



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado

ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS
ELEMENTOS FINITOS DE UN CHASIS DE CABINA DE UN ASCENSOR
TIPO ELÉCTRICO PARA FOSO Y HUIDA REDUCIDOS

STRUCTURAL ANALYSIS BY MEANS OF THE FINITE ELEMENT
METHOD OF A CAR FRAME OF AN ELECTRIC TYPE LIFT FOR
LIMITED PIT AND CLEAR OVERHEAD

Autor:

Daniel Laborda Menoyo

Director:

Javier Óscar Abad Blasco

Codirector:

Sonia Gil Esteban

Grado en Ingeniería Mecánica
Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza
Febrero 2022



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe remitirse a seceina@unizar.es dentro del plazo de depósito)

D./D^a.

,
en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de
11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se
aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,
Declaro que el presente Trabajo de Fin de Estudios de la titulación de
(Título del Trabajo)

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser
citada debidamente.

Zaragoza,

Fdo:

Resumen

En este proyecto se ha llevado acabo el diseño, cálculo y análisis estructural del chasis de cabina de un ascensor tipo eléctrico con posibilidad de foso y/o huida reducidos, con una capacidad de hasta 8 personas con carga útil “Q” y peso total “P+Q” máximos de 630 kg y 1550 kg respectivamente.

El cálculo y análisis estructural se ha realizado mediante el método de los elementos finitos mediante simulación con el software comercial SolidWorks considerando un comportamiento elástico del material.

En una primera fase, se ha realizado una descripción, cálculos y selección de cada uno de los componentes de una instalación típica de un ascensor tipo eléctrico para personas y personas y cargas, (sistema de suspensión, sistema de guiado, sistema de seguridad, sistema de amortiguamiento, contrapeso, cabina, chasis, puertas de embarque...) cumpliendo la norma UNE-EN81 y sus diferentes partes.

Posteriormente, siguiendo las pautas que marca la norma, se ha realizado el cálculo dimensional del hueco, foso, recorrido y huida mínimos permitidos y mediante los softwares LiftDesign y AutoCAD los planos que representan dimensionalmente los elementos descritos anteriormente y que conforman la instalación.

Una vez hecho esto, se ha realizado el modelado y ensamblaje del chasis de la cabina y la cabina utilizando el módulo de superficies y relaciones de posición de SolidWorks teniendo en cuenta los espesores que tiene cada pieza.

De manera introductoria al análisis estructural del chasis de la cabina, se explica de forma resumida la formulación general del problema elástico y los métodos diferenciales más comunes y en particular el método de los elementos finitos.

Finalmente se procede a describir el sistema y el modelo de elementos finitos utilizados así como las hipótesis de carga, condiciones de contorno y cargas aplicadas, obteniendo los resultados en términos de desplazamientos y tensiones producidas.

Una vez obtenidos los resultados se realiza una propuesta de mejora del chasis de la cabina optimizándolo y reduciendo las tensiones y desplazamientos producidos.

Contenido

MEMORIA	6
1.1. Objeto	7
1.2. Introducción	8
1.2.1. Historia y situación actual	8
1.3. Cálculo y selección de elementos más relevantes de la instalación	9
1.4. Diseño, cálculo y análisis estructural del chasis de cabina	14
1.4.1. Descripción del sistema	15
1.4.2. Descripción del modelo de elementos finitos	16
1.4.3. Hipotesis de carga y condiciones de contorno	18
1.4.4. Cargas aplicadas en el modelo	19
1.4.5. Resultados	20
1.4.5.1. Tensiones y desplazamientos en el análisis elástico	25
1.4.5.2. Propuesta de mejora del chasis de la cabina	27
1.5. Conclusiones	28
BIBLIOGRAFÍA	29
ANEXO I: CARACTERÍSTICAS, CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS MÁS RELEVANTES	31
1.1. Sistema de suspensión	33
1.1.1. Elementos del sistema de suspensión	34
1.1.1.1. Cables	34
1.1.1.1.1. Cálculo y selección de los cables de suspensión	35
1.1.1.1.1.1. Cálculo de la longitud de los cables	36
1.1.1.2. Poleas	37
1.1.1.3. Tecnología gearless	39
1.1.1.4. Máquina y bancada de la maquina	40
1.2. Contrapeso y masa no equilibrada	43
1.3. Cabina	44
1.3.1. Elementos de la cabina	45
1.3.2. Cálculo dimensional de la cabina	46
1.3.3. Superficie de la cabina	46
1.3.4. Número de pasajeros	47
1.4. Sistema de seguridad	48
1.4.1. Amortiguadores de cabina y contrapeso	48
1.4.2. Limitador de velocidad	49
1.4.3. Paracaídas	50
1.5. Sistema de guiado	52
1.5.1. Selección de las guías	53
1.6. Puertas de embarque	55
1.6.1. Tipos de puertas	55
1.6.2. Puertas de piso	56
1.6.3. Puertas de cabina	57
1.6.4. Enclavamiento y operador	58
1.7. Chasis de cabina	61
1.7.1. Elementos del chasis de cabina	63
1.7.1.1. Travesaño superior	64
1.7.1.2. Largueros	64
1.7.1.3. Soporte inferior	65
1.7.2. Características técnicas del chasis de cabina	66
1.8. Hueco de la instalación	70
1.8.1. Cálculo dimensional del hueco	71
1.8.2. Replanteo	71
1.8.3. Foso	72
1.8.3.1. Cálculo del foso	73
1.8.4. Huida	74
1.8.4.1. Cálculo de la huida	77
1.8.5. Recorrido y altura total del hueco	80
1.6. Toma de pedido real	81

ANEXO II: PLANOS DE LA INSTALACIÓN	83
2.1. 00 INDICE	84
2.2. 01 PLANTA.....	85
2.3. 01B PLANTA ELECTRICA.....	86
2.4. 02 ALZADO LATERAL.....	87
2.5. 02B ALZADO LATERAL ELECTRICO	88
2.6. 02C PERFIL LATERAL	89
2.7. 03 ALZADO DISTRIBUCION GUIAS Y SOPORTES	90
2.8. 03B DETALLE FIJACIONES EN HUIDA	91
2.9. 04 VIGAS Y GANCHOS DE MONTAJE	92
2.10. 04B BANCADA Y MAQUINA.....	93
2.11. 05 PLANTA FOSO	94
2.12. 05B PLANTA ANDAMIO	95
2.13. 05C ALZADO ANDAMIOS	96
2.14. 06 DETALLE HUECO PUERTA	97
2.15. 07 HUIDA.....	98
2.16. 08 DETALLE DE FOSO.....	99
ANEXO III: MODELADO Y ENSAMBLAJE DEL CHASIS DE CABINA	100
3.1. Modelado del travesaño superior.....	102
3.1.1. Modelado del panel superior	104
3.1.2. Modelado de las fijaciones y amarres superiores	107
3.1.2.1. Pieza 1: Amarre superior	108
3.1.2.2. Pieza 2: Fijación a cabina	110
3.1.2.3. Pieza 3: Fijación a panel.....	112
3.1.3. Modelado de los refuerzos laterales.....	113
3.2. Ensamblaje del travesaño superior	116
3.3. Modelado del soporte inferior	117
3.3.1. Perfil UPN 140	118
3.3.2. Perfiles laterales	121
3.3.3. Chapa amarre de cables	125
3.3.4. Celulas de carga y chapas de apoyo de cabina.....	127
3.4. Ensamblaje del soporte inferior	128
3.5. Modelado de los largueros	129
3.6. Modelado de las rozaderas y paracaídas	133
3.7. Ensamblaje final	136
ANEXO IV: MODELADO Y ENSAMBLAJE DE LA CABINA	137
4.1. Modelado de los paños y jambas de la cabina.....	139
4.2. Modelado del suelo y techo de la cabina.....	141
4.3. Modelado de la pisadera de la cabina	145
4.4. Ensamblaje de la cabina	147
ANEXO V: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL CHASIS DE LA CABINA	148
5.1. Introducción al método de los elementos finitos	149
5.2. Descripción del sistema.....	154
5.3. Descripción del modelo de elementos finitos.....	155
5.4. Hipótesis de carga y condiciones de contorno.....	157
5.5. Cargas aplicadas en el modelo	158
5.5.1. Especificaciones técnicas de la tornillería y precarga aplicada	159
5.6. RESULTADOS	162
5.7. RESULTADOS GRAFICOS CASO REAL	167
5.7.1. Hipótesis 1: Uso normal – En movimiento	167
5.7.1.1. Tensiones	167
5.7.1.1.1. Carga descentrada en el eje X.....	167
5.7.1.1.2. Carga descentrada en el eje Z.....	170
5.7.1.2. Desplazamientos.....	173
5.7.1.2.1. Carga descentrada en el eje X.....	173
5.7.1.2.2. Carga descentrada en el eje Z.....	177

5.7.2.	Hipótesis 2: Uso normal – Carga y descarga	181
5.7.2.1.	Tensiones	181
5.7.2.2.	Desplazamientos.....	184
5.7.3.	Hipótesis 3: Actuación del dispositivo de seguridad	188
5.7.3.1.	Tensiones	188
5.7.3.1.1.	Carga descentrada en el eje X.....	188
5.7.3.1.2.	Carga descentrada en el eje Z.....	191
5.7.3.2.	Desplazamientos.....	194
5.7.3.2.1.	Carga descentrada en el eje X.....	194
5.7.3.2.2.	Carga descentrada en el eje Z.....	198
5.7.4.	Hipótesis 4: Impacto contra buffer.....	202
5.7.4.1.	Tensiones	202
5.7.4.1.1.	Carga descentrada en el eje X.....	202
5.7.4.1.2.	Carga descentrada en el eje Z.....	205
5.7.4.2.	Desplazamientos.....	208
5.7.4.2.1.	Carga descentrada en el eje X.....	208
5.7.4.2.2.	Carga descentrada en el eje Z.....	212
5.8.	PROPUESTA DE MEJORA	216
5.9.	RESULTADOS GRAFICOS PROPUESTA DE MEJORA.....	217
5.9.1.	Hipótesis 1: Uso normal – En movimeinto	217
5.9.1.1.	Tensiones	217
5.9.1.1.1.	Carga descentrada en el eje X.....	217
5.9.1.1.2.	Carga descentrada en el eje Z.....	220
5.9.1.2.	Desplazamientos.....	223
5.9.1.2.1.	Carga descentrada en el eje X.....	223
5.9.1.2.2.	Carga descentrada en el eje Z.....	227
5.9.2.	Hipótesis 2: Uso normal – Carga y descarga	231
5.9.2.1.	Tensiones	231
5.9.2.2.	Desplazamientos.....	234
5.9.3.	Hipótesis 3: Actuación del dispositivo de seguridad	238
5.9.3.1.	Tensiones	238
5.9.3.1.1.	Carga descentrada en el eje X.....	238
5.9.3.1.2.	Carga descentrada en el eje Z.....	241
5.9.3.2.	Desplazamientos.....	244
5.9.3.2.1.	Carga descentrada en el eje X.....	244
5.9.3.2.2.	Carga descentrada en el eje Z.....	248
5.9.4.	Hipótesis 4: Impacto contra buffer.....	252
5.9.4.1.	Tensiones	252
5.9.4.1.1.	Carga descentrada en el eje X.....	252
5.9.4.1.2.	Carga descentrada en el eje Z.....	255
5.9.4.2.	Desplazamientos.....	258
5.9.4.2.1.	Carga descentrada en el eje X.....	258
5.9.4.2.2.	Carga descentrada en el eje Z.....	262

Memoria

1.1. Objeto

El proyecto pretende abarcar el diseño, cálculo y análisis estructural de un chasis de cabina de un ascensor tipo eléctrico con posibilidad de foso y/o huida reducidos, con una capacidad de hasta 8 personas ($Q=630$ kg), un $P+Q$ máximo de 1550 Kg y cabina de dimensiones 1100x1400 mm.

Para ello, en una primera parte, se describirán y se realizará el cálculo, dimensionamiento y selección de los elementos más relevantes de una instalación típica de un ascensor tipo eléctrico, y seguidamente se procederá con el modelado y análisis estructural del chasis de cabina.

El replanteo y dimensionamiento se ceñirán a la norma UNE-EN81 y sus diferentes partes, y se utilizarán pautas e instrucciones técnicas además de los programas AutoCAD y LiftDesign para la elaboración de los diferentes planos de la instalación.

Con el software SolidWorks se modelará el chasis y una cabina tipo para transmitir parte de la carga y se realizará el análisis resistente de la estructura mediante el método de los elementos finitos.

1.2. Introducción

1.2.1. Historia y situación actual

La construcción vertical, ha cambiado definitivamente la fisionomía de las ciudades y es un factor importante que ha influido en el desarrollo de las ciudades y el ser humano.

Los ascensores o elevadores son uno de los sistemas de transporte más extendidos en la sociedad actual y están diseñados para satisfacer las necesidades de movilidad vertical de manera eficiente para una gran variedad de sectores.

Se puede definir al ascensor como “Aparato elevador permanentemente instalado que sirve niveles de acceso definidos, incluyendo una cabina cuyas dimensiones y construcción permiten claramente el acceso de pasajeros.” – (AEN/ CTN 58 Maquinaria de elevación y transporte, 2011)

El hecho de que el ascensor se haya convertido en un elemento tan extendido e imprescindible, suponiendo una gran comodidad para millones de usuarios en el mundo de hoy en día es, en gran parte, gracias a uno de los físicos más importantes de la antigüedad; Arquímedes de Siracusa (287 a.C – 212 a.C.)

Arquímedes, entre otros muchos descubrimientos, descubrió el tornillo sin fin, principio en el que se basan los elevadores y transportadores utilizados hoy en día y, desarrolló un dispositivo elevador que funcionaba con cables de cáñamo y poleas movidas por el hombre. Entre los lugares que instauró el tornillo sin fin y el ascensor, destaca el Anfiteatro de Flavio, o comúnmente conocido Coliseo de Roma, así como también el Palacio de Nerón donde se encontró una descripción detallada del mecanismo de elevación. ^[12]

Los ascensores han evolucionado a lo largo del tiempo, desde los primeros sistemas de elevación formados por palancas, poleas, planos inclinados, rodillos o tornillos sin fin, pasando por sistemas de elevación accionados por máquinas de vapor para la elevación de carbón desde las minas, hasta llegar a la versión de ascensor que conocemos hoy en día.

Elisha Graves Otis en 1853, produjo un gran avance resolviendo el problema de fallo de cable creando un nuevo dispositivo de seguridad y, posteriormente en 1857, el primer ascensor de servicio de pasajeros del mundo se instaló en un hotel de cinco pisos en Broadway, Nueva York. ^[26]

En 1867 se reconoció la facilidad del manejo del ascensor de accionamiento hidráulico cuando Leon Edoux presentó uno con esas características en la Exposición de París. Con una velocidad máxima de 150 metros por minuto, los ascensores de accionamiento hidráulico comenzaron a aparecer en 1878 y su uso se extendió ampliamente en Europa y Estados Unidos.

Unos años más tarde en 1889, Norton Otis, hijo del pionero Elisha, desarrolló un ascensor eléctrico (el primer ascensor del mundo accionado mediante corriente continua), y lo instaló en el edificio Demarest Carriage en la Quinta Avenida de Nueva York.

Hoy en día, los principales tipos de ascensores que podemos encontrar son: ascensores eléctricos, ascensores hidráulicos, montacargas y montacargas para camas (montacamás) y coches (montacoches). Siendo el ascensor eléctrico el más utilizado en la mayoría de las instalaciones.

1.3. Cálculo y selección de elementos más relevantes de la instalación

Existe una multitud de componentes que forman una instalación típica de un ascensor eléctrico.

En la imagen siguiente se muestran representados los elementos más importantes de una instalación típica de un ascensor tipo eléctrico para pasajeros y pasajeros y cargas.

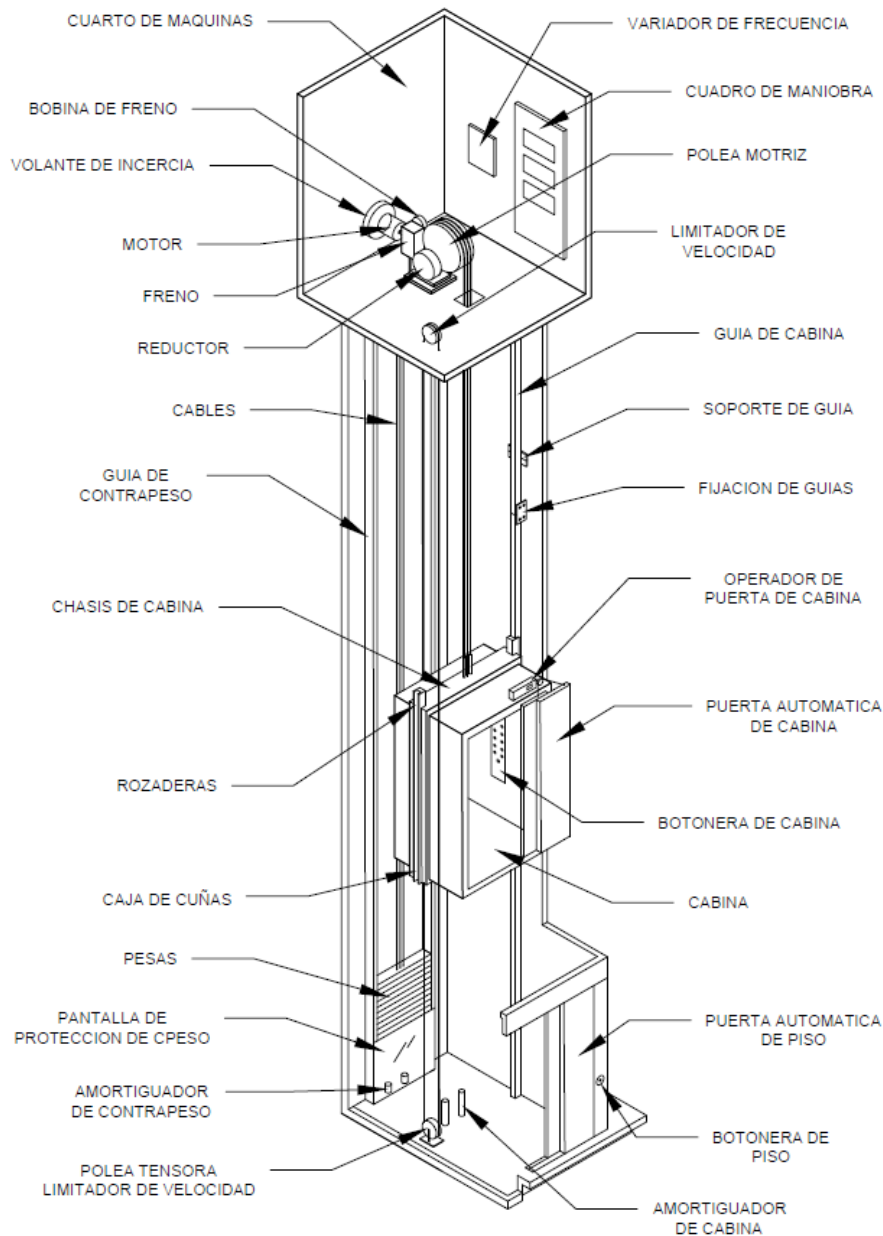


Ilustración 1 Elementos más relevantes de una instalación típica de un ascensor tipo eléctrico

Así pues, se puede resumir los elementos más relevantes de una instalación típica de un ascensor eléctrico en 10 grandes bloques que se enumerarán a continuación.

- Hueco de la instalación
- Sistema de suspensión
- Sistema de guiado
- Sistema de seguridad
- Sistema de amortiguamiento
- Tecnología de accionamiento
- Puertas de embarque
- Contrapeso
- Cabina
- Chasis de cabina

En el “Anexo I: Características, cálculos y selección de elementos más relevantes”, se ha realizado una descripción, cálculos y selección de cada uno de los componentes de una instalación típica de un ascensor tipo eléctrico para personas y personas y cargas, cumpliendo las Normas UNE-EN 81-20, UNE-EN 81-50, UNE-EN 81-21 y UNE-EN 81-70, y además se ha elaborado una toma de pedido real de la instalación.

No hay que olvidar que este proyecto pretende abarcar el diseño, cálculo y análisis estructural de un chasis de cabina con posibilidad de foso y/o huida reducidos, con una capacidad máxima de una carga útil de 630 kg y P+Q máximo de 1550 kg, y por tanto, el replanteo, así como el resto de elementos de la instalación se han realizado acordes a estas especificaciones.

En primer lugar se ha calculado y seleccionado el sistema de suspensión (cables, poleas y maquina tractora) atendiendo a las especificaciones que marca la normativa.

Así se han obtenido para la instalación propuesta un total de 10 cables (y 1 cable limitador de velocidad) de 8 cordones y alma textil FILLER PFEIFER P122 de diámetro $\varnothing 10$ mm y longitud 14350 mm con una carga de rotura mayorada de 60,76 kN y coeficiente de seguridad de 12. Con ello se ha calculado el diámetro (320 mm) y ancho (124 mm) necesario de la polea tractora, así como la maquina tractora maGO225/250/275 cuyas especificaciones se muestran a continuación.

SISTEMA DE SUSPENSION				
MAQUINA TRACTORA	POLEA TRACTORA		CABLES DE TRACCIÓN	CABLE LIMITADOR VELOCIDAD
	\varnothing (mm)	Ancho (mm)		
maGO225.1.240	320	124	10 cables FILLER PFEIFER P122 de $\varnothing 8$	1 cable FILLER PFEIFER P122 de $\varnothing 8$

Tabla 1 Sistema de suspensión

CARACTERISTICAS TCNICAS DE LA MAQUINA TRACTORA																	
maGO225.1.240	Carga Nom. (kg)	Par Nom. (Nm)	Int. Nom (A)	Pot (kW)	Carga Max.Eje (N)	Vn (m/s)	ØPolea (mm)	(Hz)	Tensión (V)	Polos	rpm	A/h	Duty	FRENO			Pes (Kg)
														M2n (Nm)	Potencia (W)	Tensión DC (V)	
	630	550	14.4	4.6	30000	1	240	9.3	400	14	80	180	40%	2x700	2x140	207	256

Tabla 2 Características técnicas de la maquina tractora

CARACTERÍSTICAS GEOMETRICAS DE LA MAQUINA TRACTORA						
maGO225.1.240	\varnothing Poleas: \varnothing D (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)	L5 (mm)
	320	728	606	410	53	386

Tabla 3 Características geométricas de la maquina tractora

Seguidamente se ha definido la funcionalidad del contrapeso y la masa no equilibrada así como calculado, siguiendo las especificaciones de la normativa y las de peso adoptadas (P+Q máximo de 1550 Kg con una Q útil de 630 Kg) la masa del contrapeso y la masa no equilibrada, siendo esas de 1235 Kg y 315 Kg respectivamente.

MASA DEL CONTRAPESO (Kg)	MASA NO EQUILIBRADA (Kg)
1235	315

Tabla 4 Contrapeso y masa no equilibrada

Posteriormente se ha descrito la cabina, así como su función y composición de los elementos que la conforman (incluyendo elementos que se colocan sobre ella como barandilla de seguridad, caja de conexiones, faldón, etc.), y se ha realizado un cálculo dimensional obteniendo con todo ello la superficie útil mínima y máxima así como la altura y número de pasajeros máximos que cumplen con la normativa incluyendo personas con discapacidad.

CARACTERÍSTICAS DE LA CABINA				
Q (Kg)	Altura de la cabina (mm)	Anchura de la cabina (mm)	Fondo de la cabina (mm)	Nº pasajeros máximos
630	2100	1100	1400	8

Tabla 5 Características de la cabina

A continuación se ha explicado el sistema de seguridad compuesto por amortiguadores de cabina y contrapeso, limitador de velocidad y paracaídas, seleccionado un limitador bidireccional con un diámetro de $\varnothing 200$ mm para velocidad nominal entre 0,2-1 m/s y un paracaídas tipo progresivo.

LIMITADOR DE VELOCIDAD	PARACAIDAS
BIDIRECCIONAL $\varnothing 200$ (mm) $V_n 0.2 - 1$ (m/s)	PROGRESIVO

Tabla 6 Sistema de seguridad

Seguidamente se han seleccionado las guías y fijaciones de unión, obteniendo para las guías de cabina y contrapeso unas Monteferro RF70.9 70/70/9 y RF70 70/65/9 respectivamente cuyas características mecánicas y geométricas se muestran a continuación.

