



UNIVERSIDAD
INTERNACIONAL
SEK
SER MEJORES





ECUADOR UNIVERSIDAD
INTERNACIONAL
SEK
SER MEJORES

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico
Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS DE LA ESTRUCTURA DE UN REMOLQUE FOOD TRUCK SOMETIDO A CARGAS DE IMPACTO LATERAL

Edison Oswaldo Argüello Maya

Director: Ing. Julio Leguísamo, MsC.
Codirector: Dr. Edilberto Llanes PHD



ECUADOR UNIVERSIDAD
INTERNACIONAL
SEK
SER MEJORES

Emprendedor - Food Trucks un buen negocio

LÍDERES



Nopal de México, el cactus sagrado que pasó de manjar...



Indígenas de Costa Rica crean agencia turística para...



La visión tsáchila está en la construcción de las...

Líderes · [Líderes exprés](#)

Cinascar ofrece estos vehículos para emprendedores que quieran incursionar en el negocio. El costo de este 'food truck' puede ascender a USD 30 000, de acuerdo con las adecuaciones. Fotos: Paúl Rivas / LÍDERES

Justificación

- Hipótesis

- Probar que el modelo típico de Food Truck escogido al ser analizado bajo cargas estáticas y dinámicas según normas correspondientes, es capaz de pasar todas las pruebas

- Importancia

- La industria metal mecánica contará con una propuesta validada técnicamente lo que ahorrará al emprendedor recursos en dinero y tiempo

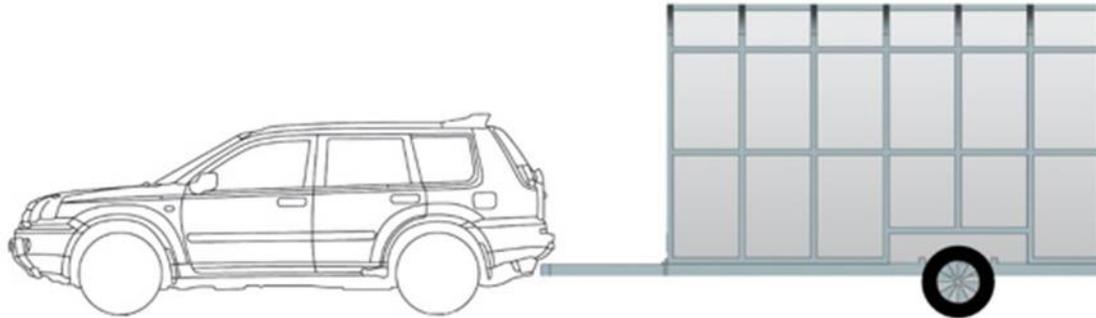
Objetivo principal

- Analizar la estructura de un remolque Food Truck sometido a cargas de impacto mediante el método de elementos finitos en base a la norma INEN 1323:2009, Regulación N° 66 de la ONU y al Reglamento Europeo N° 95 CEPE, para determinar si el material de los tubos utilizados en la industria nacional cumplen las normas de seguridad para proteger a los ocupantes

Objetivos secundarios

- Determinar una metodología del estudio a realizar mediante la información obtenida en Normas INEN, Normas de Europeas y Tratado de la ONU.
- Realizar la simulación del impacto sobre la estructura de un Food Truck con un software especializado para determinar su comportamiento bajo ese tipo de cargas y con ello determinar la factibilidad de la propuesta.
- Validar mediante una comparación del resultado obtenido entre la simulación, el análisis por resistencia de materiales y el método directo de elementos finitos

Tipos de Food Trucks



Normativa de base

- Resolución No. STHC-016 del Municipio de Quito, restricciones para los Food Trucks (Establecimientos comerciales móviles)
- Norma NTE INEN 1323:2009 que indica un método para realizar un proceso de análisis de resistencia de la estructura de buses bajo cargas estáticas
- Regulación No. 66 – Tratados Naciones Unidas - Disposiciones uniformes para la homologación de los vehículos de gran porte en lo que se refiere a la resistencia de su superestructura, donde estipula un procedimiento para la prueba de volteo
- Reglamento No 95 – Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas — Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión lateral, que establece un método para llevar a cabo pruebas en vehículos de uso familiar

Estudios similares

- **Cepeda, 2006**

Análisis del comportamiento mecánico del sistema estructural del autobús Feline de la empresa Carrocera Miral

- **Manjarrés Arias & Santillán Mariño, 2016**

Análisis estructural a cargas de impacto frontal de un bus tipo interprovincial mediante el método de elementos finitos

- **Meneses, 2016**

Análisis estructural basado en simulación por el método de elementos finitos de una carrocería de bus interprovincial sometida a prueba de impacto lateral para determinar la geometría y materiales aplicables que garanticen la seguridad de los pasajeros

Estudios sobre estructuras

- Leslaw Kwasniewski, 2008. International Journal of Impact Engineering
Crash and safety assessment program for paratransit buses



Teoría para soportar el estudio

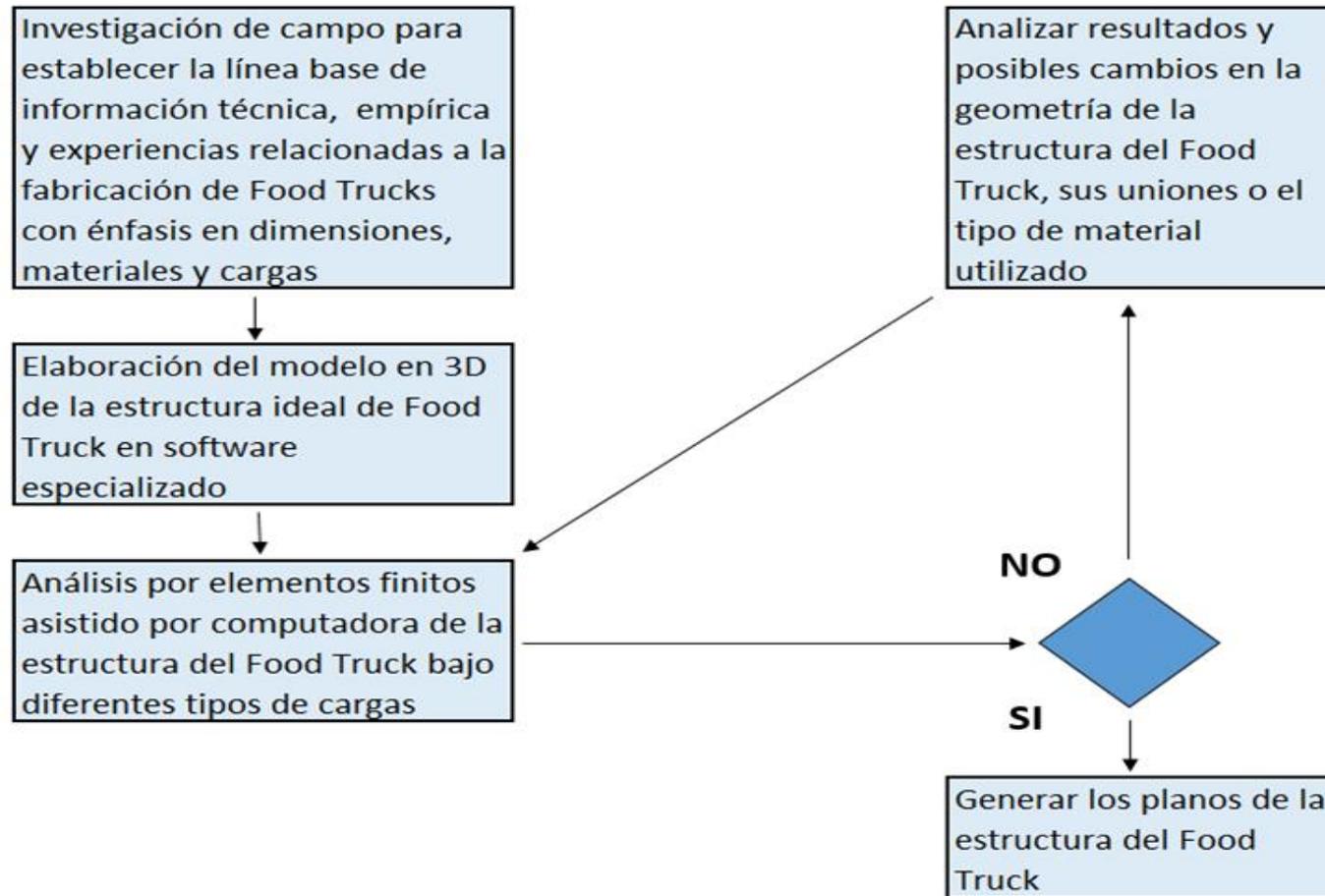
- Impulso y cantidad de movimiento
- Resistencia de Materiales
- Elementos finitos método directo



Software especializado

- SciLab – Para resolución de matrices (Libre)
- NX – Para el modelado
- HyperWorks – para realizar las simulaciones. Es un software utilizado actualmente en la industria ecuatoriana. Con el mencionado software se certifican las carrocerías para los buses que se fabrican en el Ecuador por medio de la empresa COINAV

Método



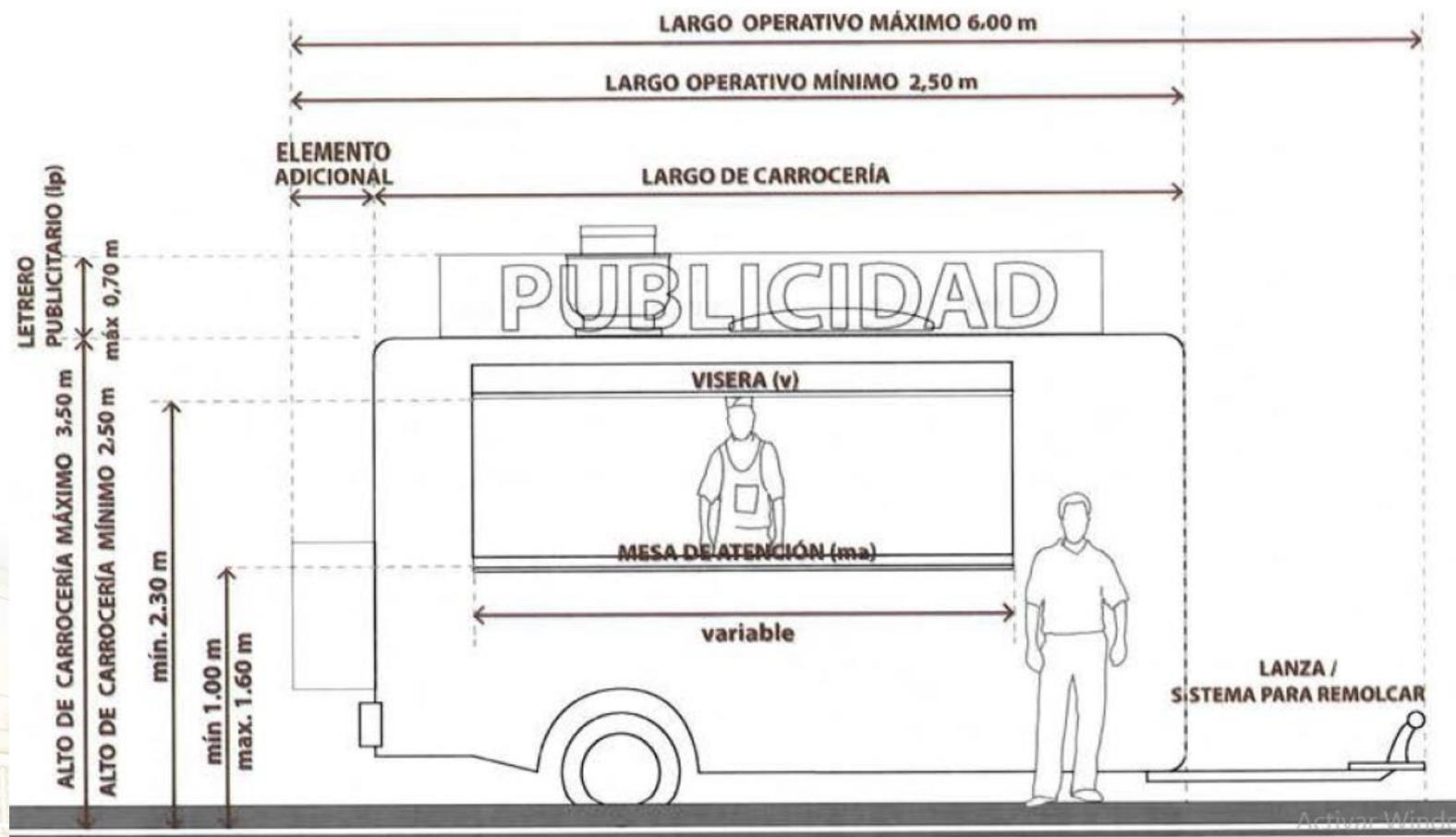
Investigación de campo

Metal Mecánicas visitadas para consulta de información referente a la fabricación de los Food Trucks

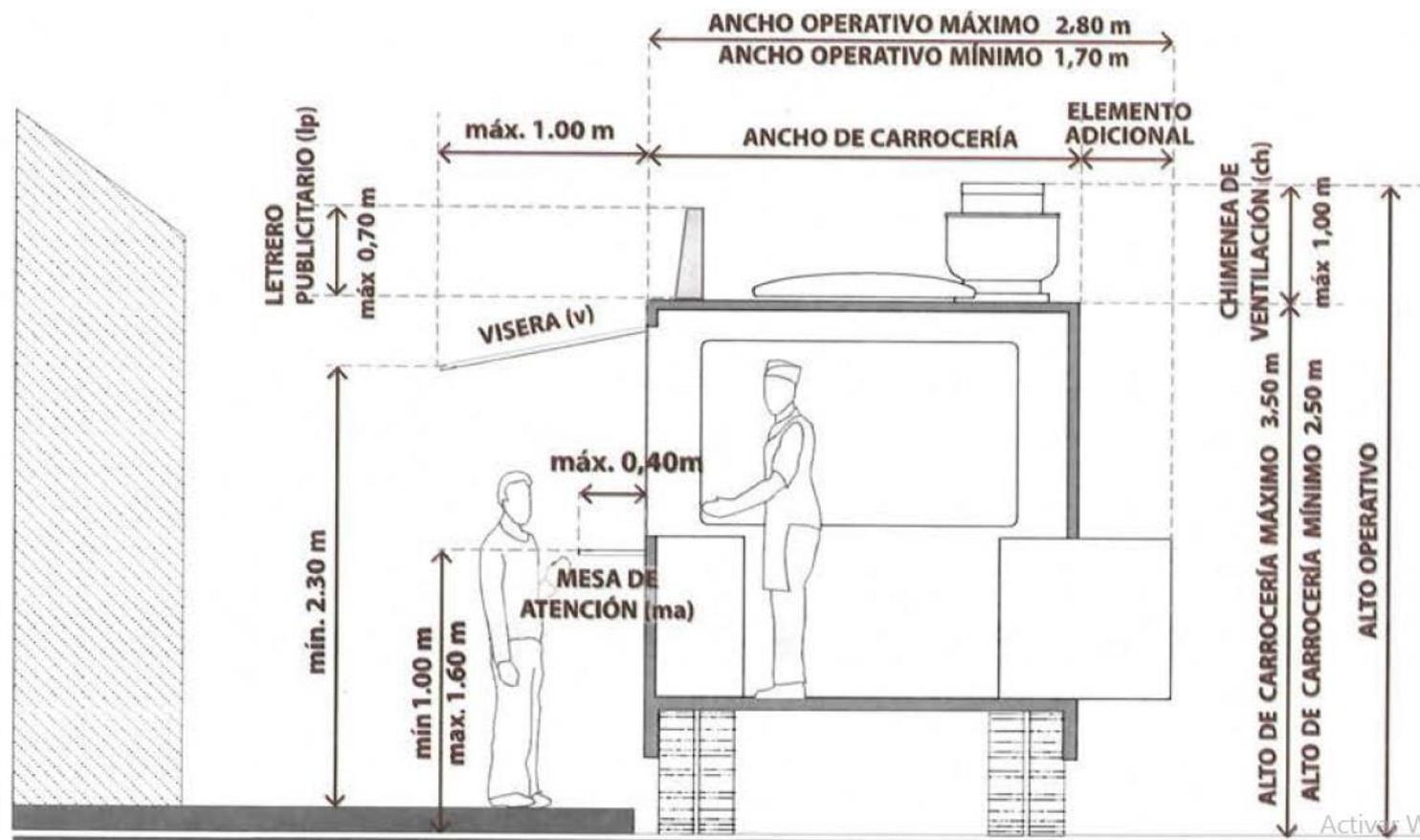
Nombre	Lugar	Observaciones
Remolques Colman	Av. Sebastián de Benalcázar y Aurelio Espinoza, Cerca al Parque de La Armenia - Quito	Fabrica remolques para venta de productos gastronómicos, con procedimientos estandarizados
Metalmecánica Lasso	Lasso - Cotopaxi	Fabrica remolques para venta de productos gastronómicos de manera artesanal
Masterax	N66-81 y de los Eucaliptos, Eloy Alfaro - Quito	Fabrica accesorios para vehículos y oferta remolques importados, para venta de productos gastronómicos sin embargo son pequeños y de elevado precio comparado con los de fabricación nacional y que tienen mayor tamaño
Zimports	Panamericana - Latacunga	Diseño y construcción de equipos para el transporte, tienen gran experiencia en fabricación de remolques Food Trucks, sus productos los vende incluso fuera de la provincia de Cotopaxi; ha logrado desarrollar un modelo accesible en precio, espacioso que goza de popularidad entre sus clientes. Con el tiempo ha ido variando las dimensiones y materiales para ser eficiente y tener mayor rendimiento
Furgometal	Panamericana Sur Km 18 1/2 - Quito	Construyen furgones para camiones de excelente calidad y si se les solicita pueden fabricar Food Trucks. No tienen un modelo definido pues lo solicitan al cliente

Nota: Locales recomendados por dueños de Food Trucks

Restricciones – Municipio



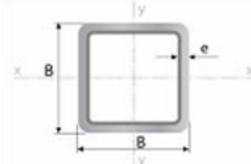
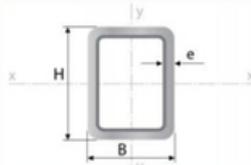
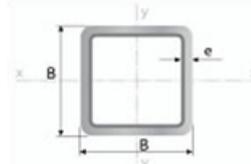
Restricciones – Municipio



