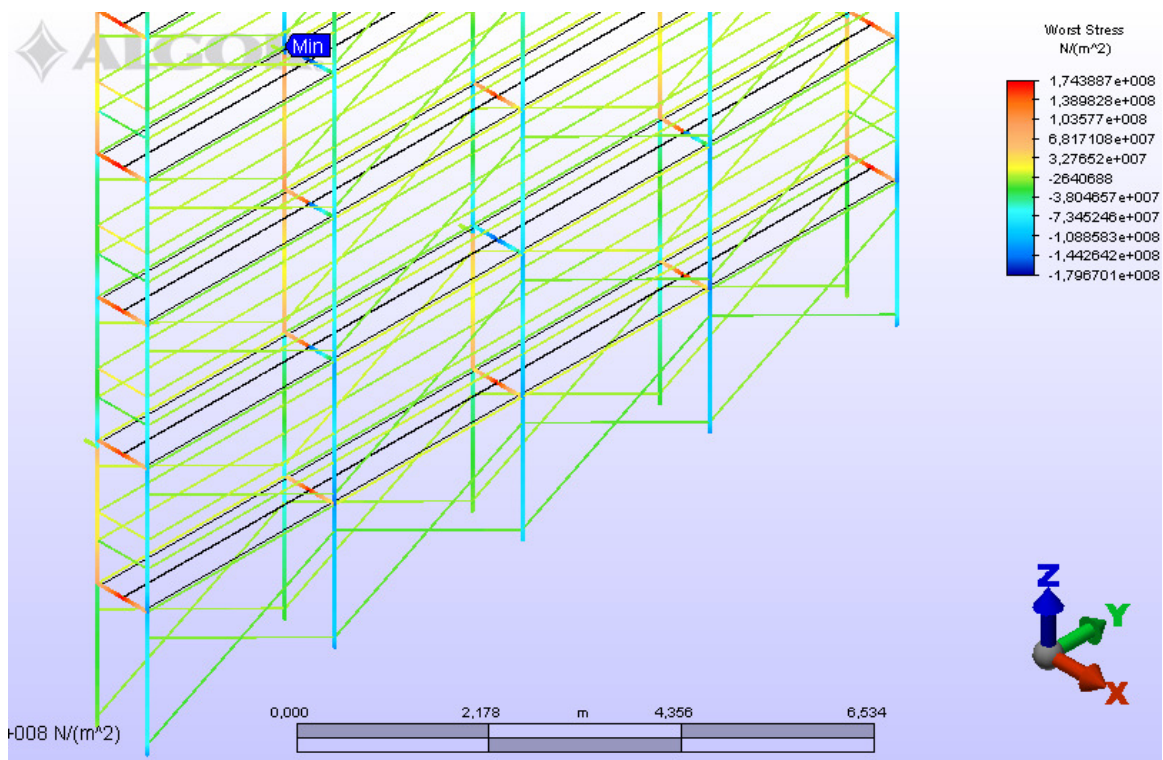


Imagen 47: Detalle gráfico resultado tensiones máximas (valor mínimo)

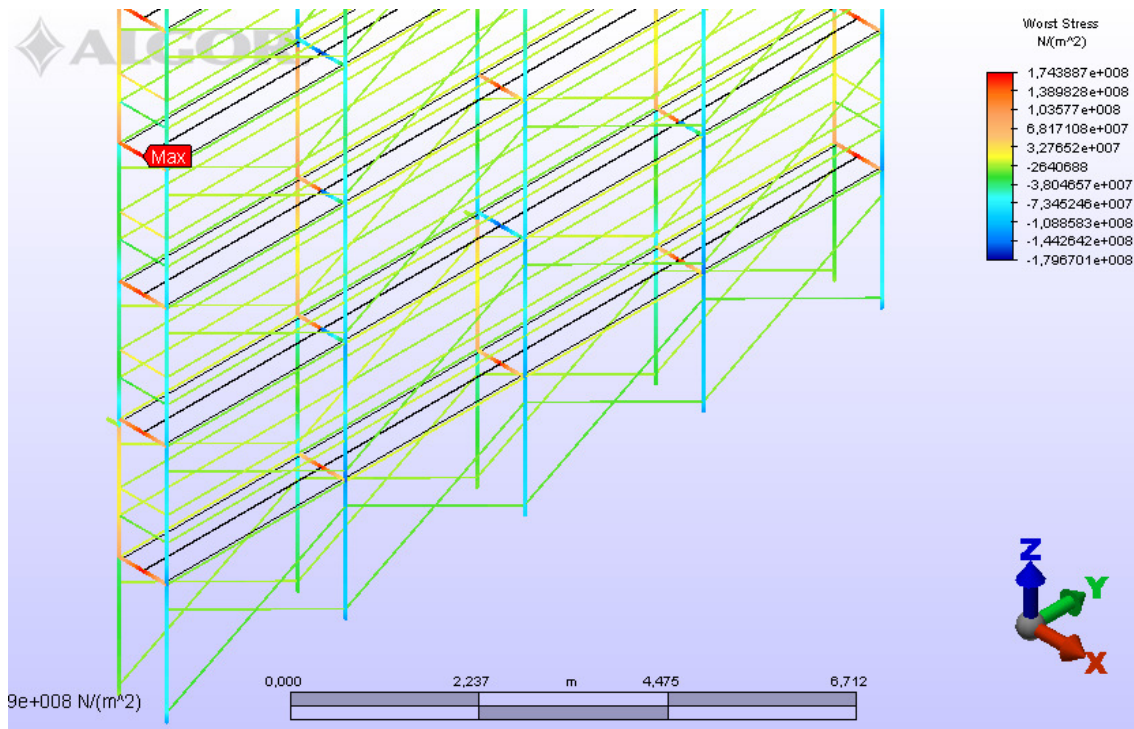


Imagen 48: Detalle gráfico resultado tensiones máximas (valor máximo)

- **Condición de carga 3.1b Condición de servicio con viento paralelo a fachada para clase de carga 5**

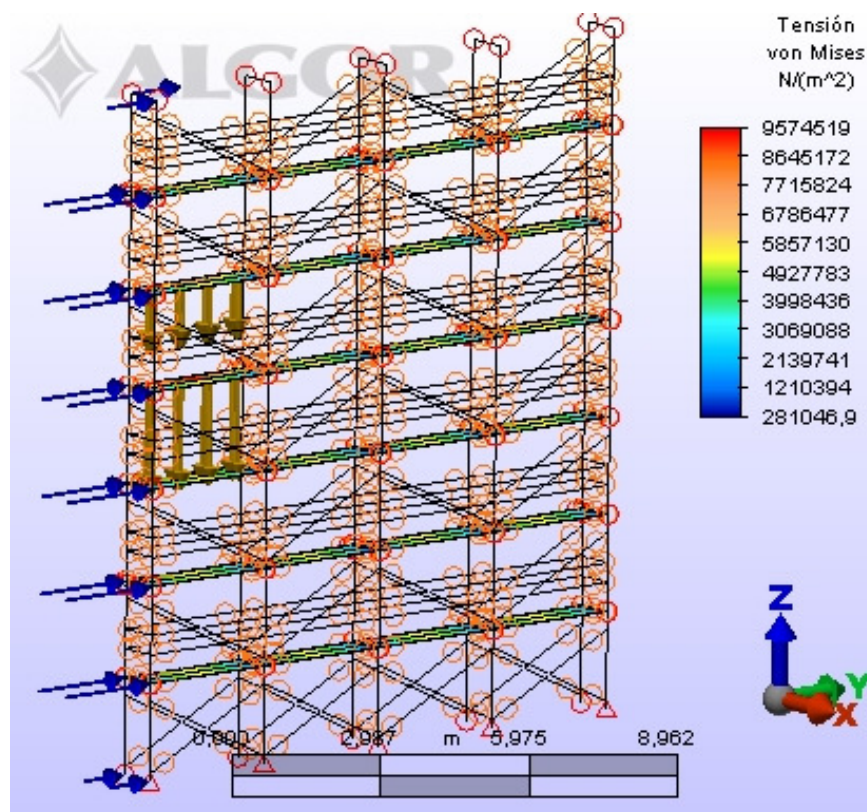


Imagen 49: Gráfico resultado tensión Von Mises, condición de servicio con viento paralelo a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 5)

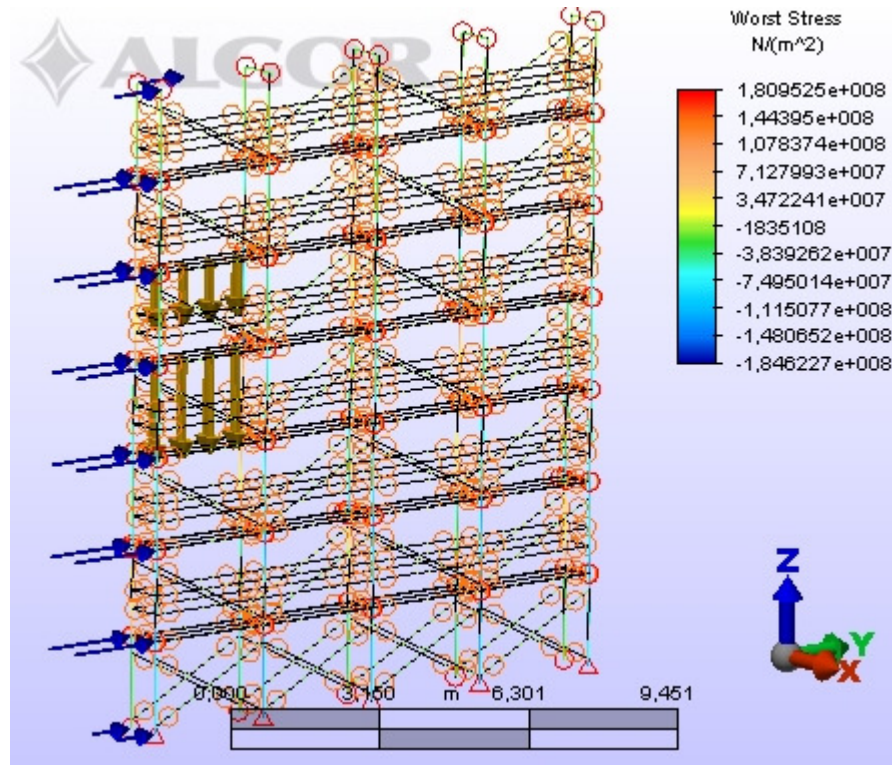


Imagen 50: Gráfico resultado tensión máxima, condición de servicio con viento paralelo a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 5)

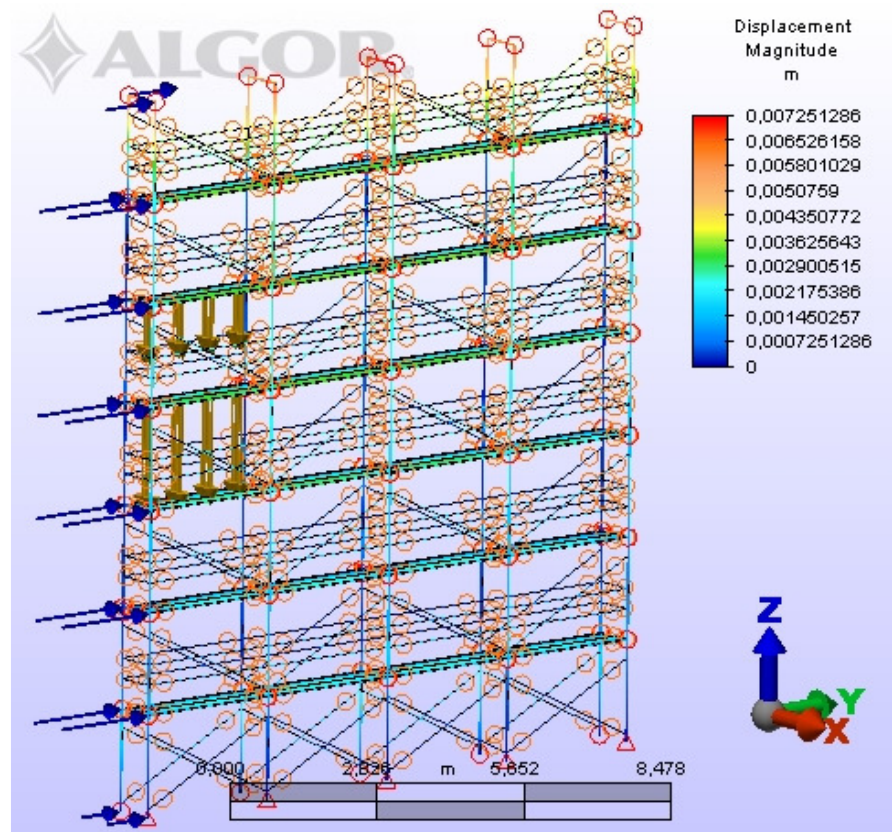


Imagen 51: Gráfico resultado desplazamientos, condición de servicio con viento paralelo a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 5)