GUIA DE CABINA	GUIA DE CONTRAPESO
MONTEFERRO RF70.9 70/70/9	MONTEFERRO RF70 70/65/9

Tabla 7 Guías

TIPO	SECCIÓN cm ²	PESO Kg/m	MOMENTO DE INERCIA cm ⁴		MOMENTOS DE RESISTENCIA DE LA SECCION cm ³		RADIO DE GIRO cm	
			I_{xx}	I_{yy}	W_{xx}	W_{yy}	i_{xx}	i_{yy}
RF 70.9 70/70/9	11,25	8,83	52,81	24,62	10,79	7,03	2,16	1,48
RF 70 T70-1/A	9,51	7,47	41,30	18,65	9,24	5,35	2,09	1,40

Tabla 8 Características técnicas de las guías

TIPO	a mm	b mm ($\pm 0,1$)	c mm ($\pm 0,1$)	d mm	e mm	f mm ($\pm 0,75$)	g mm	Sección cm ²	Peso Kg/m
RF 70.9 70/70/9	70	70	9	7,9	35	-	-	11,25	8.83
RF 70 T70-1/A	70	65	9	6	34	-	-	9,51	7,47

Tabla 9 Características geométricas de las guías

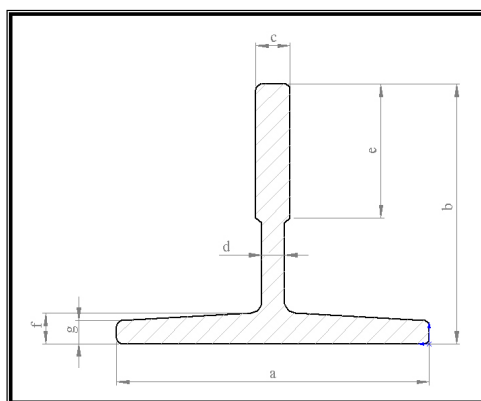


Ilustración 2 Sección de las guías [1]

La distribución de los tramos de las guías se pueden observar en el Anexo II: Planos de la instalación.

Posteriormente se han descrito las características de las puertas de embarque (puertas de piso y puertas de cabina) así como su accionamiento de apertura, y se ha concluido eligiendo unas puertas automáticas de 2 hojas con una altura libre de 2000 mm y un paso libre de 900 mm, conformes con las normativas EN81-20, EN81-50 y clasificación de resistencia al fuego según EN81-58.

PUERTAS DE EMBARQUE CABINA Y PISOS			
TIPO	Nº HOJAS	ALTURA LIBRE	PASO LIBRE
AUTOMATICA MASSEN T2H	2	2000	900

Tabla 10 Puertas de embarque

Finalmente se ha seleccionado el chasis de la cabina (MP Flex), tipo mochila para ascensor eléctrico, que gracias a sus características geométricas y su compacidad, puede cumplir con las distancias mínimas exigidas por la normativa de fosos y huidas además de poder adaptarse a fosos y huidas más reducidas.

Las características del chasis de cabina se muestran a continuación.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CHASIS DE CABINA					
CARGA NOMINAL Q (Kg)		630			
P + Q		1550			
PESO CHASIS	E.G.	550	700	900	1050
	TIPO-0	147	155	165	172
	TIPO-1	160	168	178	185
	TIPO-2	166	174	184	191
ENCLAVAMIENTO (Kg)		2,5			
CÉLULAS DE CARGA (Kg)		2,5			
PARACAÍDAS SLC-2500-S, SLC-2500-S/B (Kg)		9 (Peso por pareja)			
GERVALL M245/2000, M245/2000 B (Kg)		11.6 (Peso por pareja)			
CARACTERÍSTICAS					
<ul style="list-style-type: none">+ Tipo: Ascensor Gearless+ Suspensión: 1:1+ Carga (Q): 180 kg hasta 1000 kg+ Capacidad: De 2 hasta 13 personas+ Velocidad nominal: Hasta 1 m/s+ Recorrido: Hasta 50 m.+ Paradas: Hasta 16 paradas.+ Embarques: Un embarque, doble embarque a 80º, doble embarque a 90º y triple embarque.+ Serie: "S" Sin cuarto de máquinas."C" Con cuarto de máquinas.		<ul style="list-style-type: none">+ Accionamiento eléctrico.+ Paracaídas progresivo SLC-2500-S ó SLC-2500-S/B N° Certificado 52/E36/06/0002 o GERVALL M245/2000 o GERVALL M245/2000-B.+ D.E.G. 550, 700, 900 y 1050mm.+ Para Guías de 9 y 16mm.+ Carga nominal (Q). Rango de 180 hasta 1000 Kg.+ Carga total (P+Q) máx.= 1550 Kg.+ Peso del chasis, según tabla características técnicas.+ No válido para instalaciones a la intemperie.			

Tabla 11 Características del chasis de la cabina

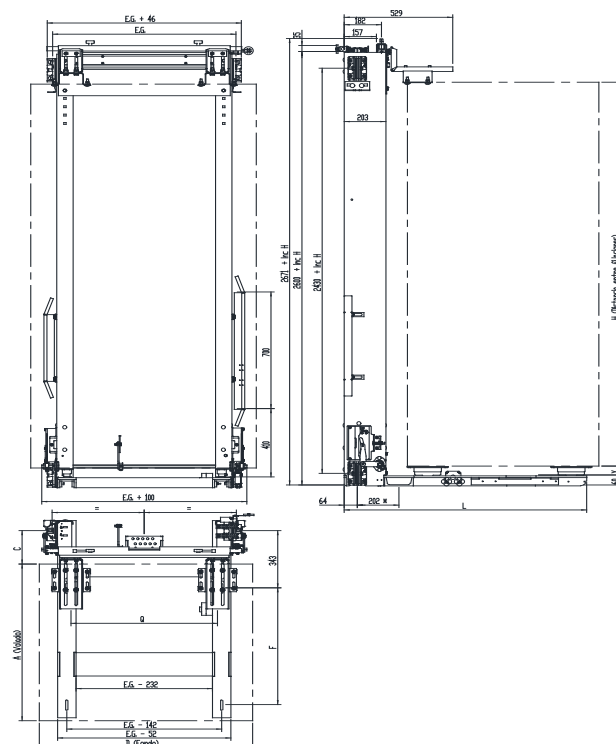


Ilustración 3 Representación geométrica del chasis de cabina [1]

Una vez realizada la selección de los elementos que conforman la instalación, se ha procedido con el cálculo dimensional del hueco, calculando las dimensiones del foso, recorrido y huida mínimos que permiten cumplir la normativa.

DIMENSIONES DEL HUECO		
FOSO (mm)	RECORRIDO (mm)	HUIDA (mm)
950	6850	3000

Tabla 12 Dimensiones del hueco

Una vez realizado esto, en el apartado “Toma de pedido real” se ha elaborado una toma de pedido real que cumplirá y garantizará las especificaciones descritas anteriormente.

Finalmente con todo ello se ha realizado, mediante los softwares LiftDesign y AutoCAD los planos que representan dimensionalmente los elementos descritos y que conforman la instalación en el *Anexo II: Planos de la instalación*.

1.4. Diseño, cálculo y análisis estructural del chasis de cabina

El cálculo y análisis estructural del chasis de cabina se ha realizado mediante el método de los elementos finitos mediante simulación con el software comercial SolidWorks considerando un comportamiento elástico del material.

Para ello se parte de los datos relativos a la geometría de la estructura (planos, secciones de los perfiles, disposición de los mismos) y los valores de carga que son proporcionados por MP Ascensores (P+Q de 1550 kg con Q de 630 kg y cabina de dimensiones 1100x1400 mm).

En una primera fase, se ha realizado el modelado y ensamblaje del chasis de la cabina y la cabina, en los anexos *“Anexo III: Modelado y ensamblaje del chasis de cabina”* y *“Anexo IV: Modelado y ensamblaje de la cabina”*. Para ello se ha utilizado el módulo de superficies de SolidWorks.

Seguidamente se ha realizado el ensamblaje de cada uno de los componentes (travesaño superior, largueros, soporte inferior, rozaderas, perfiles UPN 140, perfiles laterales, chapa de amarre de cables, chapas de apoyo de la cabina, paños laterales, paños del fondo, jambas, suelo, techo, pisadera y fijaciones y refuerzos) mediante relaciones de posición y teniendo en cuenta los espesores que tienen cada pieza.

La explicación detallada tanto del modelado como ensamblajes se puede encontrar en los anexos mencionados anteriormente.

Una vez realizados los modelados y ensamblajes, en el *“Anexo V: Análisis estructural del chasis de cabina”* se procede a describir el sistema y el modelo de elementos finitos utilizados así como las hipótesis de carga, condiciones de contorno y cargas aplicadas, obteniendo los resultados en términos de desplazamientos y tensiones producidas.

Cabe añadir que, de manera introductoria, en el *“Anexo V: Análisis estructural del chasis de cabina”* se explica de forma resumida, la formulación general del problema elástico y los métodos diferenciales más comunes, y en particular el método de los elementos finitos, que sirven para aproximar las soluciones de ecuaciones diferenciales del problema elástico.

1.4.1. Descripción del sistema

Como se indica en el apartado correspondiente de la descripción del sistema del “Anexo V: *Análisis estructural del chasis de cabina*”, los datos relativos a la geometría de la estructura (planos, secciones de los perfiles, disposición de los mismos) y los valores de carga son proporcionados por MP Ascensores (P+Q de 1550 kg con Q de 630 kg).

La estructura del chasis estará realizada con chapas plegadas de distintos espesores comprendidos entre 2 y 10 mm cuyo ensamblado se realizará mediante uniones soldadas y uniones atornilladas.

En el cálculo se incluirá una cabina de dimensiones 1100x1400 mm de forma simplificada que servirá para transmitir cargas tanto a la parte inferior como superior del chasis.

En la siguiente figura se muestra el chasis analizado y la denominación de los diferentes elementos que lo componen.

- Travesaño superior: compuesto de chapa plegada donde se amarran las piezas de sujeción de la cabina.
- Largueros: fabricados en chapa plegada con forma de U.
- Conjunto inferior: conjunto soldado al que se unen la cabina y donde van unidos también los largueros.

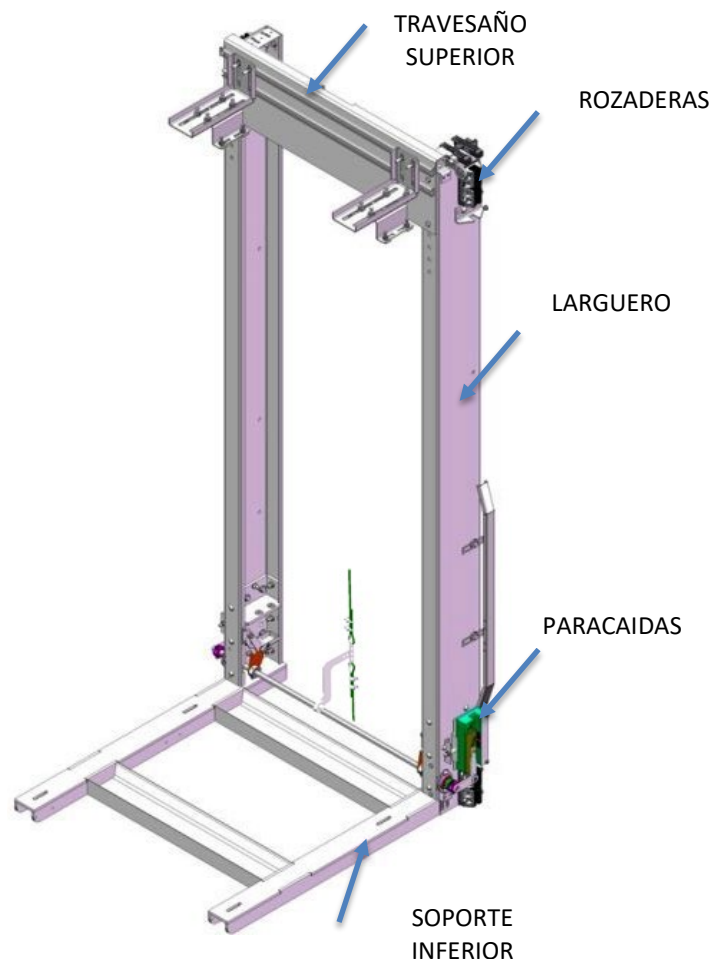


Ilustración 4 Elementos chasis de cabina ^[1]

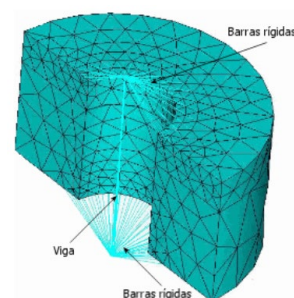
1.4.2. Descripción del modelo de elementos finitos

Análogamente a lo descrito en el apartado correspondiente de la descripción del modelo de elementos finitos del “Anexo V: Análisis estructural del chasis de cabina”. El análisis de la estructura del chasis de la cabina del ascensor se realiza mediante el método de los elementos finitos mediante el módulo Simulation del programa comercial SolidWorks.

En el modelo de elementos finitos se han utilizado:

- Elementos placa tipo Shell que servirán para modelar las diferentes chapas que componen la estructura a través de la superficie media y, a los que se les asignará el espesor correspondiente.
- Elementos tipo perno que servirán para modelar los tornillos.
- Elementos tipo sólido para modelar las células de carga.

Las uniones soldadas se han simulado como contactos rígidos, y las uniones atornilladas se realizan mediante conectores tipo perno compuesto por una viga que representa el vástago del perno y barras rígidas que representan la tuerca y la cabeza.



La definición de los conectores tipo perno se han realizado añadiendo el diámetro del vástago nominal, el diámetro de la cabeza, un tipo de conexión distribuida, un material de acero aleado (con las siguientes propiedades: $E = 2,1 \cdot 10^{11}$, $\nu = 0,28$, $\alpha = 1,3 \cdot 10^{-5}$), unos datos de resistencia con zona del límite de tensión conocida y factor de seguridad igual a 2 y una precarga axial aplicada (fuerza de cierre), que se ha definido en el apartado de cargas aplicadas y proporciona la fuerza de fricción necesaria para aguantar el deslizamiento entre las piezas conectadas.

Ilustración 5 Definición de perno [16]

Los conjuntos de contacto entre el perno y los componentes atornillados se han definido como contactos sin penetración y superficie a superficie, para solventar escenarios de cargas de compresión.

En el cálculo también se ha incluido la cabina de forma simplificada mediante elementos placa tipo Shell para transmitir parte de la carga a la zona inferior y superior. La unión de la cabina al chasis se ha realizado en dos zonas: en la zona inferior, y en la zona superior, a los amarres de la cabina.

En el análisis elástico se ha utilizado modelos de materiales elástico lineal, homogéneo e isótropo, cuyas propiedades se muestran en las siguientes tablas:

PROPIEDADES MECANICAS DEL ACERO 275	
Modulo elástico (E)	$2,1 \cdot 10^{11} \left(\frac{N}{m^2} \right)$
Coeficiente de Poisson (ν)	0,28
Densidad (ρ)	$7800 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$
Límite elástico	$275 \cdot 10^6 \left(\frac{N}{m^2} \right)$

Tabla 14 Propiedades mecánicas acero 275

PROPIEDADES MECANICAS ACERO GALVANIZADO	
Modulo elástico (E)	$2 \cdot 10^{11} \left(\frac{N}{m^2} \right)$
Coeficiente de Poisson (ν)	0,29
Densidad (ρ)	$7870 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$
Límite elástico	$204 \cdot 10^6 \left(\frac{N}{m^2} \right)$

Tabla 13 Propiedades mecánicas acero galvanizado

Para especificar los diferentes tamaños de los elementos se ha escogido una malla basada en curvatura con densidad fina con los siguientes parámetros:

PARAMETROS DE MALLADO			
Tamaño máximo de elemento	Tamaño mínimo de elemento	Número mínimo de elementos en un círculo	Cociente de crecimiento del tamaño del elemento
40 mm	10 mm	36	1.4

Tabla 15 Parámetros de la malla

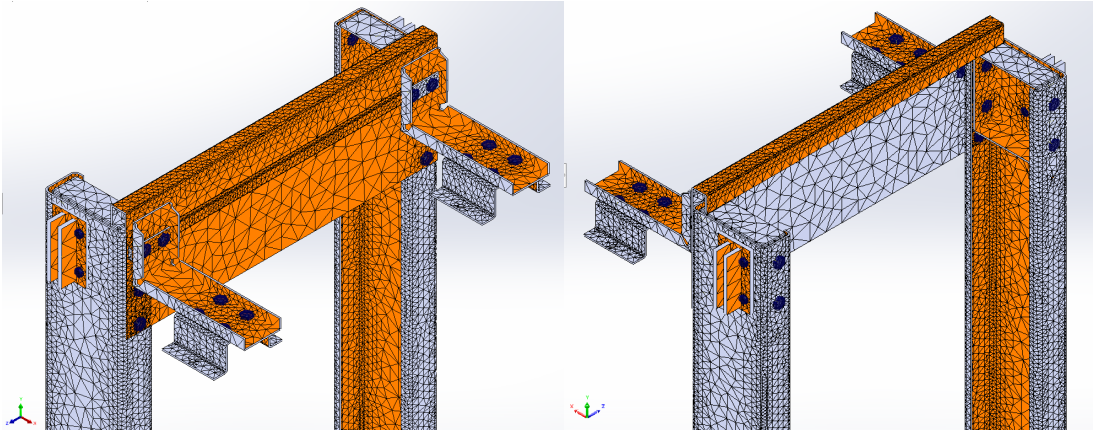


Ilustración 6 Mallado de amarres y rozaderas superiores chasis de cabina

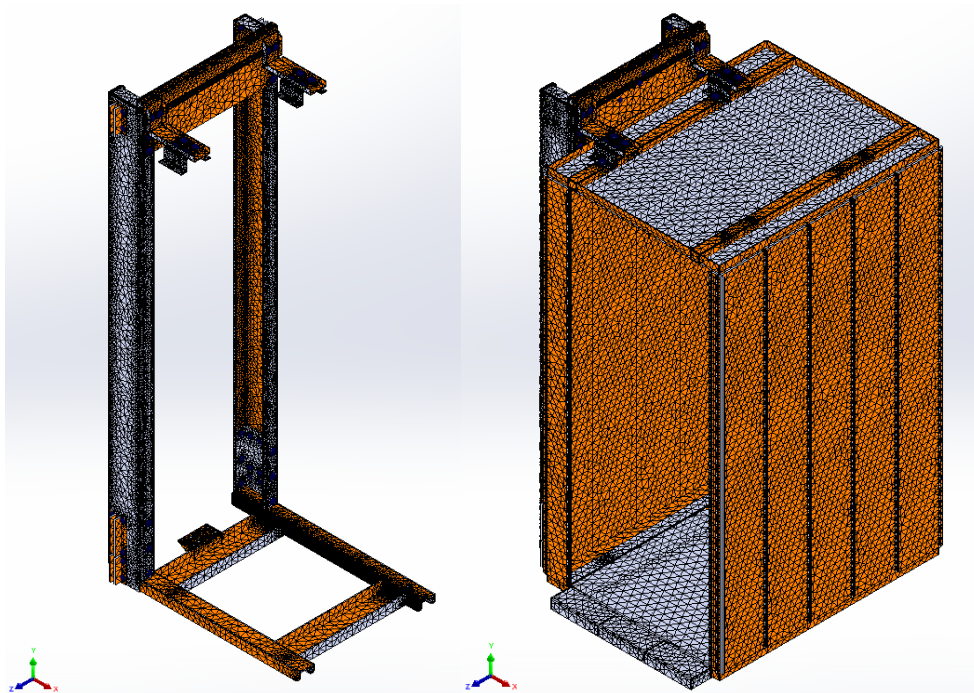


Ilustración 7 Mallado del chasis de cabina

Ilustración 8 Mallado del conjunto chasis y cabina

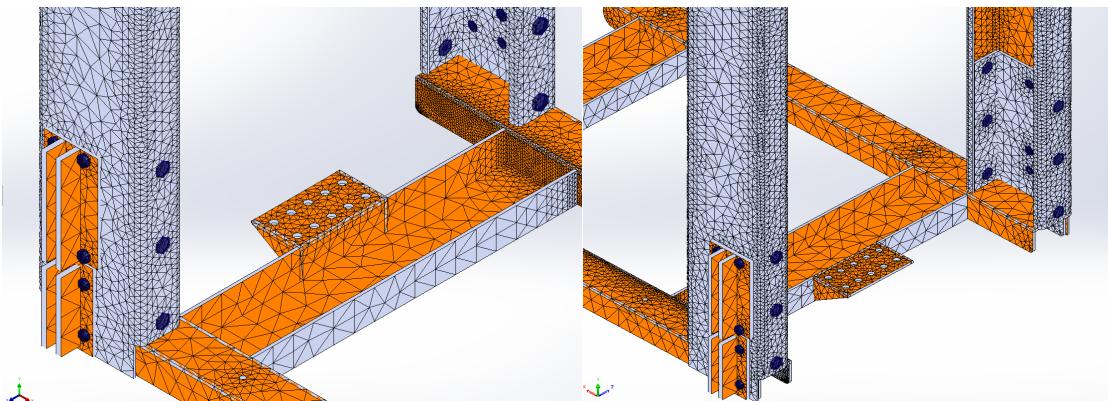


Ilustración 9 Mallado de tiro de cables, paracaídas, rozaderas y soporte inferior

1.4.3. Hipótesis de carga y condiciones de contorno

Se han analizado cuatro hipótesis de carga para el chasis de cabina:

- Hipótesis 1: uso normal – en movimiento (con Q y sin Q)
- Hipótesis 2: uso normal – carga y descarga.
- Hipótesis 3: actuación del dispositivo de seguridad.
- Hipótesis 4: impacto contra buffer.

Para el análisis, se ha aplicado las siguientes condiciones de contorno en el modelo, dependiendo del caso de carga analizado:

- De forma general y común a todos los casos de carga, se ha aplicado en las rozaderas unas restricciones de desplazamiento en dirección del “Eje Z” en las aristas que simulan la zona donde estas contactan con las guías, y se ha restringido el desplazamiento en la dirección del “Eje X” en aquellas rozaderas en las que se produce contacto con las guías, dependiendo del movimiento del chasis.
- Para el caso de uso normal, se ha restringido en dirección vertical la zona correspondiente al tiro de cables.
- Para el caso del paracaídas, se han restringido los desplazamientos en las tres direcciones en las zonas que simulan donde los paracaídas contactan con las guías, simulando el chasis suspendido en los mismos.
- Para el caso de impacto contra buffer, se han restringido los desplazamientos en dirección vertical en la zona donde apoya el chasis contra el buffer.

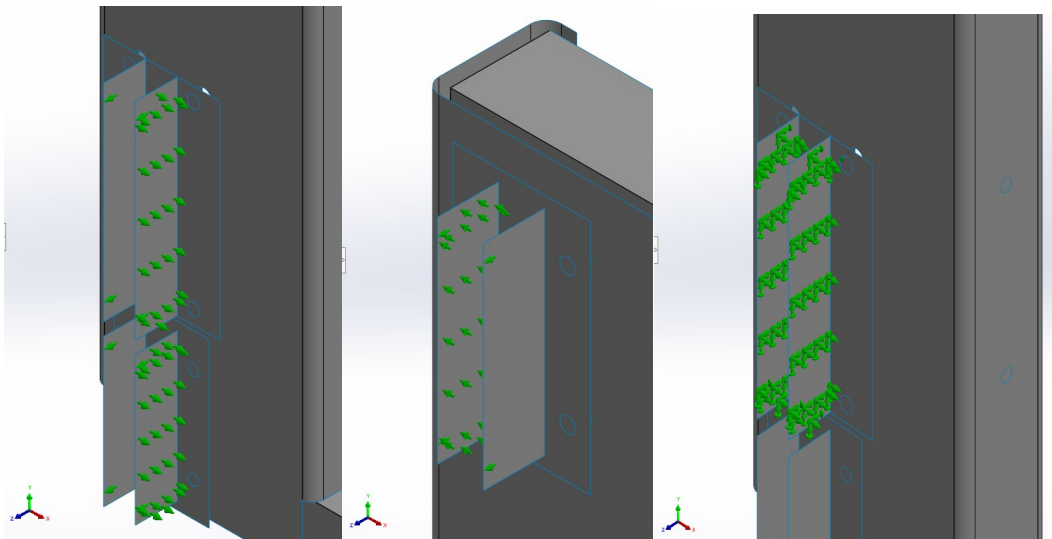


Ilustración 10 Restricción rozaderas caso más desfavorable

Ilustración 11 Restricción paracaídas

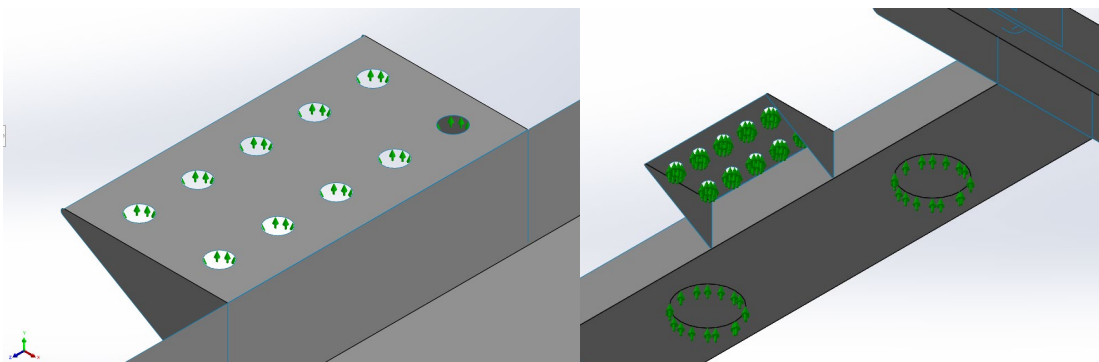


Ilustración 12 Restricción tiro de cables y amortiguadores

1.4.4. Cargas aplicadas en el modelo

Las cargas aplicadas han sido las siguientes:

- Peso propio de la estructura (P)
- Peso correspondiente al resto de P (excepto el peso propio de los componentes modelados) como presión repartida en el suelo de la estructura de la cabina.
- La carga útil Q, en este caso 630 Kg, debe estar uniformemente distribuida dentro de las $\frac{3}{4}$ partes del área de la cabina, estando en la posición más desfavorable. Por lo que se aplicará como una presión descentrada en dirección del “Eje X” y “Eje Z” sobre el suelo de la cabina. Sobre la carga útil se aplica un coeficiente de mayoración de 1,25 suministrado por MP Ascensores.
- Fuerza vertical que actúa en el centro de la pisadera; Para la hipótesis 2 (Uso normal - carga y descarga) ya que mientras se carga o descarga una cabina, se debe considerar una fuerza vertical F_s que actúa en el centro de la pisadera de la entrada de la cabina. (UNE-EN81-20, 5.7.2.3.6.)
La fuerza aplicada sobre la pisadera debe ser: $F_s = 0,6 \cdot g_n \cdot Q \text{ (N)}$

Además, se han aplicado unos coeficientes de impacto sobre todas las cargas según el caso de carga:

- Para la hipótesis de uso normal de valor 1,2 que tiene en cuenta los efectos dinámicos provenientes de la aceleración y deceleración de arranque y parada.
- Para la hipótesis de accionamiento de paracaídas de valor 3, en este caso, por ser un paracaídas de acción instantánea, que tiene en cuenta la deceleración.
- Para la hipótesis de impacto contra buffer, de valor 2 debido a la fuerte deceleración que se produce mediante la acción del amortiguador cuando contacta con el chasis por un exceso de alargamiento del cable.