Activar Win
ir a Configuraci

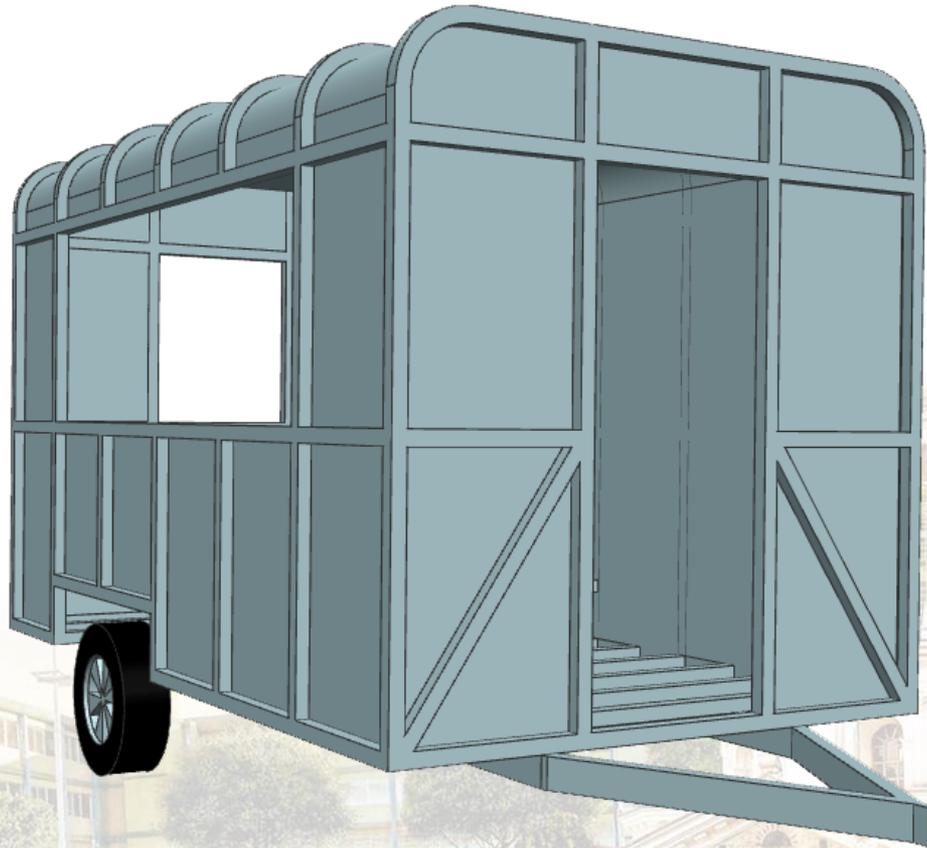
Materiales

Especificaciones de los tubos usados en el análisis

Uso de tubo	B (mm)	H (mm)	e (mm)	Peso (Kg/m)	Módulo de resistencia (cm ³)	Norma calidad ASTM A 500 Gr. A, B ó C	Plano de sección del tubo	Imagen de los tipos de tubos
Tubo para el piso	50	50	4	5.45	9.54	Sy = 317 MPa Su = 400 MPa		
Tubo para el bastidor	50	100	3	6.60	21.30	Sy = 317 MPa Su = 400 MPa		
Tubo para los parantes y techo	50	50	1.50	2.24	4.43	Sy = 317 MPa Su = 400 MPa		

Nota: Datos obtenidos de la página oficial de www.ipac-acero.com y del libro Resistencia de materiales de Robert Mott 5ta Ed 2009

Modelado en software



Análisis de cargas

- Carga muerta (M)

Corresponde al peso total del Food Truck, con todos los accesorios listo para usar

Cálculo del peso muerto del Food Truck

Parte del Food Truck	Especificación	Peso
Tubo cuadrado para piso	50 x 50 x 4	39,38
Tubo rectangular para Bastidor	50 x 100 x 3	60,72
Tubo cuadrado para parantes y techo	50 x 50 x 1.50	183,46
Plancha antideslizante para piso	1230 x 2440 x 3 (x2)	151,10
Plancha inoxidable para paredes y techo al interior	1220 x 2440 x 1.20 (x3)	84,12
Plancha galvanizada para paredes y techo al exterior	1220 x 2440 x 0.70 (x3)	49,08
Peso de tanque de gas de GLP		15,00
Cosinas, mesones, refrigerador, tanque de agua, tanque para residuos, otros		318,00
Peso total		900,86

Nota: Datos obtenidos de la página oficial de IPAC ACEROS y datos de catálogos de productos para restaurantes

Análisis de cargas

- Carga viva (V)

Peso de los ocupantes; con las medidas propuestas podrían entrar hasta 4 personas, por tanto, se hablaría de una carga de 280 Kg, pues la norma NTE INEN 1323:2009 indica que se debe considerar por persona un peso de 70Kg

- La carga de giro (G)

Se calcula con la fórmula de la fuerza centrípeta y factores indicados en norma NTE INEN 1323:2009

$$F_c = \frac{m V t^2}{r}$$

Análisis de cargas

- Carga de frenado

Se asume una desaceleración igual a 4 m/s^2 según NTE INEN 1323:2009

- Carga de aceleración brusca (A_b)

Se asume una aceleración igual a 4 m/s^2 según NTE INEN 1323:2009

- Carga por resistencia del aire frontal (R_{af})

Se la aplicará como la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal

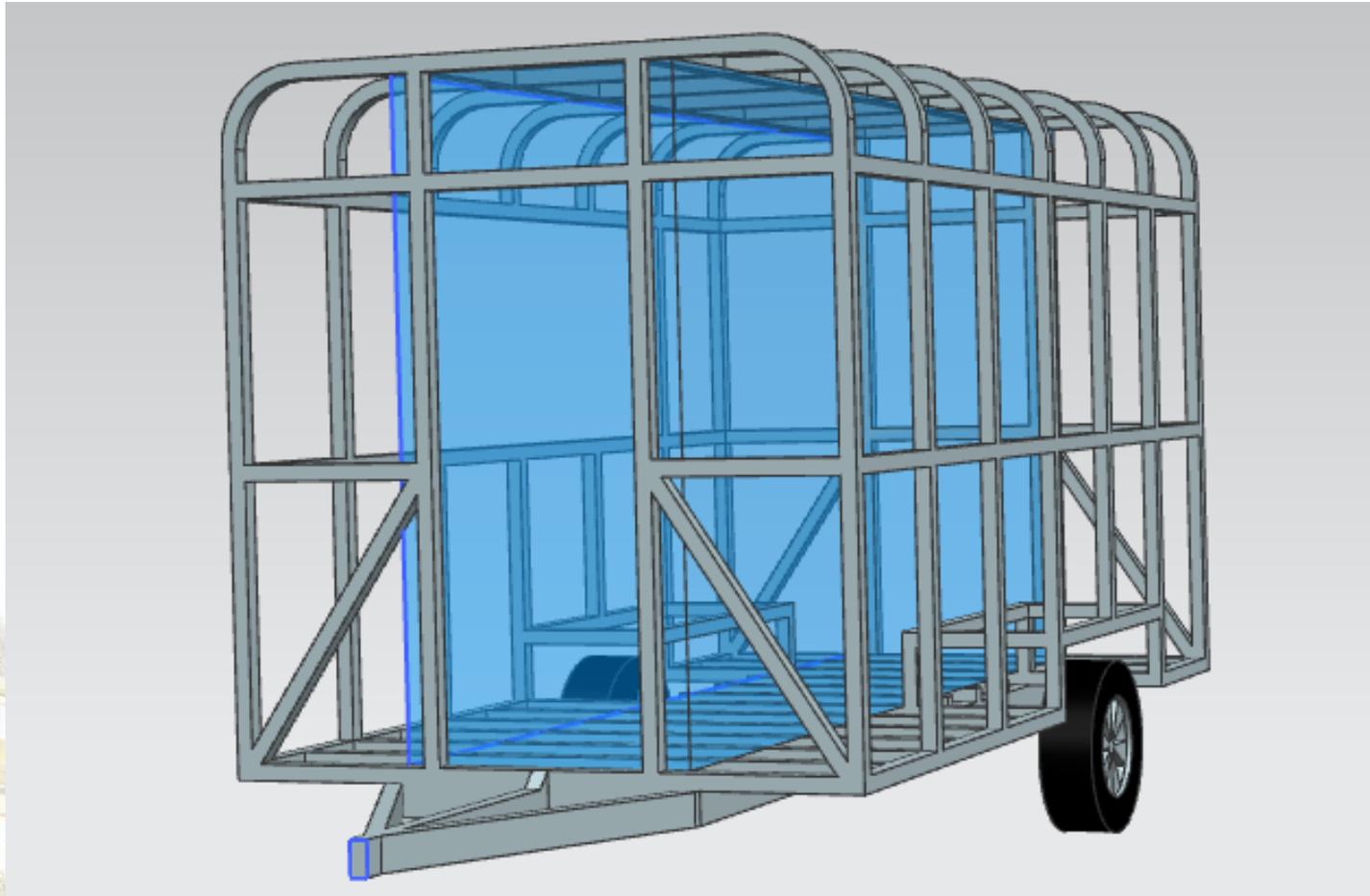
Análisis de cargas

Valores de cargas que deben tomarse en cuenta para el análisis

Tipo de carga	Ref. Norma	Valor
Carga muerta (M)	NTE INEN 1323:2009	8 829.00 N
Carga viva (V)	NTE INEN 1323:2009	2 749.60 N
Carga de giro (G)	NTE INEN 1323:2009	2 091.02 N
Carga de frenado (F)	NTE INEN 1323:2009	4 721.12 N
Carga de aceleración brusca (Ab)	NTE INEN 1323:2009	4 721.12 N
Carga de resistencia aerodinámica (Raf)	NTE INEN 1323:2009	3 105.02 N

Nota: Cabe indicar que cuando el Food Truck está siendo transportado, no hay ocupantes en su interior, no obstante para efectos de cálculo e incrementar el factor de seguridad este valor se tomará en cuenta. Información tomada de la norma NTE INEN 1323: 2009

Volumen de supervivencia



Volumen de supervivencia

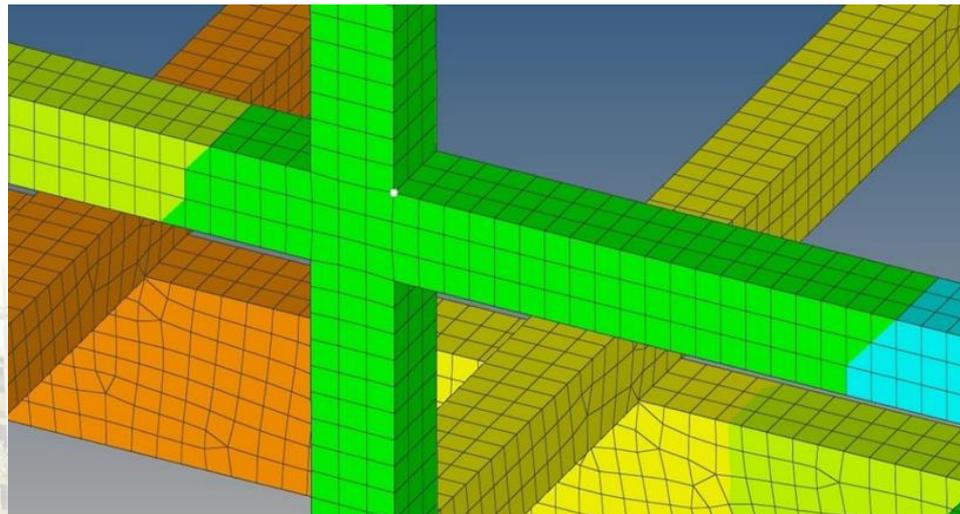
- Bajo ninguna circunstancia el espacio de supervivencia será invadido en las pruebas de simulación
- El volumen comprendido entre el piso, techo e interiores del Food Truck
 - Ancho de 800 mm
 - Largo de 3000 mm
 - Altura de 1900 mm

Mallado para simulación

Cuadro de validación de malla

Tamaño de malla en mm	Grados de libertad	Desplazamiento en mm	Error
5	25 927 500 000	1,747	
15	7 842 000 000	1,667	4,6%
25	150 000 000	2,175	30,5%
50	50 500 000	1,349	38,0%

Nota: Al realizar el análisis en el software con distintos de malla se genera el número de grados de libertad así como se obtiene el desplazamiento



Método de aplicación de cargas y resultados

Aplicación de cargas

- Para este estudio se las dividió en 11 casos:

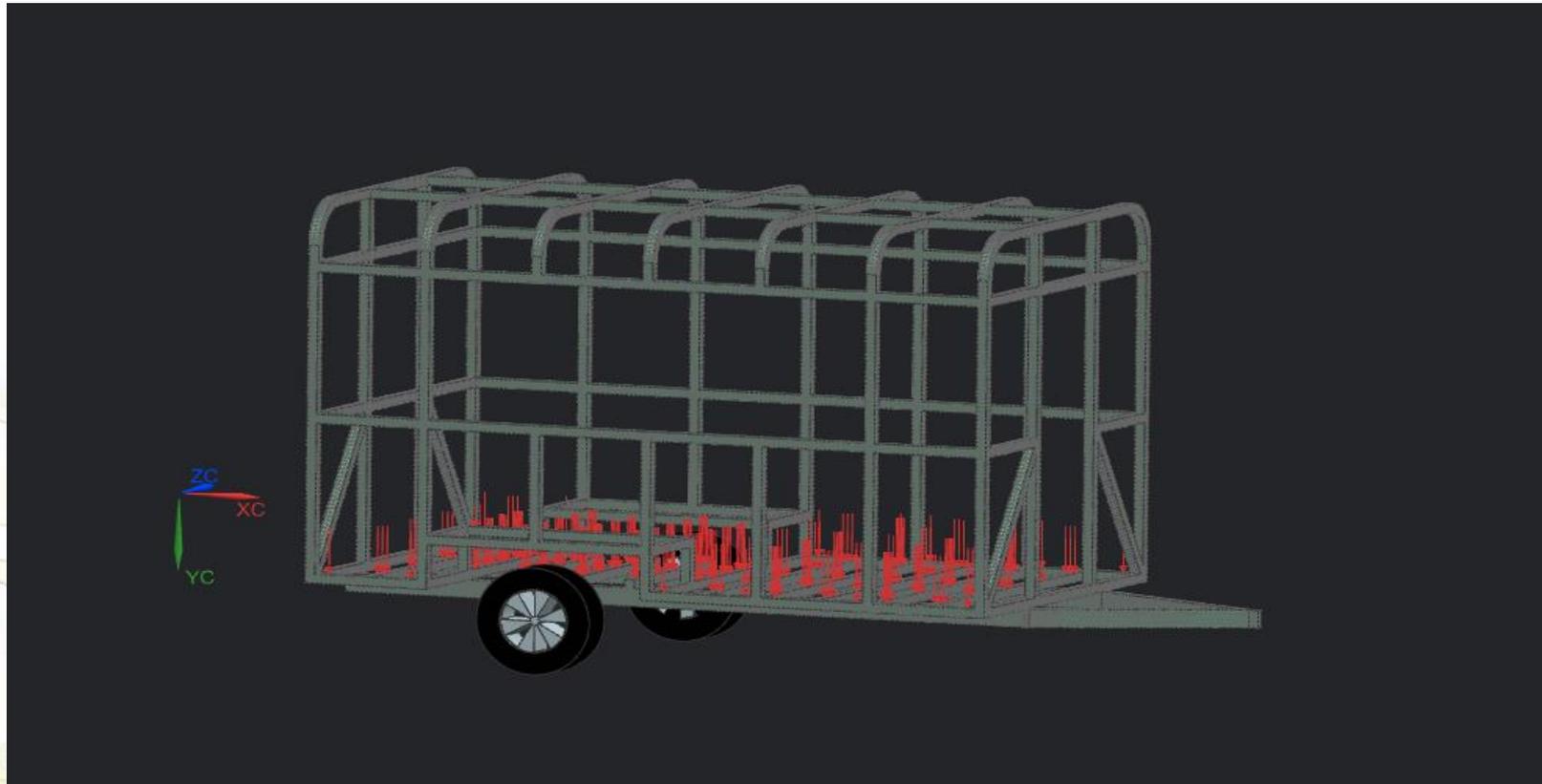
1.	1.4 M + V	NTE INEN 1323:2009
2.	1.2 M + 1.6 V + 0.5 G	NTE INEN 1323:2009
3.	1.2 M + 0.5 V + 1.6 G	NTE INEN 1323:2009
4.	1.2 M + 1.6 F + 0.8 Raf	NTE INEN 1323:2009
5.	1.2 M + 0.5 V + 0.5 F + 1.3 Raf	NTE INEN 1323:2009
6.	1.2 M + 1.5 Ab + 0.5 V	NTE INEN 1323:2009
7.	0.9 M – 1.3 Raf	NTE INEN 1323:2009
8.	0.9 M + 1.3 Raf	NTE INEN 1323:2009
9.	Carga en techo	NTE INEN 1323:2009
10.	Prueba de volteo	•Regulación No. 66 – Tratados Naciones unidas
11.	Impacto lateral	•Reglamento No 95 – Comisión Económica para Europa

Valores de cargas para el CASO 1 (1,4M+V)

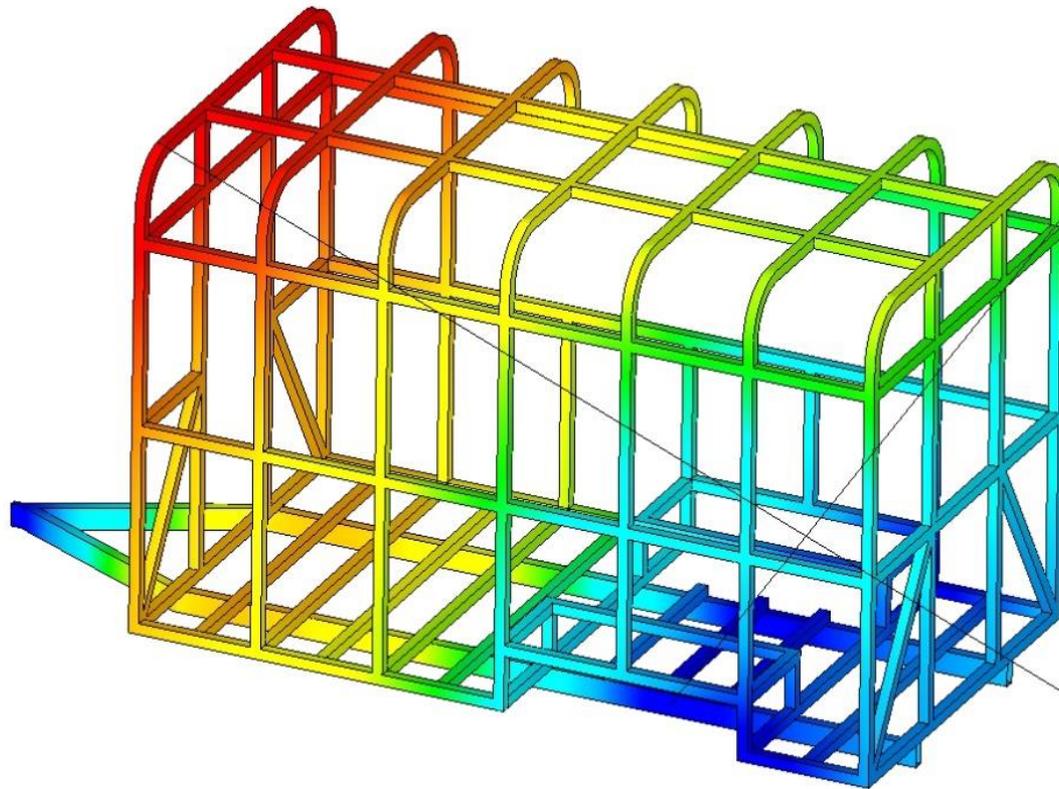
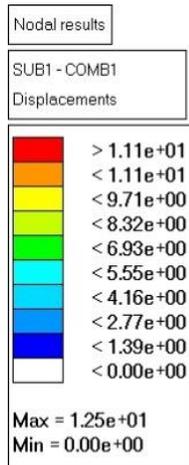
Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga viva (V)	2749,60	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
1,4M	12360,60	Piso
V	2749,60	Piso