- **Condición de carga 3.2a Condición de servicio con viento perpendicular a fachada para clase de carga 4**

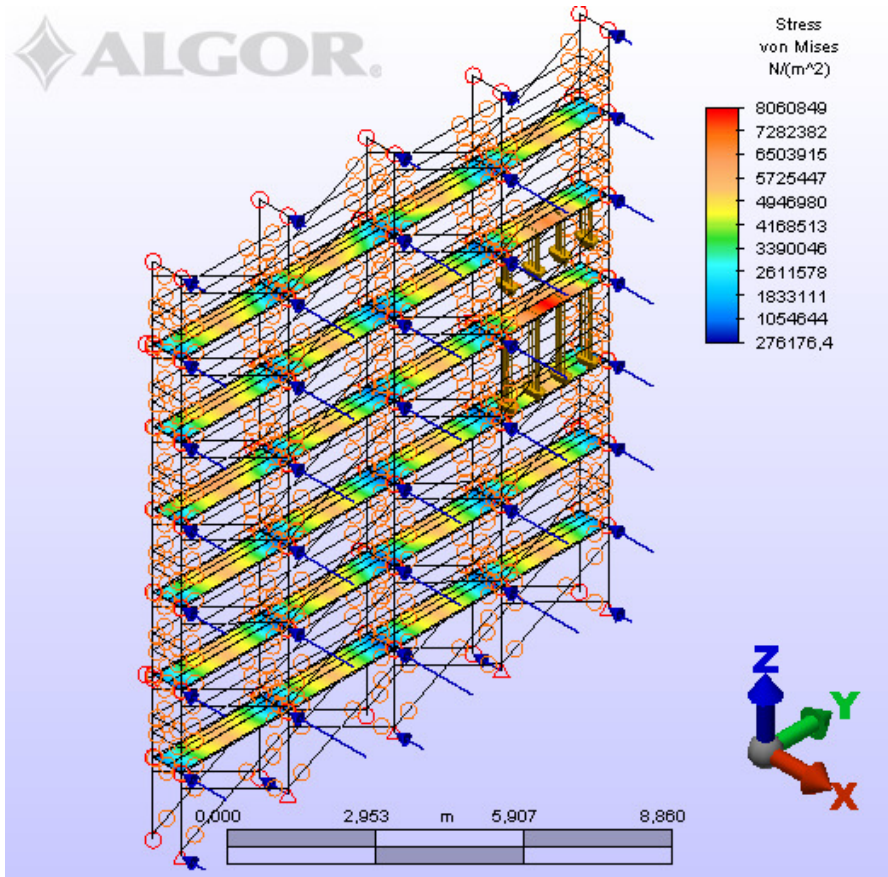


Imagen 52: Gráfico resultado tensión Von Mises, condición de servicio con viento perpendicular a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 4)

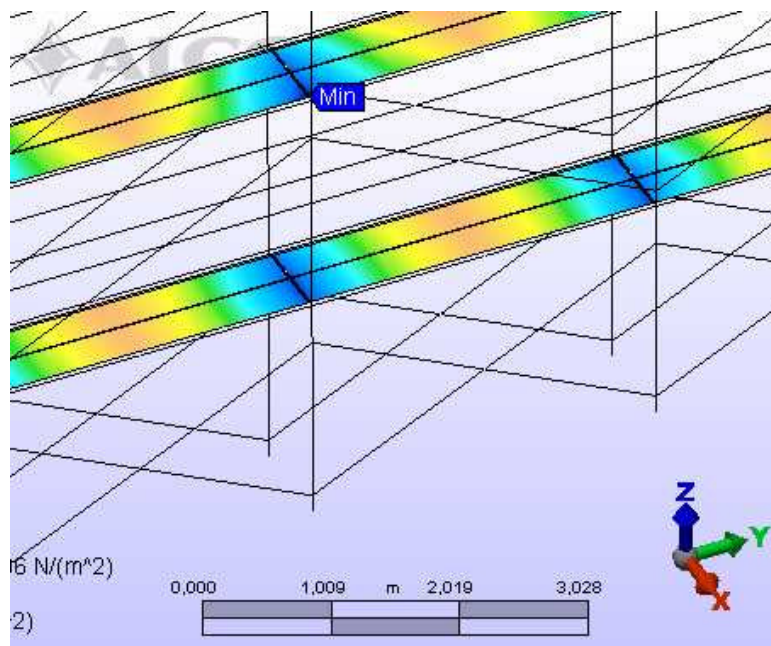


Imagen 53: Detalle gráfico resultado tensión Von Mises (valor mínimo)

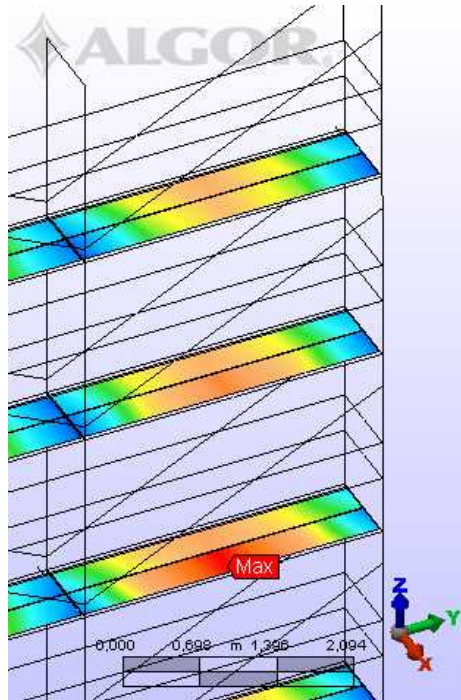


Imagen 54: Detalle gráfico resultado tensión Von Mises (valor máximo)

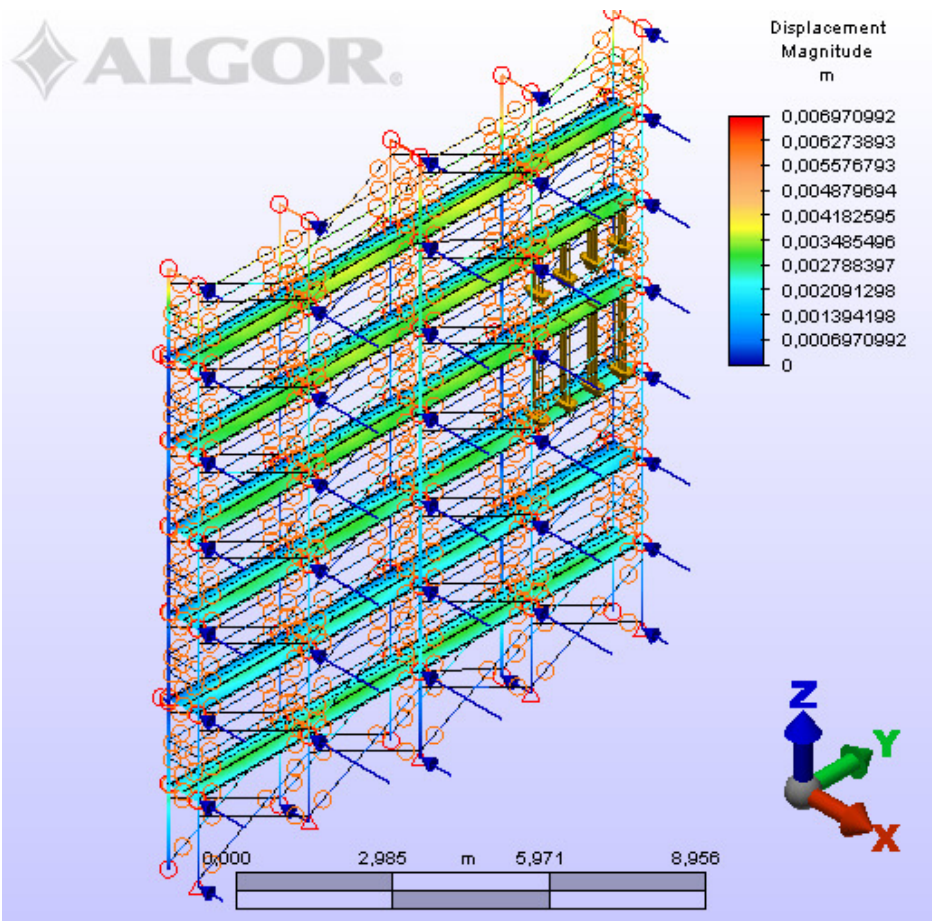


Imagen 55: Gráfico resultado desplazamientos, condición de servicio con viento perpendicular a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 4)

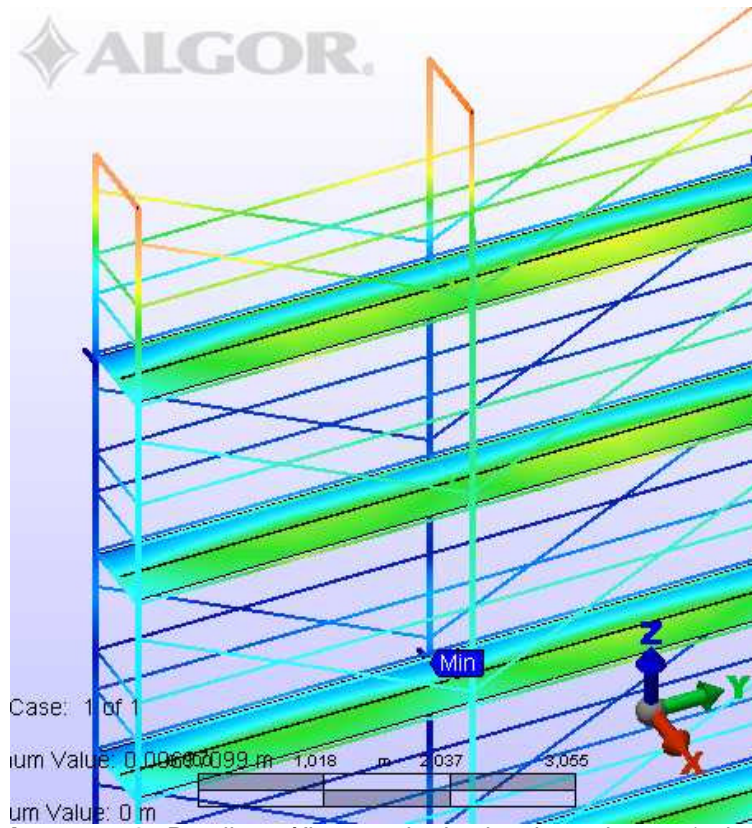


Imagen 56: Detalle gráfico resultado desplazamientos (valor mínimo)

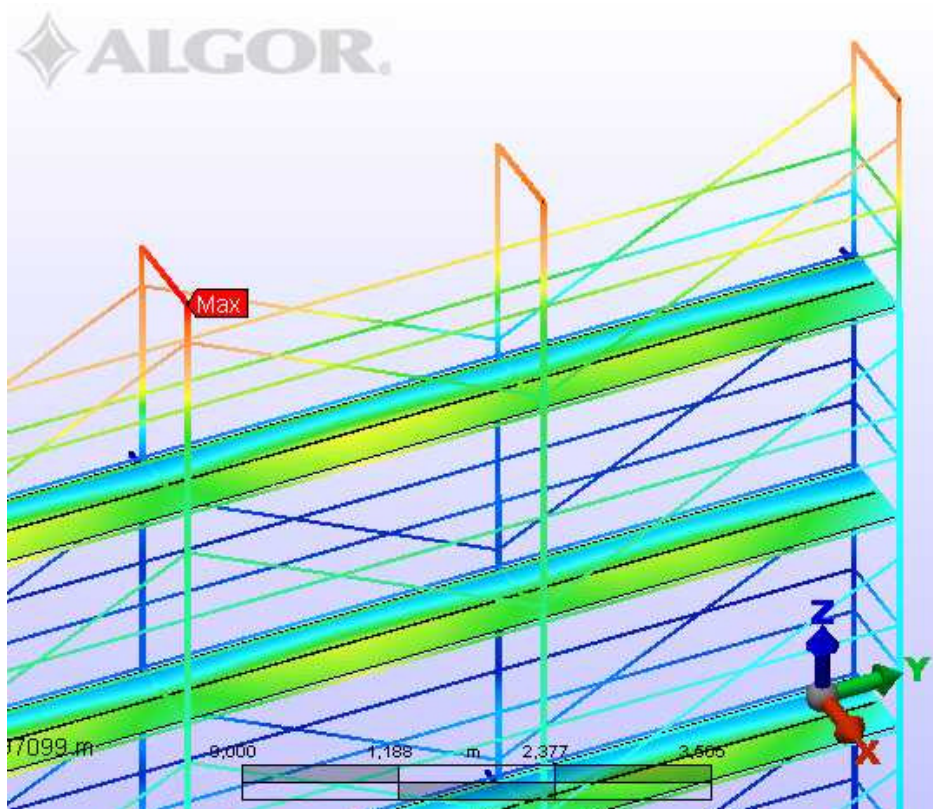


Imagen 57: Detalle gráfico resultado desplazamientos (valor máximo)