En los casos de carga de “uso normal” y “actuación de dispositivos de seguridad”, la carga nominal Q debe estar uniformemente distribuida dentro de las tres cuartas partes del área de la cabina, estando en la posición más desfavorable. (UNE-EN81-20, apartado 5.7.2.3.4).

En el caso de carga “uso normal, en movimiento”, las masas en movimiento vertical de la cabina (P+Q) y los pesos de contrapeso y masa de equilibrado, deben multiplicarse por el factor de impacto K_2 (véase en la tabla) para tomar en consideración la parada brusca debido a la actuación de un dispositivo eléctrico de seguridad o por la interrupción accidental de la energía eléctrica de la red. (UNE-EN81-20, apartado 5.7.4.3.).

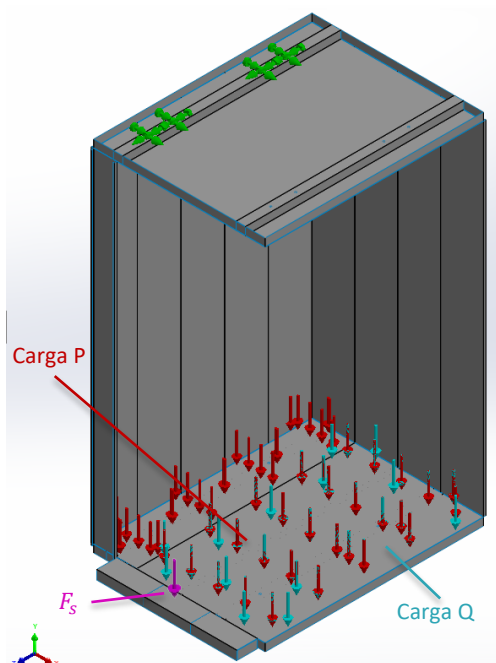


Ilustración 13 Cargas repartidas en la cabina

Impacto por	Factor de impacto	Valor
Actuación de paracaídas instantáneo, excepto de tipo de rodillo cautivo	k_1	5
Actuación de paracaídas instantáneo de tipo de rodillo cautivo, o dispositivo de bloqueo con amortiguador de tipo de acumulación de energía, o amortiguador de acumulación de energía.		3
Actuación de paracaídas progresivo o dispositivo de bloqueo con amortiguador de tipo de disipación de energía, o amortiguación de tipo de disipación de energía.		2
Válvula paracaídas		2
En movimiento	k_2	1,2
Partes auxiliares fijadas a la guía y otros posibles escenarios	k_3	(...) ^a
a El valor debe mantenerse por el fabricante, puesto que depende de cada instalación real.		

Tabla 16 Factores de impacto.^[2]

1.4.5. Resultados

Los resultados obtenidos han sido en términos de tensiones y desplazamientos que se producen para cada una de las hipótesis y casos de carga considerados. En el apartado “Resultados gráficos” del “Anexo V: Análisis estructural del chasis de cabina” se pueden apreciar detalladamente cada uno de los resultados obtenidos.

Para la obtención de los resultados, primero se han obtenido las reacciones que provocan las cargas aplicadas en la cabina a las distintas zonas de contacto con el chasis.

Ejemplo reacciones en la parte superior de la cabina con descentramiento de Q en eje X:

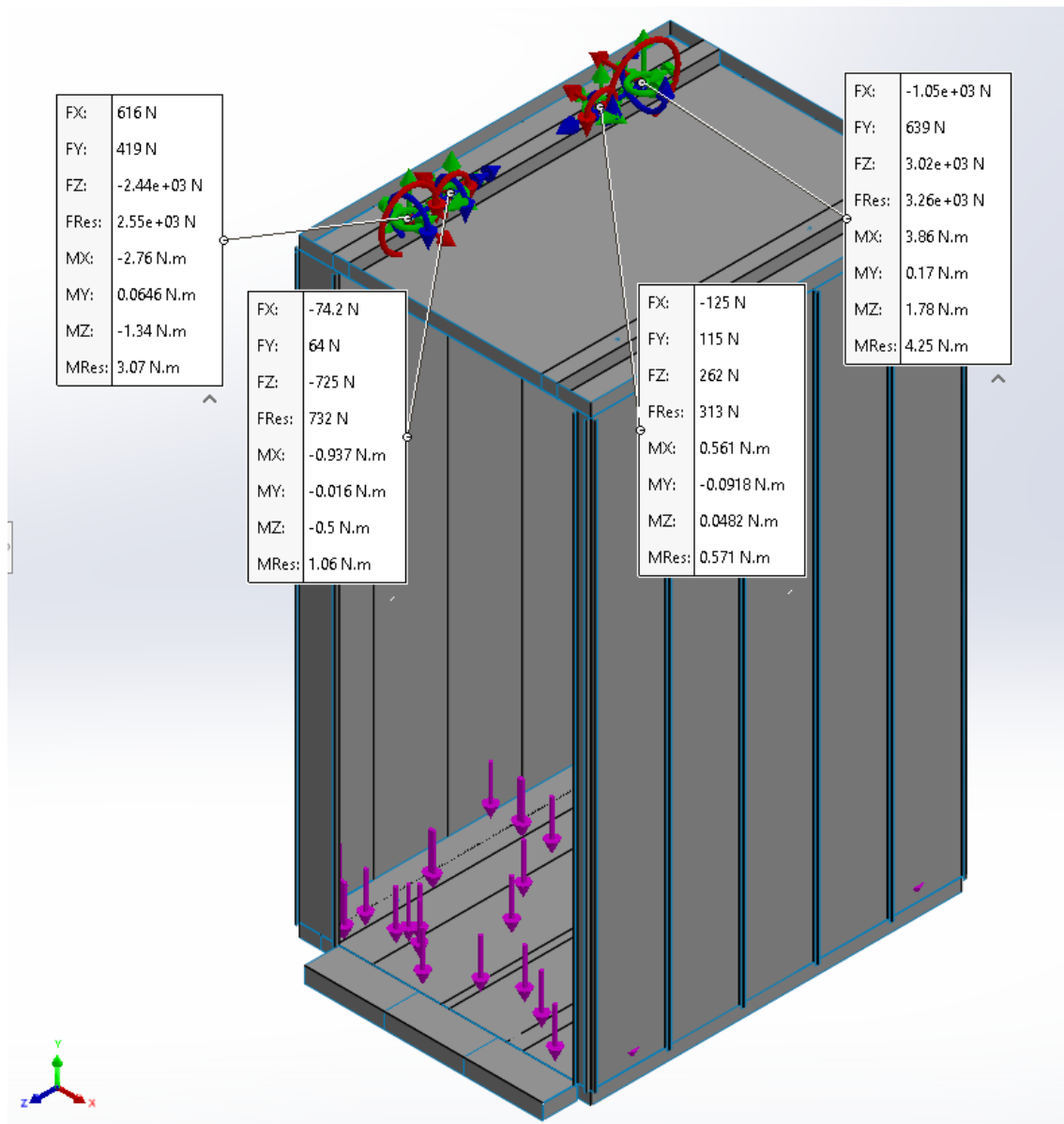


Ilustración 14 Reacciones en la parte superior de la cabina con descentramiento de Q en eje X

Fuerza de reacción (N)		
Componente	Selección	Todo el modelo
Sum X:	-637.61	-0.00021935
Sum Y:	1,237.4	13,136
Sum Z:	120.84	9.1553E-05
Resultante:	1,397.3	13,136

Ilustración 15 Fuerzas resultantes en el modelo (Ilustración 14)

Ejemplo reacciones en la parte inferior de la cabina con descentramiento de Q en eje X:

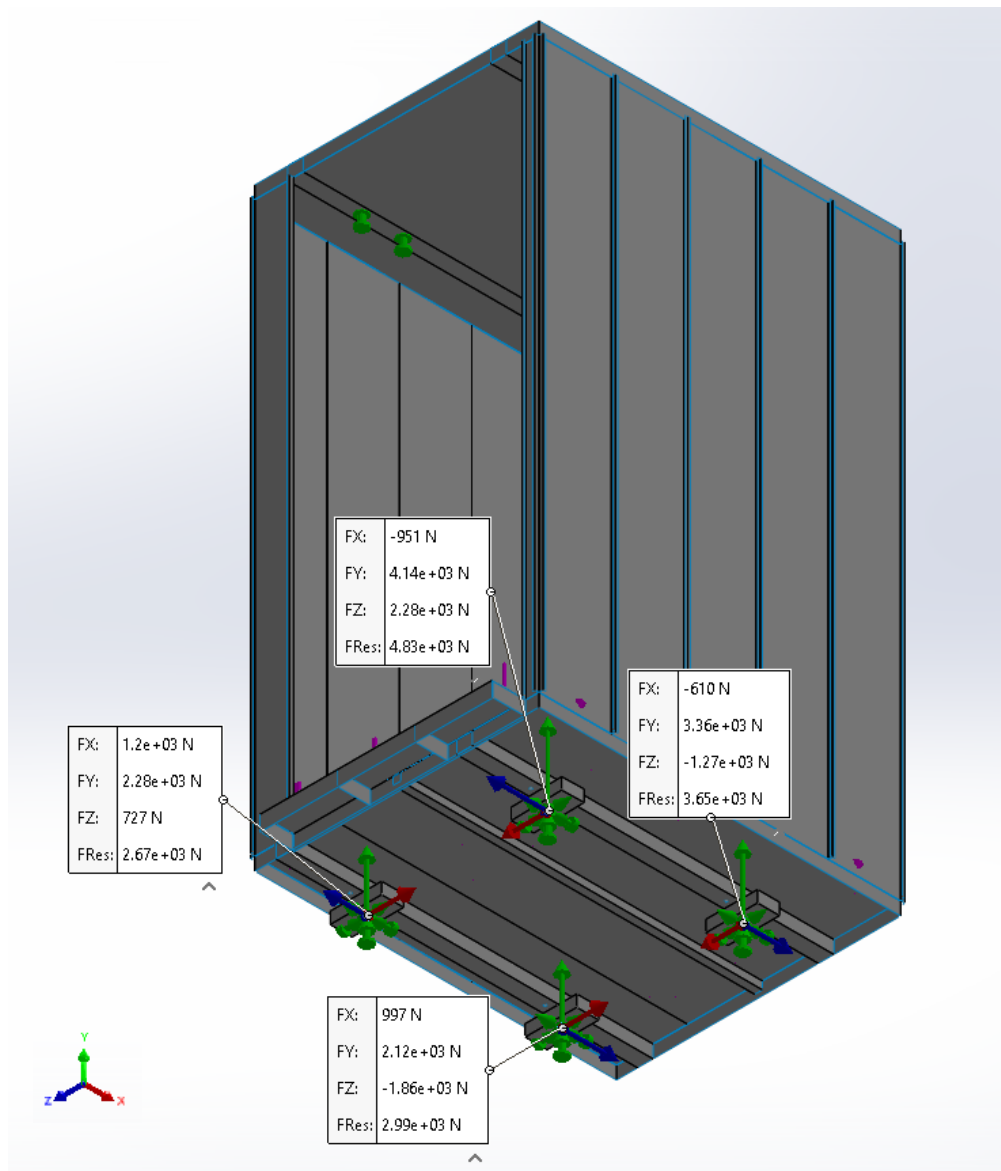


Ilustración 16 Reacciones en la parte inferior de la cabina con descentramiento de Q en eje X

Fuerza de reacción (N)		
Componente	Selección	Todo el modelo
Sum X:	637.61	-0.00021935
Sum Y:	11,899	13,136
Sum Z:	-120.84	9.1553E-05
Resultante:	11,916	13,136

Ilustración 17 Fuerzas resultantes en el modelo (Ilustración 16)

Análogamente se ha realizado lo mismo para el caso de descentramiento de Q en el eje Z, así como para la Hipótesis 2: Uso normal – Carga y descarga, Hipótesis 3: Actuación del dispositivo de seguridad e Hipótesis 4: Impacto contra buffer aplicando los respectivos coeficientes de impacto a cada caso.

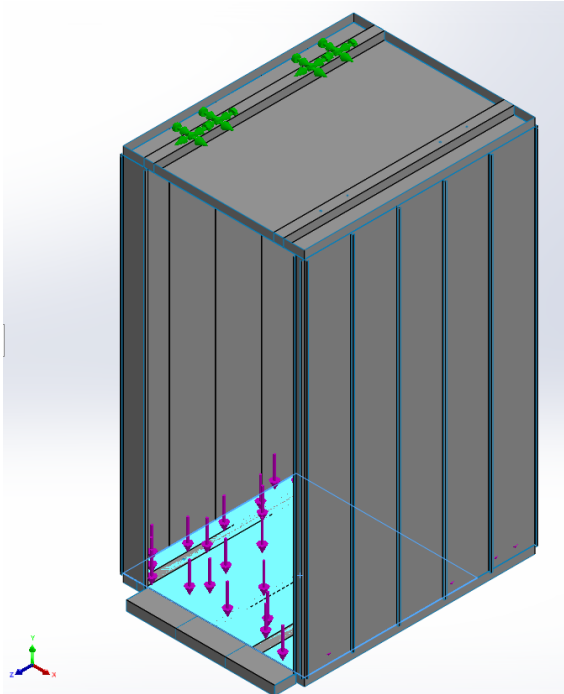


Ilustración 18 Carga descentrada en eje Z

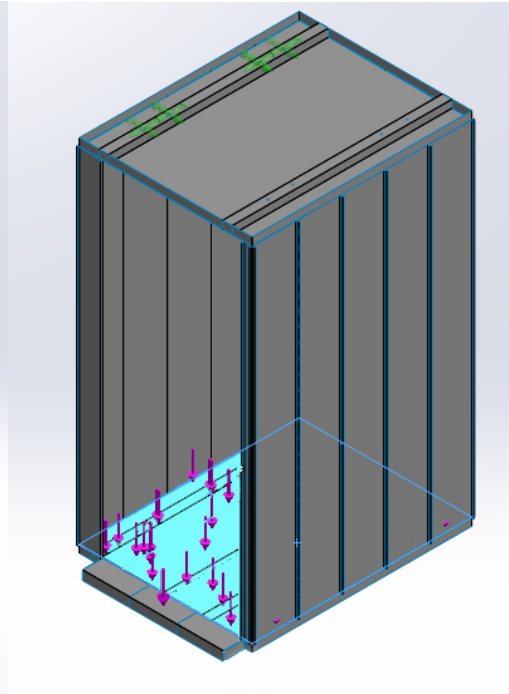


Ilustración 19 Hipótesis 2: Uso normal – Carga y descarga

Posteriormente para simular el estudio del chasis se han aplicado las reacciones obtenidas, en sentido contrario en los puntos de contacto entre el chasis y la cabina.

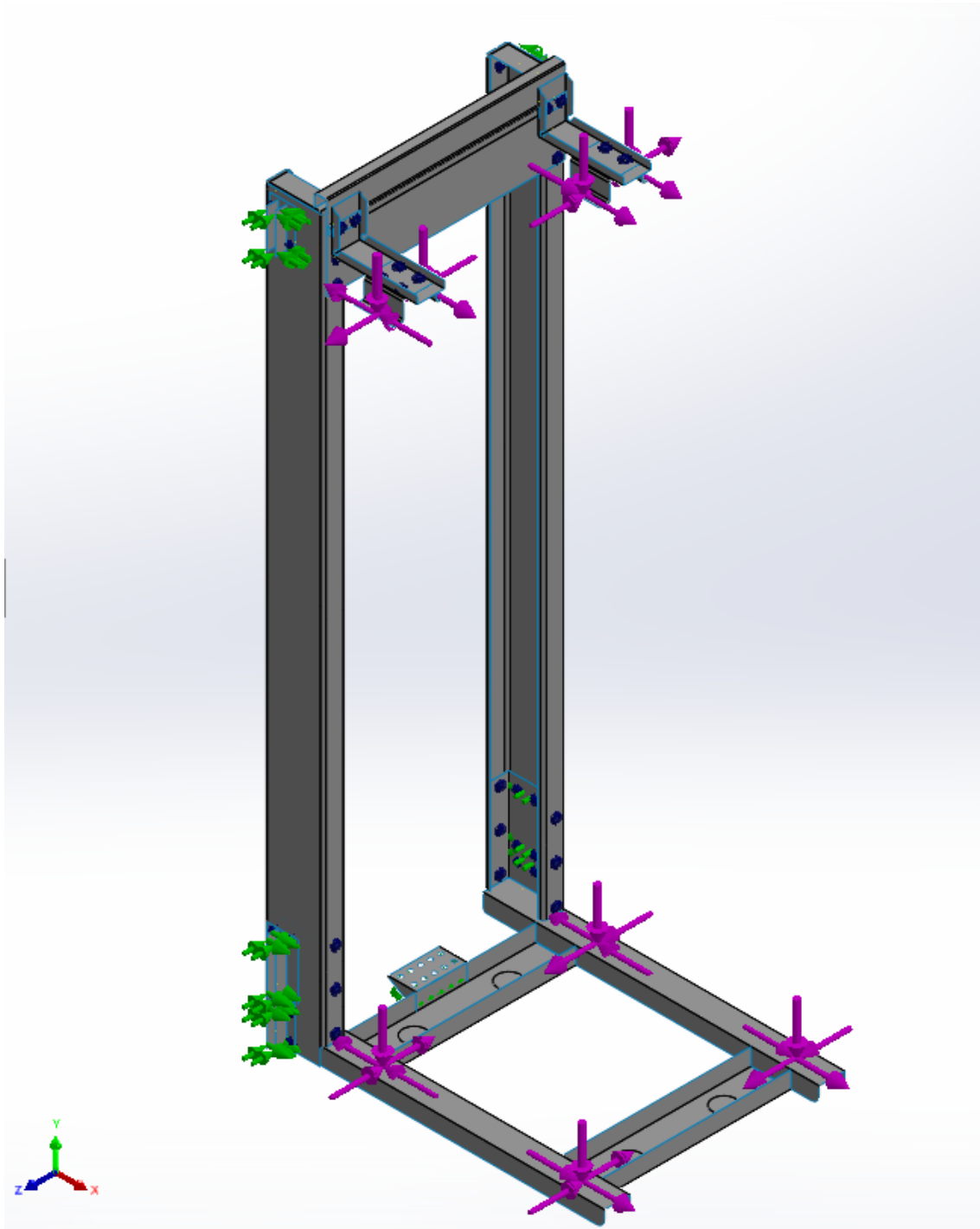


Ilustración 20 Reacciones aplicadas en puntos de contacto entre chasis y cabina

Cabe añadir que el equipo utilizado para realizar la simulación ha sido un ordenador portátil MSI GL75 Leopard 10SEK con procesador Intel® Core i7 de 10ª generación concretamente Comet lake i7-10750H+HM470, memoria DDR IV 8GB*2 (2666 MHz), almacenamiento 1TB NVMe PCIe Gen3x4 SSD y controlador gráfico GeForce® RTX 2060, GDDR6 6GB.

PROPIEDADES DEL ESTUDIO	
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático - Intel Sparse
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Desactivar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar

Tabla 17 Propiedades del estudio

INFORMACION DE LA MALLA	
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	40 mm
Tamaño mínimo del elemento	10 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	132435
Número total de elementos	242452
Número de grados de libertad	794126
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:07

Tabla 18 Información de la malla

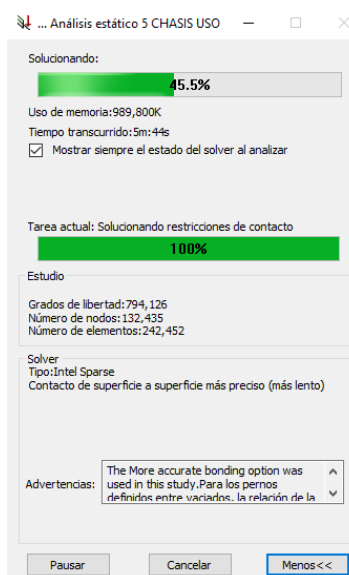
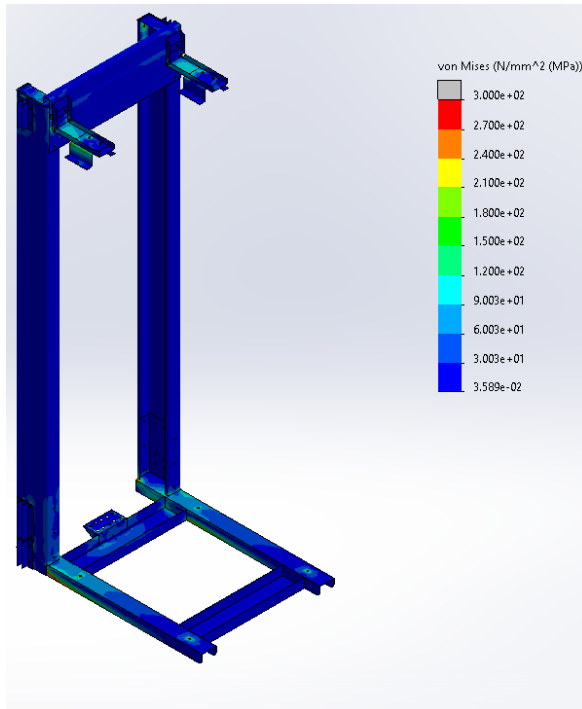


Ilustración 21 Progreso de resolución del análisis

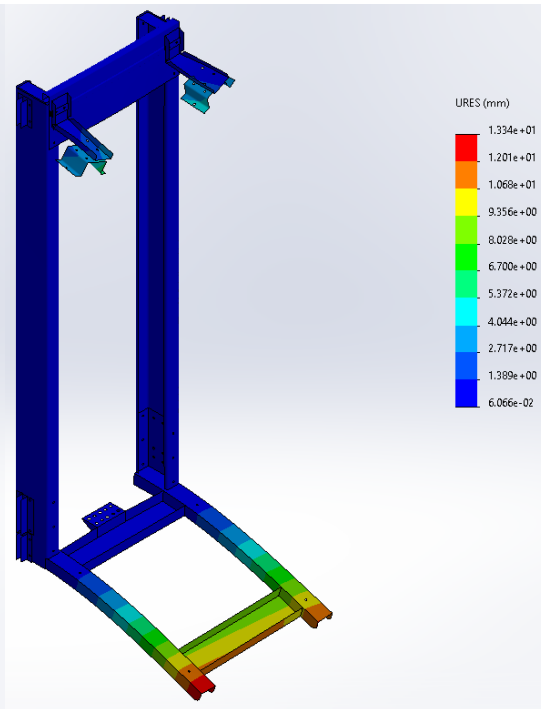
1.4.5.1. Tensiones y desplazamientos en el análisis elástico

Con todo ello, se han obtenido los resultados en términos de tensiones y desplazamientos producidos para cada una de las hipótesis, condiciones de contorno y casos de cargas aplicadas.