Nota: Datos para ingresar en el software



Deformación por aplicación de cargas combinadas Caso1

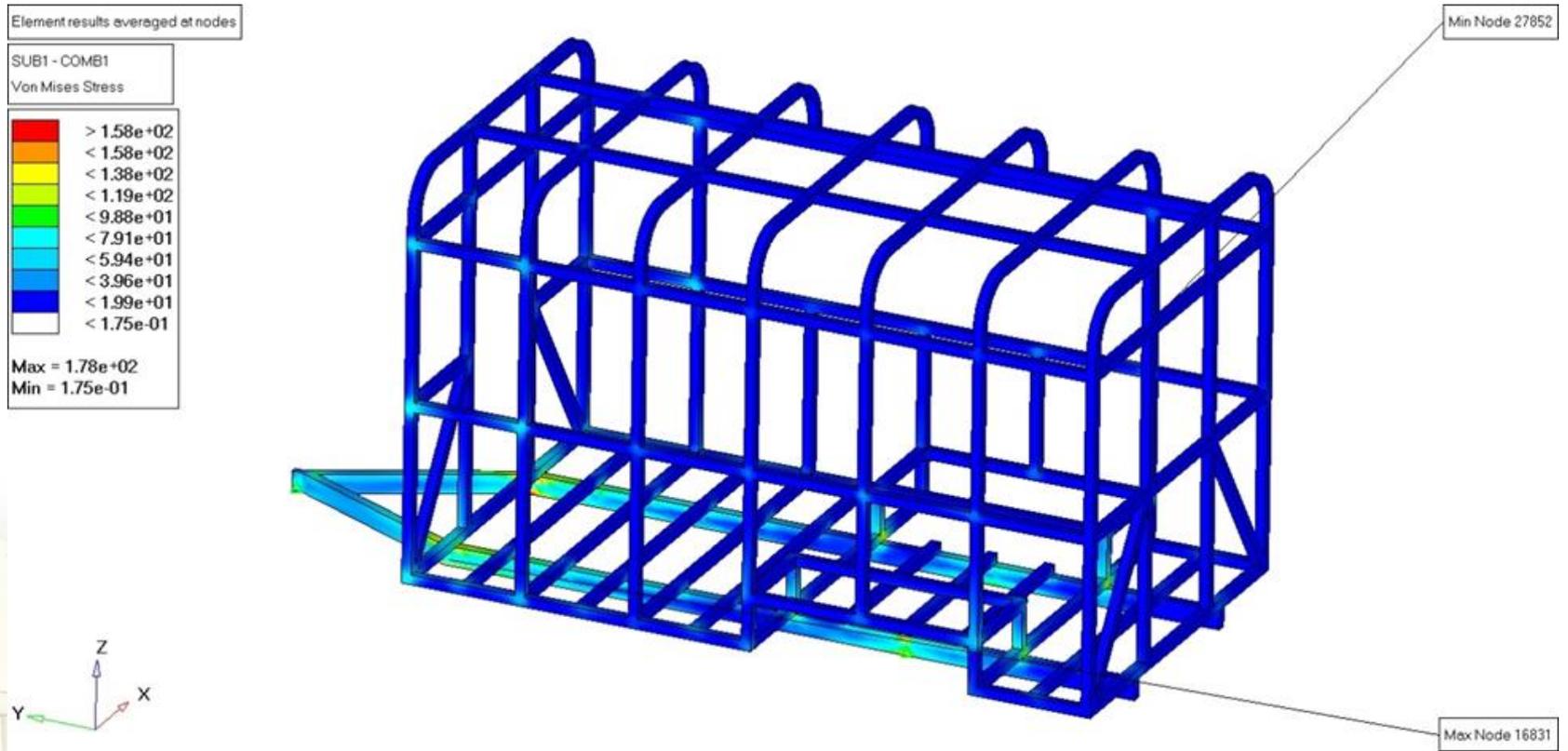


4 Nodes share Min
First Min 14549

Max Node 8108

Restricción no pasar del 1/240 Long Total = 19.16 mm
Dejar libre espacio de supervivencia

Esfuerzos por aplicación de cargas combinadas CASO 1



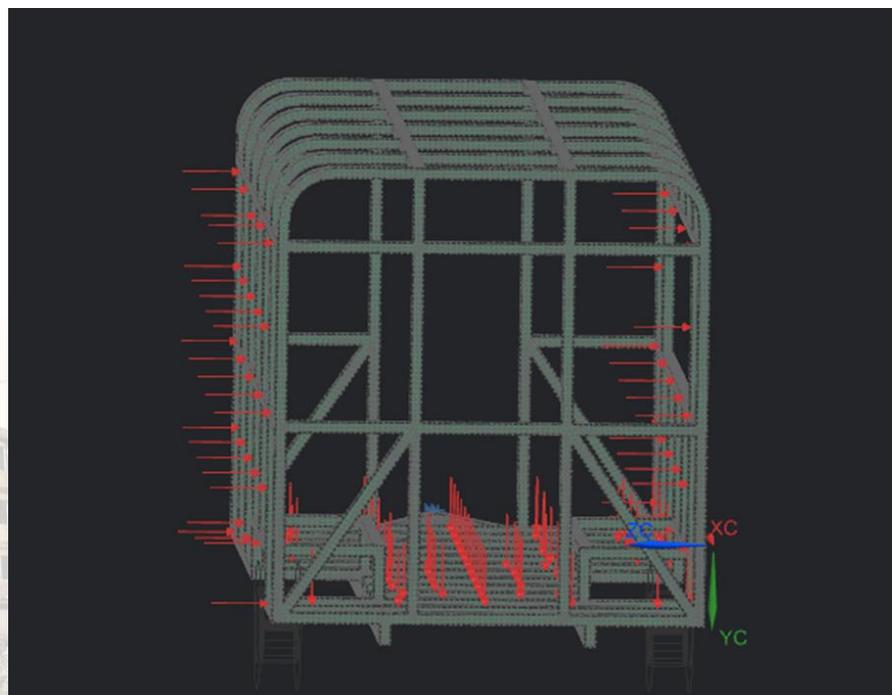
$S_y = 317 \text{ MPa}$ y $S_u = 400 \text{ MPa}$

Valores de cargas para el CASO 2 (1,2M+1,6V+0,5G)

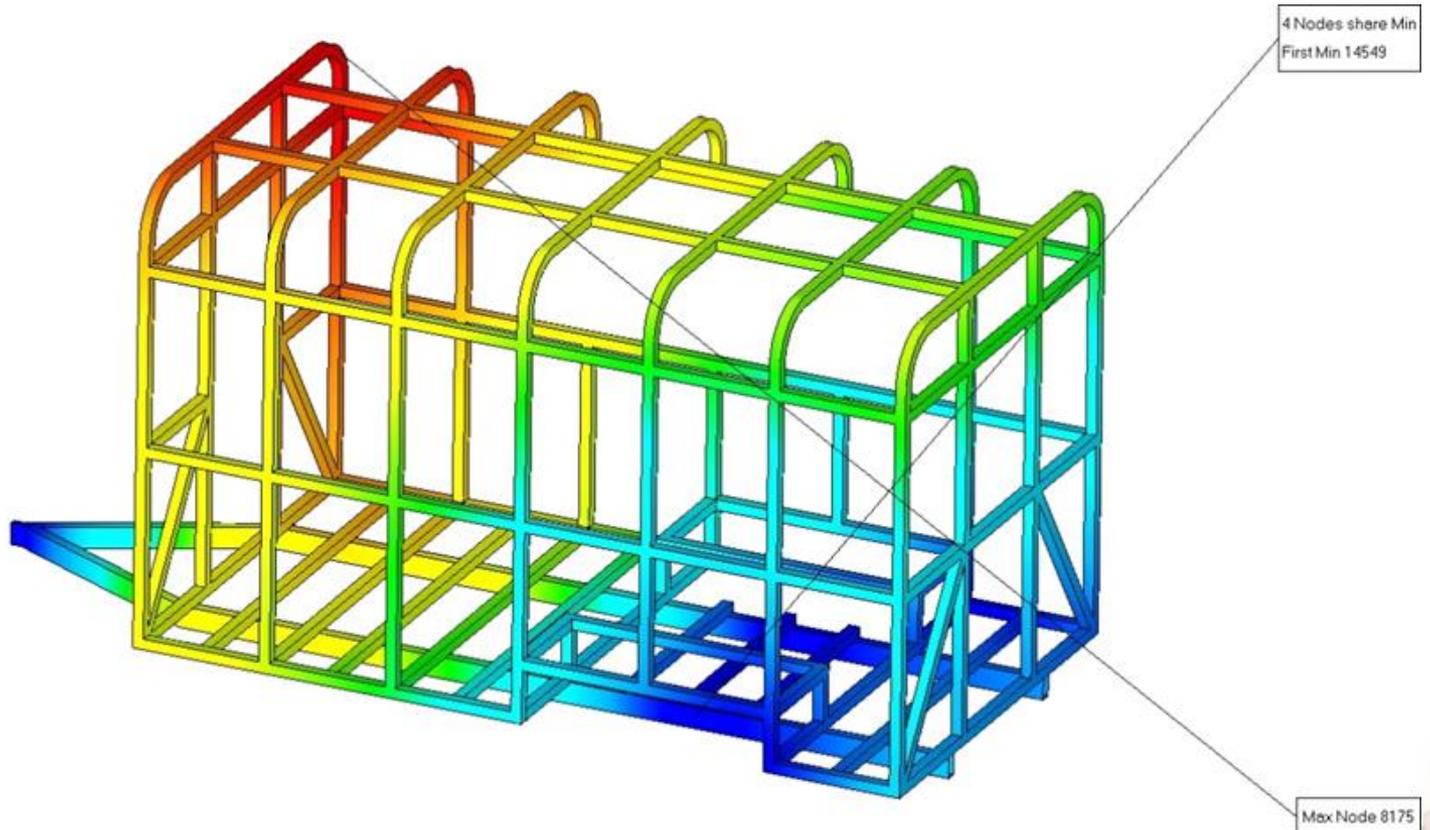
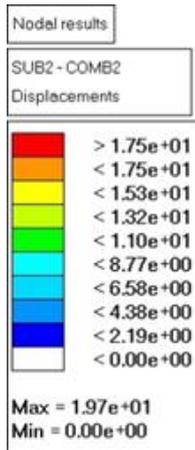
Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga viva (V)	2749,60	N
Carga de giro (G)	2091,02	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
1,2M	10594,80	Piso
1,6V	4399,36	Piso
0,5G	1045,51	Pared Lateral

Nota: Datos para ingresar en el software



Deformación por aplicación de cargas combinadas Caso 2

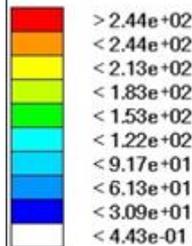


Restricción no pasar del 1/240 Long Total = 19.16 mm
Dejar libre espacio de supervivencia

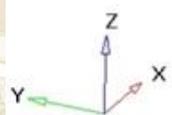
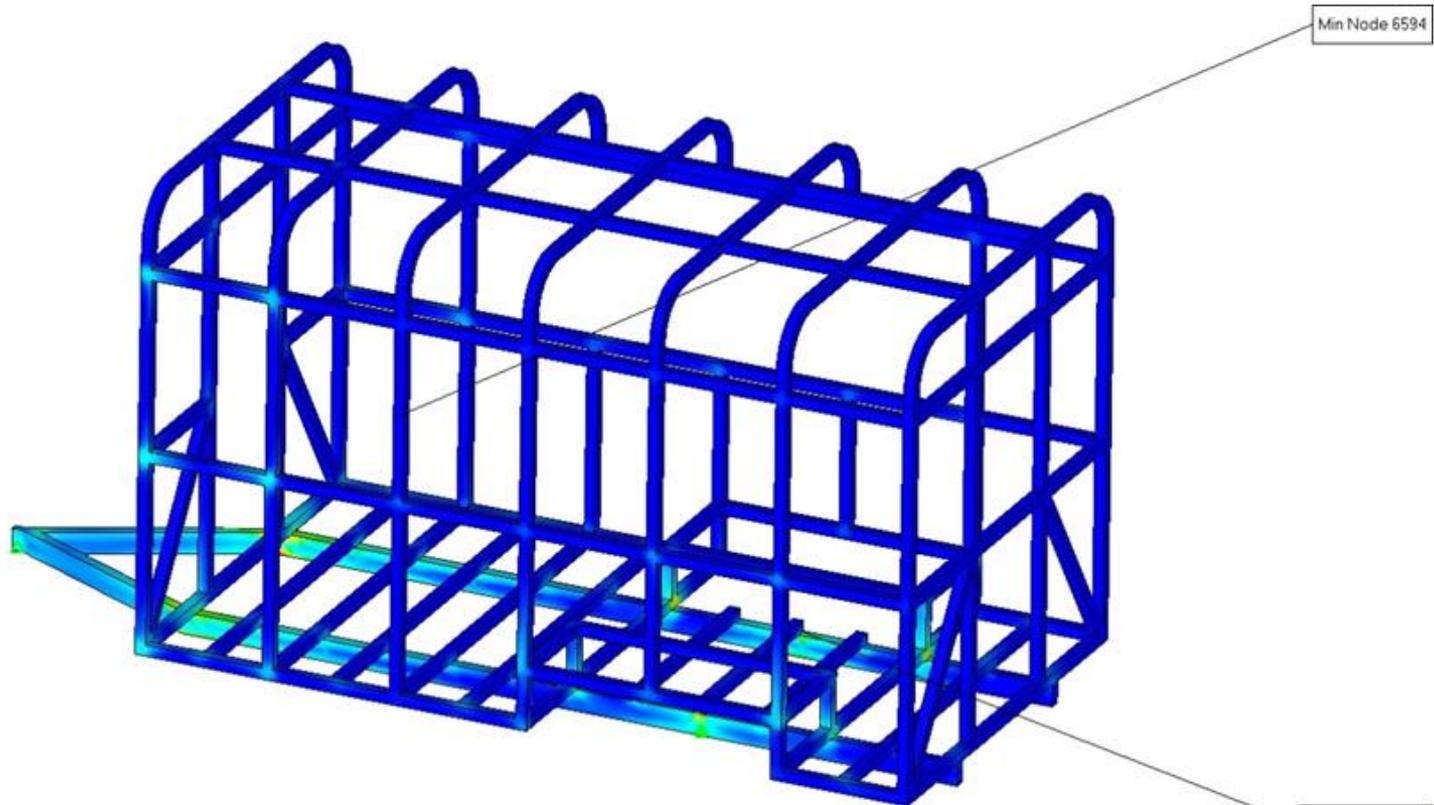
Esfuerzos por aplicación de cargas combinadas CASO 2

Element results averaged at nodes

SUB2 - COMB2
Von Mises Stress



Max = 2.74e+02
Min = 4.43e-01



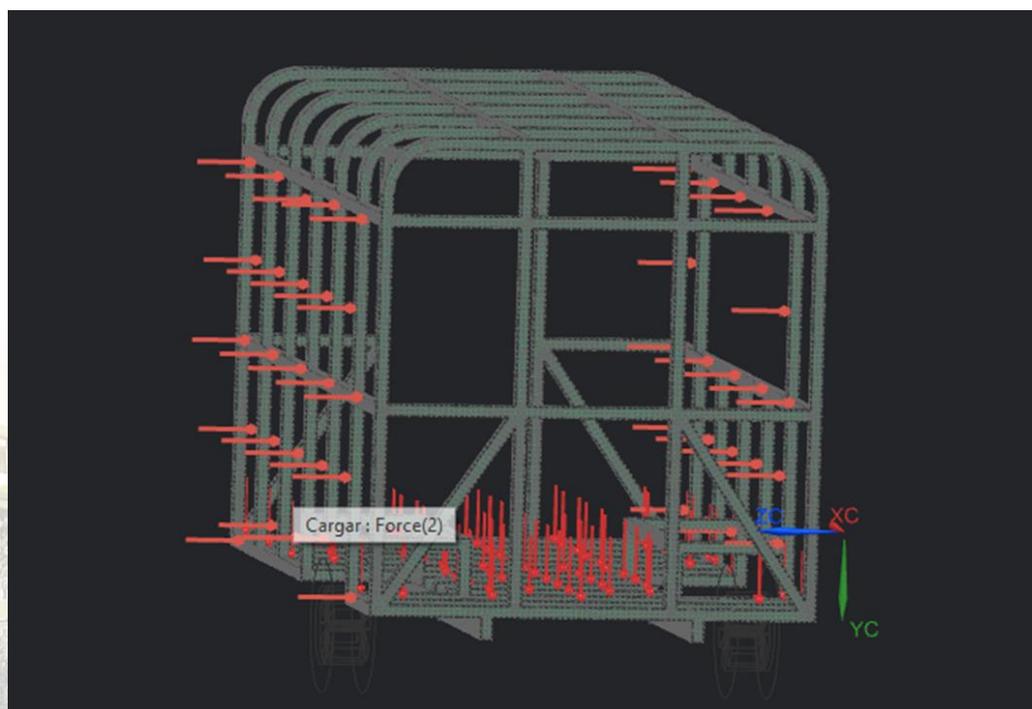
Sy = 317 MPa y Su = 400 MPa

Valores de cargas para el CASO 3 (1,2M+0,5V+1,6G)

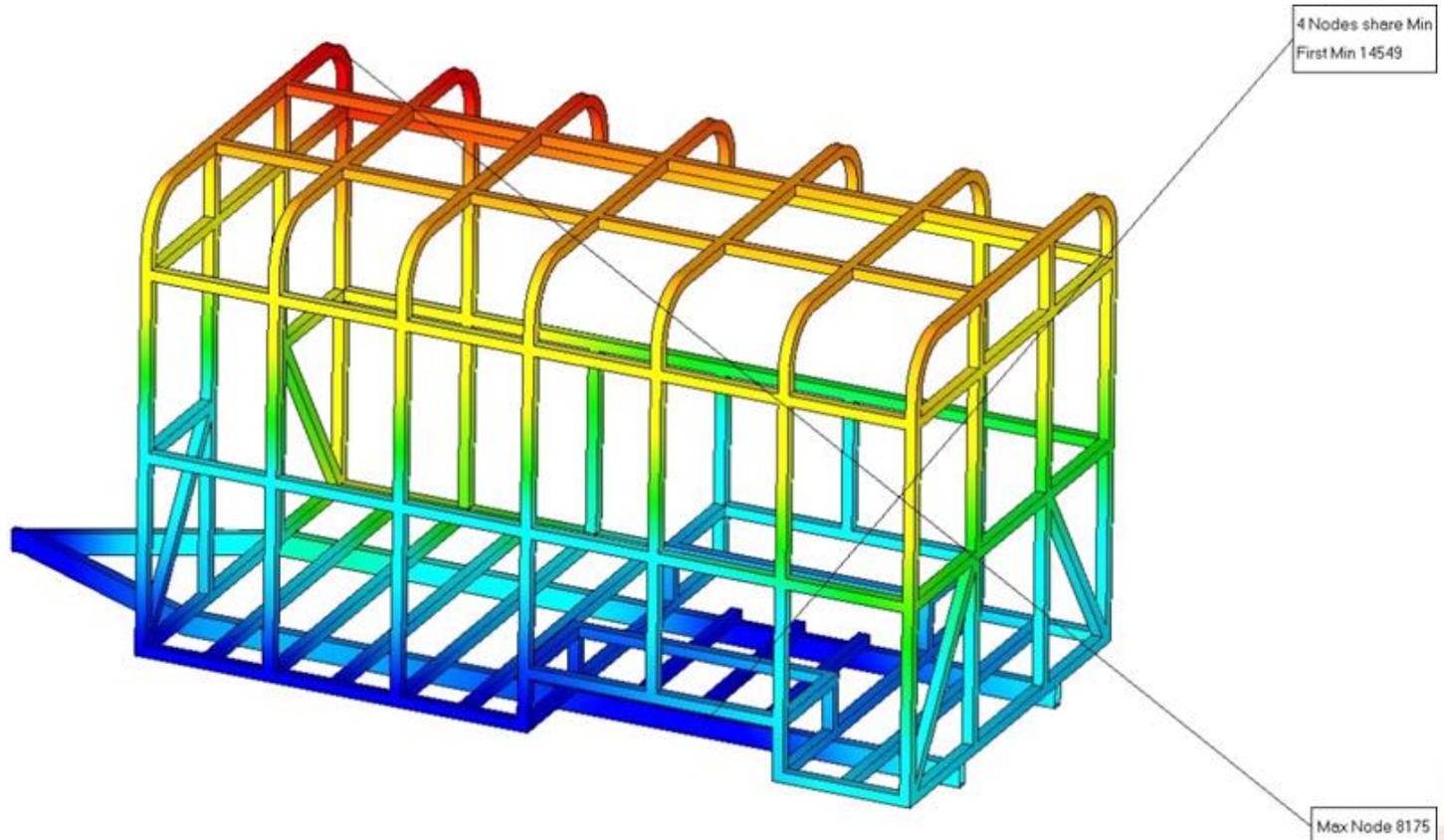
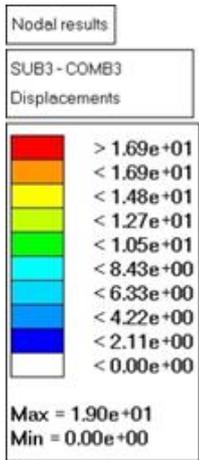
Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga viva (V)	2749,60	N
Carga de giro (G)	2091,02	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
1,2M	10594,80	Piso
0,5V	1374,80	Piso
1,6G	3345,63	Pared Lateral