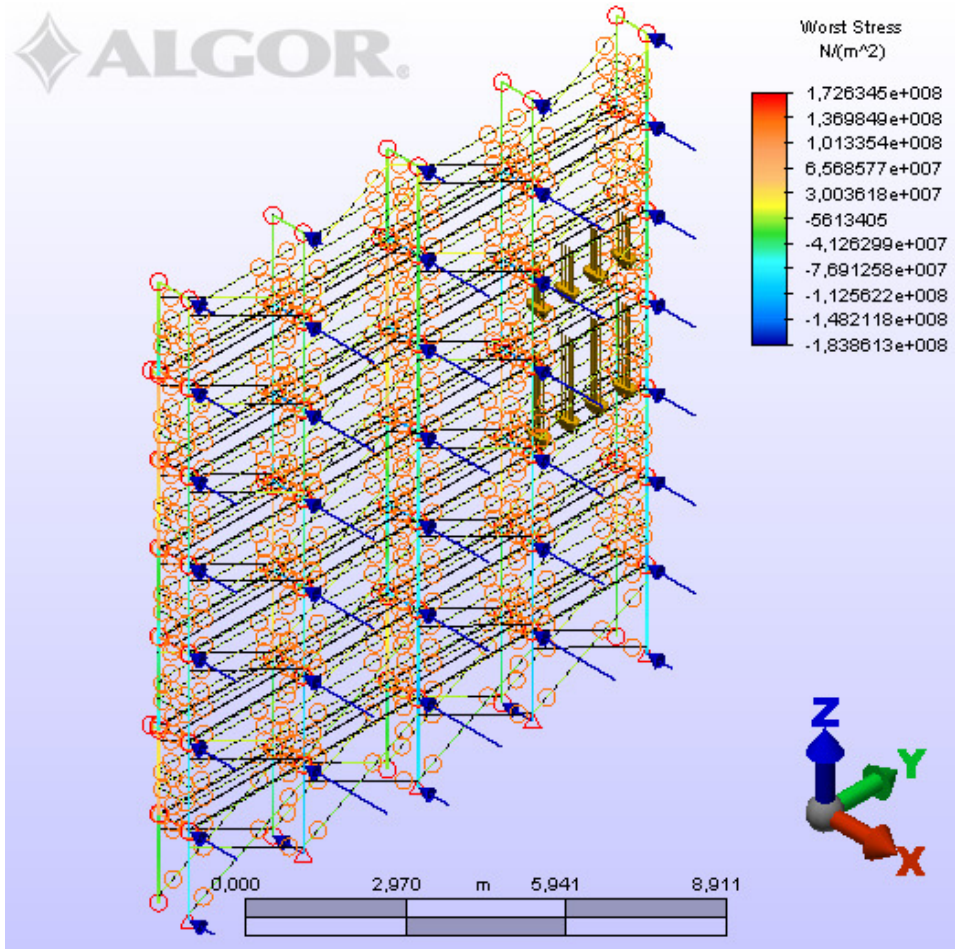


Imagen 58: Gráfico resultado tensiones máximas, condición de servicio con viento perpendicular a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 4)

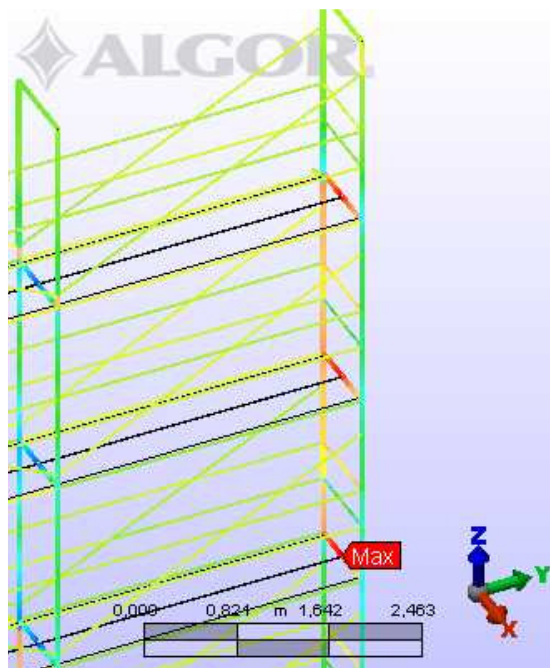


Imagen 59: Detalle gráfico resultado tensiones máximas (valor máximo)

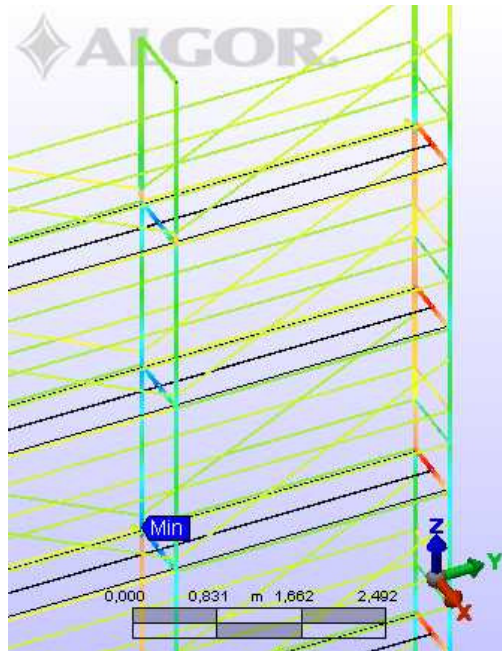


Imagen 60: Detalle gráfico resultado tensiones máximas (valor mínimo)

- Condición de carga 3.2b Condición de servicio con viento perpendicular a fachada para clase de carga 5

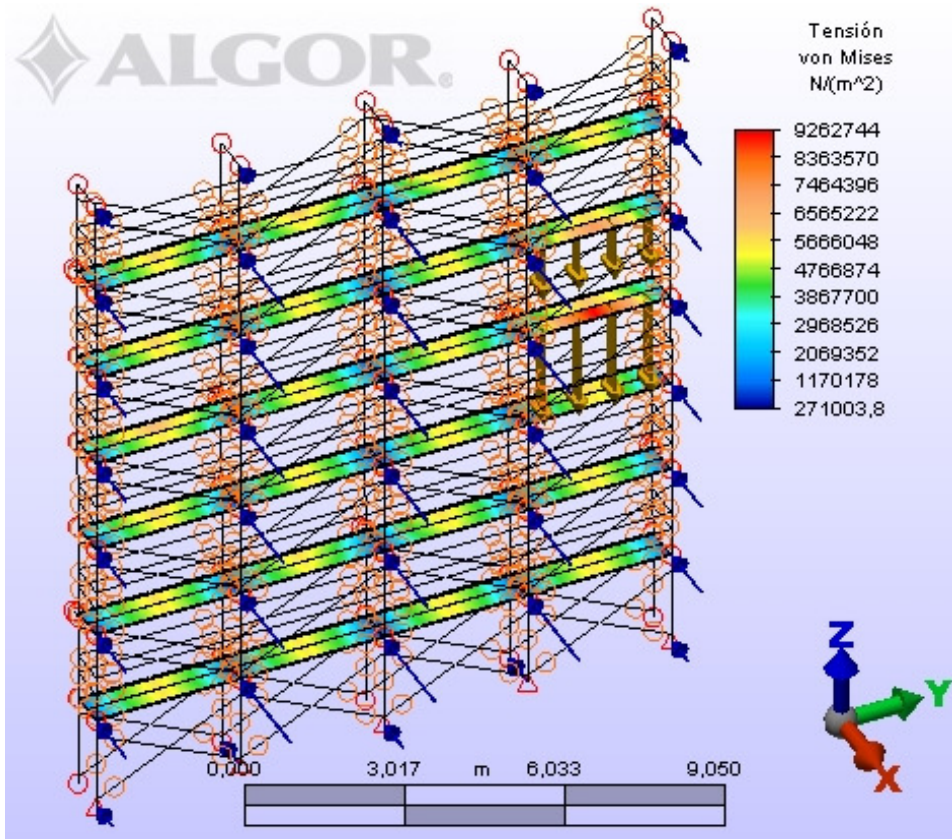


Imagen 61: Gráfico resultado tensión Von Mises, condición de servicio con viento perpendicular a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 5)

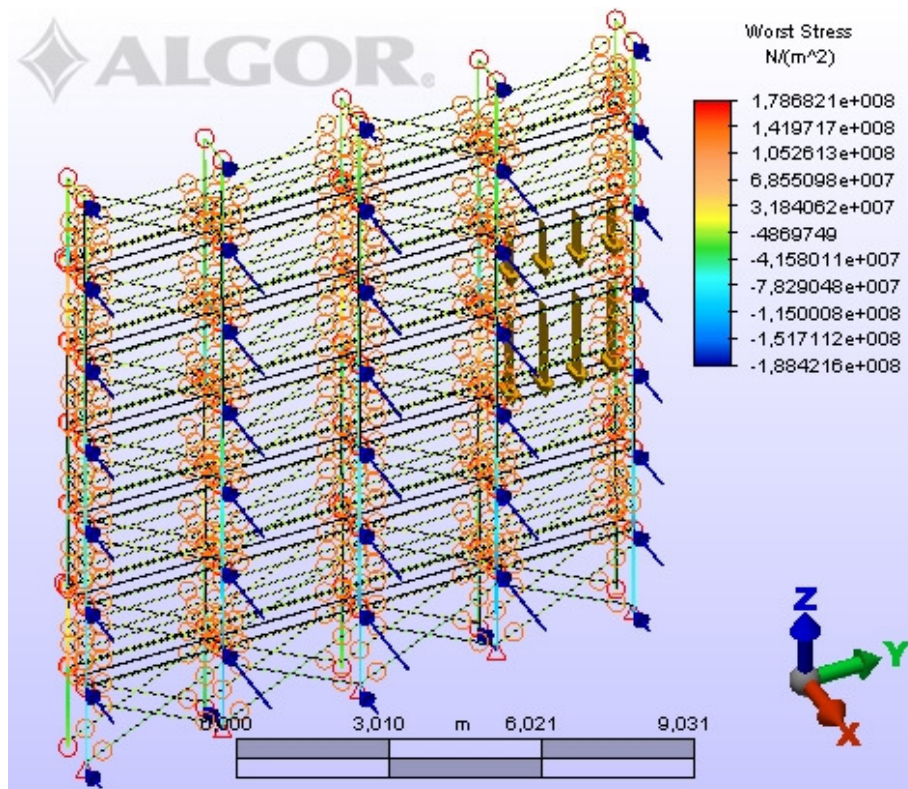


Imagen 62: Gráfico resultado tensiones máximas, condición de servicio con viento perpendicular a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 5)

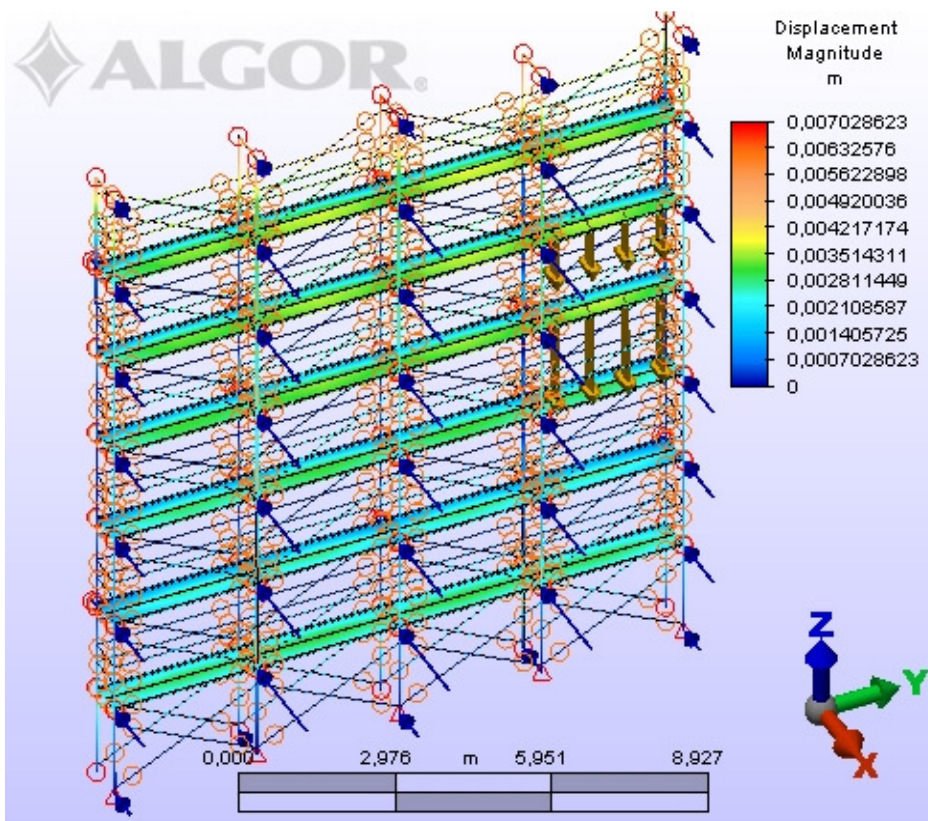


Imagen 63: Gráfico resultado desplazamientos, condición de servicio con viento perpendicular a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 5)