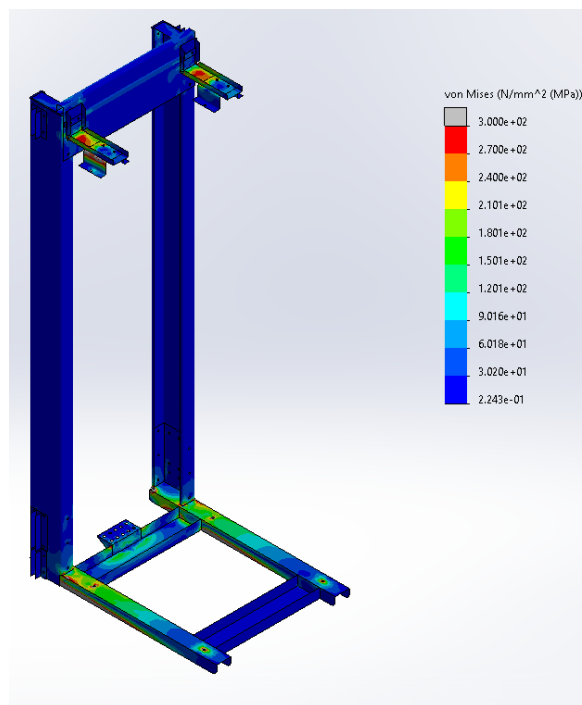
En el apartado “Resultados gráficos” del “Anexo V: Análisis estructural del chasis de cabina” se pueden apreciar detalladamente cada uno de los resultados obtenidos.



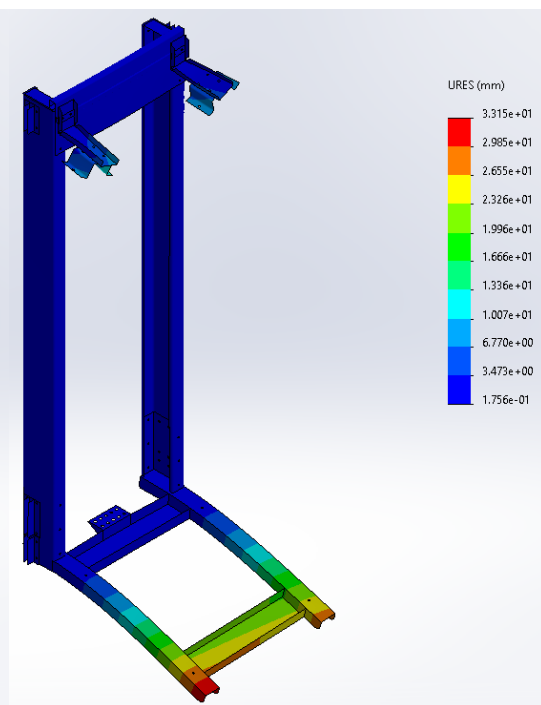
*Ilustración 22 Tensiones (MPa)
Conjunto total Q descentrada eje X Hipótesis 1*



*Ilustración 23 Desplazamientos URES (mm) Q
descentrada eje X Hipótesis 1*



*Ilustración 24 Tensiones (MPa)
Conjunto total Q descentrada eje X Hipótesis 3*



*Ilustración 25 Desplazamientos URES (mm) Q
descentrada eje X Hipótesis 3*

Los máximos desplazamientos se han obtenido en dirección vertical “Y” correspondiente a la dirección de la aplicación de la carga. Están localizados en los extremos de los perfiles inferiores debido al apoyo de la cabina y al descentramiento de la carga. El valor máximo corresponde al caso de carga descentrada en el eje “X” y la hipótesis de accionamiento del paracaídas, seguido de la hipótesis de impacto contra buffer. Los máximos desplazamientos en dirección “X” se obtienen tanto en el centro de la zona del travesaño superior como en los extremos de los perfiles inferiores y en dirección “Z” se dan en la zona superior de amarre de la cabina.

En cuanto a las tensiones, para todos los casos los valores máximos se dan en los perfiles laterales del soporte inferior en las zonas de unión entre estos y los largueros así como en las zonas de unión superior de la cabina y zonas de los taladros, siendo el caso más desfavorable el de la hipótesis de accionamiento del paracaídas (hipótesis 3) seguido por el de la hipótesis de impacto contra buffer (hipótesis 4) llegando a superar el límite elástico de los materiales.

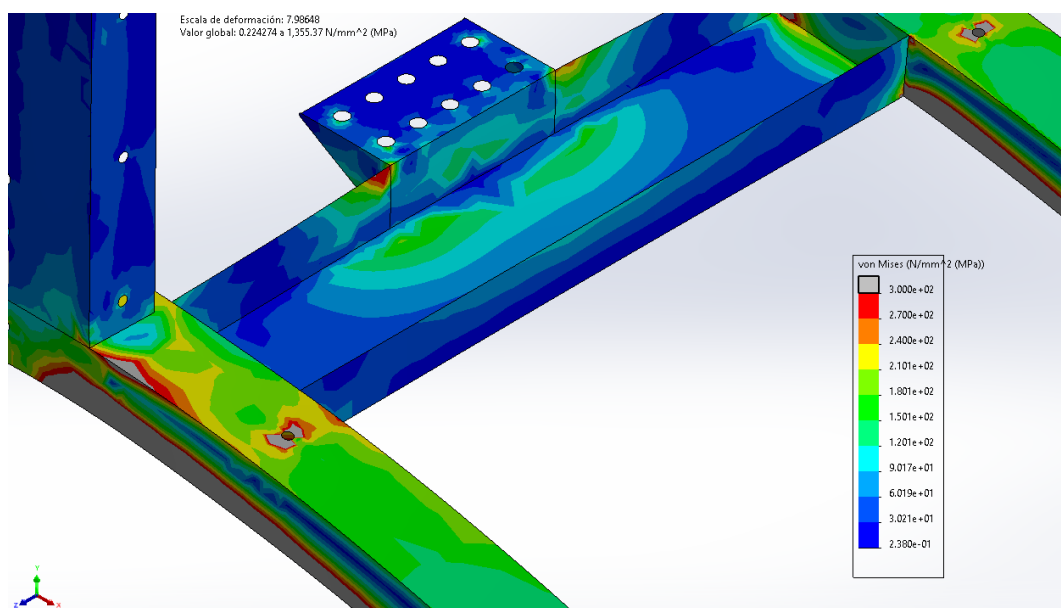


Ilustración 26 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje X Hipótesis 3

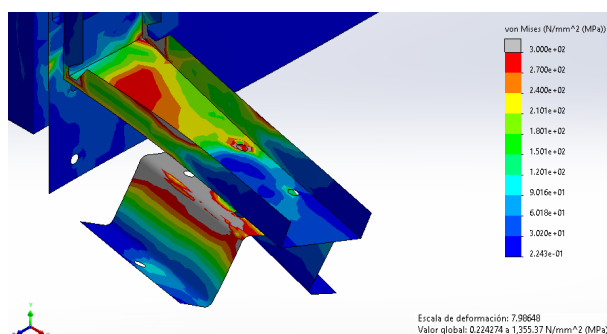


Ilustración 27 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje X Hipótesis 3

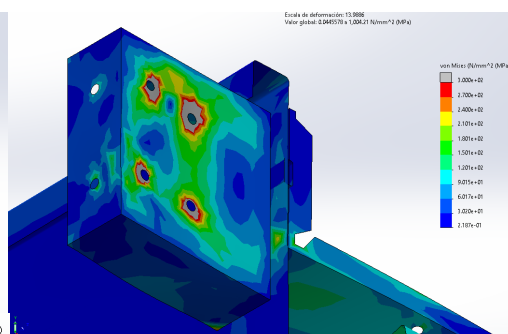


Ilustración 28 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje Z Hipótesis 4

En el apartado “Resultados gráficos caso real” del “Anexo V: Análisis estructural del chasis de cabina” se pueden apreciar detalladamente cada uno de los resultados obtenidos.

1.4.5.2. Propuesta de mejora del chasis de la cabina

En el apartado “Propuesta de mejora” del “Anexo V: Análisis estructural del chasis de cabina” se ha realizado una propuesta de optimización de los elementos que conforman el chasis de la cabina.

Para ello se ha calculado analíticamente la influencia de los espesores en las tensiones producidas en los diferentes perfiles que conforman la estructura y se ha llegado a la conclusión de aumentar los espesores de los elementos que se muestran a continuación.

MATERIALES Y ESPESORES DE LOS ELEMENTOS DEL CHASIS				
CONJUNTO	ELEMENTO	MATERIAL	ESPESOR ORIGINAL (mm)	ESPESOR NUEVO
TRAVESAÑO SUPERIOR	PANEL SUPERIOR	ACERO 275	4	4
	FIJACIONES SUPERIORES	ACERO 275	6	8
	RAIL FIJACION	ACERO 275	2	2
	REFUERZOS LATERALES	ACERO 275	4	4
LATERALES	LARGUEROS	ACERO 275	5	5
	ROZADERAS	ALUMINIO	10	10
	PARACAIDAS	FUNDICION	10	10
	PERFIL UPN 140	ACERO 275	6	10
SOPORTE INFERIOR	PERFILES LATERALES	ACERO 275	6	10
	TIRO DE CABLES	ACERO 275	10	10
	CELULAS DE CARGA	ACERO 275	45	45

Tabla 19 Materiales y espesores de los elementos del chasis de cabina

PESO ORIGINAL (kg)	PESO NUEVO (kg)
184	200

Tabla 20 Peso original y final del chasis de cabina

Teniendo en cuenta que el aumento de los espesores de algunos componentes conlleva directamente al aumento del peso total de la estructura, se propone eliminar material en aquellas zonas poco cargadas tensionalmente.

Además también se propone redondear o biselar algunas geometrías para reducir o eliminar concentradores de tensiones que se producen por ejemplo en aristas vivas, así como prestar atención a las uniones atornilladas.

Con estas mejoras los resultados obtenidos son buenos, por ejemplo para los casos más desfavorables vistos anteriormente se puede apreciar notablemente la reducción de tensiones producidas.

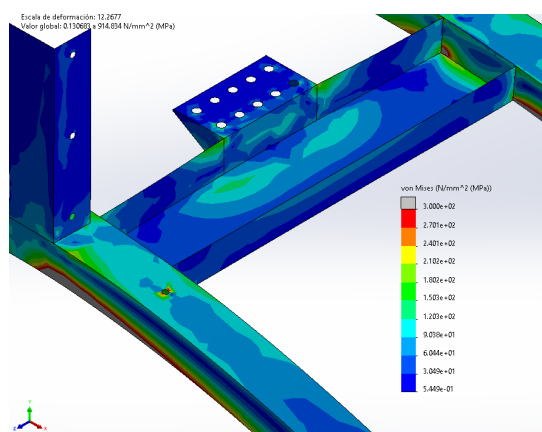


Ilustración 29 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje X Hipótesis 3

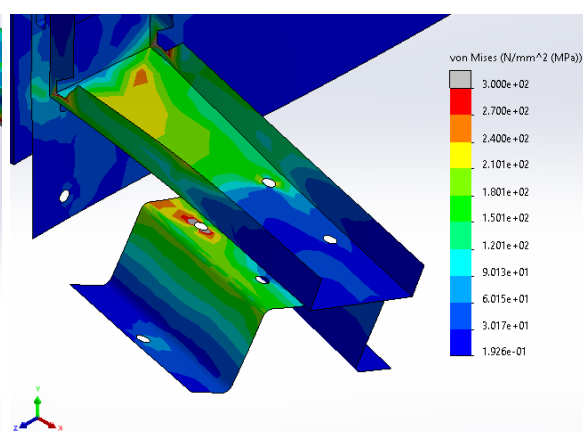


Ilustración 30 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje X Hipótesis 3

El resto de casos se pueden apreciar en el apartado “Resultados gráficos propuesta de mejora” del “Anexo V: Análisis estructural del chasis de cabina” pudiéndose comparar con los resultados del caso real y comprobando las reducciones de tensiones y desplazamientos conseguidos.

1.5. Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Para los casos de uso normal, los máximos desplazamientos se dan en el eje vertical “Y”, dirección de la aplicación de la carga, y se producen en el extremo del soporte inferior del chasis. En cuanto a las tensiones, los mayores valores se obtienen puntualmente en los perfiles laterales del soporte inferior en las zonas inferiores de unión entre estos y los largueros así como en las zonas de unión superior de la cabina y zonas de los taladros.
- Para el caso de impacto contra buffer, los máximos desplazamientos se dan en el eje vertical “Y”, dirección de la aplicación de la carga, y se producen en el extremo del chasis. En cuanto a las tensiones, aparecen zonas de plastificación en las chapas en forma de L del amarre superior de la cabina y en los perfiles en C en la zona inferior de unión entre estos y los largueros así como en las zonas de los taladros.
- Para los casos de actuación del paracaídas, los máximos desplazamientos se dan en el eje vertical “Y”, dirección de la aplicación de la carga, y se producen, al igual que en los demás casos, en el extremo del chasis. En cuanto a las tensiones, aparecen zonas de plastificación en la zona superior del amarre de la cabina y en los perfiles en C en la zona inferior de unión entre estos y los largueros así como en las zonas de los taladros.
- Los mayores desplazamientos en dirección X para el caso de impacto contra buffer, se producen en la zona superior de los largueros, zonas a tener en cuenta para que no se produzca un posible “desguiado” del chasis.
- Además para todos los casos se aprecian zonas con efectos locales de transmisión de esfuerzos a través de los tornillos las cuales deberán tener especial atención.
- Se han obtenido resultados favorables en la propuesta de mejora mediante el aumento del espesor de algunos componentes consiguiendo reducir notablemente zonas tensionales altas y reduciendo los desplazamientos producidos.
- A pesar de las mejoras presentadas, aparecen en menor medida zonas de plastificación en algunas zonas de taladros y también y más importante siguen apareciendo aunque en menor medida zonas de plastificación para los casos de actuación del paracaídas y de impacto contra buffer.
- Para una mejora del comportamiento estructural se recomienda utilizar perfiles cerrados en vez de sección en C, para así aumentar todavía más sus momentos de inercia y reducir las tensiones. Además de utilizar paracaídas tipo progresivos ya que los esfuerzos producidos en el frenado de estos hacen que la cabina se detenga como si chocase con un obstáculo ligeramente elástico y por ello el factor de impacto a aplicar siguiendo las pautas de la norma es de dos en vez de tres.
- Se recomienda a la empresa fabricante del chasis de la cabina la realización de un ensayo para la verificación del prototipo, así como la comprobación del estado de la estructura del chasis después de la actuación de alguno de los sistemas de seguridad (paracaídas, impacto contra los buffers) y, si hiciera falta, su sustitución. Además se recomienda prestar especial atención a las zonas de los taladros y realizar un seguimiento de las características de los materiales empleados para asegurar las características mecánicas de ellos.

Bibliografía

- [1] Catálogos, manuales e instrucciones técnicas MP Ascensores.
- [2] Norma UNE-EN 81-20, 2020: Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Ascensores para el transporte de personas y cargas. Parte 20: Ascensores para personas y personas y cargas.
- [3] Norma UNE-EN-81-50, 2020: Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Exámenes y ensayos. Parte 50: Reglas de diseño, cálculos, exámenes y ensayos de componentes de ascensor.
- [4] Norma UNE-EN-81-21, 2018: Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Ascensores para el transporte de personas y cargas. Parte 21: Ascensores nuevos de pasajeros y de pasajeros y cargas en edificios existentes.
- [5] Norma UNE-EN-81-70, 2018: Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Aplicaciones particulares para los ascensores de pasajeros y de pasajeros y cargas. Parte 70: Accesibilidad a los ascensores de personas, incluyendo personas con discapacidad.
- [6] AEN/CTN 58 Maquinaria de elevación y transporte, 2011. Instalación de ascensores. Parte 1: Ascensores de clases I, II, III y VI.
- [7] Apuntes de elementos finitos para sólidos deformables. Begoña Calvo Calzada, Miguel Ángel Martínez barca, Estefanía Peña Baquedano.
- [8] Apuntes de mecánica del sólido deformable. Estefanía Peña Baquedano.
- [9] Resistencia de materiales para ingenieros mecánicos. Juan Doria Charro.
- [10] Criterios de diseño de máquinas. Javier Abad Blasco, Paula Canalís Martínez, Hugo Malón Litago.
- [11] Cálculo de elementos de máquinas. Javier Abad Blasco, Paula Canalís Martínez, Hugo Malón Litago.
- [12] El libro del transporte vertical. Antonio Miravete de Marco y Emilio Larrodé Pellicer.
- [13] Los transportes en la ingeniería industrial. (TEORÍA) Antonio Miravete, E. Castejón, L. Cuartero
- [14] Los transportes en la ingeniería industrial. (PROBLEMAS Y PRÁCTICAS) Antonio Miravete, E. Castejón, L. Cuartero
- [15] Ascensores y escaleras mecánicas. José M. Lasheras Esteban.

Recursos on-line:

[16] Ayuda en línea de SolidWorks.

[16] http://help.solidworks.com/2021/spanish/SolidWorks/sldworks/r_welcome_sw_online_help.htm

[17] Página web MP SERVICEnter – Tienda de repuestos y componentes on-line.

[17] <https://www.mp-servicenter.com/>

[18] Página web Schindler.

[18] <https://www.schindler.com/>

[19] Página web Inforlift – Información técnica de ascensores y noticias del sector.

[19] <https://www.inforlift.com/>

[20] Página web Pfeifer – Cables y equipos de elevación.

[20] <https://rope-lifting-es.pfeifer.info/es/inicio/>

[21] Página web Monteferro – Carriles de guías.

[21] <http://www.monteferro.it/>

[22] Página web VK System – Equipos de control.

[22] <https://vkssystem.com/>

[23] Página web Rosmil – Tornillería de alta calidad.

[23] <http://www.rosmil.com/>

[24] Página web Wurth – Elementos de fijación, tornillos y accesorios.

[24] <https://www.wurth.es/>

[25] Página web TraceParts – Modelos 3D, dibujos 2D y archivos CAD.

[25] <https://www.traceparts.com/>

[26] Página web Mitsubishi Electric – Fabricación y venta de productos y sistemas eléctricos y electrónicos.

[26] <https://www.mitsubishielectric.com/>

[27] Página web Ascensoresymás – Portal especializado en ascensores, salvaescaleras y montacargas.

[27] <https://www.ascensoresymas.com/>

[28] Página web Santini Funi – Cables y cuerdas de acero.

[28] <https://www.santinifuni.com/>

[29] Página web Eninter Ascensores – Instalación, reparación y mantenimiento de ascensores.

[29] <https://www.eninter.com/blog/tecnologia-gearless-que-es-y-en-que-consiste/>

Anexo I: Características, cálculos y selección de elementos más relevantes

En este apartado se describirán y se realizará el cálculo, dimensionamiento y selección de los elementos más relevantes para proponer una instalación típica de un ascensor tipo eléctrico.

Estos elementos elegidos como los más relevantes serán los siguientes:

- Sistema de suspensión y elevación
- Sistema de guiado
- Sistema de seguridad
- Sistema de amortiguamiento
- Tecnología de accionamiento
- Puertas de embarque
- Contrapeso
- Cabina
- Chasis de cabina
- Hueco de la instalación
- Elementos auxiliares de la instalación (seguridad, alumbrado, control...)

No hay que olvidar que este proyecto pretende abarcar el diseño, cálculo y análisis estructural de un chasis de cabina con posibilidad de foso y/o huida reducidos, con una capacidad máxima de una carga útil de 630 kg y P+Q máximo de 1550 kg, y por tanto, el replanteo, así como el resto de elementos de la instalación se realizarán acordes a estas especificaciones.

1.1. Sistema de suspensión

El sistema de suspensión y elevación es el que permite el movimiento de la cabina a lo largo de la instalación.

Los elementos que conforman el sistema de elevación son los encargados de transmitir el movimiento de la maquina a la cabina y asegurar la adherencia en cualquier momento teniendo en cuenta el recorrido de la instalación y la carga de la cabina.

Estos elementos son los siguientes:

- Sistema de suspensión o cableado
- Sistema de tracción
 - Motor
 - Reductor
 - Poleas de tracción
 - Poleas de desviación
- Cabina
- Contrapeso

Los principales tipos de suspensión en función de la desmultiplicación que el conjunto de poleas ofrece son dos:

- Suspensión directa (1:1):
- Suspensión diferencial (2:1, 3:1, 4:1):

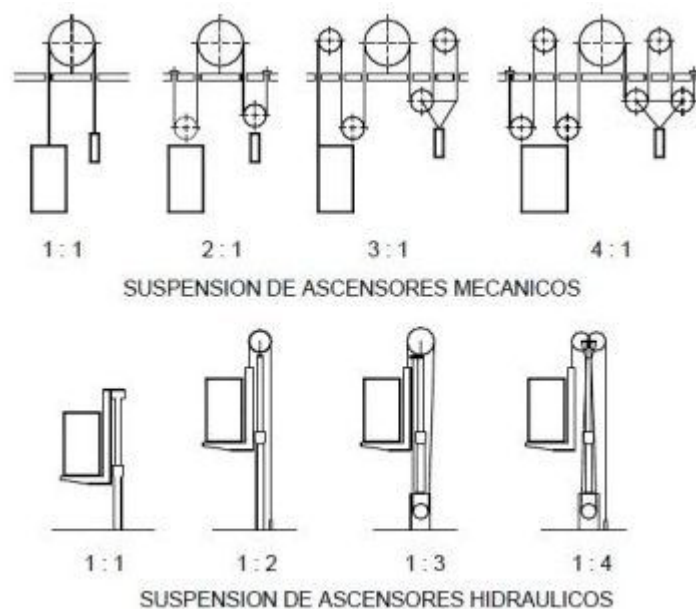


Ilustración 31 Tipos de sistemas de suspensión [18]

1.1.1. Elementos del sistema de suspensión

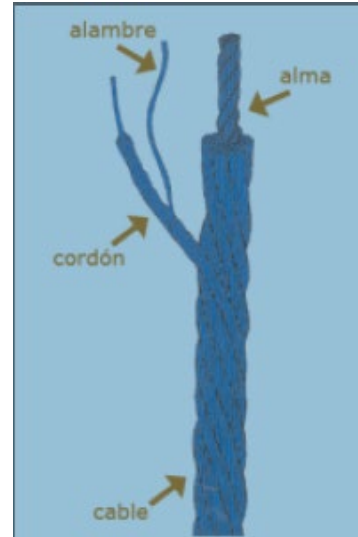
A continuación, en este apartado se definirán los elementos del sistema de elevación que se utilizarán en la instalación propuesta.

1.1.1.1. Cables

Las cabinas y los contrapesos están suspendidos por cables de acero. Un cable metálico es un elemento formado por alambres agrupados formando cordones, que a su vez se enrollan sobre un alma formando un conjunto apto para resistir esfuerzos de tracción derivados de la suspensión de la cabina y del chasis.

Los elementos que componen los cables son:

- Alambres: Son generalmente de acero trefilado al horno, con carga de rotura a tracción entre 1200 y 2000 MPa.
- Almas: Son los núcleos en torno a los cuales se enrollan los alambres y los cordones. Suelen ser metálicas, textiles (cáñamo, algodón, etc...) o incluso amianto.
- Cordones: Son las estructuras más simples que podemos construir con alambres y almas. Se forman trenzando los alambres, bien sobre un alma o incluso sin alma.



*Ilustración 32 Composición cables
[1]*

Dependiendo de la conjugación de los elementos que conforman el cable antes expuestos, la estructura transversal de los cordones puede ser de diferentes tipos:

- Cordones de alambres de igual diámetro: En donde cada capa tiene 6 alambres más que en la anterior, pero todos iguales.
- Cordones de alambres de diferente diámetro: En este tipo existen tres tipos bien diferenciados en el mercado:
 - SEALE: Las dos últimas capas llevan igual número de alambres.
 - WARRINGTON: La capa exterior lleva alambres de dos diámetros distintos.
 - FILLER-WIRE: Lleva alambres más finos para llenar los huecos existentes entre las capas, lo que los hace más resistentes a la compresión.

1.1.1.1.1. Cálculo y selección de los cables de suspensión

Según la norma, la adherencia debe ser tal que cumpla con las tres condiciones siguientes:

- la cabina debe poder mantenerse al nivel de los accesos, sin deslizar los cables, cuando se cargue con el 125%, según el apartado 5.4.2.1 o el 5.4.2.2;
- debe asegurarse que cualquier frenada de emergencia cause en la cabina, esté vacía o con la carga nominal, una deceleración de un valor que no exceda el establecido para los amortiguadores, incluyendo los amortiguadores de carrera reducida;
- en caso de quedar atascada la cabina vacía o el contrapeso, no debe ser posible hacer ascender al otro hasta una posición peligrosa; para lo cual:
 - los cables deben deslizar sobre la polea de tracción, o
 - la máquina debe ser detenida por un dispositivo eléctrico de seguridad conforme al apartado 5.11.2 de la norma UNE-EN-81-50.