Nota: Datos para ingresar en el software



Deformación por aplicación de cargas combinadas Caso 3

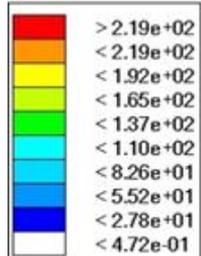


Restricción no pasar del 1/240 Long Total = 19.16 mm
Dejar libre espacio de supervivencia

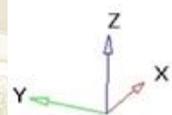
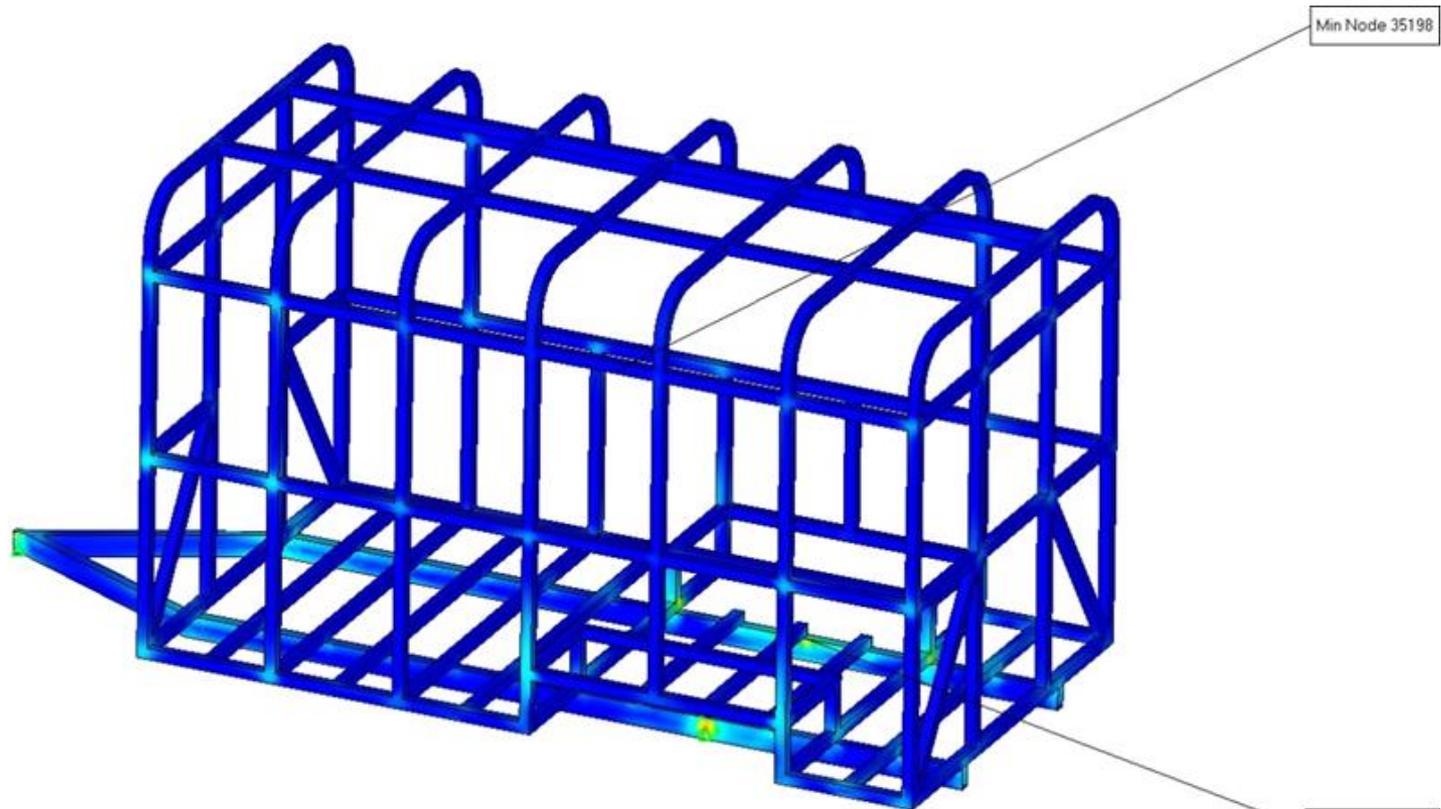
Esfuerzos por aplicación de cargas combinadas CASO 3

Element results averaged at nodes

SUB3 - COMB3
Von Mises Stress



Max = 2.47e+02
Min = 4.72e-01



Sy = 317 MPa y Su = 400 MPa

Valores de cargas para el CASO 4 (1,2M+1,6F+0,8Raf)

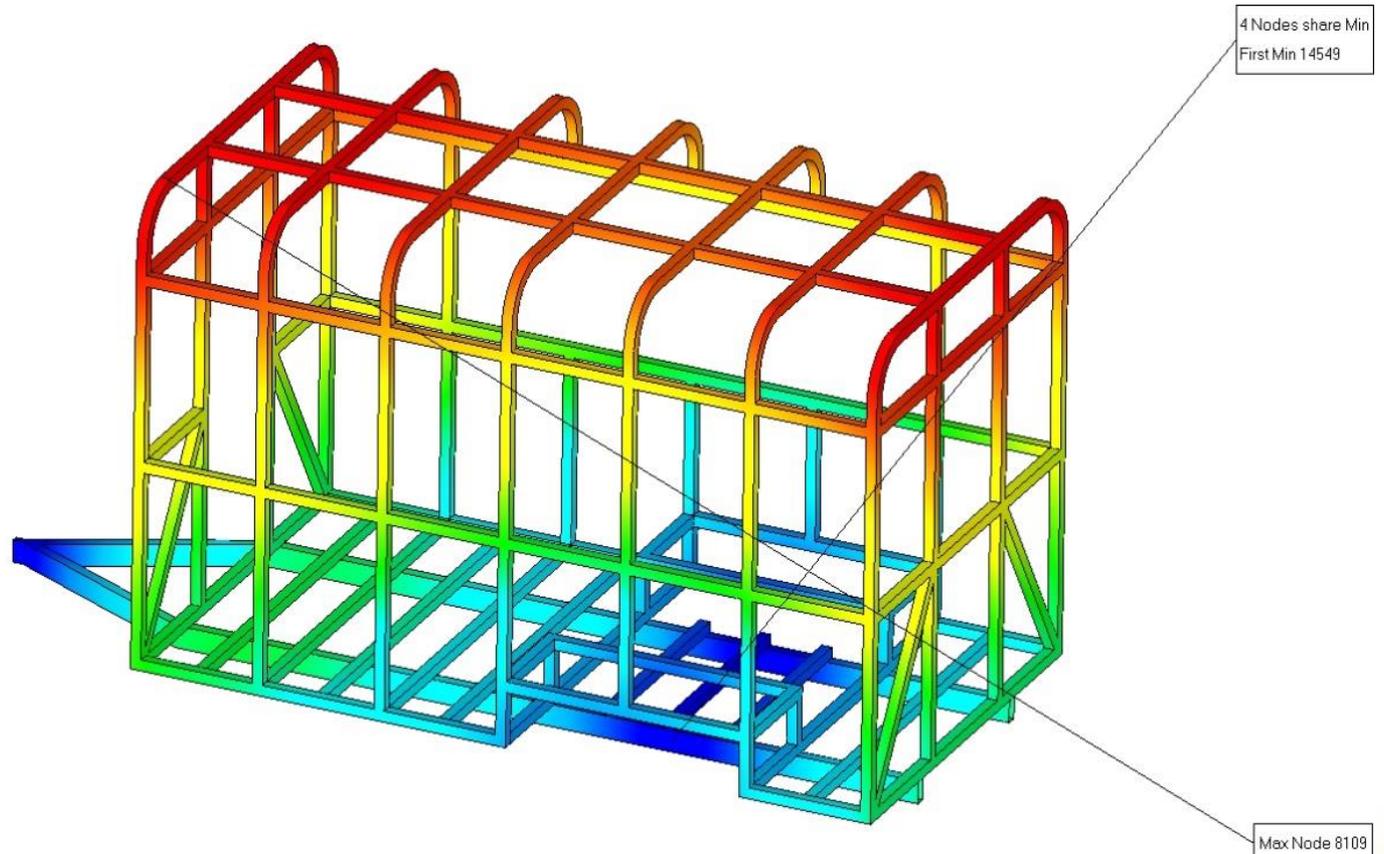
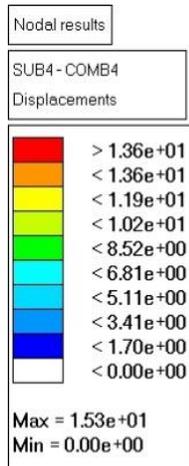
Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga de frenado (F)	4721,12	N
Carga de resistecia aerodinámica (Raf)	3105,02	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
1,2M	10594,80	Piso
1,6F	7553,79	en todos los parantes
0,8Raf	2484,02	Frente

Nota: Datos para ingresar en el software



Deformación por aplicación de cargas combinadas Caso 4

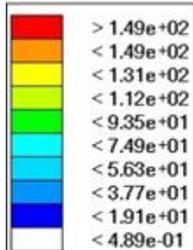


Restricción no pasar del 1/240 Long Total = 19.16 mm
Dejar libre espacio de supervivencia

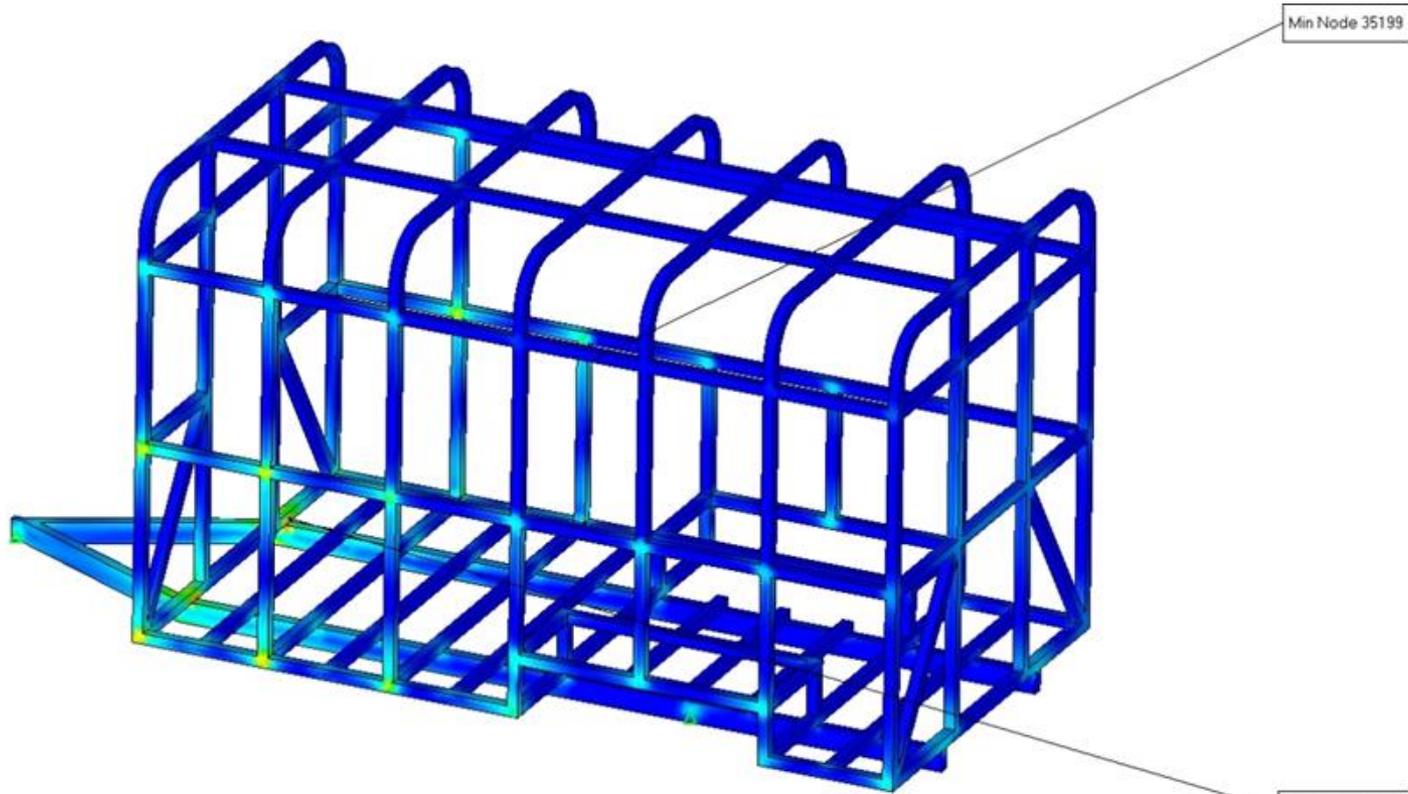
Esfuerzos por aplicación de cargas combinadas CASO 4

Element results averaged at nodes

SUB4 - COMB4
Von Mises Stress



Max = 1.68e+02
Min = 4.89e-01



Sy = 317 MPa y Su = 400 MPa

Valores de cargas para el CASO 5 (1,2M+0,5V+0,5F+1,3Raf)

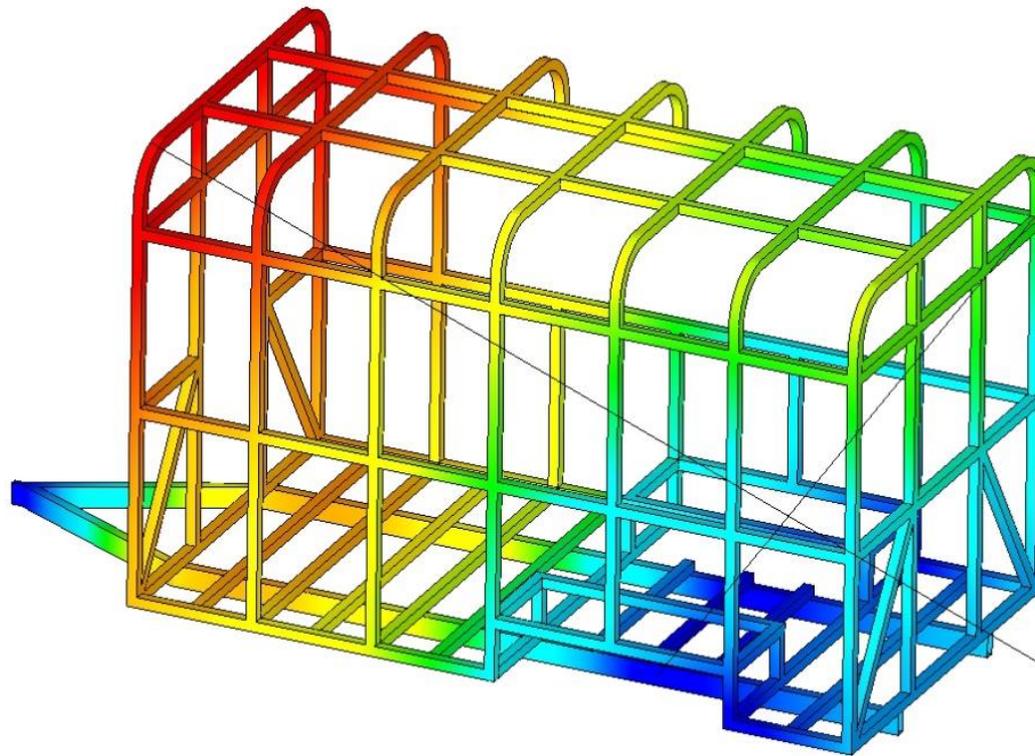
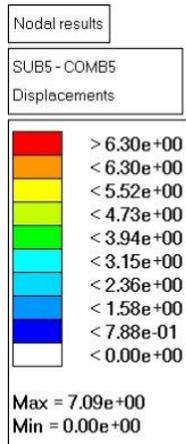
Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga viva (V)	2749,60	N
Carga de frenado (F)	4721,12	N
Carga de resistecia aerodinámica (Raf)	3105,02	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
1,2M	10594,80	Piso
0,5V	1374,80	Piso
0,5F	2360,56	en todos los parantes
1,3Raf	4036,53	Frente

Nota: Datos para ingresar en el software



Deformación por aplicación de cargas combinadas Caso 5



4 Nodes share Min
First Min 14549

Max Node 8106

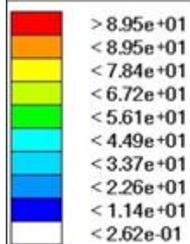
Restricción no pasar del 1/240 Long Total = 19.16 mm
Dejar libre espacio de supervivencia