- **Condición de carga 3.3a Condición fuera de servicio con viento paralelo a fachada para clase de carga 4**

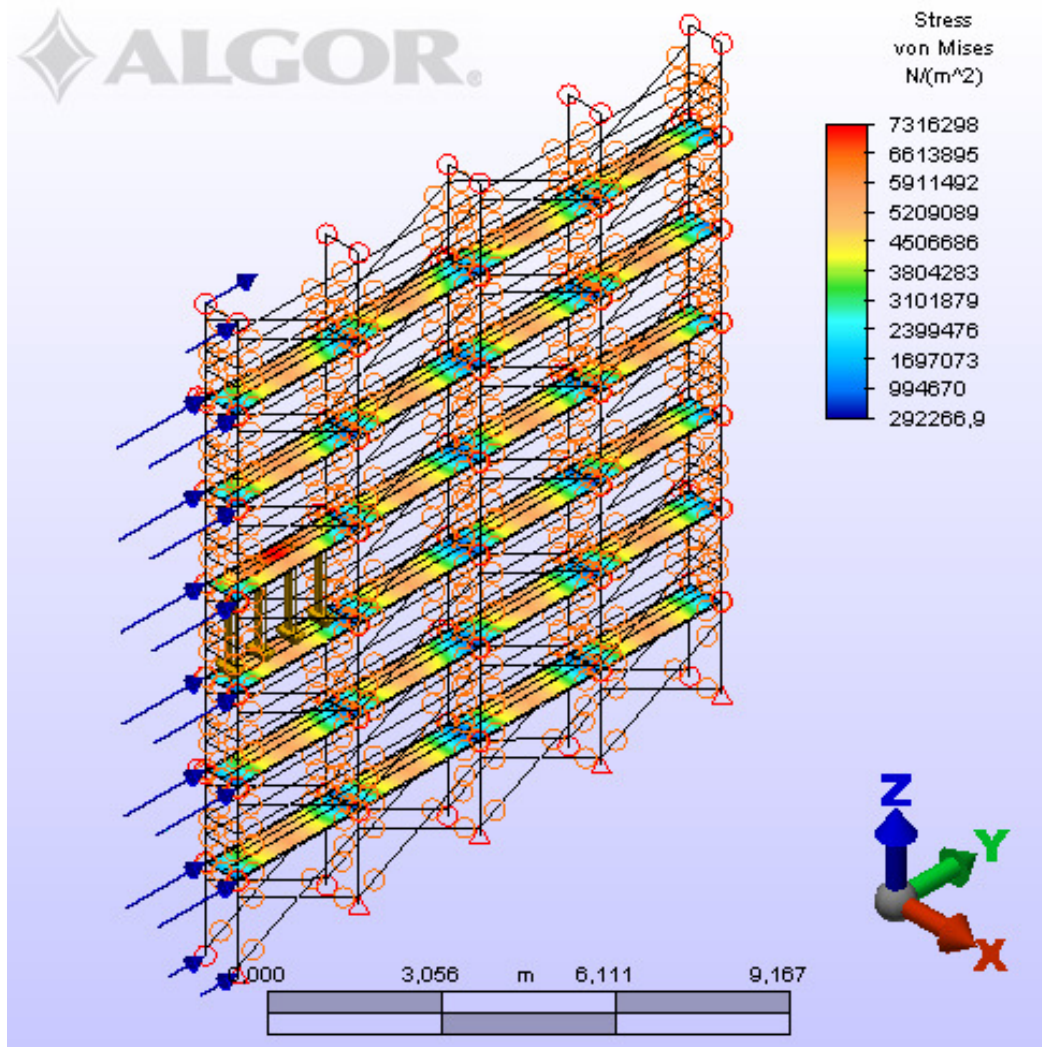


Imagen 64: Gráfico resultado tensión Von Mises, condición fuera de servicio con viento paralelo a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 4)

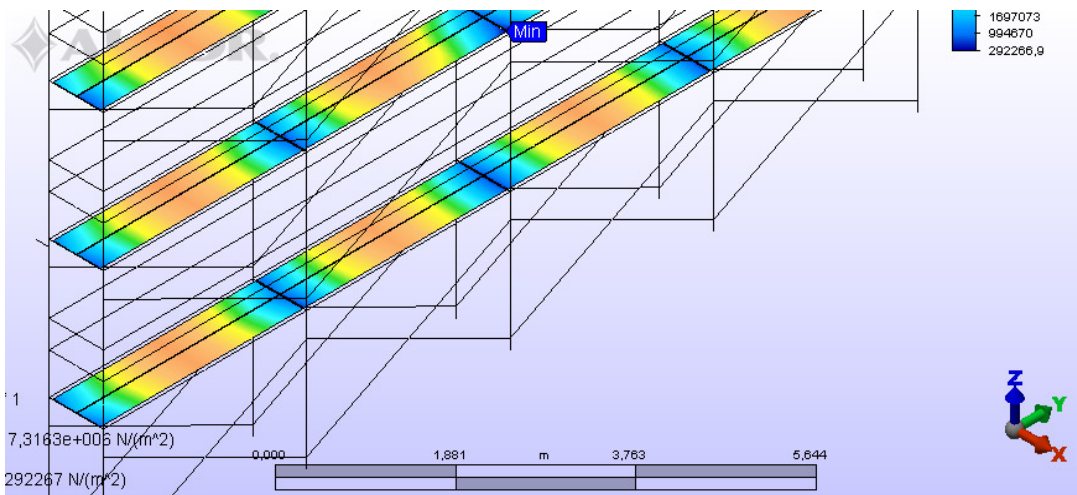


Imagen 65: Detalle gráfico resultado tensión Von Mises (valor mínimo)

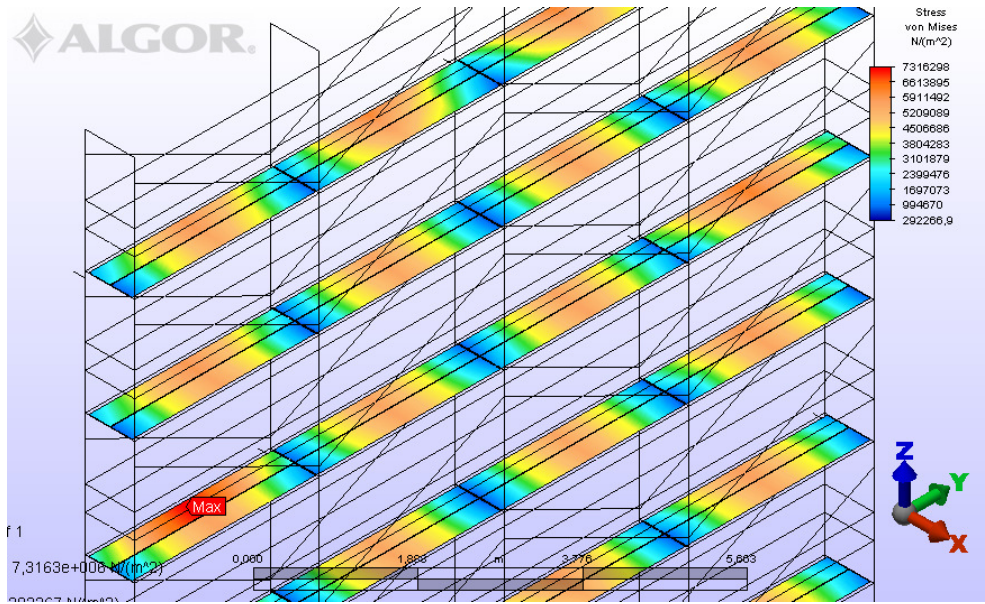


Imagen 66: Detalle gráfico resultado tensión Von Mises (valor máximo)

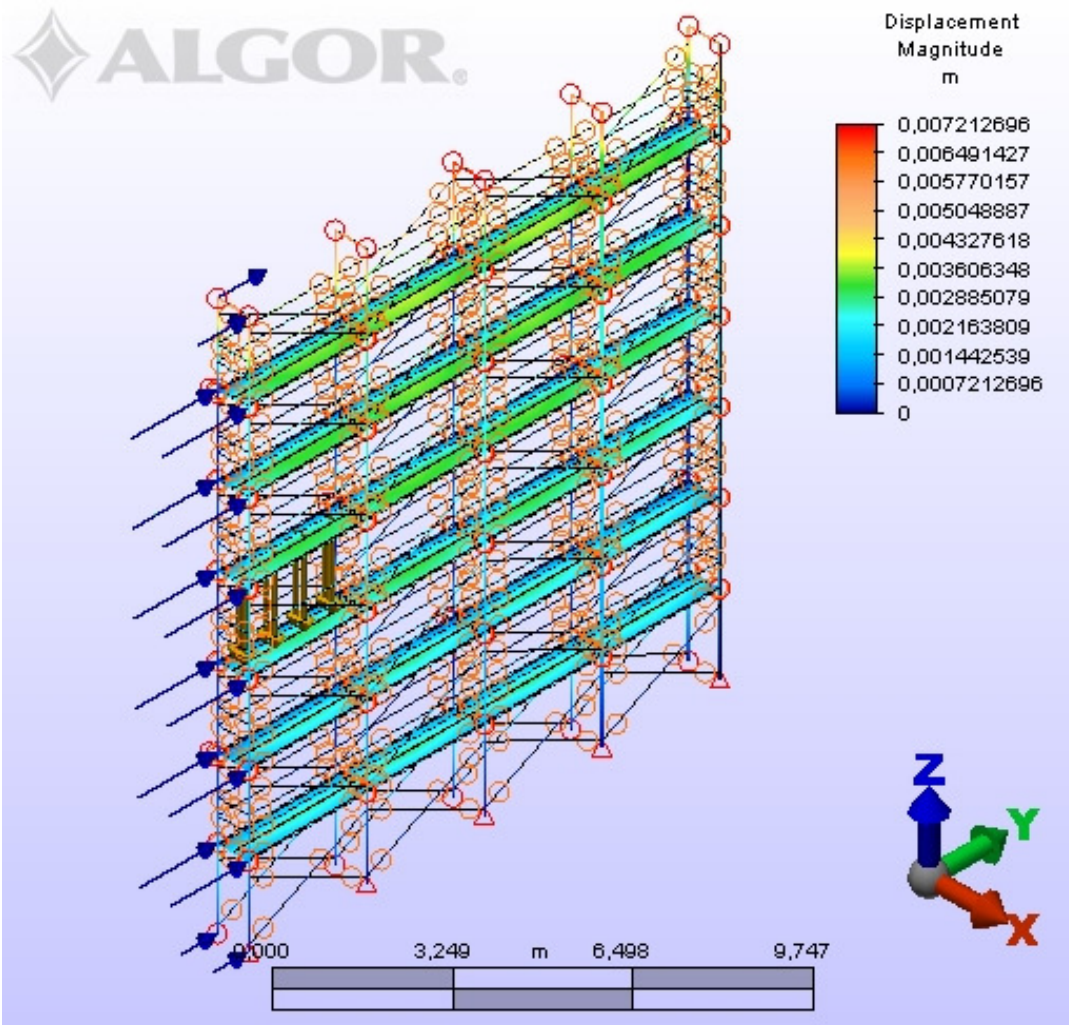


Imagen 67: Gráfico resultado desplazamientos, condición fuera de servicio con viento paralelo a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 4)