El coeficiente de seguridad de los medios de suspensión no debe ser menor de:

- 12, en el caso de tracción por adherencia con tres cables o más;
- 16, en el caso de tracción por adherencia con dos cables;
- 12, en el caso de tracción por tambor y ascensores hidráulicos con cables;
- 10, en el caso de cadenas.

$$C_s = \frac{N^{\circ} \text{ cables} \cdot \text{Carga rotura}}{P + Q} \geq 12$$

Por tanto la carga mínima que debe soportar cada cable será:

$$Q_m = (P + Q_u) \cdot C_s \cdot 9,8 = (1550) \cdot 12 \cdot 9,8 = 182.280 \text{ (N)} = 182,28 \text{ (KN)}$$

$$Q_{\text{rotura}_{\text{cable}}}(\text{mayorada}) = \frac{Q_m}{3} = 60,76 \text{ (KN)}$$

Con todo ello, para la instalación propuesta se utilizaran 10 cables de 8 cordones y alma textil FILLER PFEIFER P122 de $\varnothing 10$ mm, perteneciente al grupo de calidades que marca la norma para cables de tracción y compensación.

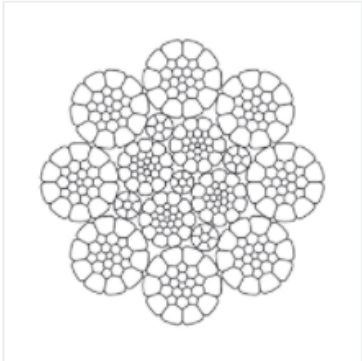
	Ø nominal cuerda [mm]	8
	Peso aproximado.	32 [kg / 100 m]
	Fuerza mínima de rotura Fmin 1770 [kN]	55,3
	Fuerza mínima de rotura Fmin 1960 [kN]	61,3
	Fuerza mínima de rotura Fmin 2160 [kN]	67,5
	Número de alambres portantes en los filamentos externos	152

Ilustración 33 Características técnicas cable de tracción Filler Pfeifer P122 $\varnothing 8$ [20]

CABLE DE TRACCION
10 FILLER PFEIFER P122 de $\varnothing 8$

1.1.1.1.1. Cálculo de la longitud de los cables

Los cables tienen que tener una longitud lo suficientemente necesaria como para poder llevar la cabina desde su posición más baja hasta la última planta y poder absorber, además, los sobre recorridos.

Para ello es necesario calcular dicha longitud teniendo en cuenta la posición de amarre de los terminales en el chasis de cabina y contrapeso y el cuarto de máquinas.

En este caso, por tratarse de un chasis eléctrico 1:1 con tiro superior tanto en cabina como en contrapeso, utilizaremos la siguiente fórmula:

$$L_c = R + 7500 + 2 \cdot \Delta H$$

Donde:

- L_c es la longitud del cable (mm)
- R es el recorrido total de la instalación (mm)
- ΔH es el incremento de la huida respecto a la estándar (huida estándar=3600 mm).

Así se obtiene que:

$$L_c = 6850 + 7500 + 2 \cdot \Delta H = 14350 \text{ mm}$$

1.1.1.2. Poleas

La polea de tracción es el elemento encargado de transmitir la tracción por adherencia que permite el movimiento de la cabina y soporta los esfuerzos transmitidos por los cables.

Las características que la definen son su diámetro, su material y el perfil de sus gargantas.

Su diámetro está relacionado con la velocidad nominal de desplazamiento y con el diámetro del cable de tracción. Su vida útil será mayor cuanto mayor sea la relación entre su diámetro y el de los cables.

Según la norma UNE-EN 81-20, en su apartado 5.5.2.1 la relación entre el diámetro primitivo de las poleas de tracción, poleas o tambores y el diámetro nominal de los cables de suspensión debe ser al menos de 40, cualquiera que sea el número de alambres.

$$D_{polea} = 40 \cdot d_{cable} = 40 \cdot 8 = 320 \text{ mm}$$

El material de estas poleas suele ser de acero o fundición de hierro gris, ya que presenta una resistencia suficiente para soportar la presión de los cables y un desgaste reducido.

Los perfiles de las gargantas más utilizados son trapezoidal en "V", semicircular y semicircular desfondada, en "U". Este perfil está directamente relacionado con la vida del cable y debe evitar el enclavamiento del cable en esta o el aplastamiento del mismo.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA POLEA TRACTORA:

Poleas

- Ø 160: Material UNE-EN 10083 42CrMo4 (acero)
- Ø 240/ Ø 270: Material UNE-EN 10083 C45 (acero); • Ø 320/ Ø 400: Material fundición

Garganta de polea

- Garganta semicircular desfondada: $\gamma = 25^\circ \div 45^\circ$, $\beta = 75^\circ \div 105^\circ$ (para polea Ø 160, Ø 240, Ø 320 y Ø 400)
- Garganta trapezoidal en V endurecida: $\gamma = 35^\circ \div 60^\circ$ (para polea Ø 240 y Ø 270)

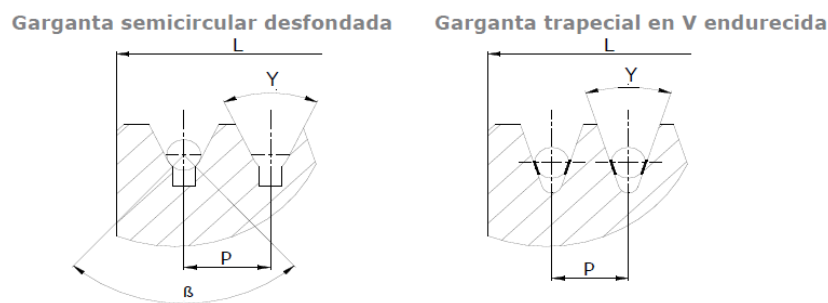


Ilustración 34 Gargantas de las poleas ^[1]

POLEAS TRACTORAS				
Ø Polea (mm)	Ancho L (mm)	Ø Cable 6.5 mm	Ø Cable 8 mm	Ø Cable 9 y 10 mm
		P=12 mm	P=15 mm	P=15 mm
160	124	10		
	148	12		
240	78	6		
	100	8		
	124	10		
270	124	10		
320	94		6	
	124		8	
400	87		5	5

El número de flexiones y la severidad de las mismas causan el deterioro de los cables. Ello se ve influenciado por el tipo de gargantas (gargantas en U o en V) y por si las flexiones son inversas o no.

El grado de severidad de cada flexión puede equipararse a un número de flexiones simples.

Una flexión simple se define por un cable que viaja sobre una garganta semi-circular, donde el radio de la garganta no es superior a 0,53 el diámetro nominal del cable - UNE-EN-81-50, 5.12.2.1.

Este número de flexiones simples que corresponden a un número equivalente de poleas N_{equiv} se puede obtener de la siguiente forma:

$$N_{equiv} = N_{equiv(t)} + N_{equiv(p)}$$

Donde:

$N_{equiv(t)}$ es el número equivalente de poleas de tracción;

$N_{equiv(p)}$ es el número equivalente de poleas de desvío.

Garganta en V	Ángulo en V (γ)	35°	36°	38°	40°	42°	45°	50°
	$N_{equiv(t)}$	18,5	16	12	10	8	6,5	5
Gargantas desfondadas en U	Ángulo en U (β)	75°	80°	85°	90°	95°	100°	105°
	$N_{equiv(t)}$	2,5	3,0	3,8	5,0	6,7	10,0	15,2

Sólo se considera una flexión invertida si la distancia entre los puntos de contacto del cable en dos poleas consecutivas separadas por una distancia fija entre sus ejes no excede de 200 veces el diámetro del cable y los planos de flexión rotan más de 120° - UNE-EN-81-50, 5.12.2.3.

$$N_{equiv(p)} = K_p \cdot (N_{ps} + 4 \cdot N_{pr})$$

Donde:

- N_{ps} es el número de poleas con flexiones simples;
- N_{pr} es el número de poleas con flexiones invertidas;
- K_p es la relación entre los diámetros de la polea de tracción y las poleas

$$K_p = \left(\frac{D_t}{D_p} \right)^4$$

Donde:

- D_t es el diámetro de la polea de tracción;
- D_p es el diámetro medio de todas las poleas, excluida la polea de tracción.

Ya que nuestra instalación es para una suspensión 1:1, y polea con garganta en V a 45°, obtenemos que:

$$N_{equiv} = N_{equiv(t)} = 6,5$$

1.1.1.3. Tecnología gearless

La tecnología gearless (sin reductor), a diferencia de geared (con reductor), utiliza un motor síncrono dotado de imanes permanentes que carecen de reductor, lo que ayuda a que haya menos puntos con fricciones y logra un notable ahorro de energía. Estos motores, a parte de tener unas dimensiones más reducidas, aumentan la eficiencia de los ascensores el doble que los motores con reducción.

Como resultado de aplicarla, se elimina la creación de cuarto de máquinas y se aprovecha más el espacio en los edificios.

Este sistema se puede utilizar tanto en bloques de viviendas particulares así como para grandes recorridos y velocidades y uso a nivel industrial o civil.

Su gran éxito también se debe a la disminución de consumo para una misma velocidad en instalaciones convencionales, una notable disminución del ruido, y que tanto el arranque como la parada se hacen de forma más progresiva.

La tecnología gearless destaca también por su respeto por el entorno y la naturaleza. Los motores de imanes permanentes necesitan un menor número de materiales en su fabricación y además no utilizan aceites lubricantes que contaminan, algo realmente positivo.

1.1.1.4. Máquina y bancada de la maquina

El motor de tracción es el componente que suministra la potencia necesaria para llevar a cabo los movimientos de subida y bajada, con y sin la carga nominal, y además ayuda a vencer la fuerza de rozamiento que hay entre los cables de suspensión y las poleas. Se sabe que el motor de tracción ha de poder funcionar a diversas velocidades a fin de facilitar el confort y suavizar la marcha de los pasajeros durante el uso del ascensor. De este modo se tienen tres posibles tipos de motores eléctricos:

- Motor de corriente continua.
- Motor asíncrono de jaula de ardilla.
- Motor síncrono de imanes permanentes.



Ilustración 35 Motor de tracción [1]

A pesar de que el motor de corriente continua dispone de una gran flexibilidad en cuanto a la amplia variación de velocidades, existen tales inconvenientes del mismo que hacen que la elección sea un motor de corriente alterna trifásica:

- Para una misma potencia los motores de corriente continua son mayores y más caros que los de inducción.
- Se debe vigilar el arranque de los motores de corriente continua, ya que la intensidad de arranque sólo viene limitada por la resistencia de los devanados, y hay riesgo de sobrecalentamiento por efecto Joule.
- Debido a la presencia del colector existe una mayor necesidad de mantenimiento que los motores de inducción, que son más robustos y con mayor simplicidad en sus elementos.
- Por otro lado, los motores de inducción a pesar de ser más simples, más baratos y de mantenimiento más simple, presentan una serie de inconvenientes como la complejidad por regular la velocidad y presentar un consumo eléctrico mayor que los motores síncronos.

Además, es de destacar que el hecho de emplear un motor de imanes permanentes implica una disminución de la intensidad de arranque, no necesita ningún mecanismo de reductor de engranajes como en el caso de los motores asíncronos y el ahorro de energía eléctrica es mayor puesto que es capaz de trabajar con factores de potencia unitarios o prácticamente unitarios.

De esta manera, se consigue una mayor compacidad en la instalación, lo que se traduce en una mayor flexibilidad en las obras de instalación y montaje del ascensor. Entre otras cosas, la no presencia del reductor de engranajes hace que el mantenimiento de engrase sea nulo y se mantenga así el respeto con el medio ambiente. Por el contrario, como inconveniente se destaca su precio, superior a los motores asíncronos por ser de tecnología moderna en el campo de la elevación.

SUSPENSIÓN 1:1

MODELO	Carga Nom. (kg)	Par Nom. (Nm)	Int. Nom. (A)	Pot. (kW)	Carga Máx. eje (N)	Vn (m/s)	Ø Polea (mm)	(Hz)	Tensión (V)	Polos	rpm	A/h	Duty	FRENO			Peso (kg)
														M2n (Nm)	Potencia (W)	Tensión DC (V)	
maGO100.1.160	320	240	11.2	3.0	25000	1	160	13.9	400	14	119	180	40%	2x300	2x85	207	170
maGO125.1.160	400	300	14.1	3.8	25000	1	160	13.9	400	14	119	180	40%	2x300	2x85	207	182
maGO150.1.160	480	360	14.3	4.5	25000	1	160	13.9	400	14	119	180	40%	2x480	2x85	207	202
maGO175.1.160	600	420	15.3	5.3	25000	1	160	13.9	400	14	119	180	40%	2x480	2x85	207	214
maGO075.1.240	180	180	5.4	1.5	25000	1	240	9.3	400	14	80	120	40%	2x200	2x85	207	158
maGO075.1.240.16	180	180	9.1	2.4	25000	1.6	240	14.9	400	14	128	120	40%	2x200	2x85	207	158
maGO100.1.240	225	240	6.8	2.0	25000	1	240	9.3	400	14	80	180	40%	2x300	2x85	207	170
maGO100.1.240.16	225	240	11.2	3.2	25000	1.6	240	14.9	400	14	128	180	40%	2x300	2x85	207	170
maGO125.1.240	320	300	8.1	2.5	25000	1	240	9.3	400	14	80	180	40%	2x300	2x85	207	182
maGO125.1.240.16	320	300	14.1	4.0	25000	1.6	240	14.9	400	14	128	180	40%	2x300	2x85	207	182
maGO150.1.240	400	360	9.7	3.0	30000	1	240	9.3	400	14	80	180	40%	2x480	2x85	207	202
maGO150.1.240.16	400	360	17.3	4.8	30000	1.6	240	14.9	400	14	128	180	40%	2x480	2x85	207	202
maGO175.1.240	480	420	11.3	3.5	30000	1	240	9.3	400	14	80	180	40%	2x480	2x85	207	214
maGO175.1.240.16	480	420	17.6	5.6	30000	1.6	240	14.9	400	14	128	180	40%	2x480	2x85	207	214
maGO200.1.240	525	480	11.9	4.0	30000	1	240	9.3	400	14	80	180	40%	2x480	2x85	207	232
maGO200.1.240.16	525	480	21.3	6.4	30000	1.6	240	14.9	400	14	128	180	40%	2x480	2x85	207	232
maGO225.1.240	630	550	14.4	4.6	30000	1	240	9.3	400	14	80	180	40%	2x700	2x140	207	256
maGO250.1.240	675	610	15.3	5.1	30000	1	240	9.3	400	14	80	180	40%	2x700	2x140	207	268
maGO250.1.240.16	675	610	27.9	8.2	30000	1.6	240	14.9	400	14	128	180	40%	2x700	2x140	207	268
maGO275.1.240	750	700	17.3	5.9	30000	1	240	9.3	400	14	80	180	40%	2x700	2x140	207	280
maGO275.1.240.16	750	700	32.6	9.3	30000	1.6	240	14.9	400	14	128	180	40%	2x700	2x140	207	280
maGO125.1.320	225	300	6.6	1.9	25000	1	320	7	400	14	60	180	40%	2x300	2x85	207	192
maGO150.1.320	320	360	7.5	2.3	30000	1	320	7	400	14	60	180	40%	2x480	2x85	207	212
maGO150.1.320.16	320	360	14.3	3.6	30000	1.6	320	11.2	400	14	96	180	40%	2x480	2x85	207	212
maGO175.1.320	375	420	9.0	2.6	30000	1	320	7	400	14	60	180	40%	2x480	2x85	207	224
maGO175.1.320.16	375	420	15.3	4.2	30000	1.6	320	11.2	400	14	96	180	40%	2x480	2x85	207	224
maGO200.1.320	400	480	9.9	3.0	30000	1	320	7	400	14	60	180	40%	2x480	2x85	207	242
maGO200.1.320.16	400	480	18.1	4.8	30000	1.6	320	11.2	400	14	96	180	40%	2x480	2x85	207	242
maGO225.1.320	480	550	11.5	3.5	30000	1	320	7	400	14	60	180	40%	2x700	2x140	207	264
maGO225.1.320.16	480	550	20.3	5.5	30000	1.6	320	11.2	400	14	96	180	40%	2x700	2x140	207	264
maGO250.1.320	525	610	12.5	3.8	30000	1	320	7	400	14	60	180	40%	2x700	2x140	207	276
maGO250.1.320.16	525	610	23.1	6.1	30000	1.6	320	11.2	400	14	96	180	40%	2x700	2x140	207	276
maGO275.1.320	630	700	13.8	4.4	30000	1	320	7	400	14	60	180	40%	2x700	2x140	207	288
maGO275.1.320.16	630	700	32.6	7	30000	1.6	320	11.2	400	14	96	180	40%	2x700	2x140	207	288
maGO175.1.400	225	420	7.7	2.1	30000	1	400	5.6	400	14	48	180	40%	2x480	2x85	207	229
maGO175.1.400.16	225	420	11.3	3.4	30000	1.6	400	9.0	400	14	77	180	40%	2x480	2x85	207	229
maGO225.1.400	375	550	9.7	2.8	30000	1	400	5.6	400	14	48	180	40%	2x700	2x140	207	269
maGO225.1.400.16	375	550	14.4	4.4	30000	1.6	400	9.0	400	14	77	180	40%	2x700	2x140	207	269
maGO275.1.400	480	700	11.9	3.5	30000	1	400	5.6	400	14	48	180	40%	2x700	2x140	207	293
maGO275.1.400.16	480	700	17.3	5.7	30000	1.6	400	9.0	400	14	77	180	40%	2x700	2x140	207	293

Datos válidos para: Rendimiento 80% / Recorrido 18 m

Para maGO Vn < 1 m/s, tomar maGO para Vn = 1 m/s y regular frecuencia de alimentación.

Para maGO 1 m/s < Vn < 1.6 m/s, tomar maGO para Vn=1.6 m/s y regular frecuencia de alimentación.

Ilustración 36 Datos técnicos maquinas tractoras ^[1]

Para la instalación propuesta se seleccionará una maquina gearless maGO225.1.240 para una carga nominal de 630kg y una suspensión 1:1 de la que se hablará posteriormente.

Cabe destacar que esta instalación no requiere de un cuarto de máquinas ya que ahora la normativa admite esta posibilidad.

Con esto las dimensiones de la maquina tractora serán las siguientes:

DIMENSIONES

TIPOS	Ø Poleas: Ø D (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)	L5 (mm)
maGO100/125	160	573	426	250	43	
maGO150/175	160	653	506	330	43	
maGO075/100/125	240 (6 canales)	544	438	250	55	
maGO150/175/200	240 (6 canales)	624	518	330	55	
	240 (8/10 canales)	630	506	330	43	
maGO225/250/275	240 (8/10 canales)	719	595	410	43	
maGO275	270	729	595	410	43	
maGO075/100/125	320	559	437	250	53	386
maGO150/175/200	320	639	517	330	53	386
maGO225/250/275	320	728	606	410	53	386
maGO150/175/200	400	650	517	330	53	480
maGO225/250/275	400	739	606	410	53	480

Ilustración 37 Datos geométricos maquinas tractoras ^[1]

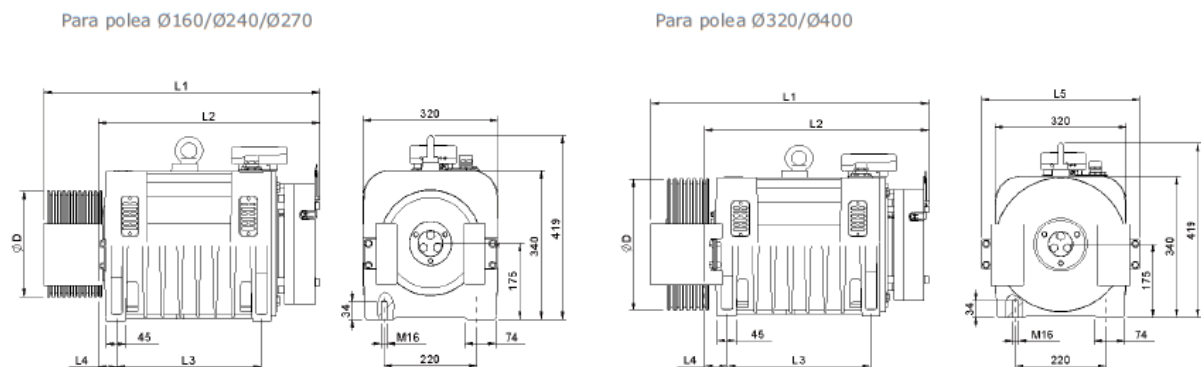


Ilustración 38 Datos geométricos maquinas tractoras con poleas de Ø160-400 mm ^[1]

El variador elegido será un ecoGO Síncrono INVERTER para 400 V y 7,5 kW con un peso de 5,65 kg y unas dimensiones de 305x205x125 mm.

CARACTERÍSTICAS TCNICAS DE LA MAQUINA TRACTORA

maGO225.1.240	Carga Nom. (kg)	Par Nom. (Nm)	Int. Nom (A)	Pot (kW)	Carga Max.Eje (N)	Vn (m/s)	ØPolea (mm)	(Hz)	Tensión (V)	Polos	rpm	A/h	Duty	FRENO			Peso (Kg)
														M2n (Nm)	Potencia (W)	Tensión DC (V)	
	630	550	14.4	4.6	30000	1	240	9.3	400	14	80	180	40%	2x700	2x140	207	256

CARACTERÍSTICAS GEOMETRICAS DE LA MAQUINA TRACTORA

maGO225.1.240	Ø Poleas: Ø D (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)	L5 (mm)
	320	728	606	410	53	386

1.2. Contrapeso y masa no equilibrada

El contrapeso tiene como objetivo equilibrar el peso de la cabina y de una parte de la carga nominal, que suele ser del 50 %. De esta forma, se reduce considerablemente el peso que debe arrastrar el grupo tractor, disminuyendo así la potencia necesaria para elevar la cabina.

Favorece la adherencia del cable de sustentación con la polea motriz. Para instalaciones inferiores a 50 (m) el peso de los cables se desprecia y para instalaciones mayores se coloca un cable o cadena de compensación con la misión de equilibrar también el peso de los cables.

Se desplaza en dirección contraria a la cabina. Hay que tener en cuenta que el ascensor no siempre es utilizado a media carga, pero el contrapeso no cambia (mantiene la carga) cada vez que se genera un desplazamiento de subida o bajada, por lo cual, cuando el ascensor se desplaza con la máxima carga en dirección ascendente es cuando el motor produce el mayor par y por el contrario, cuando el ascensor se desplaza con la mitad de la carga útil los pesos entre contrapeso y cabina se equilibran, siendo prácticamente nulo el esfuerzo necesario.

Sobre el contrapeso, la norma dice:

- Es en la parte central del recorrido donde la cabina y el contrapeso deben aproximarse físicamente, estando opuestos en las posiciones límite (cabina arriba y contrapeso abajo o cabina abajo y contrapeso arriba).
- No se admite que la cabina y el contrapeso estén en huecos separados.
- EL contrapeso debe ir guiado por el hueco.
- Si el contrapeso es accesible a las personas, se deberá instalar un sistema de paracaídas y las guías se calcularán con un coeficiente de seguridad especial.
- Se puede sustituir el contrapeso si se instala una segunda cabina en otro hueco adyacente.

Los componentes a instalar en el contrapeso son:

- Chasis o bastidor, tiene que sujetar las pesas.
- Pesas, suelen ser de material de mampostería, hormigón o acero.
- Punto de sustentación o polea, dependiendo de la configuración del ascensor, los cables estarán anclados directamente al chasis o se realizará el reenvío mediante polea.
- Deslizaderas, junto con las guías conducen al contrapeso.
- Paracaídas, en según qué instalaciones es obligatorio disponer de él.
- Sujeción de cadena de compensación, si por altura fuese necesario anclar una cadena para la compensación de los cables.
- Punto anclaje puffer, debe preverse una zona donde colisionen los amortiguadores en caso de caída libre.

Para la instalación propuesta el P+Q máximo es de 1550 kg y una Q de 630 Kg.

Con todo ello, de una forma aproximadamente razonable se puede calcular la masa del contrapeso como:

$$P + \frac{Q}{2} = 920 + 315 = 1235 \text{ Kg}$$

Además, se puede calcular la carga no equilibrada como la diferencia entre la carga total de la cabina y la masa del contrapeso:

$$\text{Carga no equilibrada} = Q_t - Q_{\text{cpeso}} = 1550 - 1235 = 315 \text{ (kg)}$$

MASA DEL CONTRAPESO (Kg)	MASA NO EQUILIBRADA (Kg)
1235	315

1.3. Cabina

La cabina es el habitáculo cerrado que, unido al chasis de cabina, aloja y transporta a las personas y cargas.