Esfuerzos por aplicación de cargas combinadas CASO 5

Element results averaged at nodes

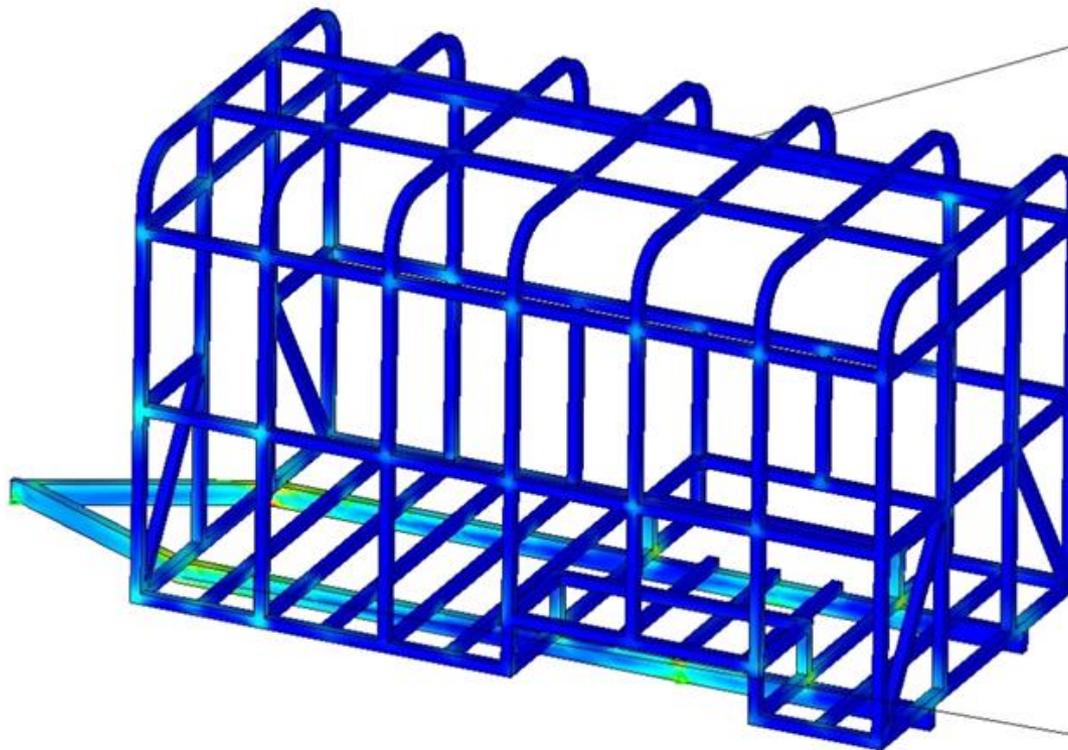
SUB5 - COMB5

Von Mises Stress



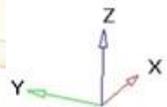
Max = 1.01e+02

Min = 2.62e-01



Min Node 26147

Max Node 16831



Sy = 317 MPa y Su = 400 MPa

Valores de cargas para el CASO 6 (1,2M+1,5Ab+0,5V)

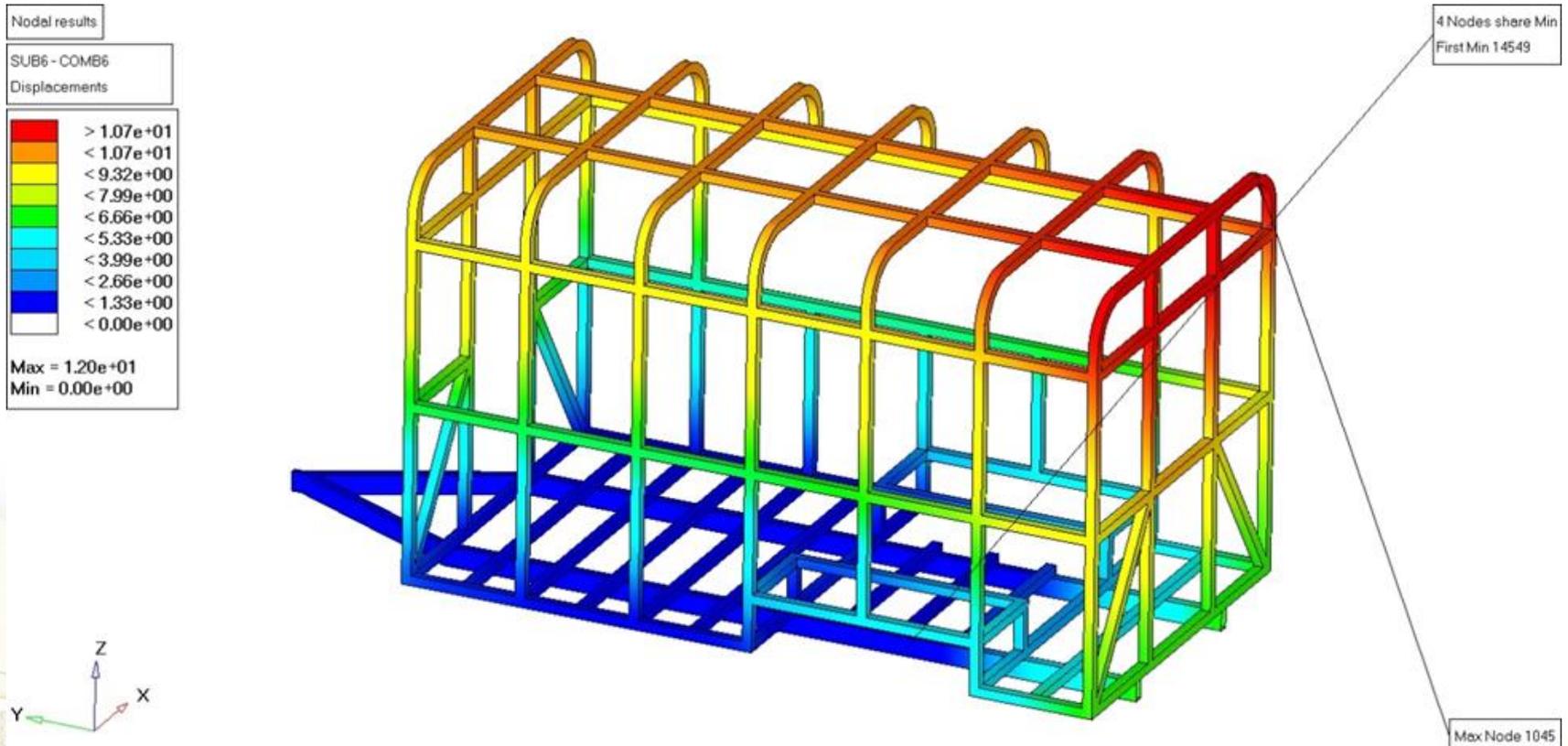
Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga de aceleración brusca (Ab)	4721,12	N
Carga viva (V)	2749,60	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
1,2M	10594,80	Piso
1,5Ab	7081,68	en todos los parantes
0,5V	1374,80	Piso

Nota: Datos para ingresar en el software



Deformación por aplicación de cargas combinadas Caso 6

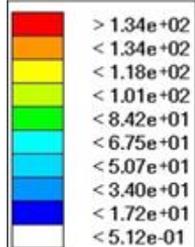


Restricción no pasar del 1/240 Long Total = 19.16 mm
Dejar libre espacio de supervivencia

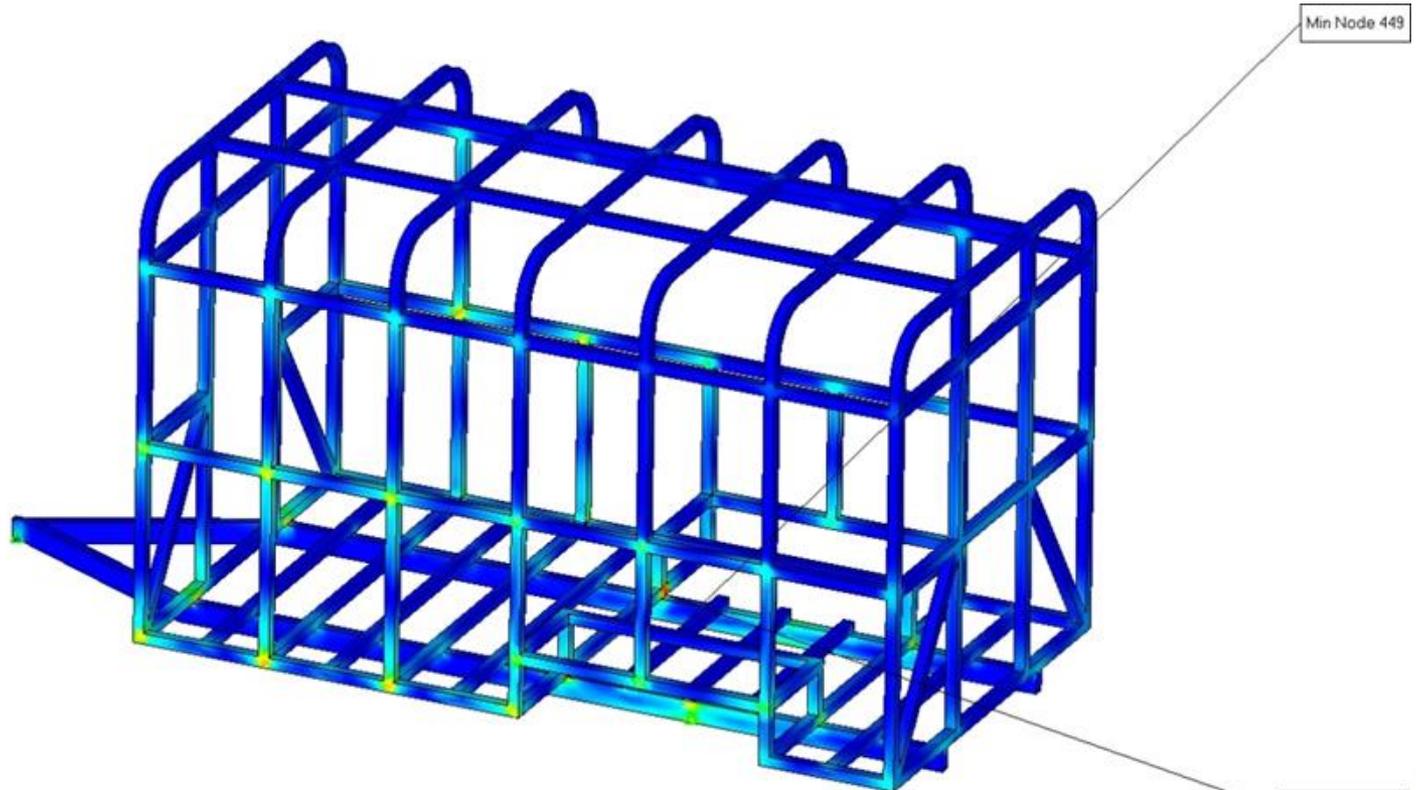
Esfuerzos por aplicación de cargas combinadas CASO 6

Element results averaged at nodes

SUB6 - COMB6
Von Mises Stress



Max = 1.51e+02
Min = 5.12e-01



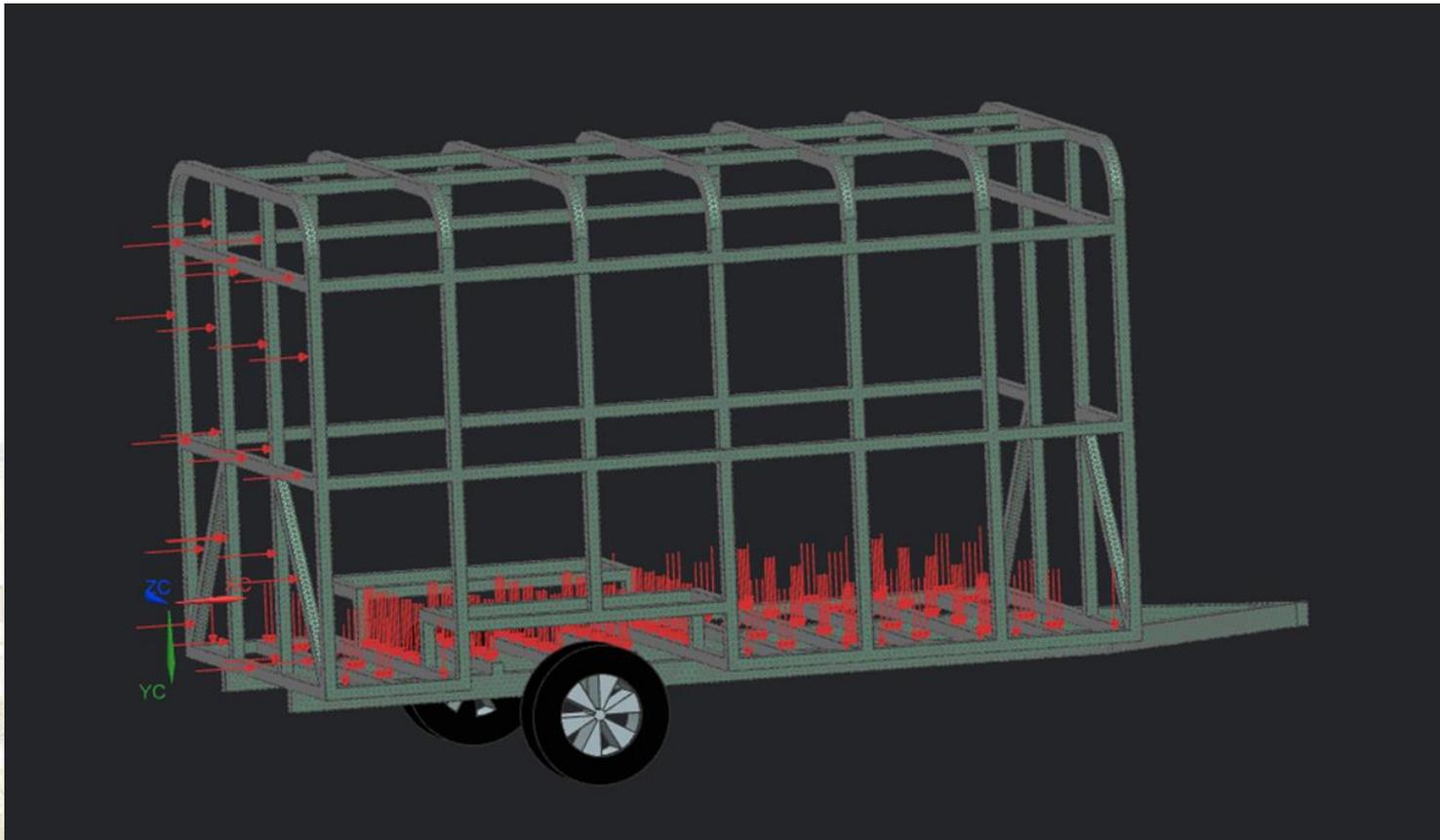
$S_y = 317 \text{ MPa}$ y $S_u = 400 \text{ MPa}$

Valores de cargas para el CASO 7 (0,9M-1,3Raf)

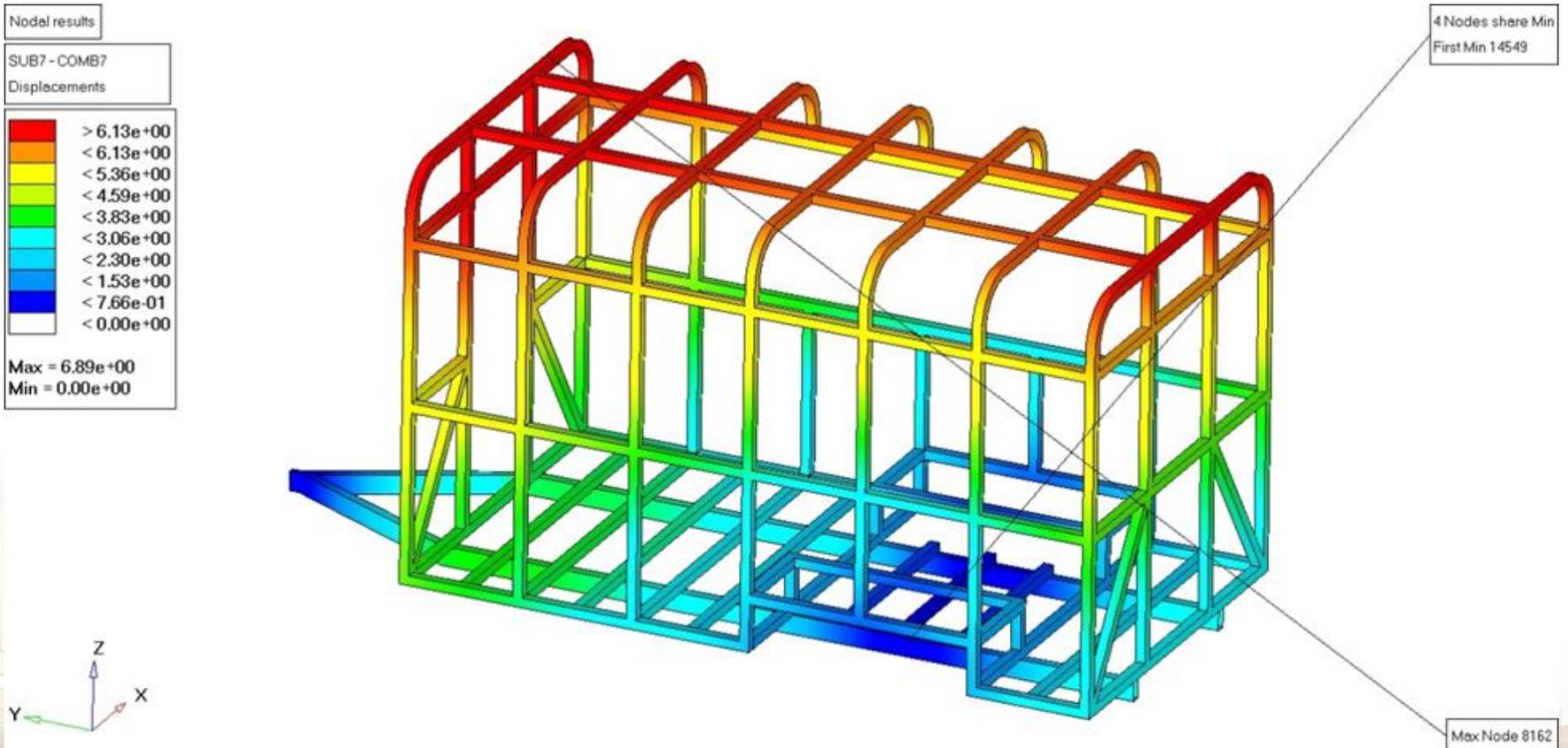
Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga de aceleración brusca (Raf)	3105,02	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
0,9M	7946,10	Piso
- 1,3Raf	-4036,53	Parte posterior

Nota: Datos para ingresar en el software



Deformación por aplicación de cargas combinadas Caso 7

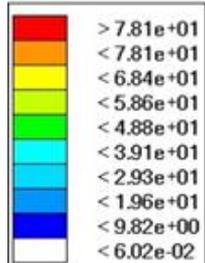


Restricción no pasar del 1/240 Long Total = 19.16 mm
Dejar libre espacio de supervivencia