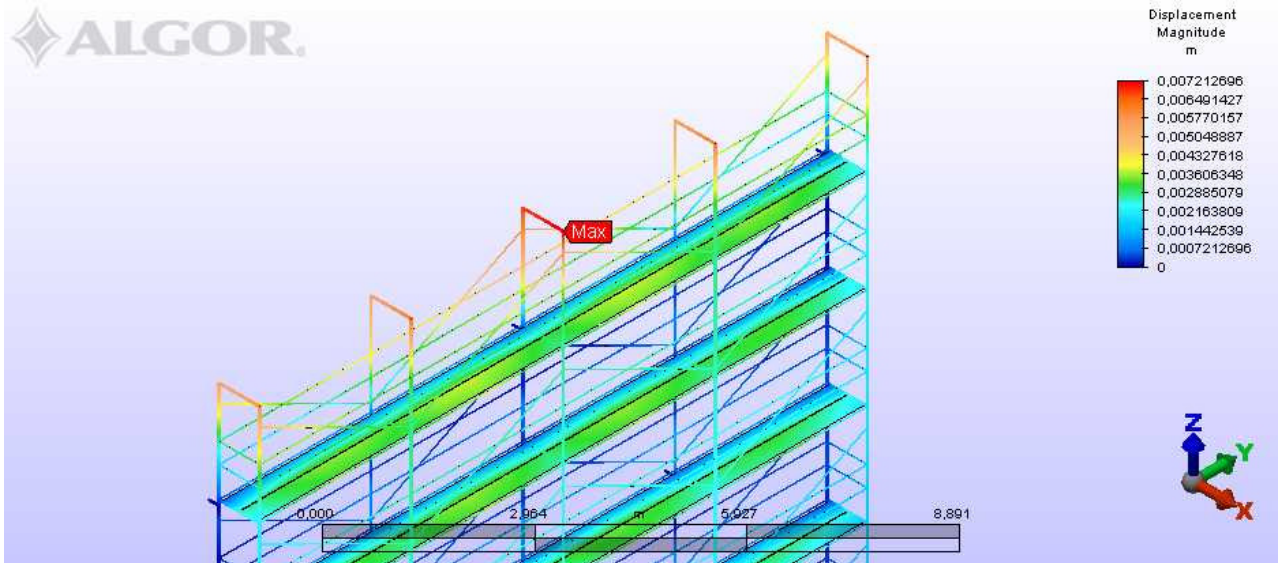


Imagen 68: Detalle gráfico resultado desplazamientos (valor máximo)

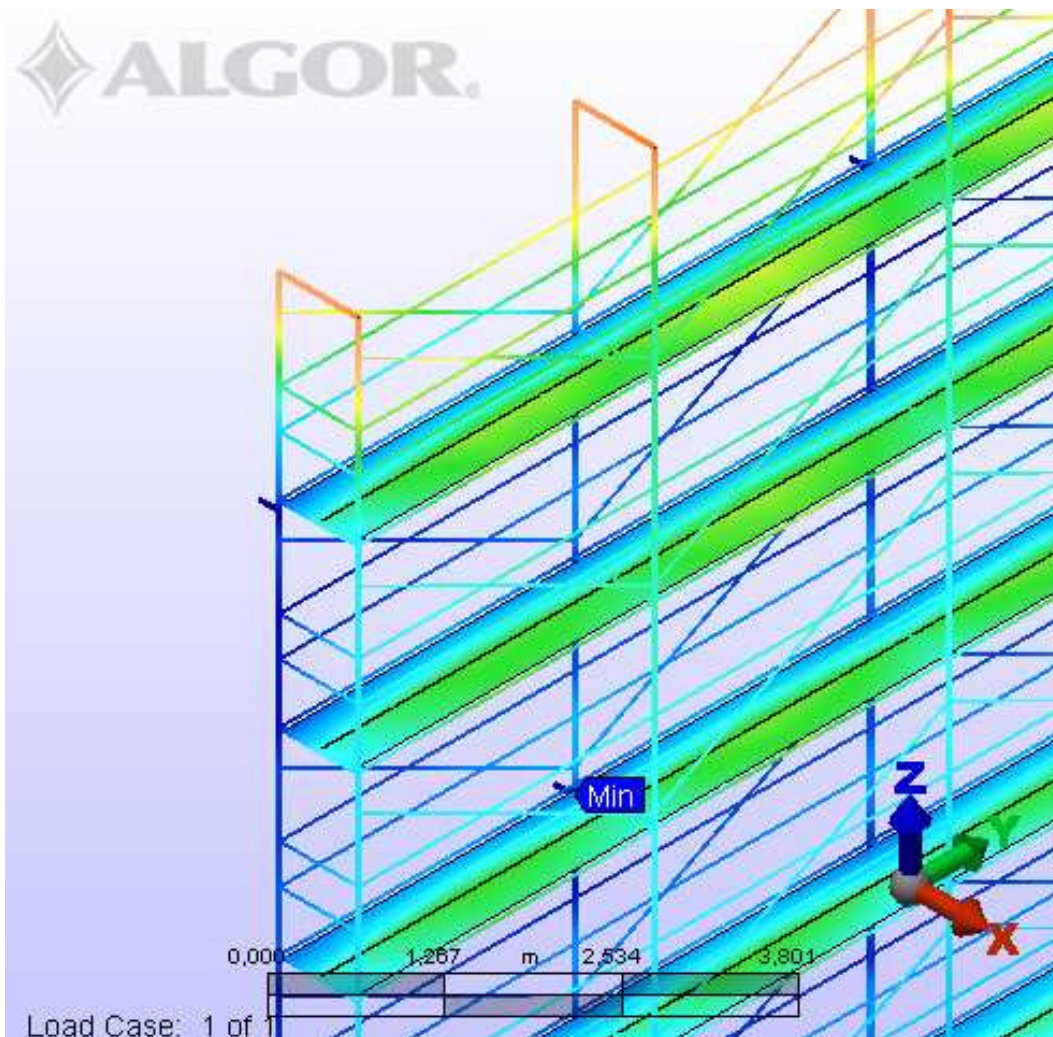


Imagen 69: Detalle gráfico resultado desplazamientos (valor mínimo)

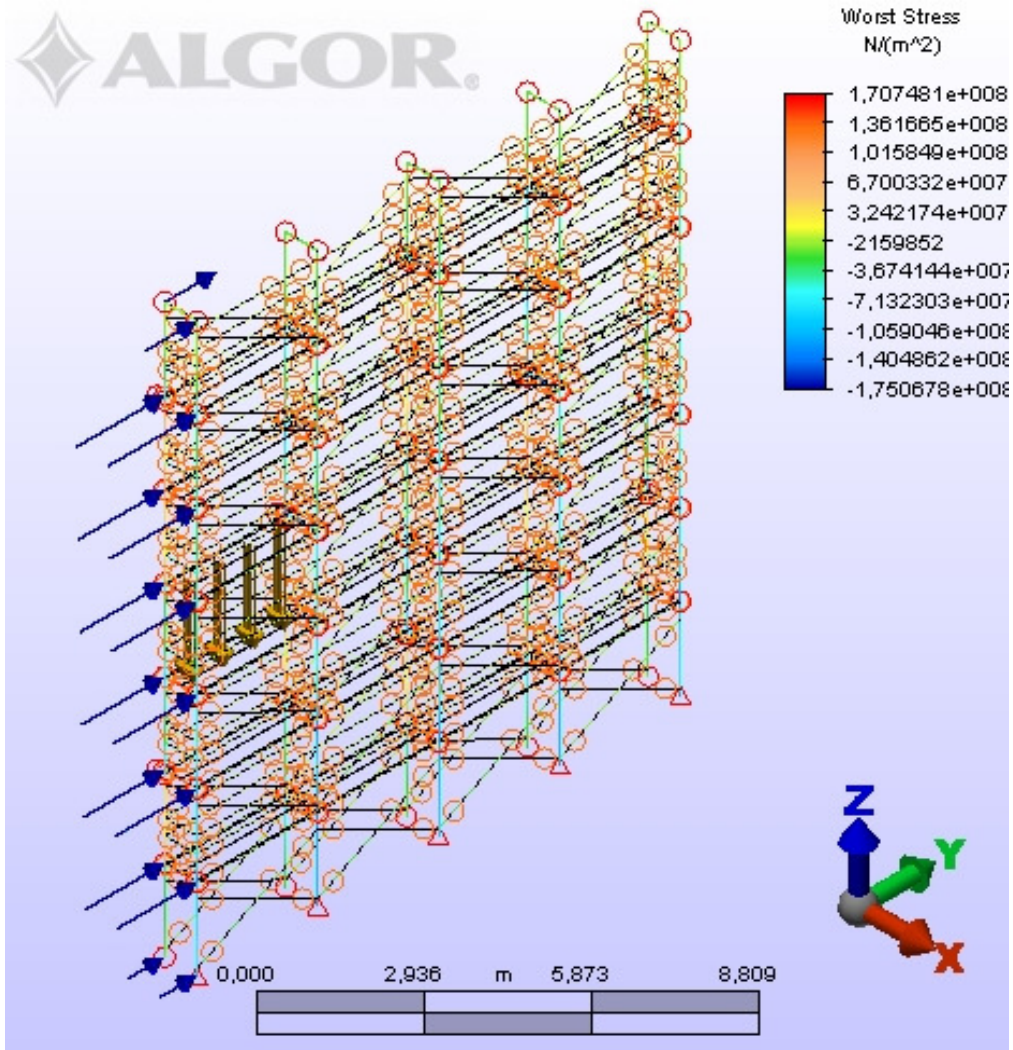


Imagen 70: Gráfico resultado tensiones máximas, condición fuera de servicio con viento paralelo a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 4)

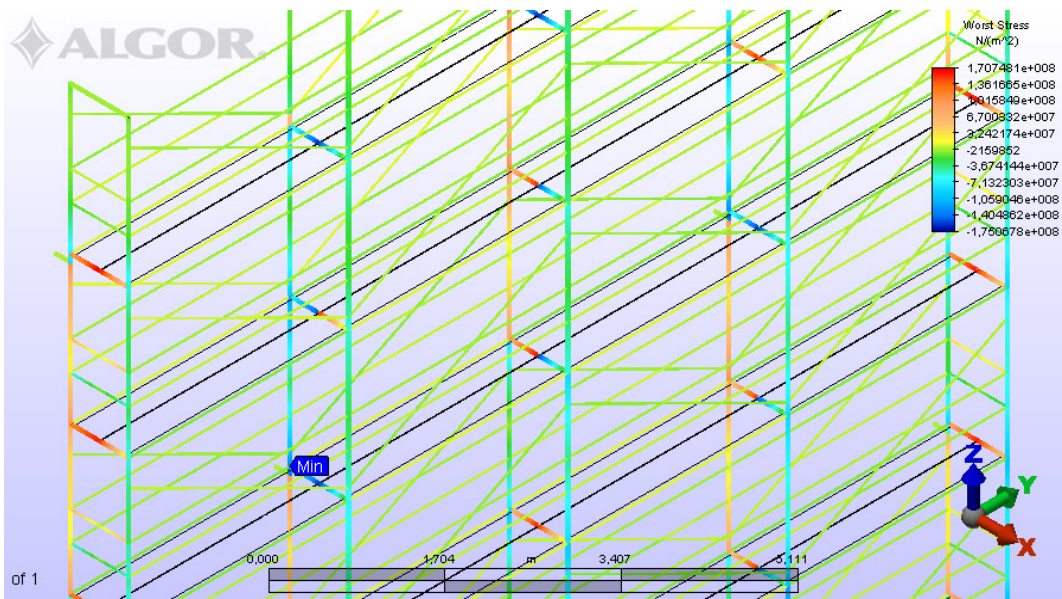


Imagen 71: Detalle gráfico resultado tensiones máximas (valor mínimo)

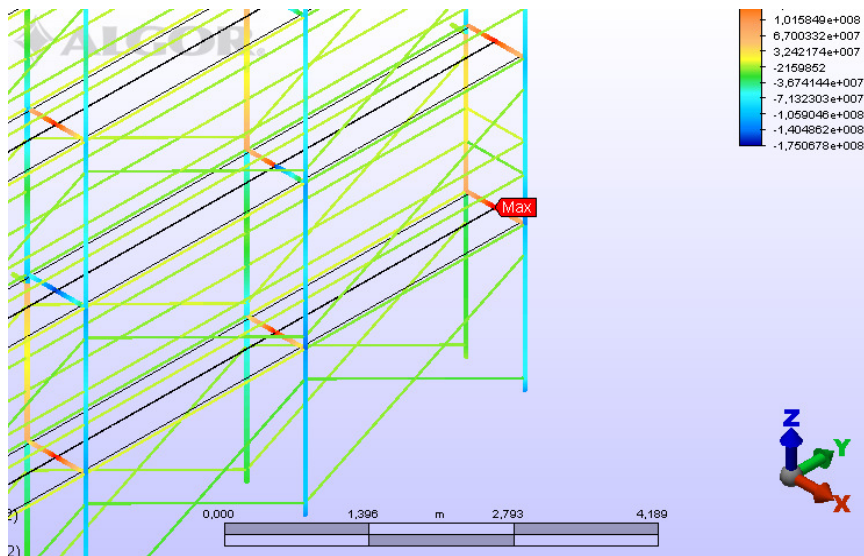


Imagen 72: Detalle gráfico resultado tensiones máximas (valor máximo)

- **Condición de carga 3.3b Condición fuera de servicio con viento paralelo a fachada para clase de carga 5**