Este componente es en el que sucede la unión entre las personas y el resto de la instalación, y es por tanto el elemento que mayor seguridad debe poseer. Por ello estará diseñada para tener la resistencia necesaria para soportar y evitar posibles accidentes.

Su espacio y resistencia corresponderán al máximo número de personas y a la carga nominal del ascensor.

Sus dimensiones dependen del tipo de edificio que se trate. Generalmente en los edificios que poseen oficinas, a diferencia de las viviendas familiares, las cabinas de los ascensores son realmente amplios para admitir un transporte superior de personas ya que el tránsito es mayor durante todo el día.

En todo caso se debe conseguir en la medida que sea posible, alcanzar las mayores medidas interiores de cabina para el número de personas o carga útil que se solicite.

En función de las puertas que tenga, puede ser de simple embarque (una puerta), doble embarque (dos puertas), triple embarque (tres puertas), cuádruple embarque (cuatro puertas), bien a 90, 180, 270°.

La cabina está formada por paredes o paños verticales donde se colocan las puertas, un suelo, un techo, decoraciones, una botonera que contendrá botones señalizados con los diferentes pisos y otros elementos como alarmas, detención de puertas etc.



Ilustración 39 Cabina [1]

1.3.1. Elementos de la cabina

La cabina está constituida por los diferentes elementos que se representaran a continuación

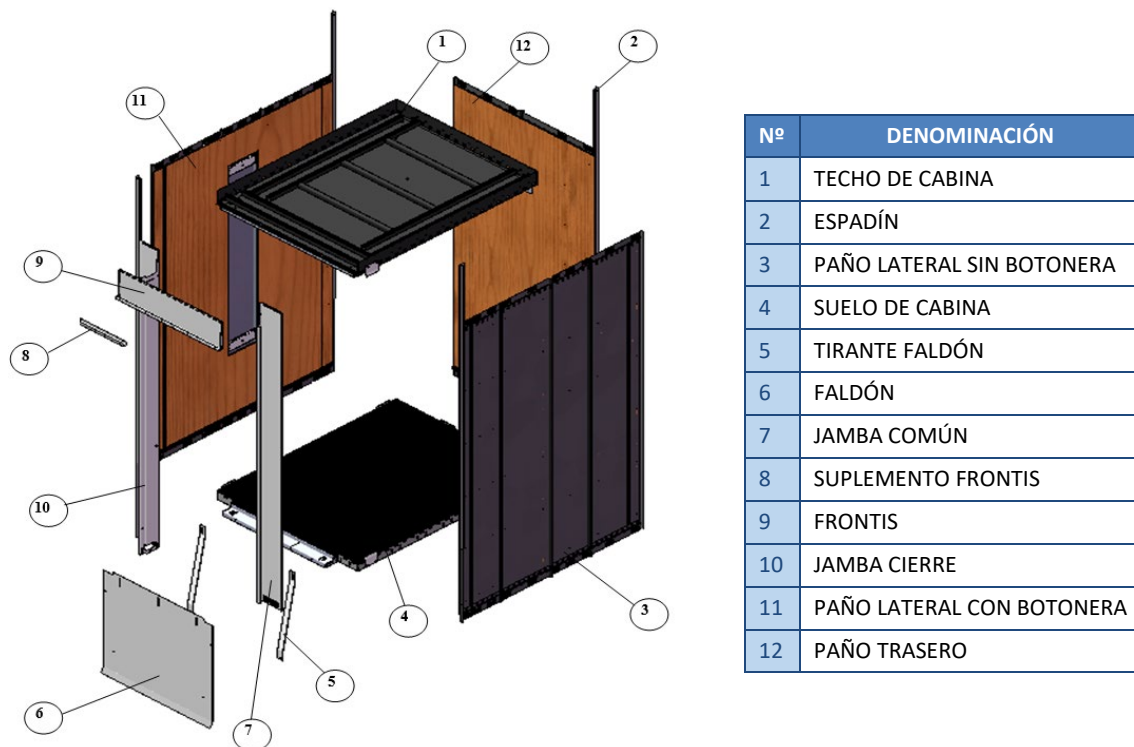


Ilustración 40 Elementos de la cabina [1]

Otros elementos que se colocan en la cabina son los siguientes:

- Barandilla de seguridad: Situada en el techo es un elemento necesario para la protección en las operaciones de mantenimiento y rescate siempre y cuando la distancia de la pared del hueco a la cabina sea mayor de 300 mm.
- Trampilla: No son obligatorias pero se emplean para las maniobras de socorro de evacuación de pasajeros, o para acciones de mantenimiento en el techo de cabina.
- Operador: Es el componente encargado de la apertura y cierre de las puertas.
- Cuadro de mando: Para maniobra de inspección y mantenimiento del ascensor.
- Faldón de seguridad: Es un sistema de protección vertical en la parte inferior de la cabina con el fin de evitar el acceso al hueco del ascensor cuando este no se encuentre nivelado con el rellano.
- Pisadera: Perfil de guiado de las puertas del ascensor.
- Limitador de carga: Con el fin de controlar la carga de la cabina e impedir el movimiento en caso de sobrecarga de esta.
- Elementos decorativos: Tales como los paños de la cabina, pasamanos, espejos, ventilación, cristales, botoneras...

1.3.2. Cálculo dimensional de la cabina

1.3.3. Superficie de la cabina

Las dimensiones de nuestra cabina para una carga útil de 630 kg serán elegidas para poder cumplir la normativa vigente.

Atendiendo las indicaciones del apartado 5.4 “Cabina, contrapeso y masa de equilibrado” de la Norma EN-81-20 “La altura libre interior de la cabina debe ser como mínimo de 2 m”.

Y atendiendo las indicaciones del apartado 5.4.2.1.1 de la Norma EN-81-20 “Para evitar la sobrecarga de la cabina por el número de pasajeros, debe limitarse su superficie útil”.

Así pues, la relación entre la carga nominal y la superficie útil máxima de la cabina se pueden ver en la tabla siguiente.

Carga nominal, masa (Kg)	Máxima superficie útil de la cabina (m ²)	Carga nominal, masa (Kg)	Máxima superficie útil de la cabina (m ²)
100 ^a	0,37	900	2,20
180 ^b	0,58	975	2,35
225	0,70	1000	2,40
300	0,90	1050	2,50
375	1,10	1125	2,65
400	1,17	1200	2,80
450	1,30	1250	2,90
525	1,45	1275	2,95
600	1,60	1350	3,10
630	1,66	1425	3,25
675	1,75	1500	3,40
750	1,90	1600	3,56
800	2,00	2000	4,20
825	2,05	2500 ^c	5,00

a Mínimo para un ascensor de una persona.
b Mínimo para un ascensor de dos personas.
c Por encima de 2 500 kg añadir 0,16 m² por cada 100 kg más.
Para cargas intermedias la superficie se determina por interpolación lineal.

Además para cumplir con la Norma EN81-70 (Accesibilidad a los ascensores de personas, incluyendo personas con discapacidad) según su apartado 5.3, las medidas mínimas de cabina con entrada única o con doble entrada, serán de una anchura de 1100 mm y una profundidad de 1400 mm para una carga útil de 630 kg.

1.3.4. Número de pasajeros

Según la Norma el número de pasajeros vendrá determinado por el menor de los valores siguientes:

- Bien el obtenido por la fórmula siguiente, redondeando a la cifra entera inferior:

$$N^{\circ} \text{ pasajeros} = \frac{\text{Carga Nominal (Q)}}{75} = \frac{630}{75} = 8,4 \rightarrow 8$$

- O bien el obtenido con la siguiente tabla:

Número de pasajeros	Mínima superficie útil de la cabina (m ²)	Número de pasajeros	Mínima superficie útil de la cabina (m ²)
1	0,28	11	1,87
2	0,49	12	2,01
3	0,60	13	2,15
4	0,79	14	2,29
5	0,98	15	2,43
6	1,17	16	2,57
7	1,31	17	2,71
8	1,45	18	2,85
9	1,59	19	2,99
10	1,73	20	3,13

Por encima de 20 pasajeros se añaden 0,115 m² por cada pasajero adicional.

Con todo ello se pueden adoptar las siguientes dimensiones para la cabina:

Altura de la cabina (mm)	Anchura de la cabina (mm)	Fondo de la cabina (mm)	Nº pasajeros máximos
2100	1100	1400	8

Correspondiéndole una superficie de 1,54 m² que cumple la superficie mínima de 1,45 m² y la superficie máxima de 1,66 m² que recoge la normativa.

SUPERFICIE CABINA				AC	
Carga Q / N° personas	INTERPOLAR	Otra Q / N° personas	Normativa	ANCHO EXTERIOR CABINA	1100 mm
630/8		4.2 3.705	EN81-20/50	FONDO EXTERIOR CABINA	1400 mm

DATOS			
LADO 0	SIEMPRE PUERTA	CH2	EMBOCADURA 37 mm
			PISADERA 70 mm
			LUZ 1100 mm
LADO 90	PAÑO	SIN PUERTA	EMBOCADURA 0 mm
			PISADERA 100 mm
			LUZ 750 mm
		OTRA	0 mm
LADO 180	PAÑO	SIN PUERTA	EMBOCADURA 37 mm
			PISADERA 70 mm
			LUZ 1100 mm
		OTRA	10 mm
LADO 270	SIEMPRE DECORACION	OTRA	0 mm

SUPERFICIE (m ²)	CABINA	MINIMA	MAXIMA
	1.54	1.45	1.66

OK

* Cálculo de la EN 81-20/50 según las pautas del documento de I+D, IW-00000218 del 28/01/2017

Ilustración 41 Cálculo superficie útil mínima y máxima de cabina [1]

1.4. Sistema de seguridad

Los elementos que componen el sistema de seguridad son aquellos que impiden que puedan ocurrir accidentes ante un mal funcionamiento o avería.

A continuación se describirán dos de los elementos más importantes de la seguridad de un ascensor.

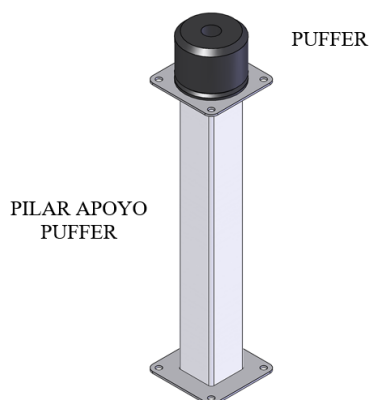
1.5.1. Amortiguadores de cabina y contrapeso

Los ascensores deben estar provistos de amortiguadores, para detener la cabina y el contrapeso en el caso de los eléctricos. Dichos elementos se sitúan generalmente en el foso al final del recorrido de la cabina y el contrapeso, aunque también pueden montarse en la parte inferior del chasis de cabina o de contrapeso.

Los amortiguadores deben ser capaces de convertir la energía cinética de la cabina o contrapeso, en el instante del impacto entre ellos, en calor y en energía potencial debido a la disminución en altura que sufrirá el amortiguador por la compresión a la que se verá sometido.

Existen tres tipos de amortiguadores:

- De acumulación de energía.
- De acumulación de energía con movimiento de retorno amortiguado
- De disipación de energía.



Los dos primeros, ya sean de características lineales o no lineales, deben emplearse únicamente cuando la velocidad nominal del ascensor no supere la velocidad de 1 m/s.

En estos casos los elementos que se emplean son muelles o puffers (amortiguadores de caucho en forma de cilindro). En la instalación propuesta se empleará un puffer, como elemento amortiguador.

Ilustración 42 Amortiguador de cabina y contrapeso [1]

El comportamiento de los puffers no será lineal. Esto significa que una vez se comprima por el impacto del chasis de cabina sobre él, al separarlos, el puffer retomará la forma inicial, por lo que no sufrirá deformaciones permanentes.

Cuando el amortiguador esté totalmente comprimido, esto es una compresión de un 90 % de la altura del puffer instalado, el chasis de cabina no podrá golpear en ningún momento con la parte más alta del pilar de apoyo de dicho amortiguador.

Por otro lado están los amortiguadores de disipación de energía, que podrán emplearse para todo tipo de velocidades. Su mecanismo es en este caso hidráulico como se muestra en la figura.

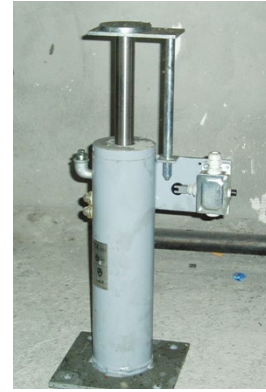


Ilustración 43 Amortiguador de disipación de energía [1]

1.5.2. Limitador de velocidad

El limitador de velocidad es el dispositivo que se encarga de controlar que la velocidad del ascensor no supere un límite establecido (normalmente el 120% de la velocidad nominal de la instalación). Si este límite es superado, el limitador se bloquea actuando sobre el sistema paracaídas

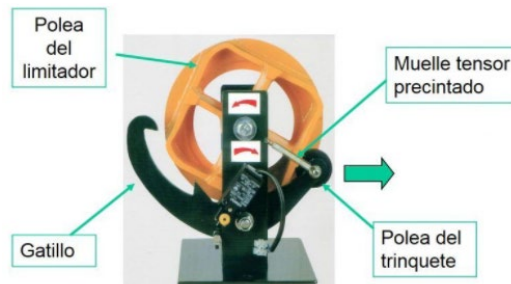


Ilustración 44 Elementos del limitador de velocidad [18]

Existen principalmente dos tipos de limitadores de velocidad:

- Limitador de velocidad oscilante: El resorte obliga al gatillo a seguir el perímetro interno de a polea, una vez esta se acelera, el gatillo es incapaz de continuar su recorrido y queda enclavado en un resorte bloqueando de esta manera la polea. La cabina sigue descendiendo y en ese momento se acciona la timonería del paracaídas produciendo el frenado de la misma.
- Limitador de velocidad centrífugo: Cuando la velocidad de la cabina supera los límites estipulados, esta transfiere el movimiento al limitador de velocidad. En el interior de este se encuentran unos contrapesos que por acción de la fuerza centrífuga se enclavan en unos resortes bloqueando la polea y accionando la timonería como en el caso anterior.

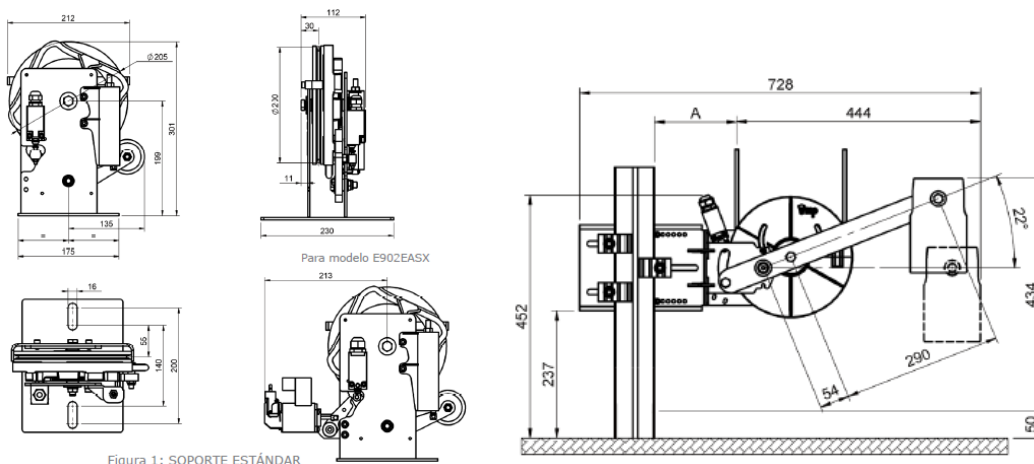


Figura 1: SOPORTE ESTÁNDAR

Ilustración 45 Datos geométricos del limitador de velocidad [1]

1.5.3. Paracaídas

Los paracaídas de aceleración actúan cuando el conjunto chasis-cabina adquiere una velocidad superior a la normal, a partir de un porcentaje prefijado, cualquiera que sea la causa de la aceleración: rotura de los cables, rotura del grupo tractor, etc...

El mecanismo del paracaídas es accionado normalmente por el cable de un aparato denominado limitador de velocidad, que actúa cuando la cabina o el paracaídas rebasan el porcentaje de aumento de velocidad para el que ha sido regulado, también pueden actuarse por el destensamiento o rotura de los cables de suspensión.

Los paracaídas pueden ser de dos tipos:

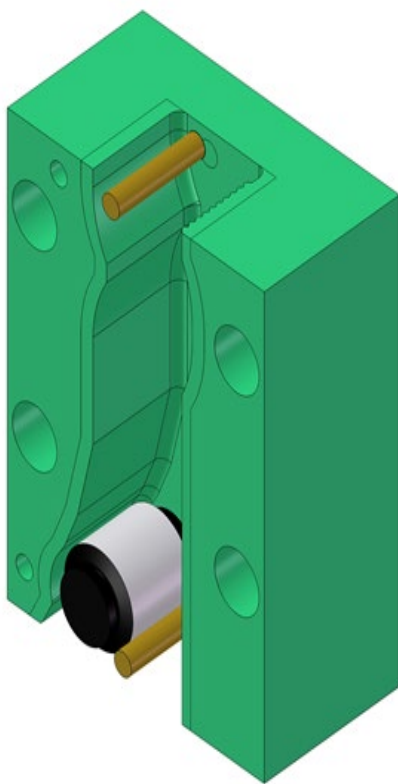


Ilustración 47 Paracaídas de acción instantánea [1]

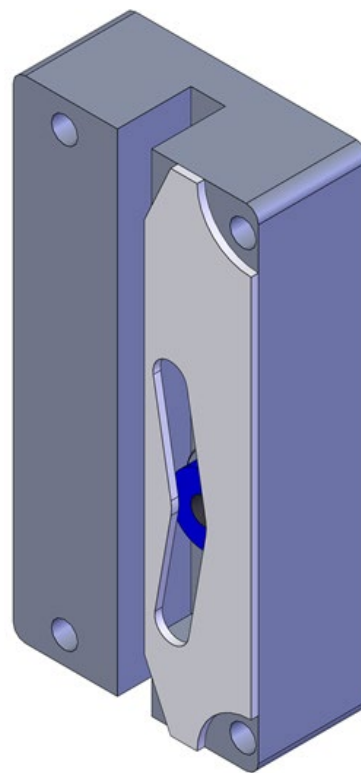


Ilustración 46 Paracaídas de acción progresiva [1]

Los paracaídas instantáneos sólo se permite implantarlos para ascensores de velocidades hasta 0,80 m/s y montacargas de velocidades hasta de 1,50 m/s. No obstante, se pueden utilizar los paracaídas instantáneos, en ascensores de velocidades hasta de 1 m/s siempre que se dote a la cabina de algún dispositivo amortiguador, que evite el golpe seco del frenado, admitiéndose una deceleración máxima de 2,5g. Este dispositivo amortiguador está generalmente formado por tacos de caucho colocados entre el suelo de la cabina y el chasis.

En los paracaídas progresivos, los esfuerzos producidos en el frenado hacen que la cabina se detenga como si chocase con un obstáculo ligeramente elástico. Se supone un recorrido de 40 mm después de iniciar su actuación, pero en la práctica el recorrido es menor, unos 25mm.

Los paracaídas de la cabina deben llevar un dispositivo eléctrico de seguridad que al actuar, corte la serie general de la maniobra, produciendo la parada del grupo tractor antes, o como muy tarde, al mismo tiempo que se produce el frenado de la cabina sobre las guías.

Los paracaídas actuarán por la acción del cable del limitador, que a su vez actuara sobre la biela del limitador. Al producirse esto, se accionará la timonería que arrastrará a los rodillos hacia las guías. Estos rodillos tienen una superficie moleteada y son movidos por las bielas de accionamiento que hay en los extremos de la timonería hasta quedar enganchados a las guías.

El ascenso o descenso de la cabina los encaja cada vez más entre las bielas y las paredes de las cajas de cuñas, hasta que llegan a detenerla.

El contacto eléctrico de la timonería dará la señal de corte a la serie general de la maniobra, produciendo la parada del grupo tractor.

Una vez desacuciado el ascensor, el sistema de retorno formado por una serie de muelles y palancas volverá a situar todas las bielas a su posición de reposo, para que estas puedan volver en caso necesario

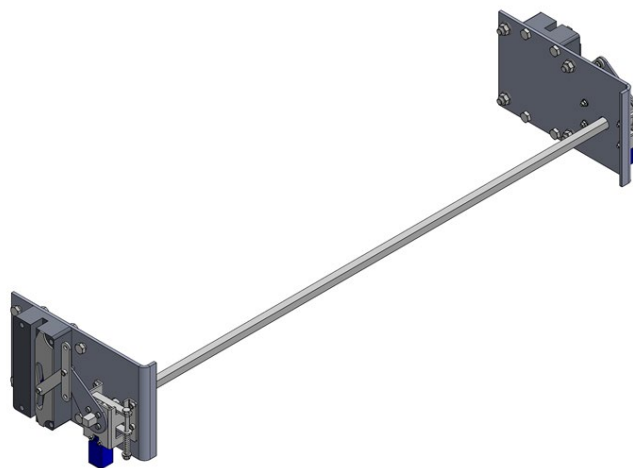


Ilustración 48 Sistema de accionamiento del paracaídas [1]

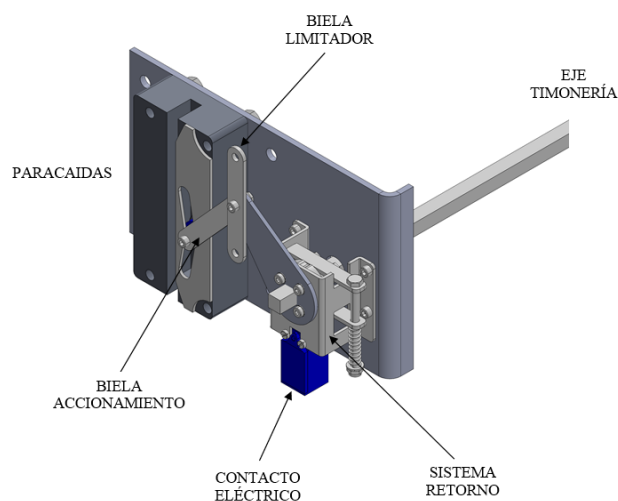


Ilustración 49 Detalle del sistema de accionamiento del paracaídas [1]

1.5. Sistema de guiado

Las vigas de guiado o guías son las responsables de conducir la cabina en su trayectoria y sirven de apoyo en caso de rotura de los cables. Por ello deben tener una resistencia suficiente de acuerdo al P+Q máximo y estar perfectamente alineadas.

El elemento de contacto entre la cabina y las guías son las llamadas rozaderas o rodaderas, las cuales hacen posible el deslizamiento entre las dos partes. Sufren desgaste debido al rozamiento al que están sometidas. Siempre son de un material mucho más blando (caucho, polímeros...) que las vigas de guiado con el fin de que estas no se deterioren.

El perfil de guía elegido para esta instalación trata de un perfil comercial (T 70/70/9) que cumple con las condiciones necesarias para asegurar un perfecto funcionamiento del ascensor.

Condiciones:

- Sección de la guía: La sección de la guía debe ser calculada de forma que pueda soportar el esfuerzo de frenado de emergencia de la cabina producido por la actuación del sistema de paracaídas.
- Deformación: Deberán resistir sin deformarse más de 5 mm las solicitaciones horizontales producidas por el descentramiento de la carga de la cabina.
- Fijación: La fijación de las guías a las paredes del hueco se hará con unas bridas de fundido, de manera que permita un reajuste compensatorio debido al posible acortamiento de la obra producida por los asentamientos o por la propia contracción del hormigón. Por ello, es recomendable montar las guías suspendidas del suelo.
- Distancia entre cabezas de guías: Se deberá cumplir a lo largo de todo el recorrido de la cabina la misma distancia entre las cabezas de las guías, permitiendo únicamente tener una tolerancia de 5 mm como máximo.
- Composición: Las guías de cabina deben ser de acero estirado.
Las guías de contrapeso pueden ser de chapa metálica formada, siempre que no actúen sobre ellas paracaídas.
En cualquier caso, todas las guías deben protegerse frente a la corrosión.

1.5.1. Selección de las guías

Como ya se ha mencionado, las guías deben tener la suficiente resistencia mecánica para soportar sin romperse ni sufrir deformaciones permanentes.

Existen dos clases de esfuerzos que soportan:

1. Esfuerzos horizontales debidos a posibles excentricidades de la carga.
2. Esfuerzos verticales, mayormente producidos por esfuerzos de frenado, que puede transmitir la cabina al transportarse y detenerse. Además en caso de ser detenida por el paracaídas este esfuerzo más brusco ocasionara mayores esfuerzos.