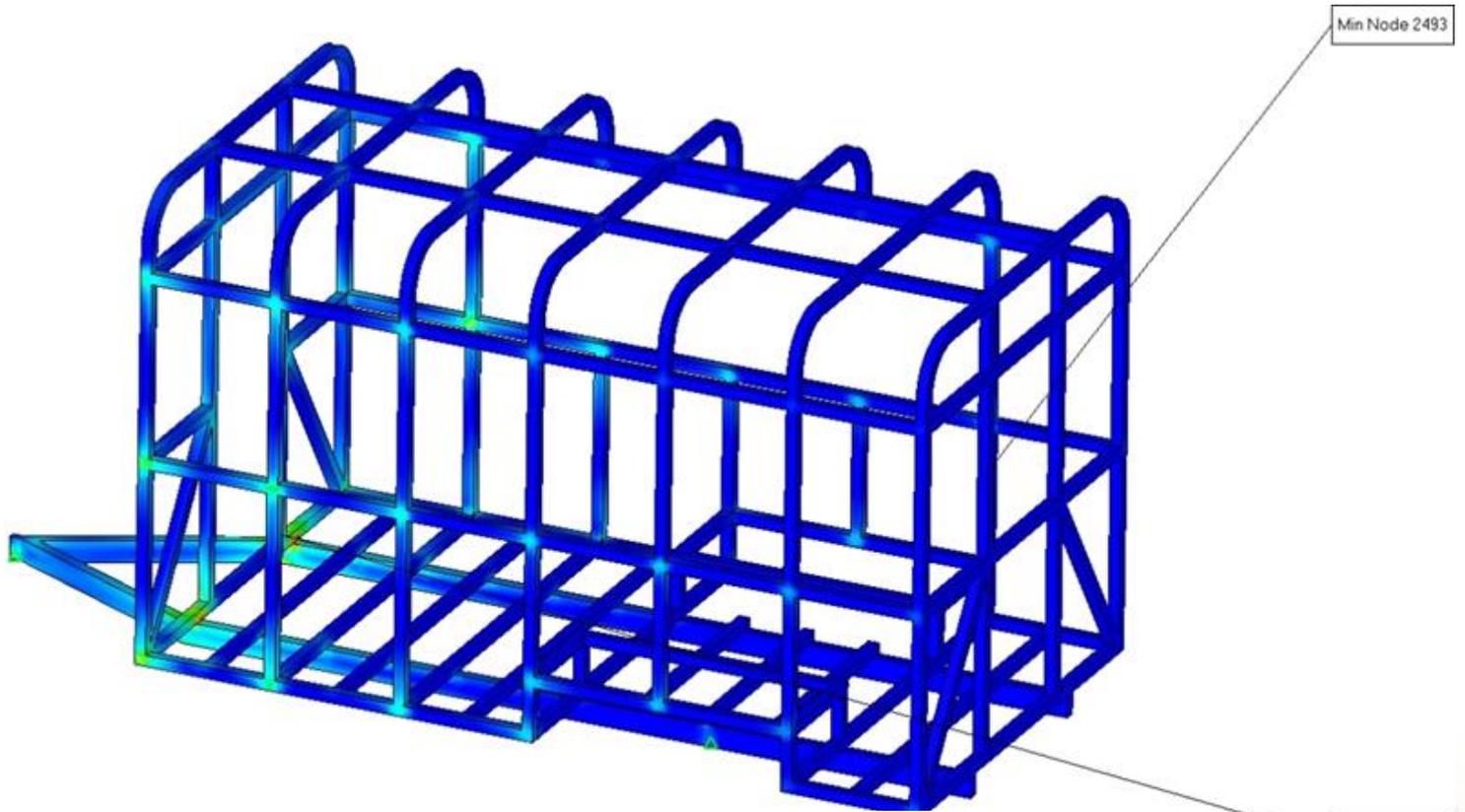
Esfuerzos por aplicación de cargas combinadas CASO 7

Element results averaged at nodes

SUB7 - COMB7
Von Mises Stress



Max = 8.79e+01
Min = 6.02e-02



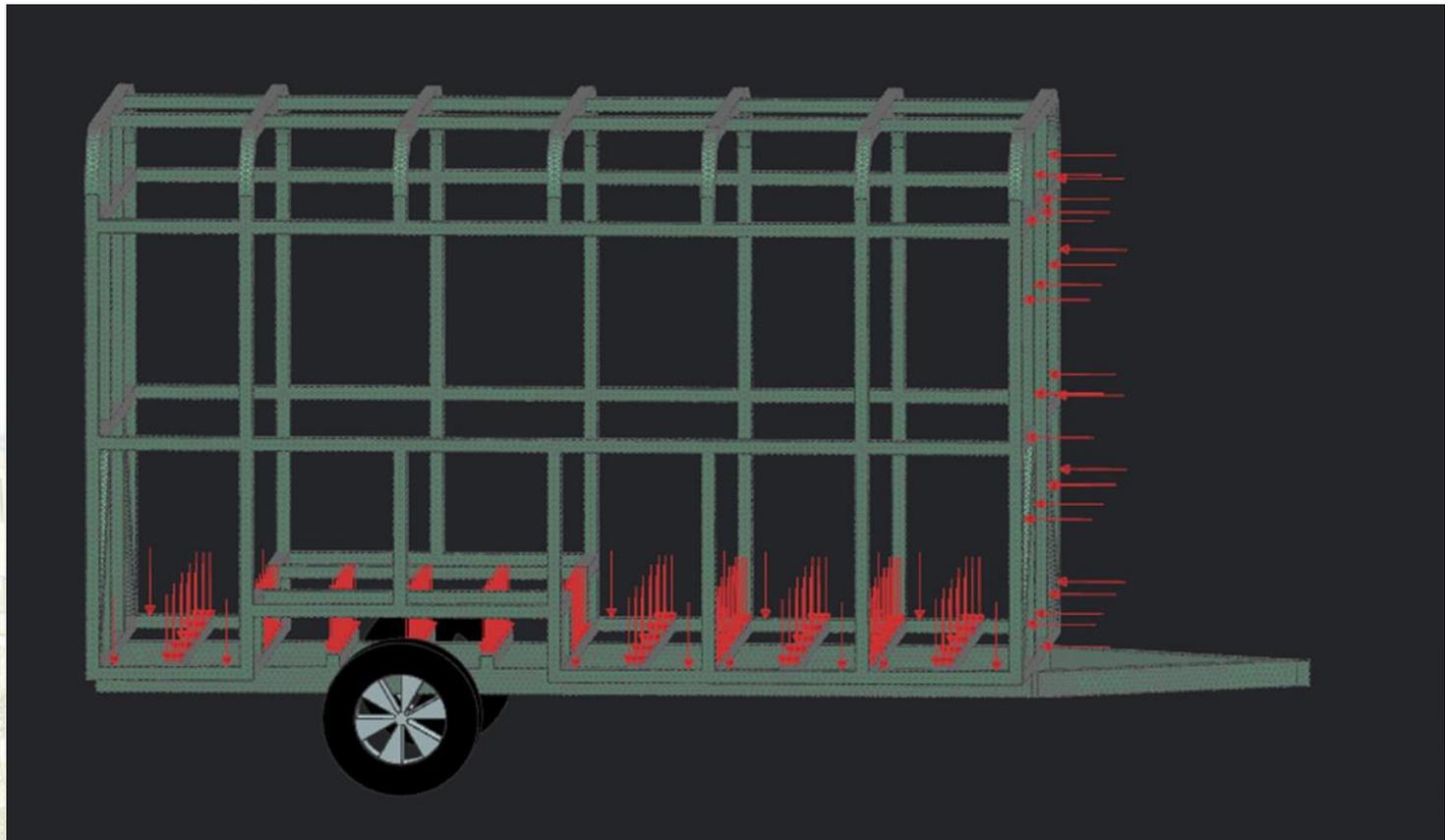
$S_y = 317 \text{ MPa}$ y $S_u = 400 \text{ MPa}$

Valores de cargas para el CASO 8 (0,9M+1,3Raf)

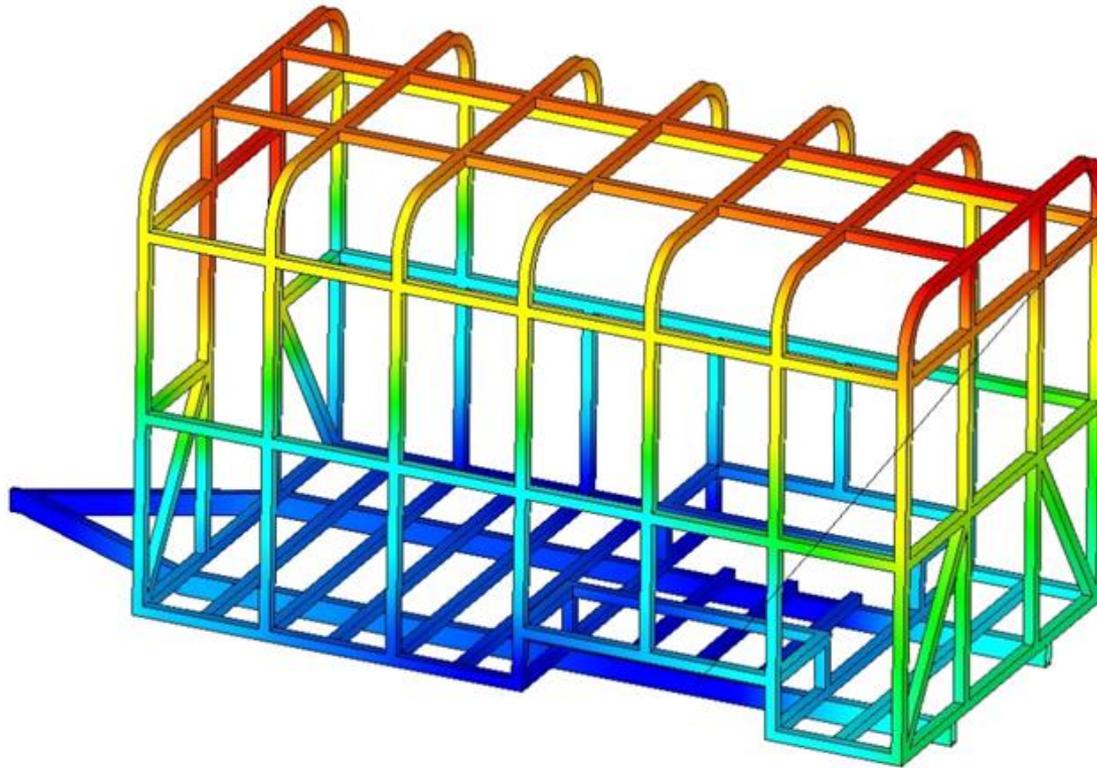
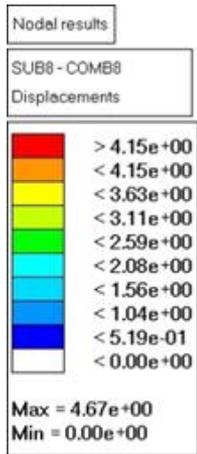
Tipo de carga	Valor	Unidades
Carga Muerta (M)	8829,00	N
Carga de aceleración brusca (Raf)	3105,02	N

Desarrollo de la fórmula	Valor	Lugar de aplicación
0,9M	7946,10	Piso
1,3Raf	4036,53	Frente

Nota: Datos para ingresar en el software



Deformación por aplicación de cargas combinadas Caso 8



4 Nodes share Min
First Min 14549

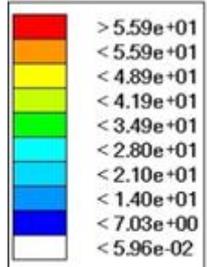
Max Node 1045

Restricción no pasar del 1/240 Long Total = 19.16 mm
Dejar libre espacio de supervivencia

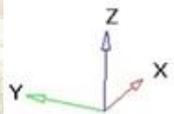
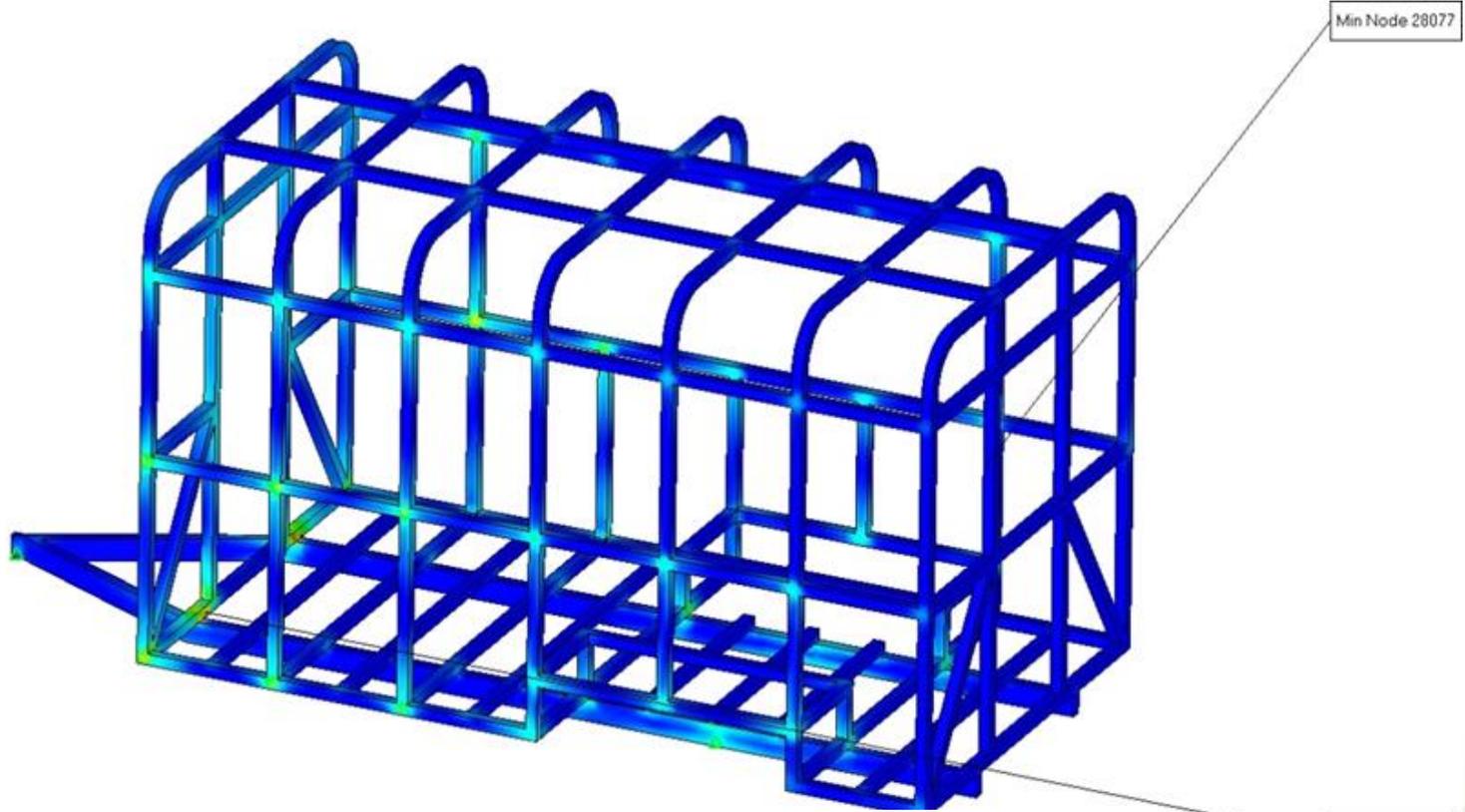
Esfuerzos por aplicación de cargas combinadas CASO 8

Element results averaged at nodes

SUB8 - COMB8
Von Mises Stress



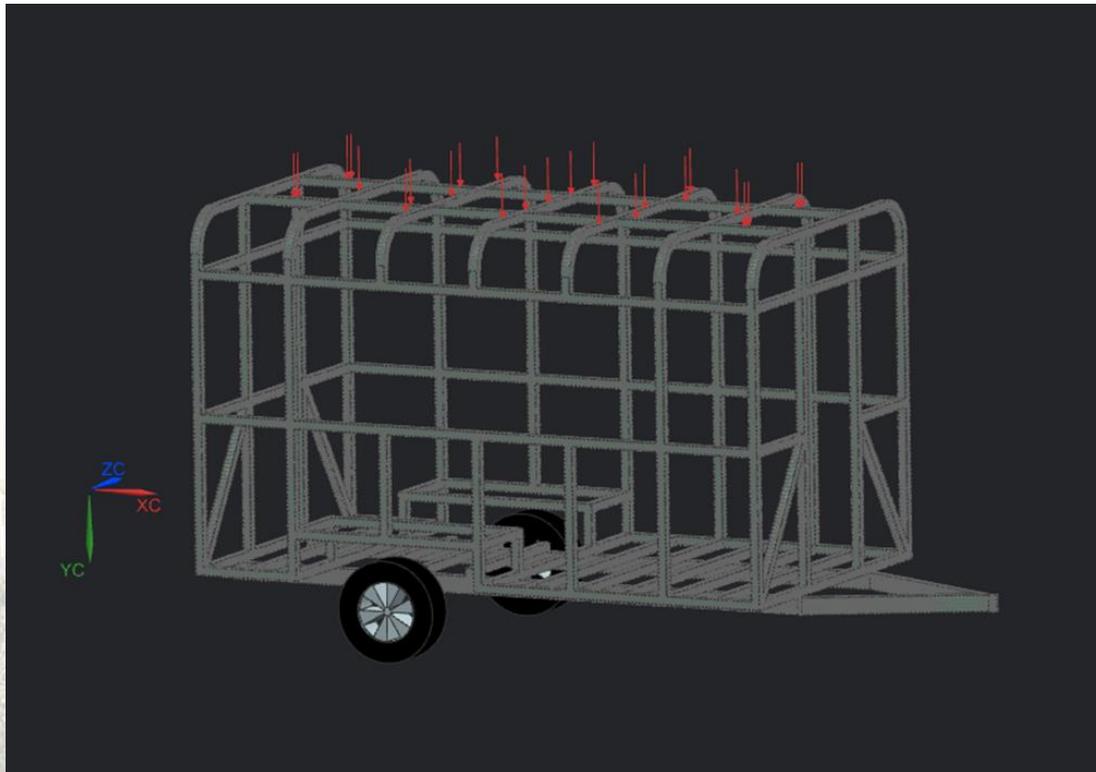
Max = 6.28e+01
Min = 5.96e-02



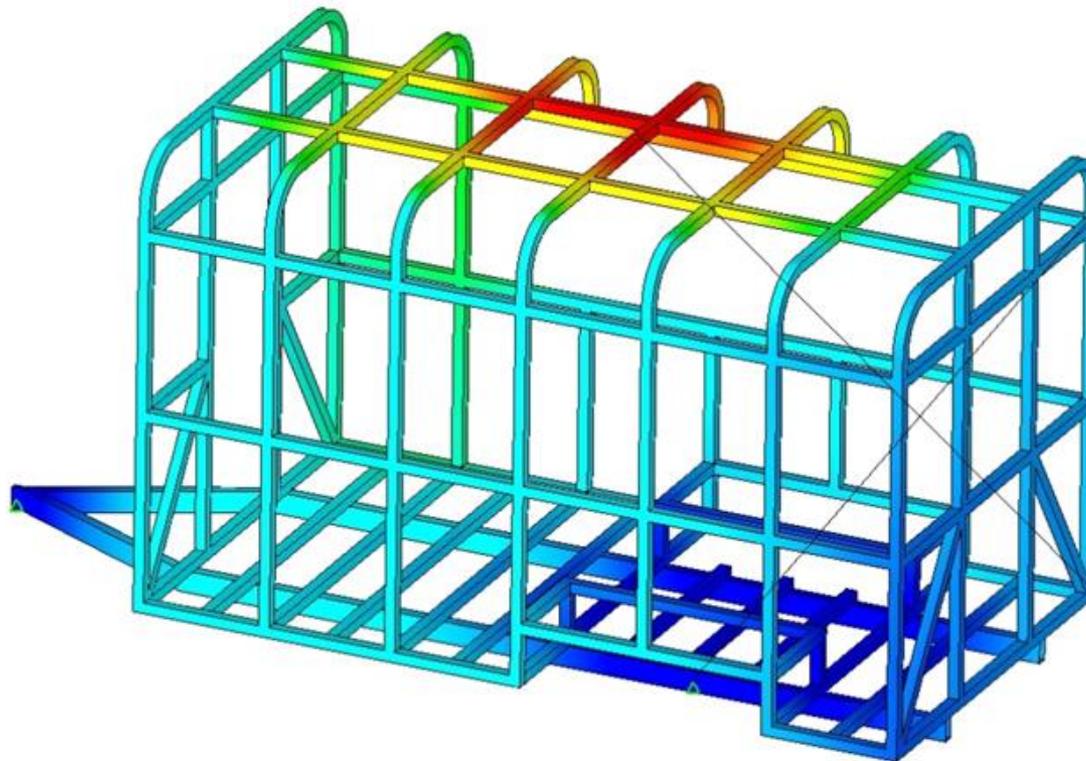
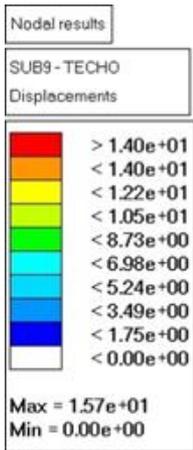
Sy = 317 MPa y Su = 400 MPa