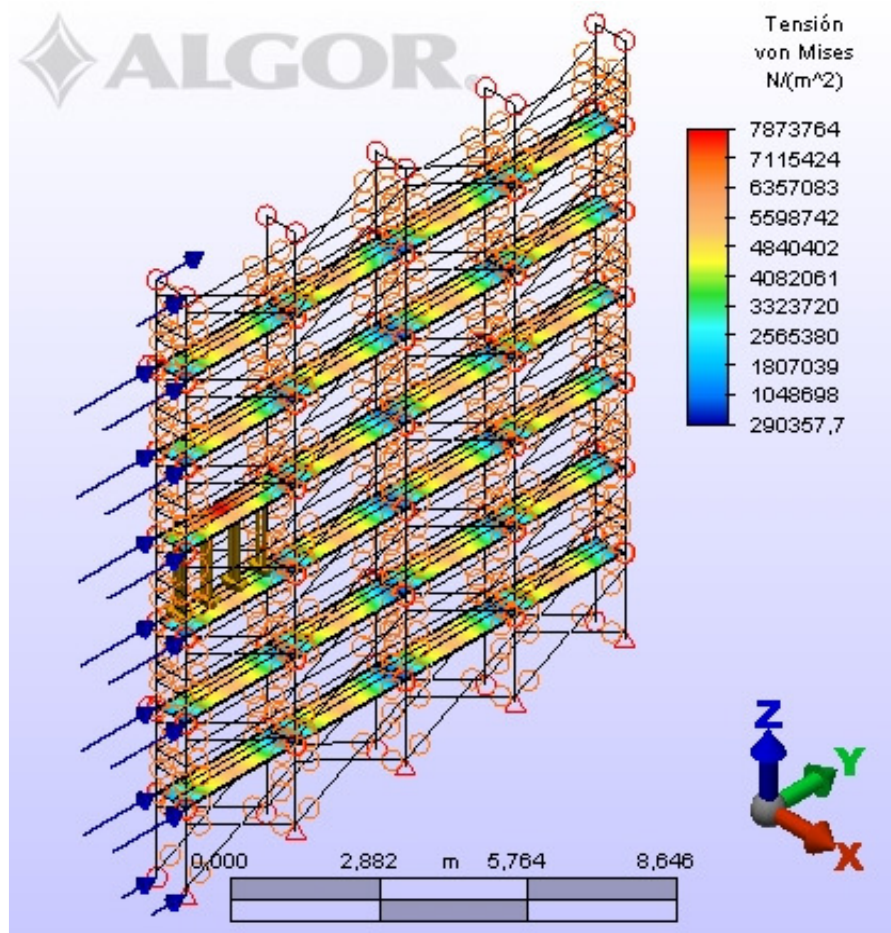


Imagen 73: Gráfico de resultado de tensión de Von Mises, condición fuera de servicio con viento paralelo a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 5)

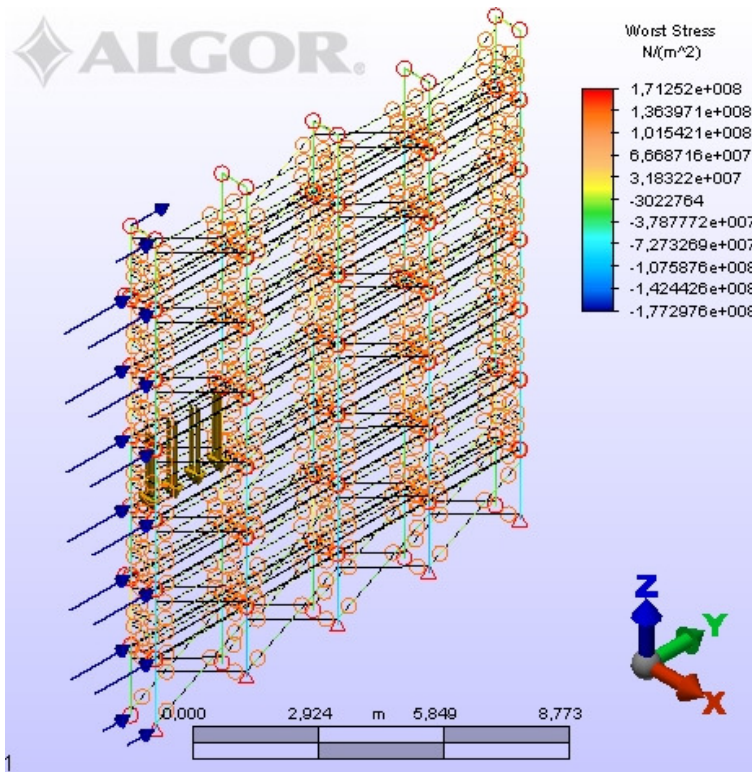


Imagen 74: Gráfico resultado tensiones máximas, condición fuera de servicio con viento paralelo a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 5)

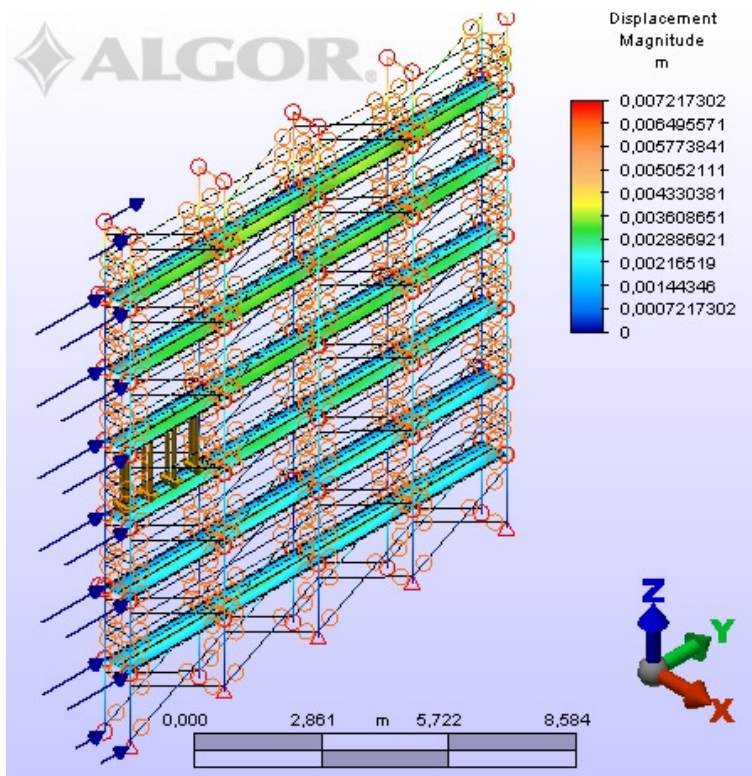


Imagen 75: Gráfico resultado desplazamientos, condición fuera de servicio con viento paralelo a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 5)

- Condición de carga 3.4a Condición fuera de servicio con viento perpendicular a fachada para clase de carga 4

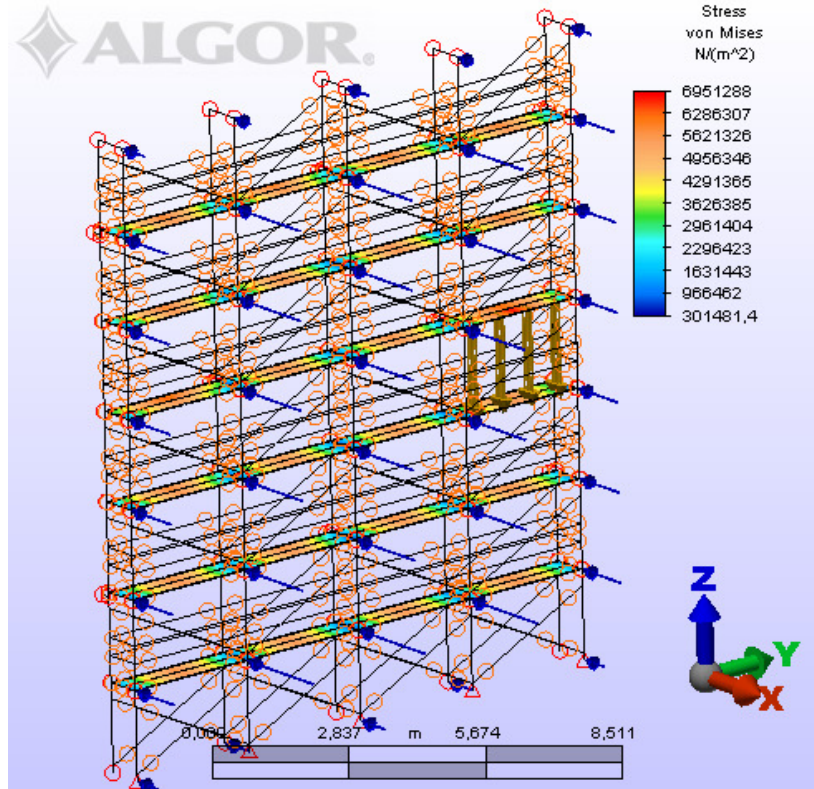


Imagen 76: Gráfico resultado tensión Von Mises, condición fuera de servicio con viento perpendicular a fachada sobre config. tipo del sistema (clase 4)

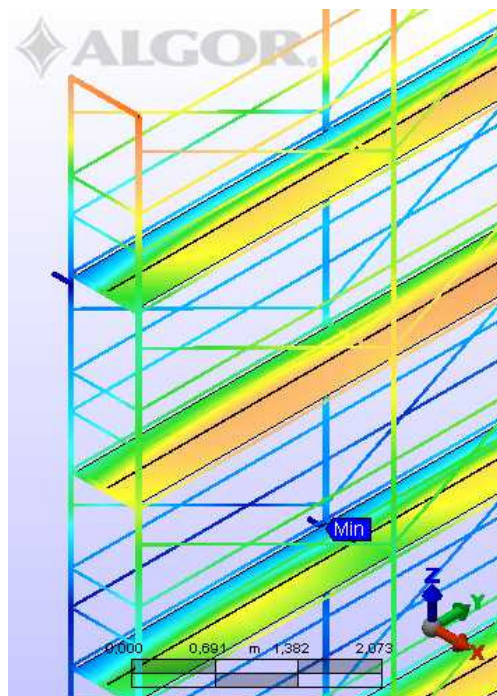


Imagen 77: Detalle gráfico resultado tensión Von Mises (valor mínimo)

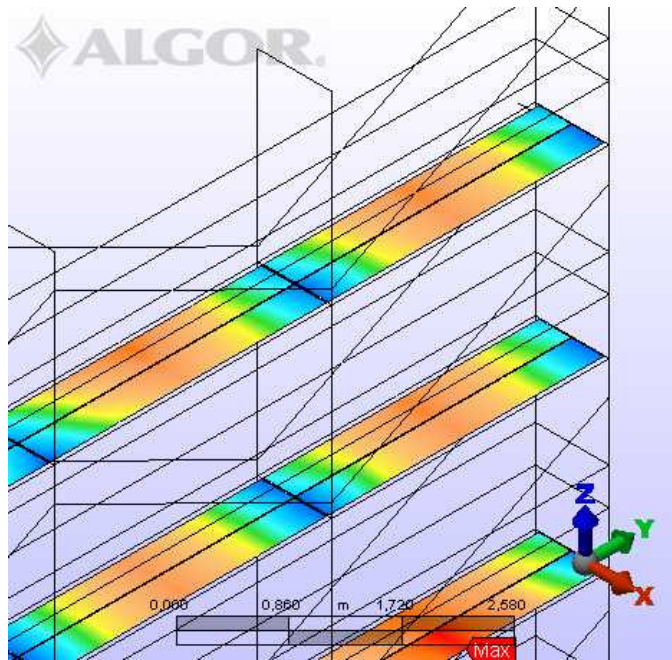


Imagen 78: Detalle gráfico resultado tensión Von Mises (valor máximo)