Las guías elegidas para el cálculo serán las siguientes:

GUIA DE CABINA	GUIA DE CONTRAPESO
MONTEFERRO RF70.9 70/70/9	MONTEFERRO RF70 70/65/9

Características mecánicas más importantes de las guías:

TIPO	SECCIÓN cm ²	PESO Kg/m	MOMENTO DE INERCIA cm ⁴		MOMENTOS DE RESISTENCIA DE LA SECCION cm ³		RADIO DE GIRO cm	
			I _{xx}	I _{yy}	W _{xx}	W _{yy}	i _{xx}	i _{yy}
RF 70.9 70/70/9	11,25	8,83	52,81	24,62	10,79	7,03	2,16	1,48
RF 70 T70-1/A	9,51	7,47	41,30	18,65	9,24	5,35	2,09	1,40

TIPO	a mm	b mm (±0,1)	c mm (±0,1)	d mm	e mm	f mm (±0,75)	g mm	Sección cm ²	Peso Kg/m
RF 70.9 70/70/9	70	70	9	7,9	35	-	-	11,25	8.83
RF 70 T70-1/A	70	65	9	6	34	-	-	9,51	7,47

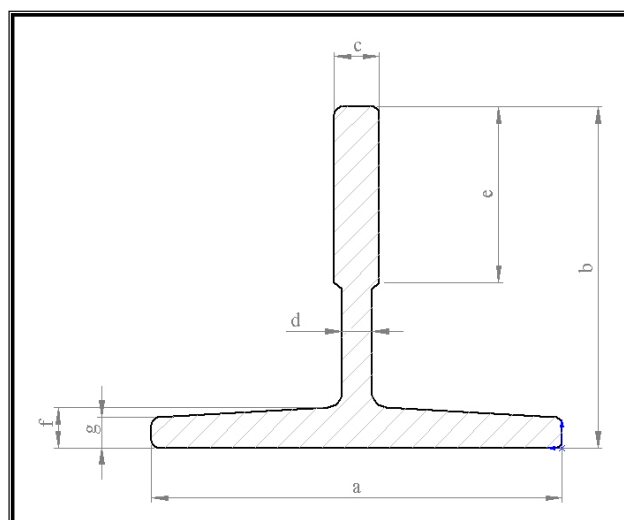


Ilustración 50 Sección de las guías [1]

La unión tanto de las guías de cabina como las guías de contrapeso a la pared se realiza mediante unos soportes denominados Soportes Tipo, los cuales variarán según las guías a colocar así como también de una posible regulación.

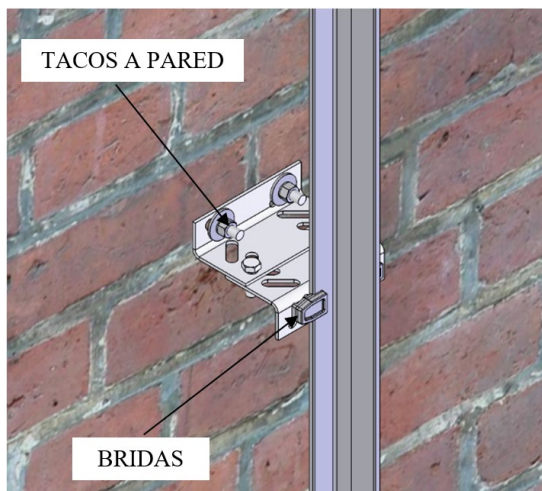


Ilustración 51 Soportes, tacos y bridas [1]

REGULACIÓN MÍNIMA

REGULACIÓN MÁXIMA

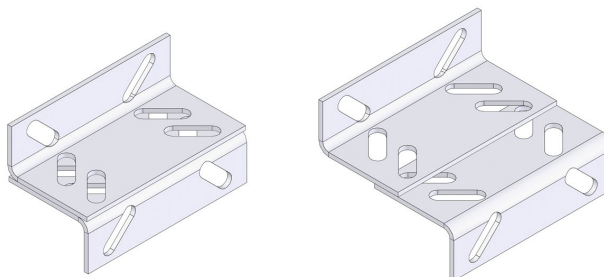
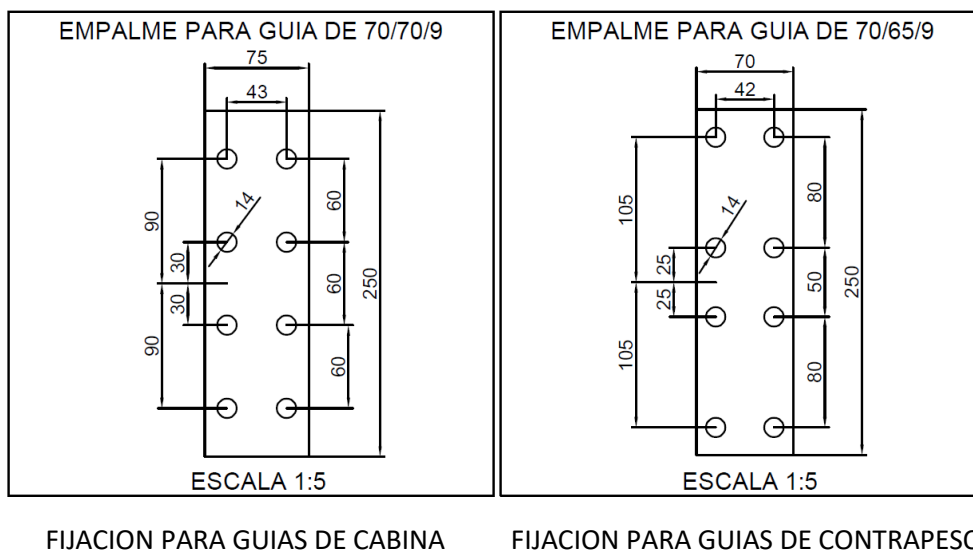


Ilustración 52 Detalle regulación soportes [1]

Con todo ello, para las guías elegidas la longitud de los tramos serán de 5000 mm como máximo con una distancia entre fijaciones de 1500 mm.

Estas fijaciones serán las siguientes para las guías de cabina y contrapeso respectivamente



1.6. Puertas de embarque

Las puertas de embarque son el único componente mecánico móvil al alcance de la mano del usuario, por lo que requiere una especial exactitud en el montaje en cuanto a distancias de seguridad.

1.6.1. Tipos de puertas

Existen diversos tipos de puertas que podemos emplear atendiendo las exigencias del cliente y dependiendo de la tipología del hueco:

- Puertas T2H: Puertas telescópicas de 2 hojas, cuya apertura es en la misma dirección.
- Puertas T3H: Puertas telescópicas de 3 hojas empleadas sobre todo cuando se dispone de menos ancho de hueco. Suelen sustituir en muchas ocasiones a las puertas T2H.
- Puertas C2/4H: Puertas centrales de 2 o 4 hojas. Las puertas se abren desde el centro desplegándose dos hojas en cada dirección.
- Puertas BUS o plegables: Empleadas en huecos muy pequeños en los que las puertas de piso serán semiautomáticas y las de cabina se plegarán hacia adentro.

Para la instalación propuesta se elegirán unas puertas telescópicas de dos hojas tanto en la cabina como en los diferentes pisos, ya que ofrecen las siguientes ventajas:

- Permiten aberturas mayores que otros dispositivos de puertas como son las giratorias o las plegables también denominadas puertas BUS.
- La apertura se realiza rápidamente, llevando la hoja situada más al exterior el doble de velocidad que la otra, con el fin de quedar abiertas las puertas a la vez.
- La disposición del hueco es ideal para este tipo de puertas.
- Su apertura automática resulta muy cómoda para el pasajero en comparación con las puertas semiautomáticas.
- Son más económicas que otras puertas con prestaciones similares, como pueden ser las de apertura central telescópica o las telescópicas de tres hojas.
- El movimiento telescópico de sus paneles permite un mejor aprovechamiento de las dimensiones de la cabina y puertas de piso, en comparación con las centrales de dos hojas.
- Su diseño proporciona un rango de aperturas mucho mayor al de otras.

1.6.2. Puertas de piso

Estas puertas van colgadas de carros, de forma similar a las de cabina, que deslizan sobre el carril-guía sujeto al marco a través de una placa soporte.

En estas puertas, el carro tracto (el de la hoja que corresponde con el acoplamiento retráctil) lleva el enclavamiento mecánico (cerradura) y éste, a su vez, un puente eléctrico.

Dicho puente se cierra con un bloque de contactos sujeto al marco junto a la pieza fija de la cerradura. El cierre del puente se realiza hacia arriba y únicamente cuando el gancho de la cerradura (sujeto al carro) ha penetrado 7 mm como mínimo en la pieza fija sujeta al marco. Tanto el puente como el bloque de contactos están sujetos a las piezas que han de encajarse en el cierre de la puerta para mayor garantía de un control directo del mismo. En la otra hoja se instala también un control eléctrico de cierre de puerta y un bloque de contactos.

En todos los carros van soldados unas guías supletorias que abrazan el carril-guía sin tocarlo. Estas guías de chapa impiden en caso de rotura o fusión por el calor, que los carros y por tanto las hojas, se desplacen más de 2 mm de la posición en que se encontrasen en caso de producirse la rotura o fusión.

Las puertas de piso llevan un dispositivo auxiliar (cable sujeto a una hoja y resorte unido al marco) que garantiza el cierre de las hojas no arrastradas directamente por el acoplamiento retráctil si la cabina se desplaza de su posición de parada en un piso sin haberse cerrado aquéllas. El cierre se realiza con una diferencia máxima de 15 mm con respecto a la posición inicial.

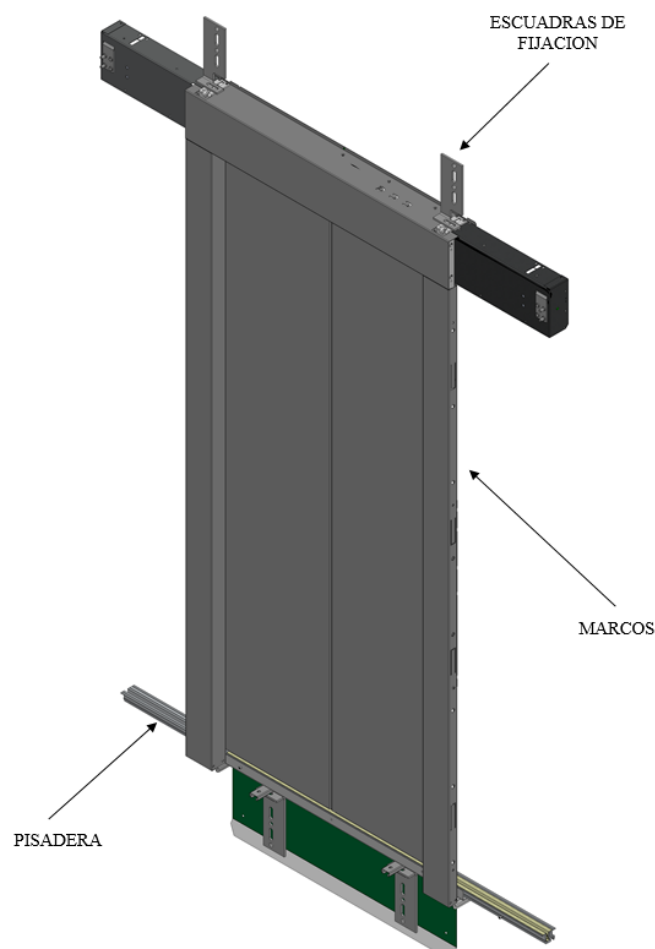


Ilustración 53 Puerta de piso ^[1]

1.6.3. Puertas de cabina

Cada hoja irá colgada, mediante bulones y tuercas, de un carro de chapa estampada que, a través de ruedecillas montadas sobre rodamientos de bolas, deslizarán a lo largo de un carril de guía de acero laminado sujeto a la cabina por medio de unos soportes.

El carro remolcado lleva adosado un acoplamiento de brazos retractiles que se mantienen recogidos durante la marcha de la cabina. Éstos se abren en las paradas acoplándose con la cerradura de la puerta de piso y arrastran la hoja en donde va montada la cerradura, una vez que ha sido abierta por dichos brazos.

Las hojas, tanto en cabina como en los pisos, son arrastradas mediante un cable de acero guiado que tira del carro correspondiente. Entre las dos hojas se sitúa un enclavamiento eléctrico de puente móvil y un bloque de contactos como control de cierre. Estas puertas van provistas de un dispositivo graduable que provoca la apertura en caso de que se interponga un obstáculo entre las hojas cuando se están cerrando. Llevan también otro dispositivo de desenclavamiento de seguridad graduable que funciona durante el cierre, asegurando la posibilidad de abrir la puerta desde el interior e incluso la de un piso a través del acoplamiento retráctil si ambas se encuentran en el mismo nivel.

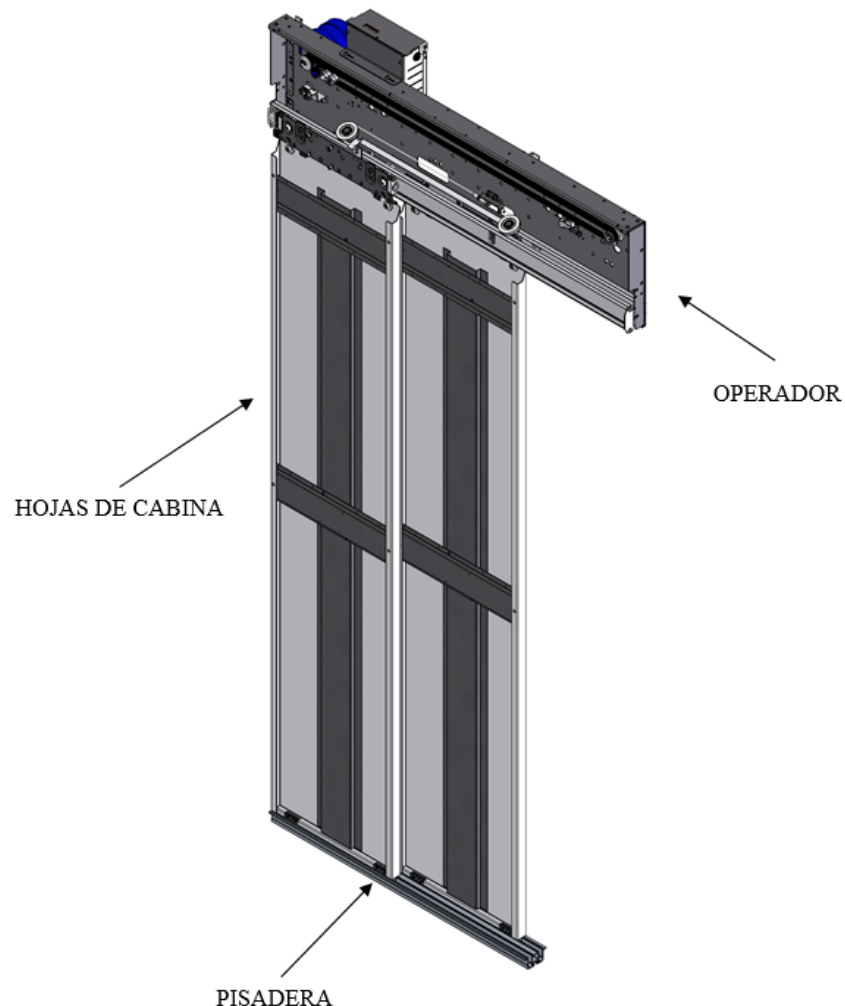


Ilustración 54 Puerta de piso interior ^[1]

1.6.4. Enclavamiento y operador

Las puertas de cabina, equipadas con contactos eléctricos que actúan como enclavamientos, impiden el funcionamiento del ascensor si una puerta o una hoja no han cerrado correctamente.

El enclavamiento correcto del cierre proporciona el cierre del contacto eléctrico que cierra a su vez el tramo correspondiente de la serie de seguridad que le compete. Para permitir el funcionamiento del ascensor (averías, revisión, etc.) se dispone de un desenclavamiento de socorro a tal efecto.

El accionamiento de las puertas automáticas correderas lo realiza un dispositivo denominado “operador de puertas” o simplemente “operador”. Está instalado en el techo de la cabina y se compone de un pequeño motor eléctrico, un reductor de velocidad, un freno y un sistema de correas que transforman en lineal el movimiento del motor a través del reductor de velocidad transmitiéndolo a las puertas.

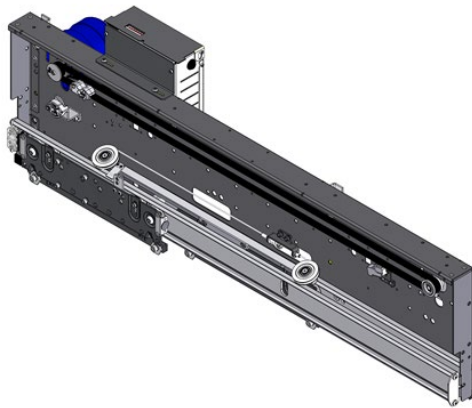


Ilustración 56 Enclavamiento y operador vista exterior ^[1]

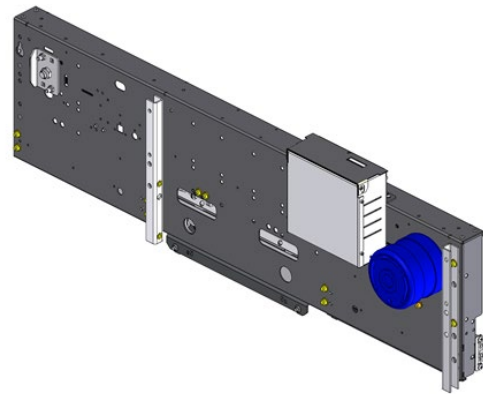


Ilustración 55 Enclavamiento y operador vista interior ^[1]

El mecanismo se completa con unos contactores de apertura y cierre de puertas, resistencias de regulación de freno, finales de carrera y micro interruptores de los dispositivos de seguridad.

Las puertas de acceso a los pisos, que permanecen cerradas obligadas por un muelle sujeto a la base de las mismas, son accionadas por el operador de puertas de cabina, que lleva una serie de piezas que se introducen al llegar al piso de la cabina, en los dispositivos de apertura de las puertas de acceso y las abre al mismo tiempo que abre y cierra las puertas de cabina.

Para la instalación propuesta se elegirá unas puertas tanto de piso como de cabina automáticas MASEN de 2 hojas con una altura libre de 2000 mm y un paso libre de 900 mm.

También se elegirá una botonera de piso estándar de acero inoxidable para marco en puerta.

CARACTERÍSTICAS GENERALES PUERTA MASEN T2H

- Conforme a EN 81-1, EN 81-2, EN 81-20 y EN 81-50.
- Puertas con clasificación de resistencia al fuego según EN 81-58.
- Dispositivo de enclavamiento de puertas de piso con certificado CE. Tipo: ATI/DE/001.
- Acabado en pintura epoxi poliéster gofrada RAL 7044 o acero inoxidable.
- Altura útil 2000 mm.
- Faldón de altura estándar 255 mm.
- Pisadera de aluminio.
- Escuadras de fijación estándar de marco al muro de 35 mm (4 Uds.).
- Taladro para botonera estándar (75x180 mm).
- Altura centro taladro botonera 1000 mm.

CARACTERÍSTICAS GENERALES BOTONERA PISO

- Ubicación de la botonera: Marco en puerta.
- Acabado de la botonera: Inox satinado.
- Medidas taladro para la botonera: 75x180 mm.
- Tipo de botonera estándar puerta Massen.



Ilustración 57 Puerta de piso Massen T2H ^[1]

1.7. Chasis de cabina

De todos los elementos estructurales que se encuentran en el hueco, el chasis de cabina probablemente sea el de mayor importancia debido a las funciones que debe realizar.

Estas funciones se pueden dividir en tres:

- Elevar y descender la cabina verticalmente hasta la parada seleccionada, mediante el guiado de las guías y por los cables de suspensión.
- Posicionar y amarrar estructuralmente la cabina dentro de la ubicación exacta en el hueco, asentándola para que no se mueva prácticamente en ningún sentido.
- Tener la resistencia suficiente para poder soportar los esfuerzos provocados en un hipotético acúñamiento de emergencia, ya que deberá llevar incorporado dentro de su estructura los elementos de seguridad que marca la norma.

La configuración del chasis de cabina suele ser de dos tipos indistintamente de si el accionamiento de la instalación es eléctrico o hidráulico.



Ilustración 60 Chasis tipo pórtico [1]

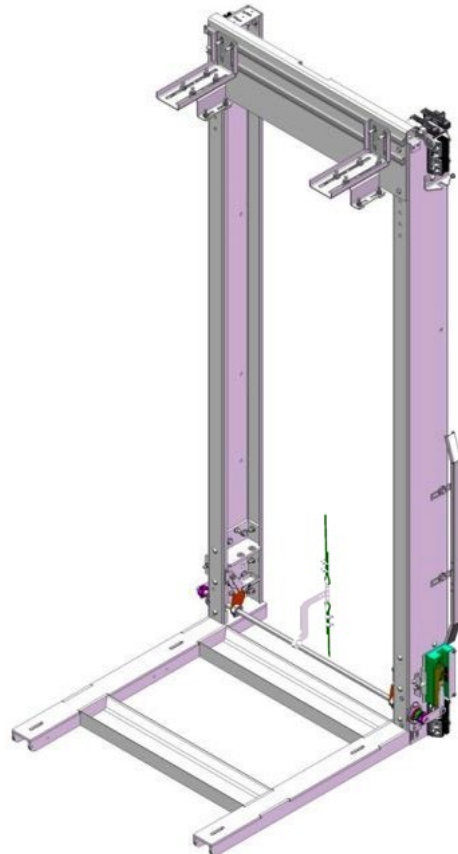


Ilustración 59 Chasis tipo mochila [1]

Comparando las ventajas y desventajas de estos tipos de chasis de cabina podemos ver lo siguiente:

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CHASIS TIPO PÓRTICO	<ul style="list-style-type: none"> + Adecuado para edificios donde no es necesario optimizar el espacio. + La carga se desplaza centrada al eje de gravedad permitiendo mayor equilibrio + Mayor confort y de forma silenciosa. + Mayor resistencia estructural → Mayor número de personas 	<ul style="list-style-type: none"> + No es adecuado para edificios con huidas y fosos muy reducidos. + No es tan adecuado para un sistema hidráulico. + Imposibilidad de multitud de embarques.
CHASIS TIPO MOCHILA	<ul style="list-style-type: none"> + Adecuado para rehabilitaciones en edificios ya contruidos. + Flexibles en la instalación de edificios que requieren huidas y fosos muy reducidos. + Adaptados para estructuras modulares auto portantes. + Adecuado para sistema hidráulico. + Mayor número posible de embarques. + Optimización del espacio → Posibles en huecos muy reducidos. 	<ul style="list-style-type: none"> + No es adecuado para un gran peso o número de personas. + Posibles problemas al instalar frente a un embarque.

Para la instalación propuesta, dada su flexibilidad y adaptabilidad a una mayor diversidad de huecos que puedan requerir huida y fosos muy reducidos comúnmente solicitados en instalaciones de edificios ya contruidos y una mayor posibilidad de embarques (doble o triple embarque a 90º, 180º, 270º), se elegirá el chasis de cabina MP FLEX tipo mochila.

1.7.1. Elementos del chasis de cabina

Algunos elementos fundamentales que conforman el chasis de cabina son los siguientes:

- Largueros.
- Rozaderas/rodaderas.
- Paracaídas y timonería.
- Caja de cuñas
- Travesaño superior e inferior.
- Soporte y fijaciones a cabina.