Caso 9 – Carga en el techo

La estructura debe resistir una carga estática ubicada a lo largo del techo que sea la mitad de la carga aplicada en el piso y bastidor (M+V)



Deformación por aplicación de cargas combinadas Caso 9



4 Nodes share Min
First Min 14549

Max Node 26046

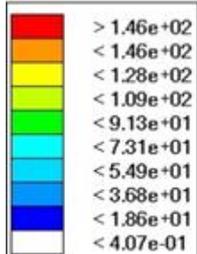
Restricción no pasar del 1/240 Long Total = 19.16 mm
Dejar libre espacio de supervivencia

Esfuerzos por aplicación de cargas combinadas CASO 9

Element results averaged at nodes

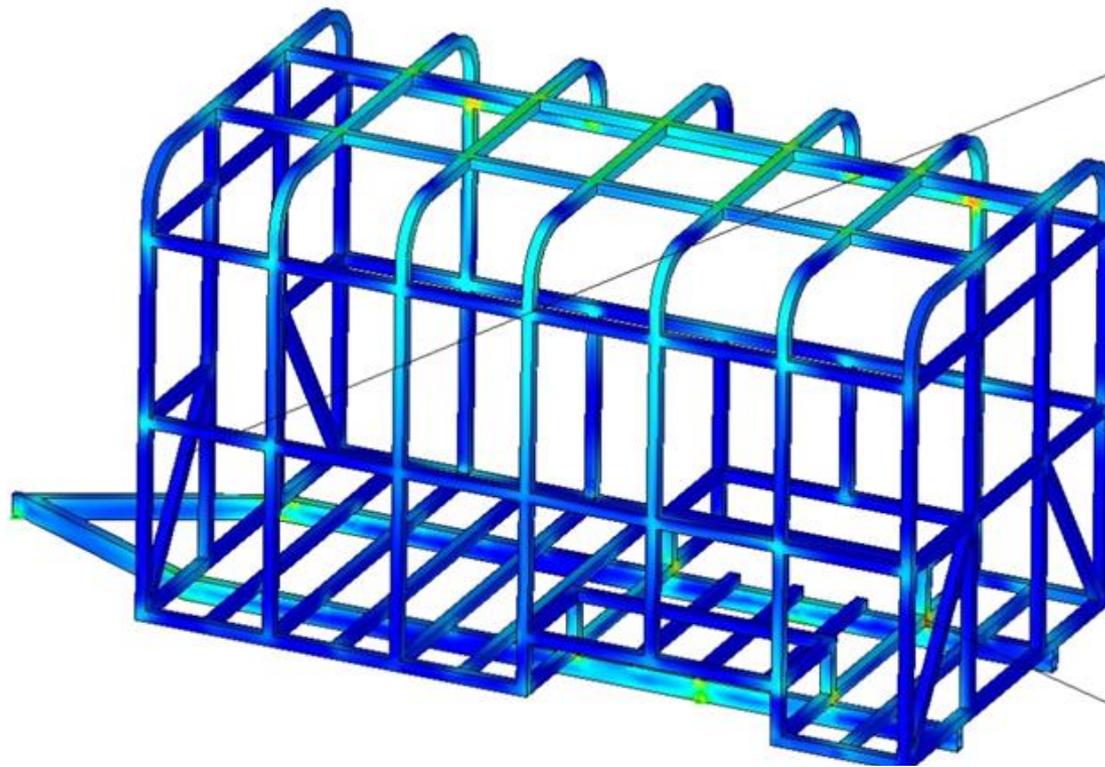
SUB9 - TECHO

Von Mises Stress

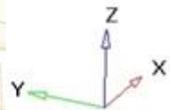


Max = 1.64e+02

Min = 4.07e-01



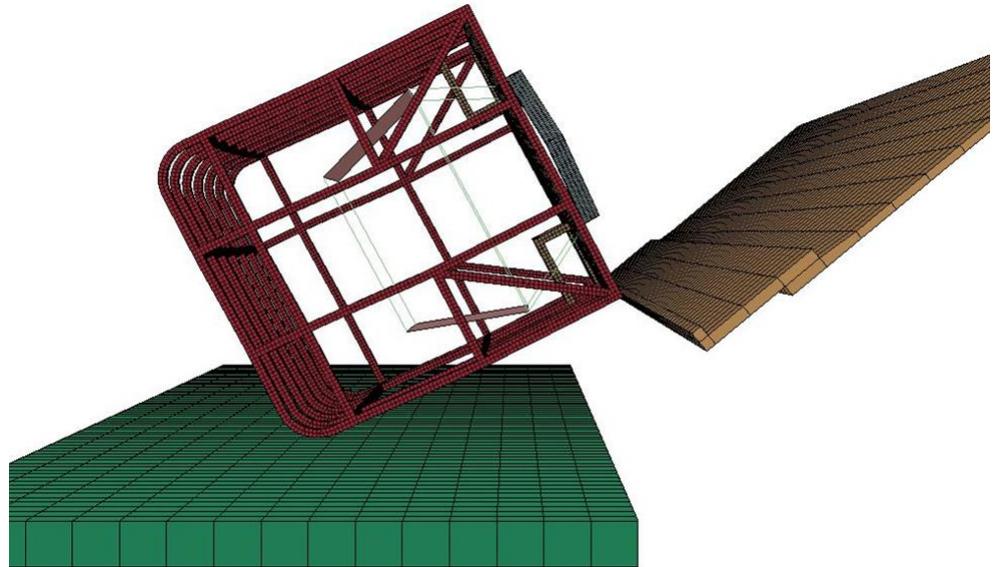
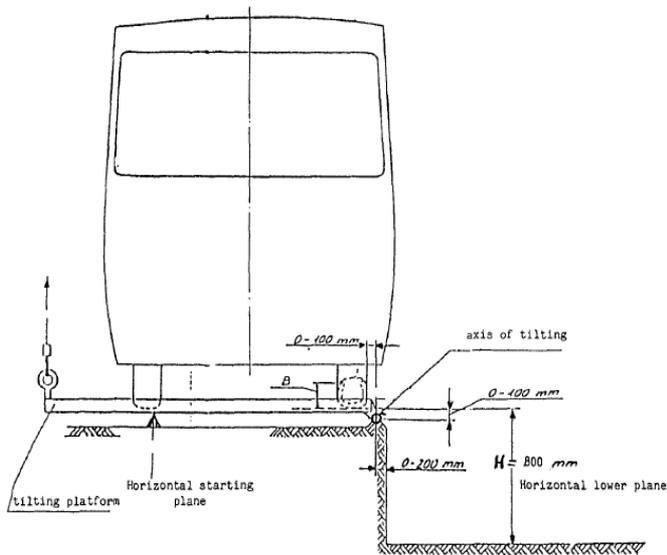
Min Node 9021



$S_y = 317 \text{ MPa}$ y $S_u = 400 \text{ MPa}$

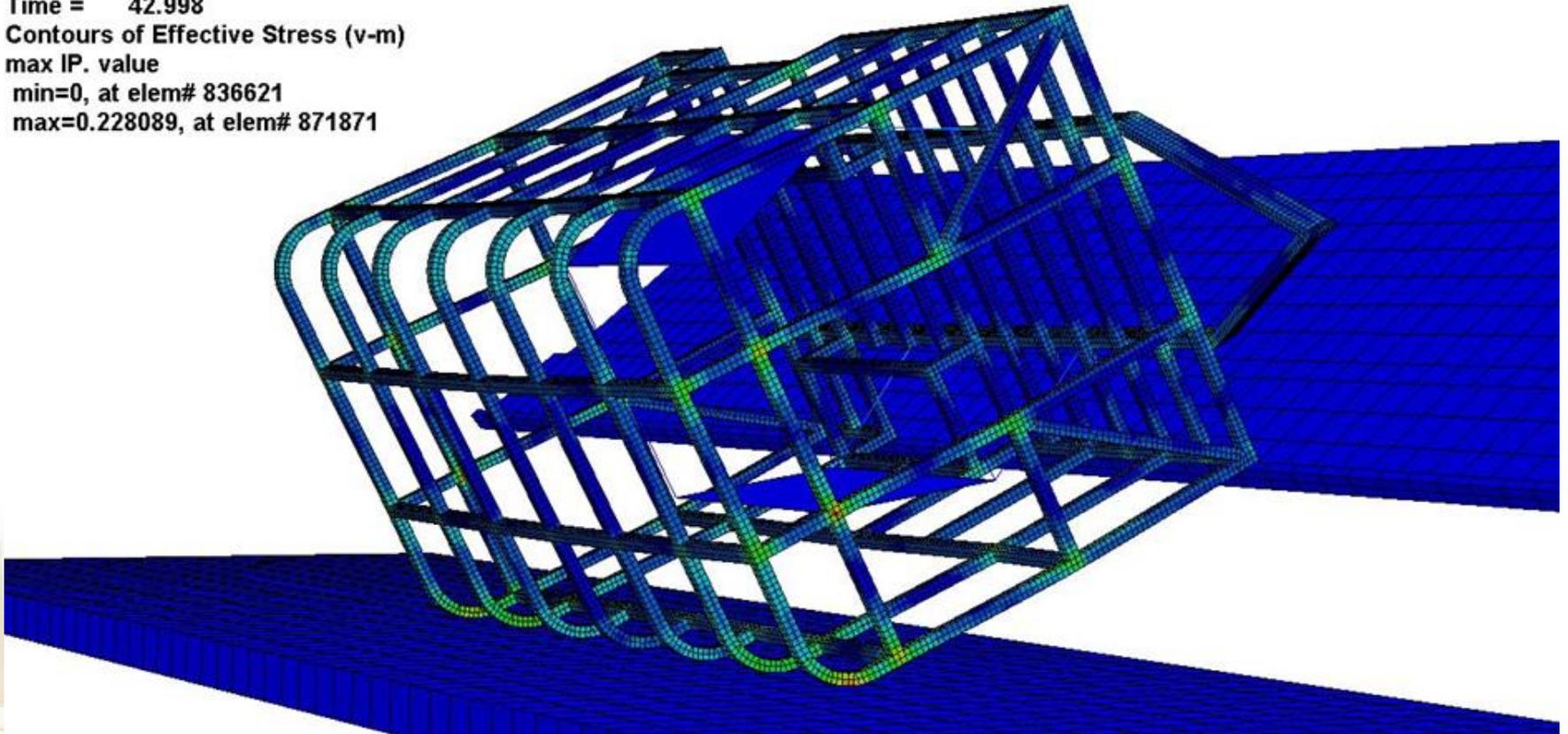
Max Node 39750

Caso 10 – Carga de volteo



Caso 10 – Carga de volteo

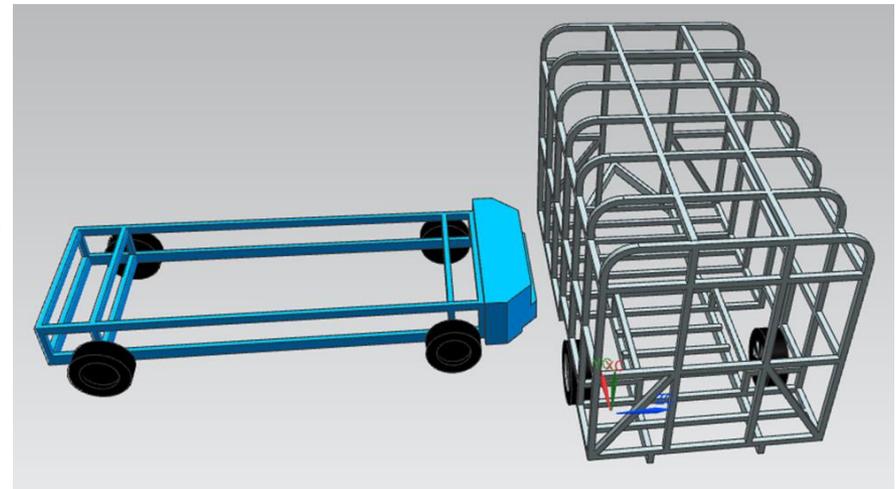
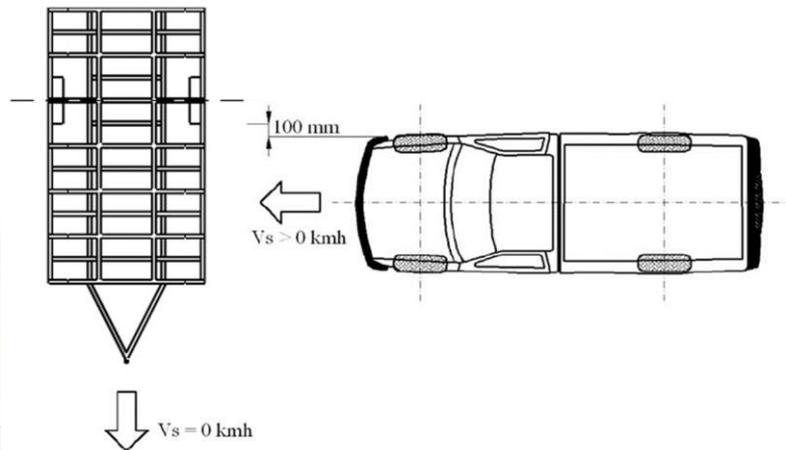
Time = 42.998
Contours of Effective Stress (v-m)
max IP. value
min=0, at elem# 836621
max=0.228089, at elem# 871871



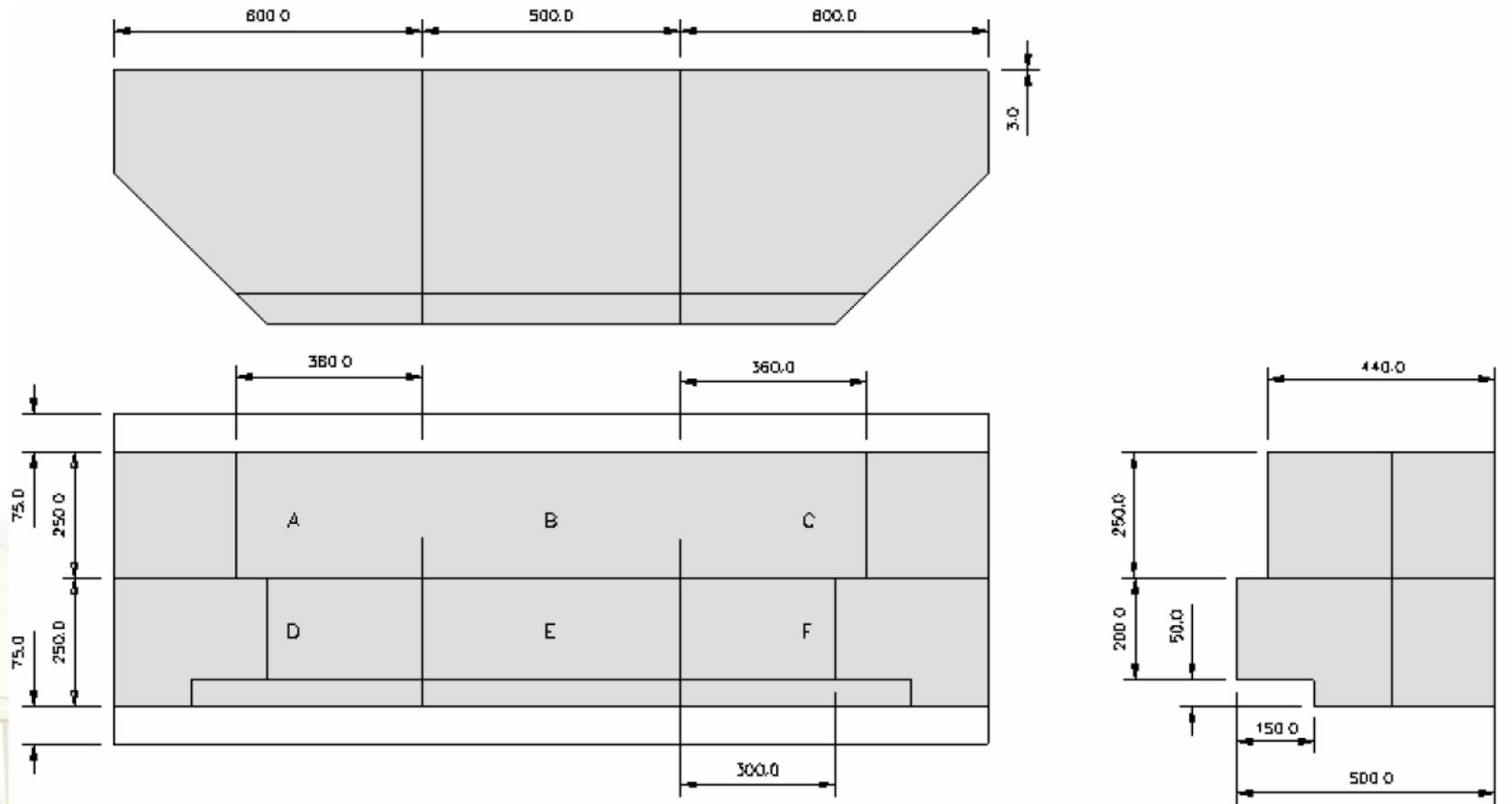
$S_y = 317 \text{ MPa}$ y $S_u = 400 \text{ MPa}$

Caso 11 – Impacto lateral

- se establece que el objeto de estudio en este caso el Food Truck, tiene que ser impactado a 50 Km/h por una barrera móvil de 1500 Kg en la parte lateral arriba indicada, con medidas de la barrera establecidas también bajo norma