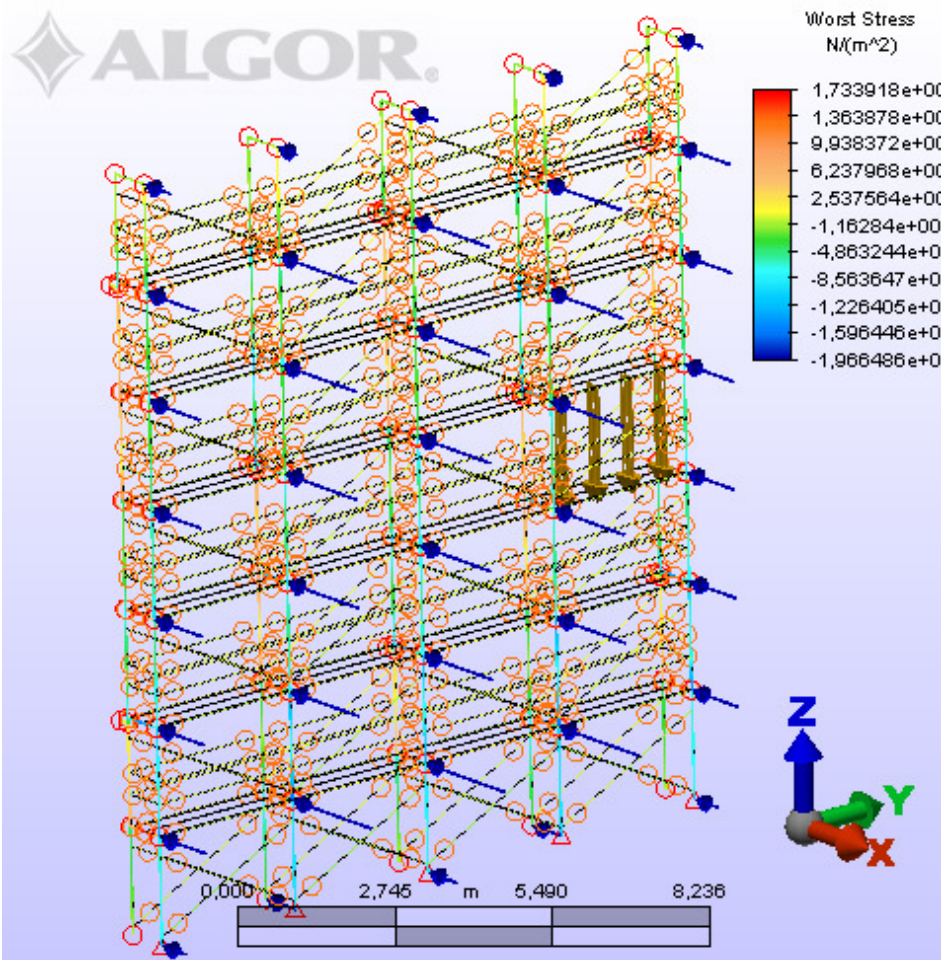


Imagen 79: Gráfico resultado tensiones máximas, condición fuera de servicio, viento perpendicular a fachada, sobre config. tipo del sistema (clase 4)

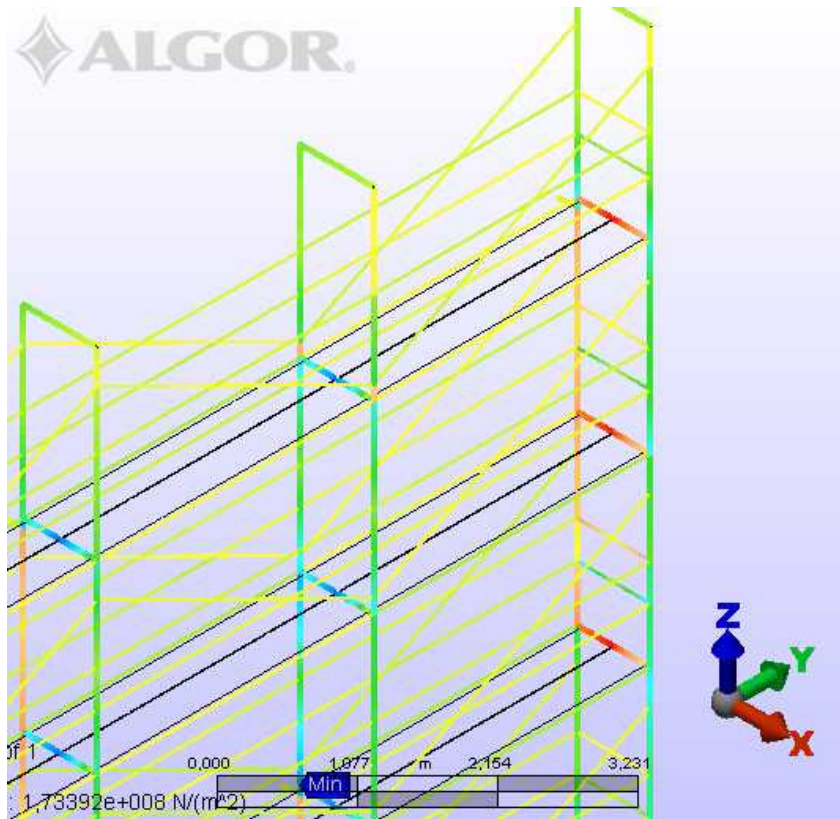


Imagen 80: Detalle gráfico resultado tensiones máximas (valor mínimo)

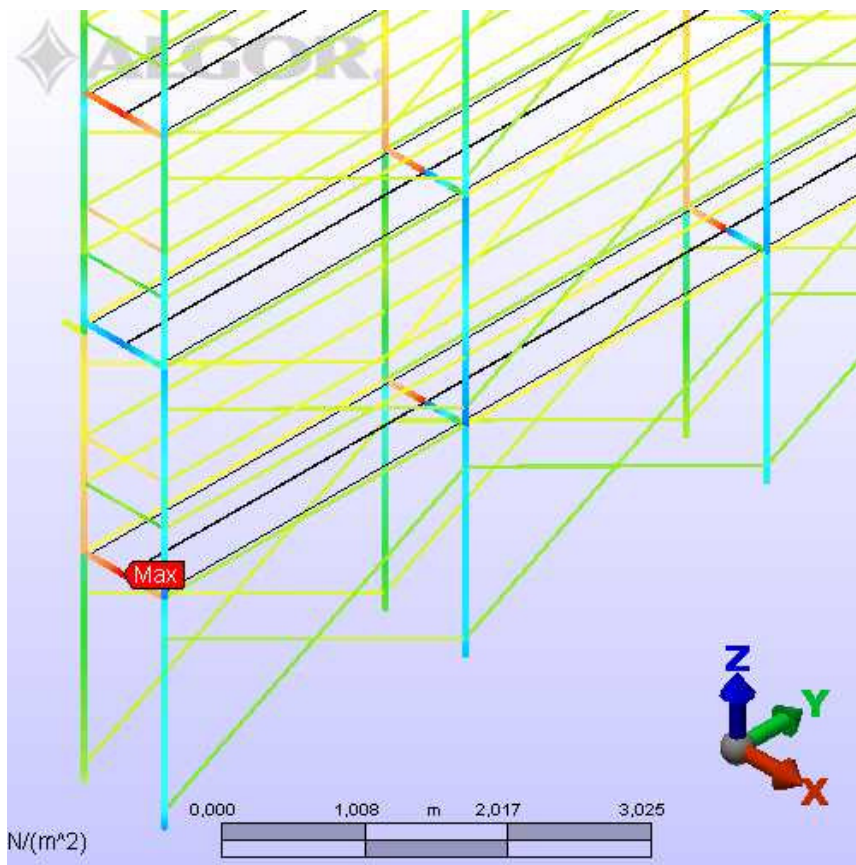


Imagen 81: Detalle gráfico resultado tensiones máximas (valor máximo)

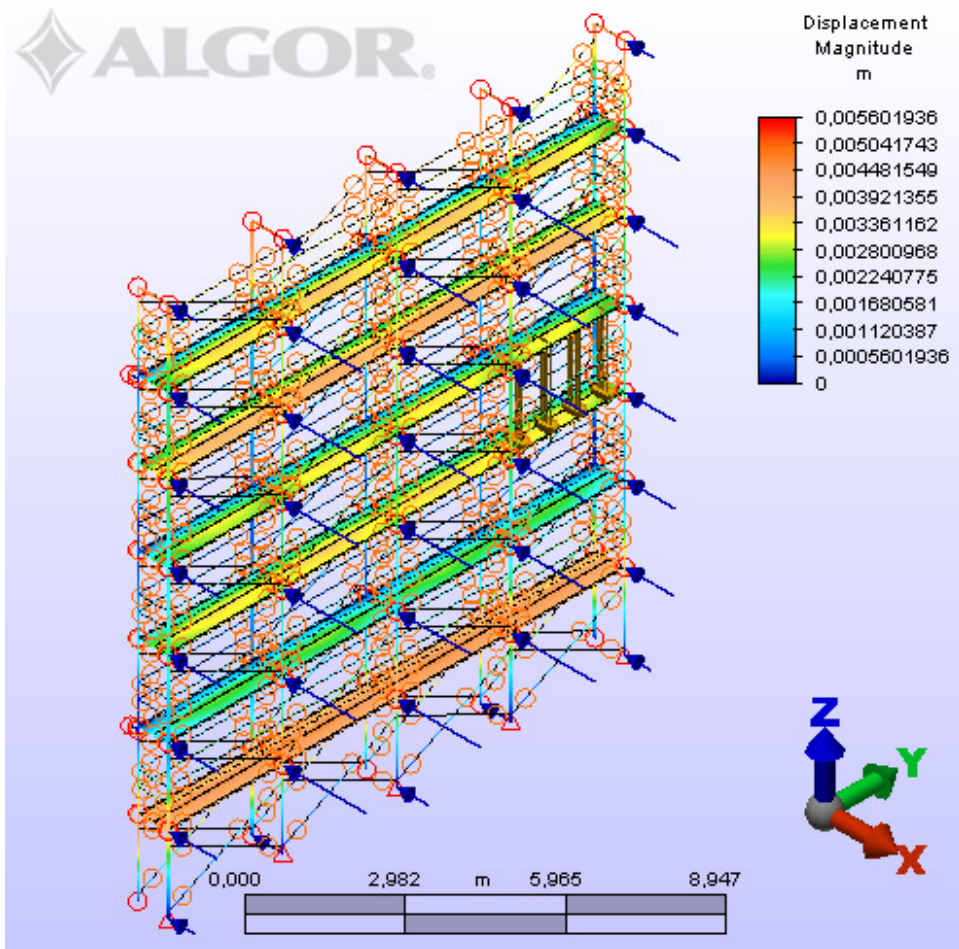


Imagen 82: Gráfico resultado desplazamientos, condición fuera de servicio, viento perpendicular a fachada, sobre config. tipo del sistema (clase 4)

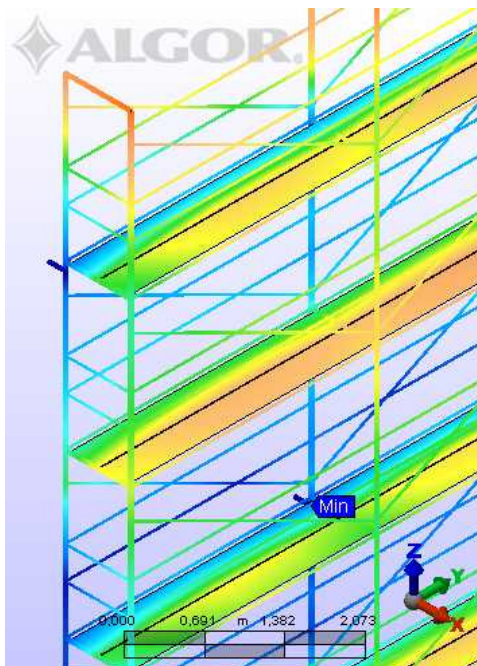


Imagen 83: Detalle gráfico resultado desplazamientos (valor mínimo)

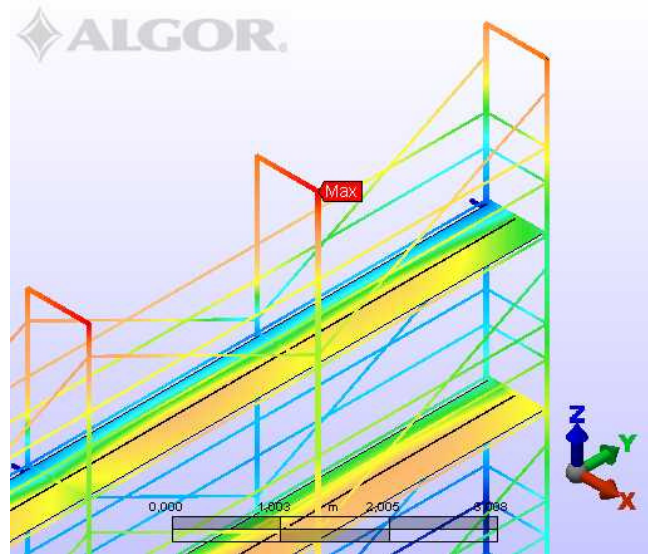


Imagen 84: Detalle gráfico resultado desplazamientos (valor mínimo)

- **Condición de carga 3.4b Condición fuera de servicio con viento perpendicular a fachada para clase de carga 5**