Dimensiones de la Barrera



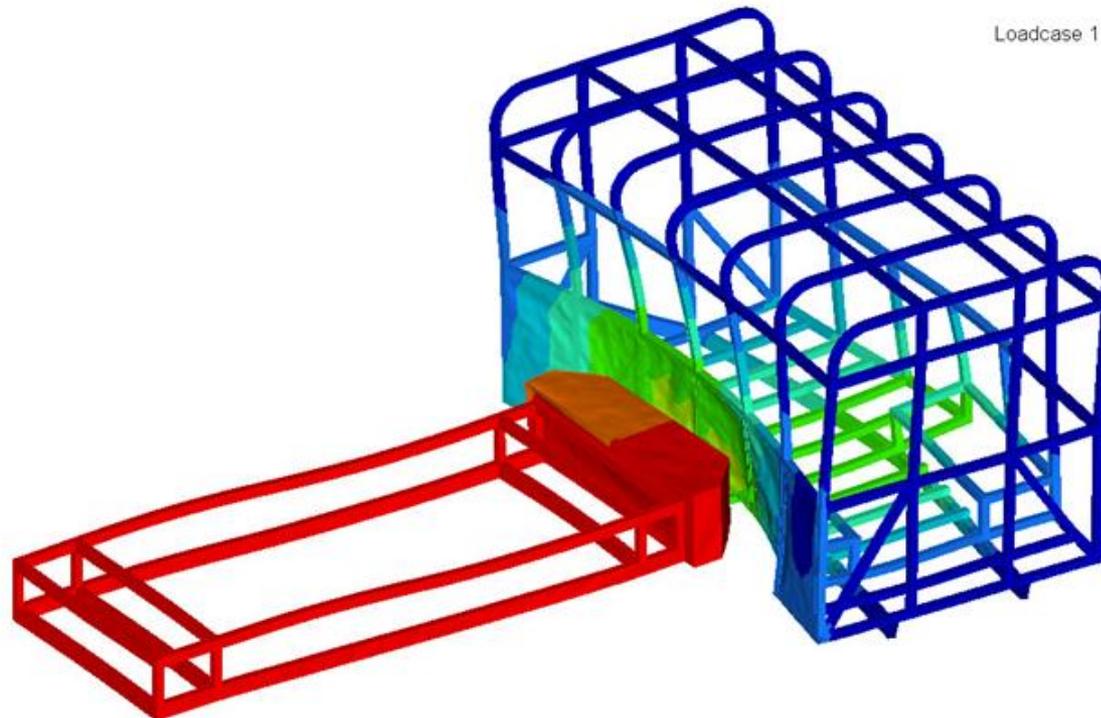
Caso 11 – Impacto lateral

Contour Plot
Displacement(Mag)
Analysis system

■	5.464E+02
■	4.857E+02
■	4.250E+02
■	3.643E+02
■	3.036E+02
■	2.429E+02
■	1.821E+02
■	1.214E+02
■	6.072E+01
■	0.000E+00
■	No result

Max = 5.464E+02
Node 138834
Min = 0.000E+00
Node 82545

1: impacto2
Loadcase 1 : Time = 1.2002e+001 : Frame 25



Comparación de los cálculos y validación de resultados

- Resistencia de Materiales
- Elementos finitos método directo
- Aplicación de software

Impulso y cantidad de movimiento

Datos para el cálculo de la fuerza de choque usando la teoría del impulso y cantidad de movimiento

Concepto	Valor
Velocidad inicial del Food Truck	Cero
Velocidad de la barrera móvil	50 Km/h
Tiempo de contacto en el choque	20 ms
Masa del Food Truck (Carga muerta + carga viva)	1181.49 Kg (m1)
Masa de la barrera móvil	1500 Kg (m2)

Nota: Estos datos son tomados en base a la información generada para calcular los requerimientos de las normas antes citadas

Conceptos de los factores utilizados en las fórmulas

Concepto	Sigla
Cantidad de movimiento	P
Masa	m
Velocidad	V
Velocidad Resultante	VR
Variación de la cantidad de movimiento	I
Fuerza	F
Tiempo	t

Nota: Siglas utilizadas en el desarrollo del cálculo de los datos

Impulso y cantidad de movimiento

$$P_1 = P_2$$

$$m_1 V_{o1} + m_2 V_{o2} = m_1 V_{f1} + m_2 V_{f2} \quad (10)$$

Por ser un choque totalmente inelástico las masas se suman:

$$VR = \frac{m_1 V_{o1} + m_2 V_{o2}}{m_1 + m_2} \quad (11)$$

$$VR = 27.97 \frac{Km}{h}$$

Entonces se puede calcular la fuerza necesaria para producir este movimiento del Food Truck:

$$I = \Delta P = P_f - P_o \quad (12)$$

$$P = mV$$

Impulso y cantidad de movimiento

$$I = \Delta P = m V_f - m V_o$$

$$I = \Delta P = 1181.49 \text{ Kg} \left(27.97 \frac{\text{Km}}{\text{h}} - 0 \right)$$

$$I = 9\,179.52 \text{ Kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$F = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

$$F = 458\,976.05 \text{ N}$$

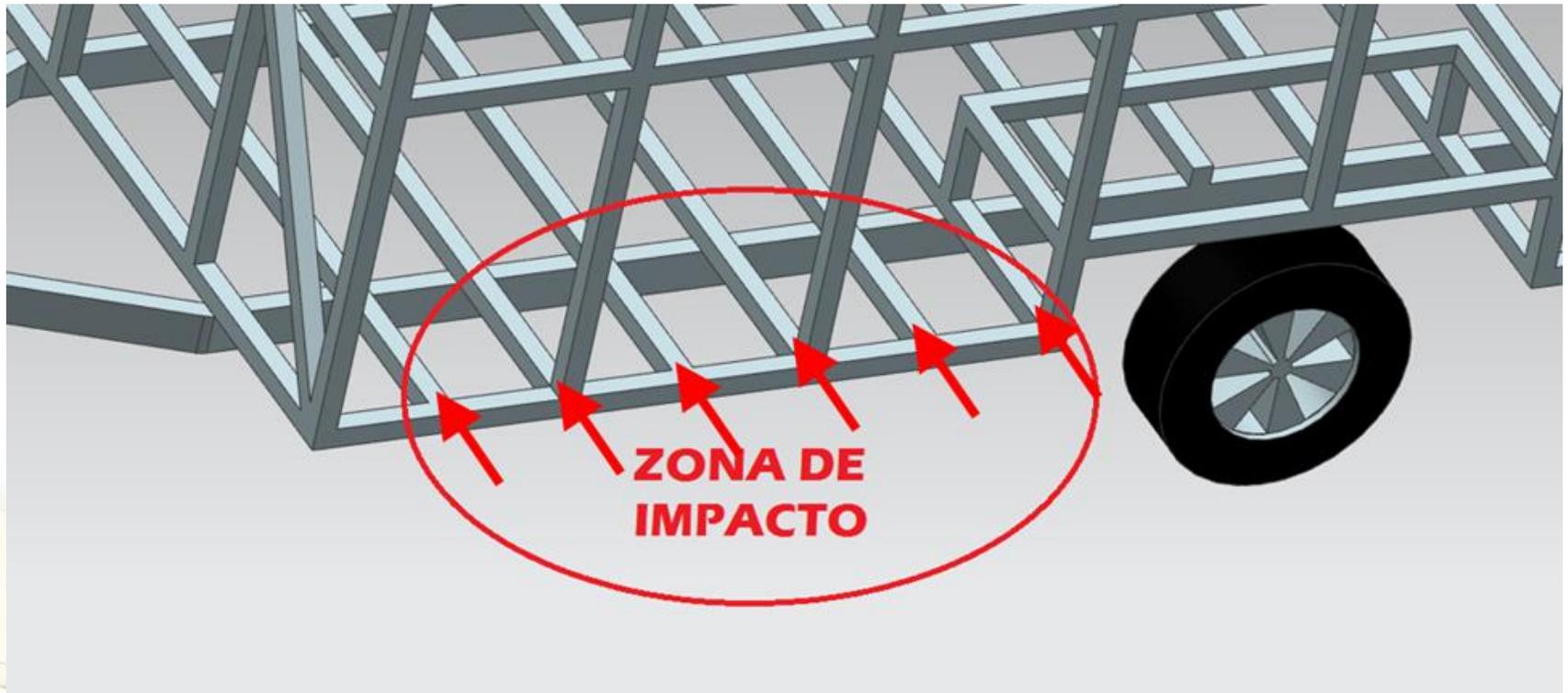
La zona de impacto distribuirá esta fuerza entre las barras que sostienen la viga lateral.

Para analizar la deformación en las barras se divide la fuerza entre 6 soportes (**Figura 28**) y se tiene la fuerza individual:

$$F_i = \frac{F}{6}$$

$$F_i = 76\,496.01 \text{ N}$$

Impulso y cantidad de movimiento



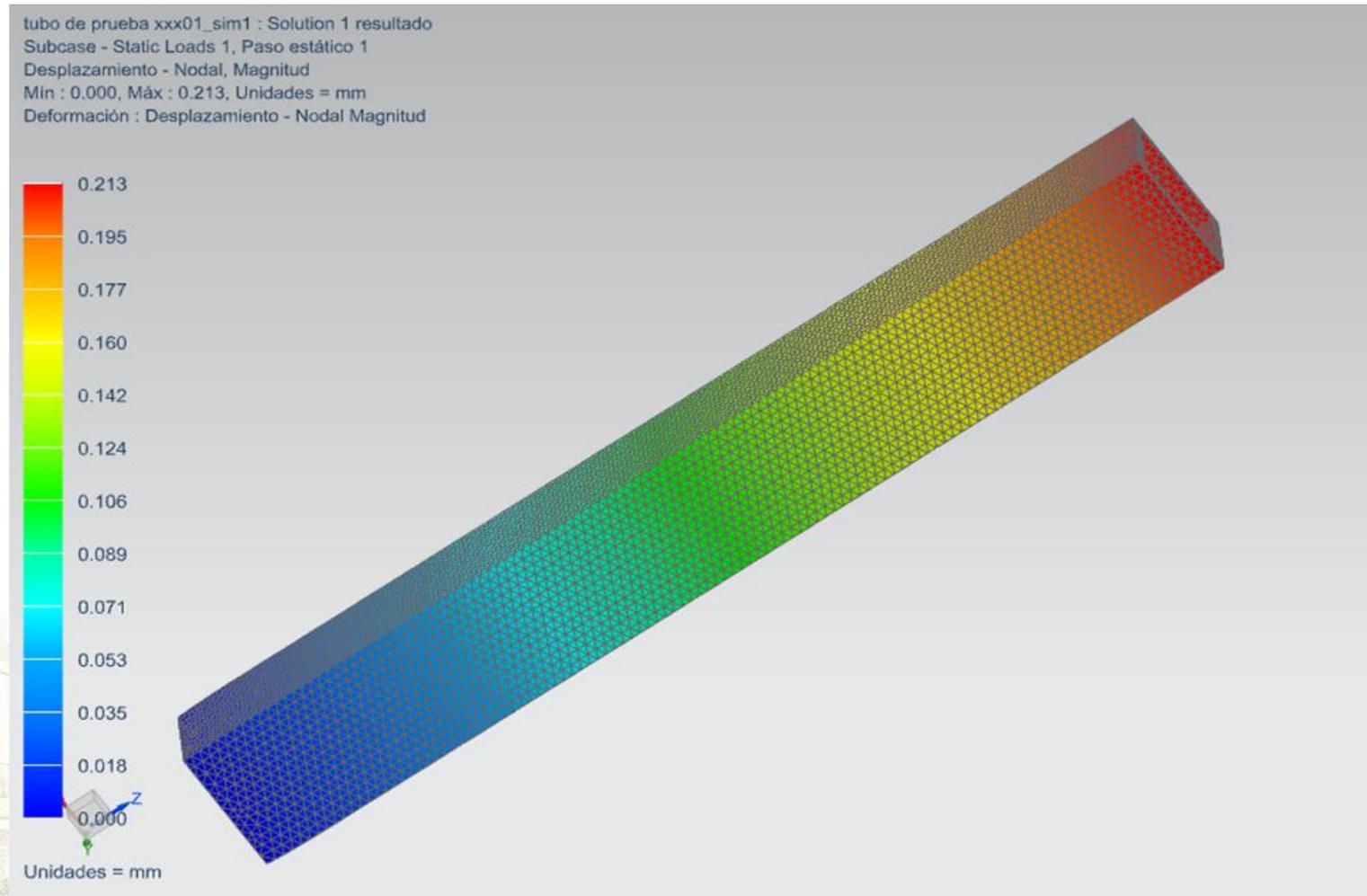
Resistencia de materiales

$$\delta = \frac{F L}{A E}$$

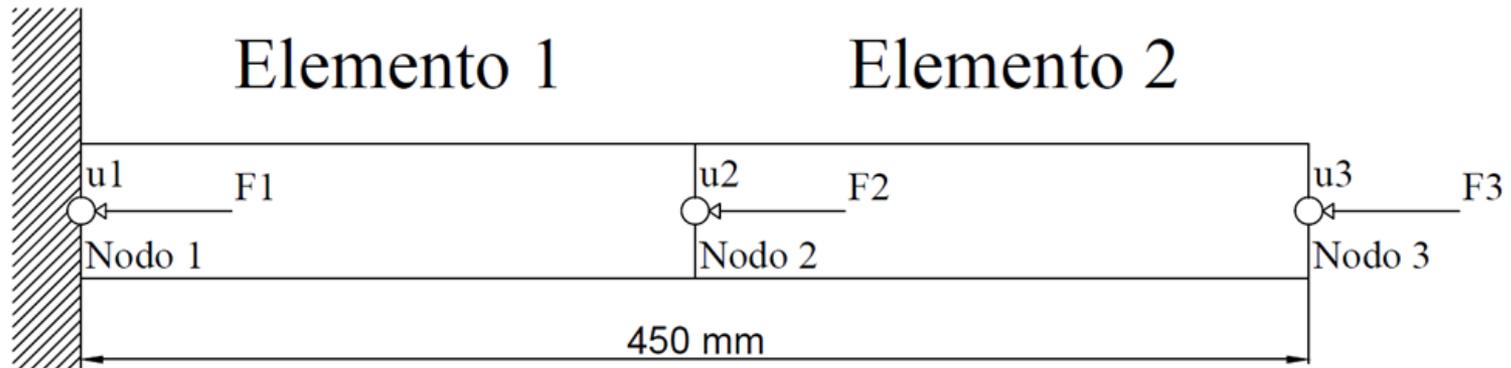
$$\delta = \frac{76\,496.01 \times 450 \text{ mm}}{736 \text{ mm}^2 \cdot 207 \text{ GPa}}$$

$$\delta = 0.221 \text{ mm}$$

Análisis por software



Elementos finitos método directo



Condiciones de frontera para resolver el mismo caso por el método de elementos

Concepto	Valor
Desplazamiento u_1	0
Fuerza F_2	0
Fuerza F_3	76 496.01 N
Fuerza F_1	Incógnita
Desplazamiento u_2	Incógnita
Desplazamiento u_3	Incógnita

Nota: Valores de cada nodo propuesto para la resolución del ejercicio

$$[F] = [K] [u]$$

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{il} & K_{lj} \\ K_{ji} & K_{jj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K11 & K12 \\ K21 & K22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} K & -K \\ -K & K \end{bmatrix}$$

$$u = \frac{FL}{AE}$$

$$K = \frac{EA}{L}$$

$$K = \frac{207 \text{ GPa} \times 736 \text{ mm}^2}{225 \text{ mm}}$$

$$K = 677 \text{ 120 000} \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Para el elemento 1:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 677 \text{ 120 000} & -677 \text{ 120 000} \\ -677 \text{ 120 000} & 677 \text{ 120 000} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \end{bmatrix}$$

Para el elemento 2:

$$\begin{bmatrix} F2 \\ F3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 677 \text{ 120 000} & -677 \text{ 120 000} \\ -677 \text{ 120 000} & 677 \text{ 120 000} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u2 \\ u3 \end{bmatrix}$$

Ensamblando las matrices para tener una matriz de rigidez global se generan las siguientes matrices:

Para el elemento 1 se tiene:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 677 \text{ 120 000} & -677 \text{ 120 000} & 0 \\ -677 \text{ 120 000} & 677 \text{ 120 000} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \end{bmatrix}$$

Para el elemento 2 se tiene:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 677 \text{ 120 000} & -677 \text{ 120 000} \\ 0 & -677 \text{ 120 000} & 677 \text{ 120 000} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \end{bmatrix}$$

Sistema global representado con la matriz de rigidez:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 677 \text{ 120 000} & -677 \text{ 120 000} & 0 \\ -677 \text{ 120 000} & 677 \text{ 120 000} + 677 \text{ 120 000} & -677 \text{ 120 000} \\ 0 & -677 \text{ 120 000} & 677 \text{ 120 000} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \end{bmatrix}$$

Aplicar las condiciones de frontera:

$$u1 = 0; F2 = 0; F3 = 76 \text{ 496.01 N}$$

Reemplazando en el vector de fuerzas y vector de desplazamiento en la matriz global:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ 0 \\ 76\,496.01\text{ N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 677\,120\,000 & -677\,120\,000 & 0 \\ -677\,120\,000 & 677\,120\,000 + 677\,120\,000 & -677\,120\,000 \\ 0 & -677\,120\,000 & 677\,120\,000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ u2 \\ u3 \end{bmatrix}$$

Se resuelve el sistema de ecuaciones y se obtiene dos subsistemas:

$$F1 = -677\,120\,000\, u2$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 76\,496.01\text{ N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1\,354\,240\,000 & -677\,120\,000 \\ -677\,120\,000 & 677\,120\,000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u2 \\ u3 \end{bmatrix}$$

Resolviendo las matrices con el *Open Software Scilab*:

$$K = [1\,354\,240\,000, -677\,120\,000; -677\,120\,000, 677\,120\,000]$$

$$F = [0; 76\,496.01\text{ N}]$$

$$u = K^{-1}F$$

Scilab 6.0.0 Console

Archivo Editar Control Aplicaciones ?



Scilab 6.0.0 Console

```
--> K=[1354240000,-677120000;-677120000,677120000]
K =
```

```
1.354D+09 -6.771D+08
-6.771D+08 6.771D+08
```

```
--> F=[0;76496.01]
F =
```

```
0.
76496.01
```

```
--> U=inv(K)*F
U =
```

```
0.000113
0.0002259
```



```
--> |
```

Explorador de variables

	Nombre	Value	Tipo	Visibilidad
	F	[0; 7.65e...	Double	local
	K	[1.35e+0...	Double	local
	U	[0.000113...	Double	local

Historial de comandos

```
--// -- 06/08/2017 15:16:26 --//
k
K=[1354240000,-677120000,-677120000,6771
K=[1354240000,-677120000;-677120000,6771
F=[0;76496.01]
U=inv(K)*F
```

Comparativo de resultados obtenidos con diferentes métodos

Conceptos de resistencia de
materiales - Esfuerzo deformación

Software de Elementos finitos

Elementos finitos método directo

0.221 mm

0.213 mm

0.225 mm

Nota: Resultados muy similares con una diferencia mínima comparada con la magnitud de la fuerza aplicada en la parte analizada

Conclusiones

- Se obtuvo un modelo de Food Truck que cumple con la norma del Municipio de Quito
- Se analizó la estructura del modelo de Food Truck propuesto y se sometió a distintas cargas estáticas y dinámicas conforme a las normas señaladas y se constató que cumple con los requerimientos de seguridad para proteger a los ocupantes
- Se plantea una metodología de trabajo para determinar la resistencia de la estructura bajo cargas estáticas y dinámicas

Recomendaciones

- Para futuras tesis se recomienda que la UISEK adquiriera licencias de uso estudiantil de software especializado en pruebas sobre objetos bajo cargas dinámicas, estos pueden ser HyperWorks y Ansys.
- Como estrategia a futuro se deberían organizar reuniones interinstitucionales entre la universidad e industrias para determinar las áreas con mayor expansión para que los estudiantes orienten sus tesis a generar productos que tengan más opciones de ser ofrecidos a empresas y ciudadanía en general y ser parte creativa para el cambio de la matriz productiva.
- La universidad debería realizar convenios con empresas que validan las carrocerías para autobuses fabricados en el Ecuador para adquirir conocimientos que serán ocupados en la fabricación de autopartes.

GRACIAS