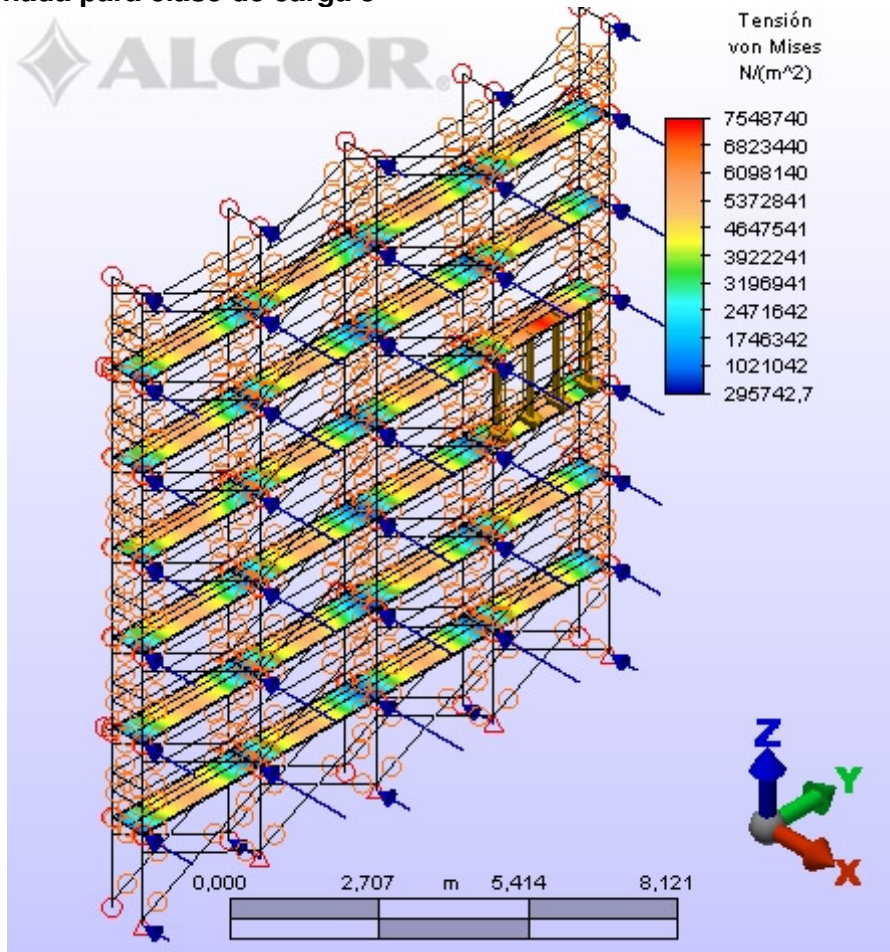


Imagen 85: Gráfico resultado tensión Von Mises, condición fuera de servicio con viento perpendicular a fachada sobre config. tipo (clase 5)

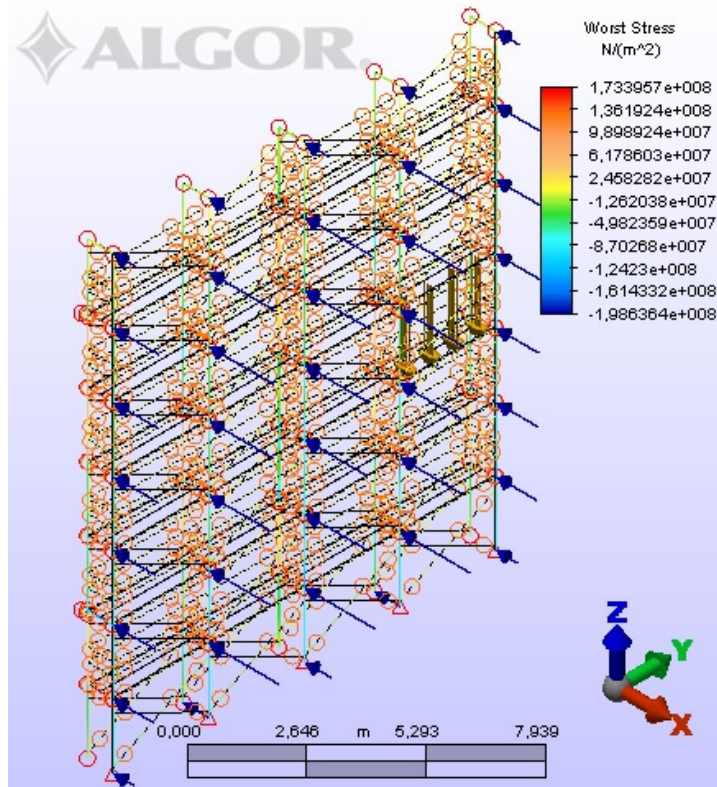


Imagen 86: Gráfico resultado tensiones máximas, condición fuera de servicio con viento perpendicular a fachada sobre config. tipo (clase 5)

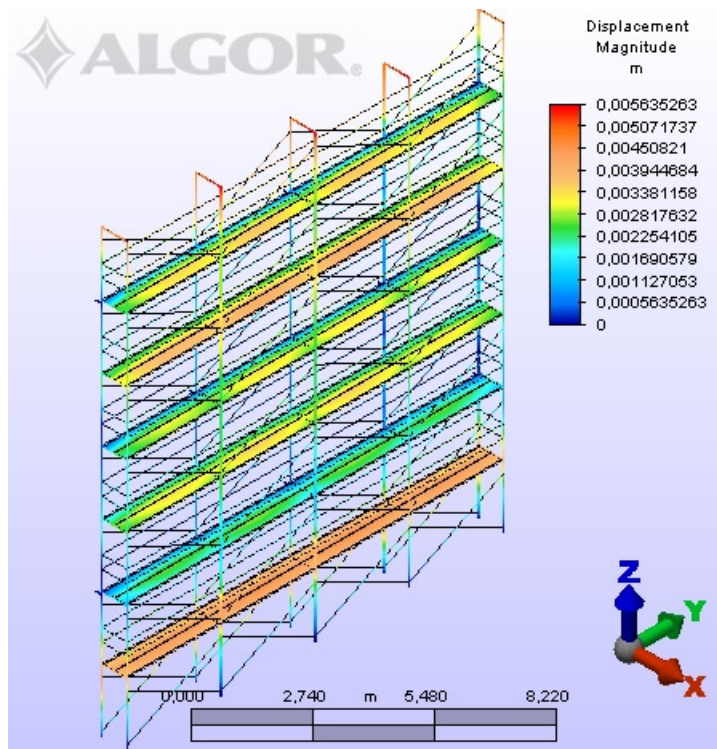


Imagen 87: Gráfico resultado desplazamientos, condición fuera de servicio con viento perpendicular a fachada sobre config. tipo (clase 5)

Resumen de resultados de la evaluación por cálculo y condiciones de contorno aplicadas

Condición de carga clase 4

Condición de carga	Tipo de acción aplicada	Tensión máxima área de trabajo	Tensión más desfavorable tubos (N/m ²)	Deformación máxima (mm)	Factor de seguridad (x)	Límite elástico del acero del sistema (variable de comparación)
1.1	Carga uniformemente distribuida descendente	8347045 N/m ²	1,363x10 ⁸	2,5	2,487	2,35 x10 ⁸ N/m ²
1.2	Carga descendente concentrada	6853702 N/m ²	1,623x10 ⁸	12	2,123	2,35 x10 ⁸ N/m ²
1.3		5965247 N/m ²	1,548x10 ⁸	12	2,226	2,35 x10 ⁸ N/m ²
1.4	Carga uniforme descendente (en área parcial)	9938802 N/m ²	1,539x10 ⁸	3	2,230	2,35 x10 ⁸ N/m ²
2.1	Carga puntual horizontal	6225103 N/m ²	1,778x10 ⁸	7	1,095	2,35 x10 ⁸ N/m ²
2.2		6663402 N/m ²	1,779x10 ⁸	7	1,052	2,35 x10 ⁸ N/m ²
3.1	Carga puntual descendente	5558803 N/m ²	1,189x10 ⁸	1,6	2,898	2,35 x10 ⁸ N/m ²
3.2	Carga puntual ascendente	5558434 N/m ²	1,093x10 ⁸	1,6	3,151	2,35 x10 ⁸ N/m ²
3.3	Carga puntual horizontal	5553186 N/m ²	1,093x10 ⁸	1,6	3,153	2,35 x10 ⁸ N/m ²
5.1	Combinación de cargas (servicio con viento paralelo)	8432021 N/m ²	1,743x10 ⁸	7	1,0963	2,35 x10 ⁸ N/m ²
5.2	Combinación de cargas (servicio con viento perpendicular)	8060849 N/m ²	1,726x10 ⁸	7	1,098	2,35 x10 ⁸ N/m ²
5.3	Combinación de cargas (fuera de servicio, con viento paralelo)	7316298 N/m ²	1,707x10 ⁸	7,2	1,095	2,35 x10 ⁸ N/m ²
5.4	Combinación de cargas (fuera de servicio, con viento perpendicular)	6951288 N/m ²	1,733x10 ⁸	5,6	1,139	2,35 x10 ⁸ N/m ²

(x)Factor de seguridad: cociente entre el valor de la capacidad máxima del sistema evaluado por métodos teóricos, en este caso el valor de plastificación del acero S235, y el valor obtenido mediante cálculo para cada una de las condiciones de carga.

Condición carga clase 5

Condición de carga	Tipo de acción aplicada	Tensión máxima área de trabajo	Tensión más desfavorable tubos (N/m ²)	Deformación máxima (mm)	Factor de seguridad (x)	Límite elástico del acero del sistema (variable de comparación)
1.1	Carga uniformemente distribuida descendente	9.534.542 N/m ²	1,484x10 ⁸	2,5	2,284	2,35 x10 ⁸ N/m ²
1.2	Carga descendente concentrada	6.853.702 N/m ²	1,623x10 ⁸	12	2,123	2,35 x10 ⁸ N/m ²
1.3		5.965.247 N/m ²	1,548x10 ⁸	12	2,226	2,35 x10 ⁸ N/m ²
1.4	Carga uniforme descendente (en área parcial)	1,193x10 ⁷ N/m ²	1,743x10 ⁸	3	1,970	2,35 x10 ⁸ N/m ²
2.1	Carga puntual horizontal	6.225.103 N/m ²	1,778x10 ⁸	7	1,095	2,35 x10 ⁸ N/m ²
2.2		6.663.402 N/m ²	1,779x10 ⁸	7	1,052	2,35 x10 ⁸ N/m ²
3.1	Carga puntual descendente	5.558.803 N/m ²	1,189x10 ⁸	1,6	2,898	2,35 x10 ⁸ N/m ²
3.2	Carga puntual ascendente	5.558.434 N/m ²	1,093x10 ⁸	1,6	3,151	2,35 x10 ⁸ N/m ²
3.3	Carga puntual horizontal	5.553.186	1,093x10 ⁸	1,6	3,153	2,35 x10 ⁸ N/m ²
5.1	Combinación de cargas (servicio con viento paralelo)	9.574.519 N/m ²	1,846x10 ⁸	7	1,096	2,35 x10 ⁸ N/m ²
5.2	Combinación de cargas (servicio con viento perpendicular)	9.262.744 N/m ²	1,884x10 ⁸	7	1,094	2,35 x10 ⁸ N/m ²
5.3	Combinación de cargas (fuera de servicio, con viento paralelo)	7.873.764 N/m ²	1,772x10 ⁸	7,2	1,095	2,35 x10 ⁸ N/m ²
5.4	Combinación de cargas (fuera de servicio, con viento perpendicular)	7.548.740 N/m ²	1,986x10 ⁸	5,6	1,137	2,35 x10 ⁸ N/m ²

(x) Factor de seguridad: cociente entre el valor de la capacidad máxima del sistema evaluado por métodos teóricos, en este caso el valor de plastificación del acero S235, y el valor obtenido mediante cálculo para cada una de las condiciones de carga.

Resumen de las condiciones de contorno utilizadas para las dos configuraciones del andamio estudiadas:

Condiciones de contorno en elementos nodales

	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
Nodos de apoyo estructura – terreno	NO	NO	NO	SÍ/NO	SÍ/NO	NO
Nodos de conexión montante- arriostramiento	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ
Nodos de arriostramiento a fachada	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO
Nodos conexión montante - montante	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO

T: Indica la posibilidad de traslación del nodo, respecto a uno de los planos **x, y, z**.

R: Indica la posibilidad de rotación del nodo, respecto a uno de los planos **x, y, z**.

Nota 1: Las condiciones de contorno no indicadas se tomarán como conexiones rígidas

Nota 2: Las condiciones de contorno en los nodos de apoyo de la estructura sobre el terreno, en el plano que no contiene arriostramientos de fachada, se tomarán como empotramientos.

Condiciones de contorno liberadas en elementos tipo viga

	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
Diagonales	No liberada	No liberada	No liberada	No liberada	Sí liberada	No liberada
Barandillas	No liberada	No liberada	No liberada	No liberada	No liberada	Sí liberada
Largueros	No liberada	No liberada	No liberada	No liberada	No liberada	Sí liberada
Unión plataforma con travesaño	No liberada	No liberada	No liberada	Sí liberada	Sí liberada	No liberada