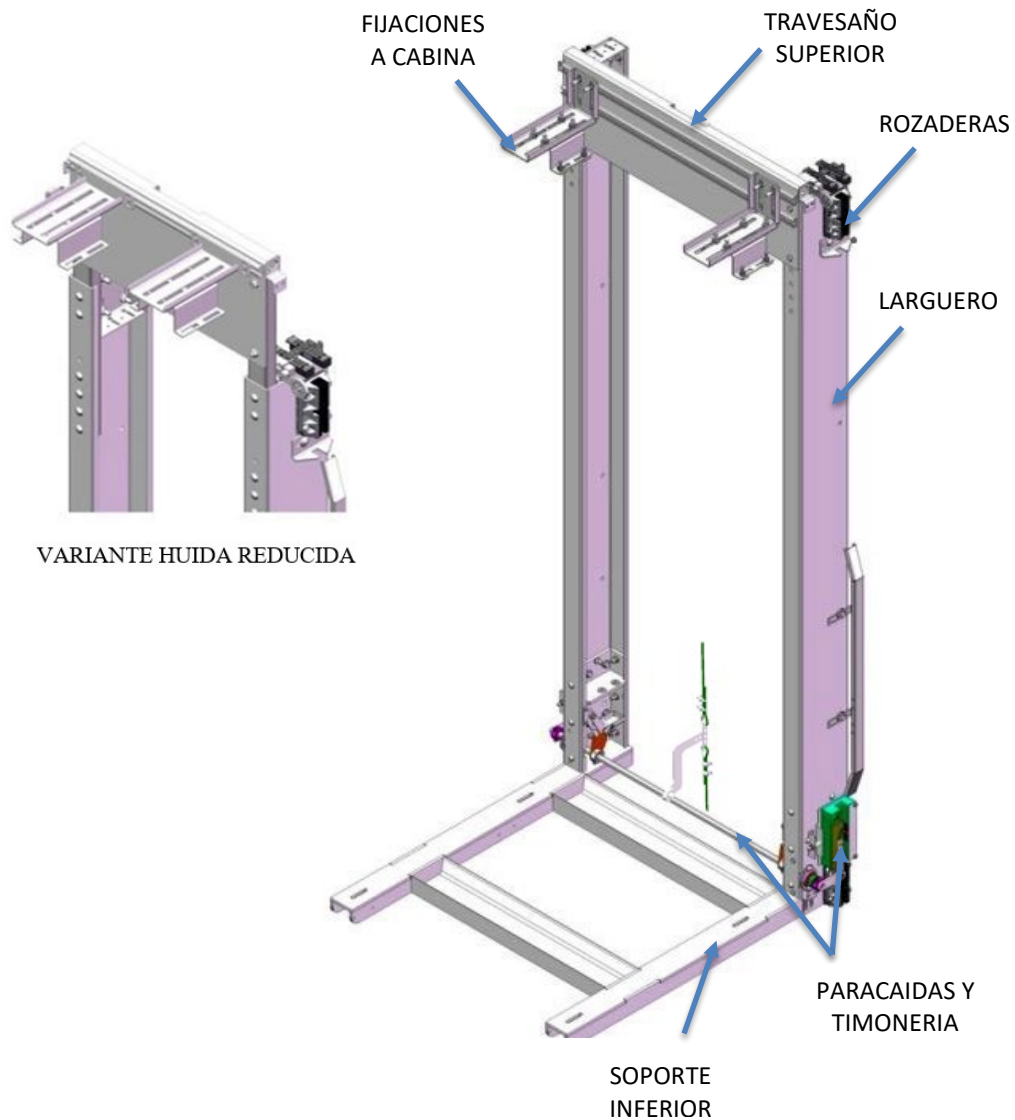


Ilustración 61 Elementos chasis tipo mochila ^[1]

1.7.1.1. Travesaño superior

En la parte superior del travesaño se alojan los terminales de la cabina, que hacen de unión entre el cable y el travesaño para proporcionar al chasis el movimiento de subida o bajada.

Los soportes de rozadera se unirán a ambos extremos del travesaño y a los largueros y serán los que proporcionaran el guiado vertical al chasis evitando los movimientos horizontales por el movimiento de la carga.

La otra función principal del travesaño superior es la de permitir amarrar la parte superior de la cabina, para ello se colocan unas fijaciones superiores que se amarran por un lado al travesaño superior y por el otro lado al techo de la cabina, añadiendo a la vez silentblocks que permitirán aislar a la cabina de las vibraciones.

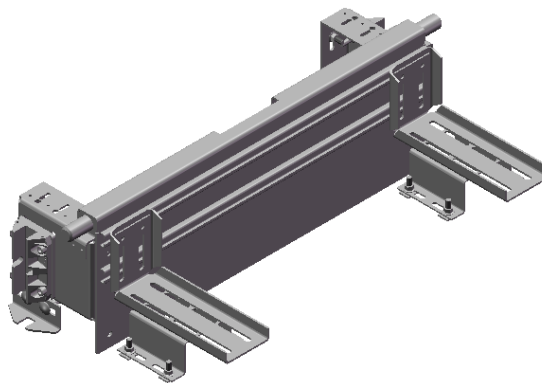


Ilustración 62 Travesaño superior ^[1]

1.7.1.2. Largueros

Los largueros son los elementos que unen el travesaño superior con el travesaño inferior.

Estos elementos deben tener una geometría y resistencia tales que en los casos en los que el ascensor tenga que acunarse, dichos esfuerzos puedan aguantar sin problemas ya que también se amarrará en ellos la timonería, que nos permitirá, en casos de emergencia, accionar los paracaídas para poder frenar el conjunto completo del ascensor.

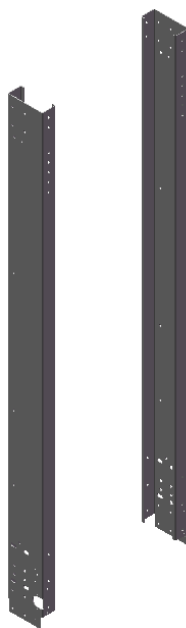


Ilustración 63 Largueros ^[1]

1.7.1.3. Soporte inferior

El soporte inferior estará formado por dos perfiles UPN 140, dos perfiles laterales que harán la función de soporte y sujeción de la cabina, y una chapa soldada con la función de amarrar los cables de tracción. Además los perfiles laterales servirán de ubicación para los soportes de rozaderas inferiores.

En la parte superior de los perfiles laterales se alojan las células de carga y las fijaciones inferiores de la cabina que hacen de unión entre el chasis y el suelo de la cabina.

Los soportes de rozaderas alojados a ambos extremos se unirán al soporte inferior y los largueros y proporcionarán, junto con los soportes de rozaderas superiores, el guiado vertical al chasis evitando los movimientos horizontales por el movimiento de la carga.

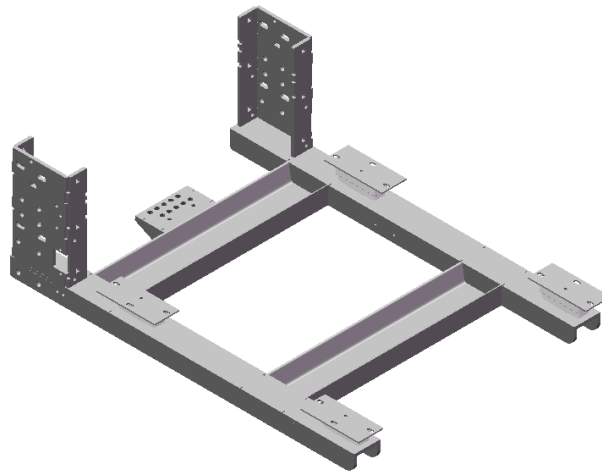


Ilustración 64 Soporte inferior ^[1]

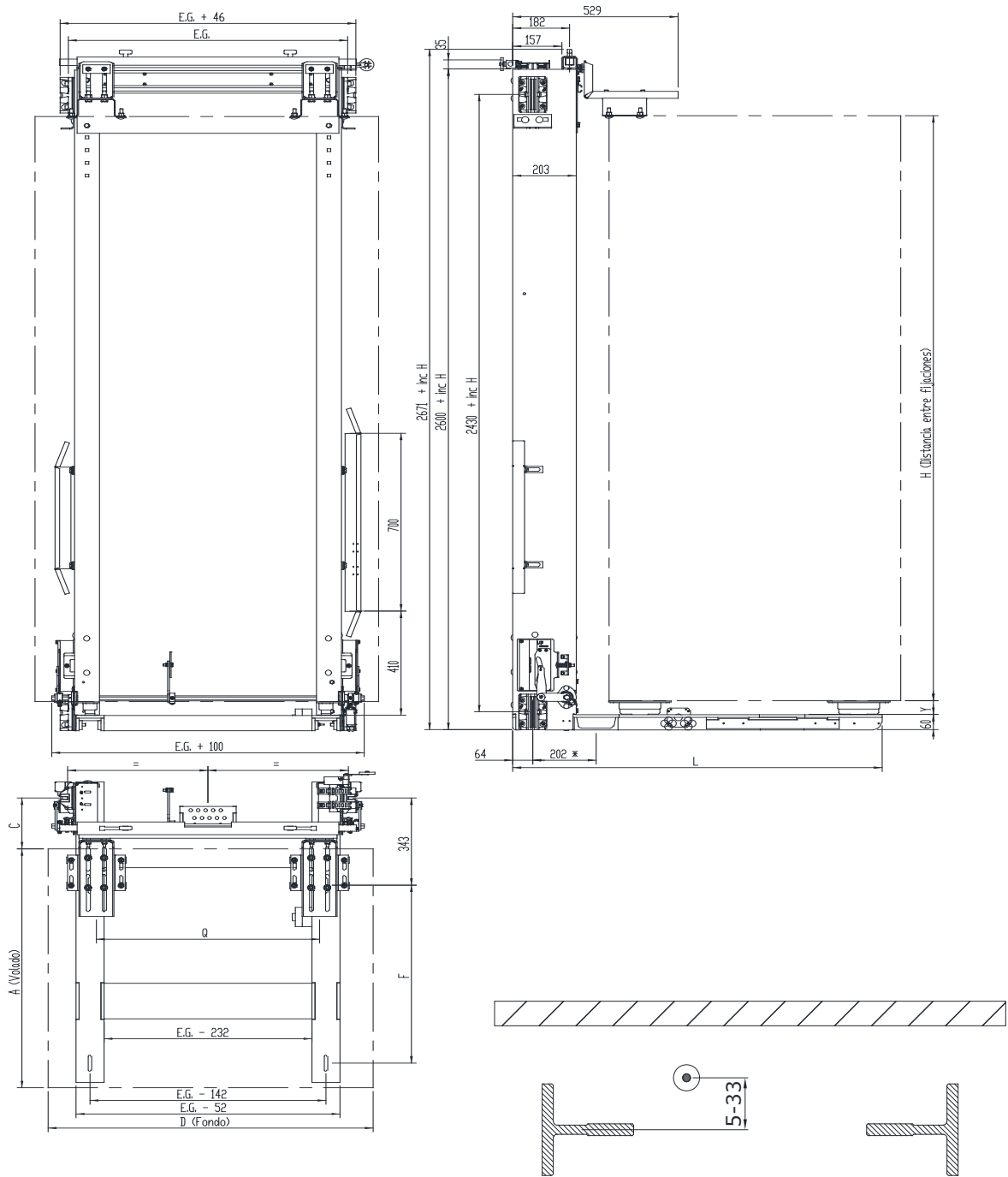
Las células de carga serán las encargadas de transmitir información de peso al sistema de control de carga, el cual inmovilizará el movimiento de la cabina cuando se encuentre sobrecargada o avisará al cuadro de maniobra cuando la cabina viaja completa para evitar paradas innecesarias, así como también, informará de la carga a un convertidor de frecuencia para regular la velocidad en función de la carga.



Ilustración 65 Células de carga ^[22]

1.7.2. Características técnicas del chasis de cabina

Tal como se ha mencionado anteriormente, el chasis de cabina elegido será un MP FLEX.
A continuación se detallarán las características y posibilidades más relevantes de este chasis.



Para cabina estándar de altura interior útil de 2100 mm, la altura entre fijaciones superior e inferior es 2278+e, siendo “e” el espesor del mármol en mm.

UNION INFERIOR CHASIS-CABINA	Y	Z	H (Máx.)	H (Min.)
PESACARGAS + PLACA AMARRE	54	114	2320	2228

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CHASIS DE CABINA					
CARGA NOMINAL Q (Kg)		630			
P + Q		1550			
PESO CHASIS	E.G.	550	700	900	1050
	TIPO-0	147	155	165	172
	TIPO-1	160	168	178	185
	TIPO-2	166	174	184	191
ENCLAVAMIENTO (Kg)		2,5			
CÉLULAS DE CARGA (Kg)		2,5			
PARACAÍDAS SLC-2500-S, SLC-2500-S/B (Kg)		9 (Peso por pareja)			
GERVALL M245/2000, M245/2000 B (Kg)		11.7 (Peso por pareja)			

CABINA ESTANDAR			
TIPO	F	L	(A) Volado máx. Cabina
0	375	847	[600 – 900]
1	600	1072	[901 – 1099]
2	700	1182	[1100 – 1250]

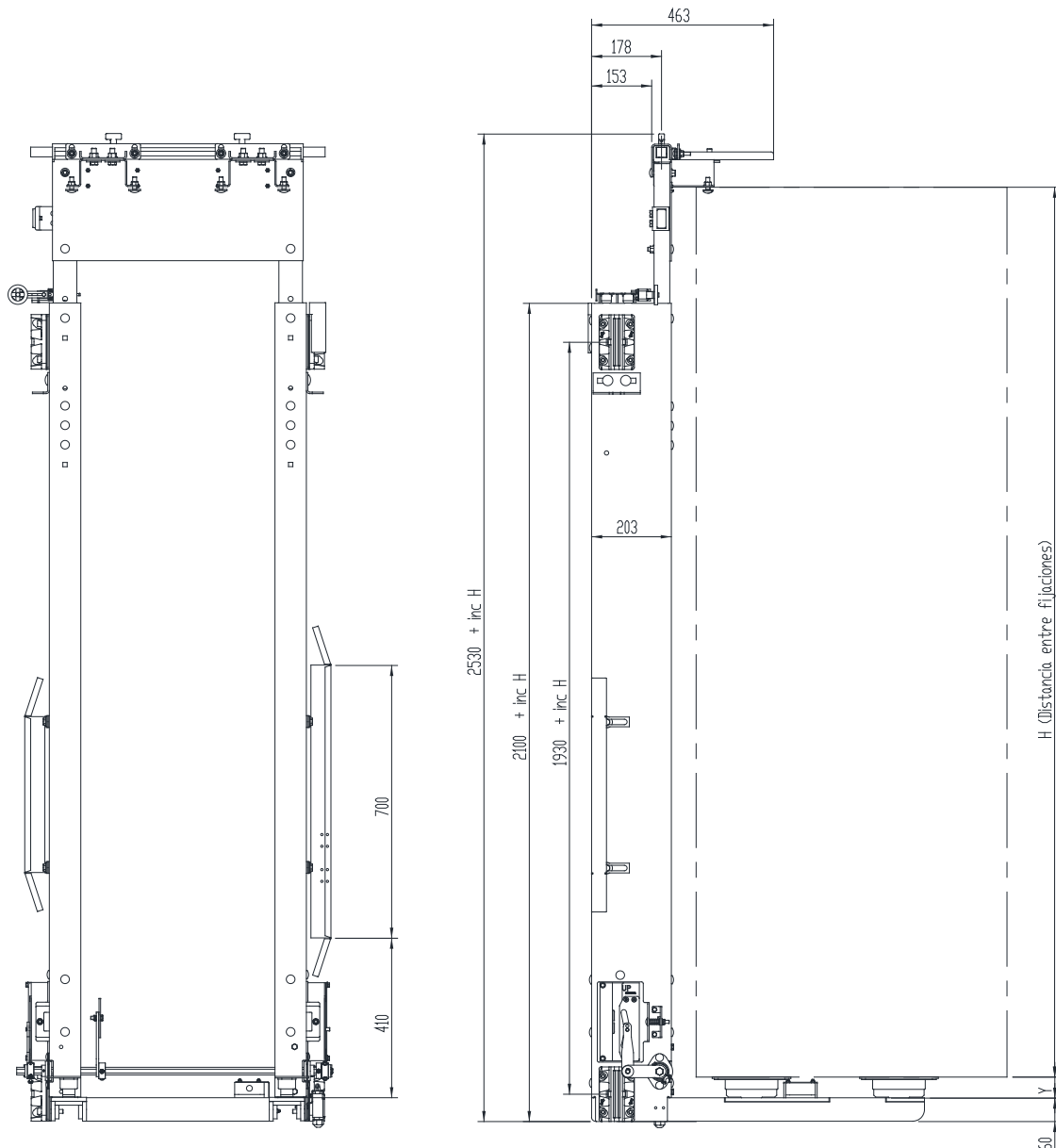
- **A:** Volado de cabina, según tabla.
- **C:** Distancia centro de guía a galibo de cabina:
 - (Cmín=152mm, Cmáx=177mm).
- Distancia centro de guía a pared externa cabina MP.
 - (Mín.=167mm, máx.=195mm).
- **D:** Fondo de Cabina: Dimensión de cabina en el sentido paralelo a la E.G. La cabina tendrá dimensiones **A x D**.
 - (El Fondo de cabina nunca debe ser mayor a E.G. + 600mm).
 - (El Fondo de cabina nunca debe ser menor a E.G. + 50mm).
- **H:** Altura de cabina.
 - Altura entre fijaciones superior e inferior (según tabla).
- **h:** Incremento de altura de larguero respecto al estándar (estándar 2600mm).
- **Q:** Distancia entre fijaciones superiores (min. 204mm, máx. E.G.-186mm).
- **L:** Longitud soporte cabina

VARIANTE HUIDA REDUCIDA

- Larguero de altura especial = $2100 + \text{Incremento de altura}$.
- Distancia entre rozaderas = $1930 + \text{Incremento de altura}$.
- Altura total del chasis = $2508 + \text{Incremento de altura}$.
- El larguero crecerá de 10 en 10mm.

VARIANTE LEVA LIMITADOR FOSO REDUCIDO

- Se sustituye la leva del limitador estándar por la leva especial para foso reducido.



UNION INFERIOR CHASIS-CABINA	Y	Z	H (Máx.)	H (Min.)
PESACARGAS + PLACA AMARRE	54	114	2288	2278

CARACTERÍSTICAS	
<ul style="list-style-type: none"> + Tipo: Ascensor Gearless + Suspensión: 1:1 + Carga (Q): 180 kg hasta 1000 kg + Capacidad: De 2 hasta 13 personas + Velocidad nominal: Hasta 1 m/s + Recorrido: Hasta 50 m. + Paradas: Hasta 16 paradas. + Embarques: Un embarque, doble embarque a 80º, doble embarque a 90º y triple embarque. + Serie: "S" Sin cuarto de máquinas. "C" Con cuarto de máquinas. 	<ul style="list-style-type: none"> + Accionamiento eléctrico. + Paracaídas progresivo SLC-2500-S ó SLC-2500-S/B Nº Certificado 52/E36/06/0002 o GERVALL + M245/2000 o GERVALL M245/2000-B. + D.E.G. 550, 700, 900 y 1050mm. + Para Guías de 9 y 16mm. + Carga nominal (Q). Rango de 180 hasta 1000 Kg. + Carga total (P+Q) máx.= 1550 Kg. + Peso del chasis, según tabla características técnicas. + No válido para instalaciones a la intemperie.

INCLUYE	
<ul style="list-style-type: none"> + 4 Terminales con muelle para cable de $\varnothing 6.5\text{mm}$ (4/10 cables según P+Q). + Sujeta cables para cable de $\varnothing 6.5$ (2 und/cable). + Sistema de deslizamiento por súper rozaderas, con soporte de aluminio estrecho MP ST-140 (para guía 9 o 16). + Apoyo amortiguador de foso. + Sistema de acuíñamiento completo por limitador con contacto de seguridad (Timonería flexible H3). 	<ul style="list-style-type: none"> + Paracaídas de acción progresivo para guía de 9 o 16mm. + Fijaciones superiores de cabina (Sistema flotante). + Pesacargas + placas amarre (Fijación inferior de cabina). + Sistemas antisalida de guías. + Enclavamiento, Eje Cuadrado (2 und). + Patín final de carrera.

VARIANTES
<ul style="list-style-type: none"> + Variante E.G. diferente a la estándar. + Variante Altura de cabina especial. + Variante Engrasador de guías. + Variante Contacto rearme manual. + Variante EN 81-21. + Variante Huida reducida. + Variante cadena compensación. + Variante Leva Limitador Foso Reducido.

Cabe destacar que gracias a las características geométricas y la compacidad de este chasis, se puede cumplir con las distancias mínimas exigidas por la normativa de fosos y huidas, mejor que con otros chasis no tan compactos, además de poder reducirse aún más, con su variante de foso y huida reducida, de forma proporcionada junto a la cabina. Con la utilización de este modelo de chasis, los fosos y huidas que son mínimos y problemáticos, seguramente puedan ser solventados y permita cumplir con la norma.

1.8. Hueco de la instalación

El hueco es el recinto, exclusivamente destinado al emplazamiento de la cabina del ascensor y el contrapeso. Este espacio queda delimitado por los cerramientos laterales del recinto, por el foso y por el techo. Las paredes deben de estar fabricadas por materiales que no originen polvo y con la suficiente resistencia como para soportar las reacciones de las guías ancladas a ellas.

El hueco del ascensor está compuesto por:

- Puertas de acceso.
- Guías metálicas de cabina y contrapeso.
- Amortiguadores situados en suelo del hueco.
- Iluminación en foso.
- Limitador.
- Escalera de emergencia
- Dispositivos de parada de emergencia

A su vez, el hueco puede ser opaco o panorámico, es decir, con sus paredes acristaladas o tratarse de una estructura auto portante.

Dos términos importantes dentro del hueco son el foso y la huida:

- Foso: parte inferior del recinto, situada por debajo del nivel de la última parada.
- Huida: parte superior del recinto que queda entre la zona del techo de la cabina y del techo del hueco cuando la cabina está en la planta más alta.

Las cotas mínimas de estas zonas están indicadas en la norma EN 81, pero la necesidad de instalar ascensores en edificios ya existentes o rehabilitaciones, hace que existan modelos de ascensores con huidas reducidas o fosos reducidos, los cuales incluyen un mayor número de sistemas de seguridad para evitar accidentes durante su mantenimiento.

1.8.1. Cálculo dimensional del hueco

1.8.2. Replanteo

Las dimensiones interiores del hueco de la instalación serán tales que permitan que puedan encajar cada una de las partes de las que se compone el conjunto chasis, cabina, puertas y contrapeso, junto con la disposición de las guías y demás elementos necesarios.

A la conformación de todos estos elementos dentro del hueco se le denominará replanteo.

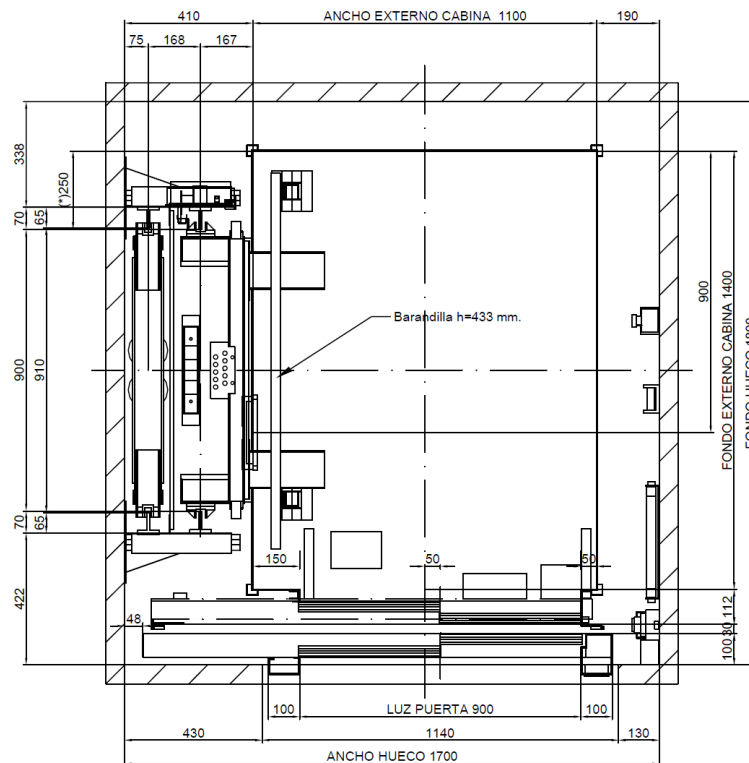
Cabe añadir que en el replanteo se debe conseguir en la medida que sea posible, alcanzar las mayores medidas interiores de cabina para el número de personas o carga útil que se desee conseguir, así como la correcta y más cómoda disposición de todos los demás elementos que se sitúan dentro del hueco.

Dependiendo de las posibilidades que nos ofrece el edificio donde se realizará la instalación, existirán varias posibilidades para realizar el replanteo.

Así pues no serán tan restrictivas las posibilidades que ofrecerá una instalación de obra nueva, que las que pueden incurrir en una instalación para una rehabilitación de un edificio existente.

Como se ha mencionado al principio de este anexo, no hay que olvidar que este proyecto pretende abarcar el diseño, cálculo y análisis estructural de un chasis de cabina con posibilidad de foso y/o huida reducidos, con una capacidad de una carga útil de 630 kg y P+Q máximo de 1550 kg, y por tanto, el replanteo, así como el resto de elementos de la instalación se realizarán acordes a estas especificaciones.

Con todo ello, y con los correspondientes cálculos y selección, en los anexos correspondientes, de los diferentes elementos más relevantes que conforman la instalación, el replanteo elegido tendrá un ancho de 1700 mm y un fondo de 1800 mm, albergando una cabina de dimensiones 1100x1400 mm, unas puertas automáticas telescópicas de dos hojas de abertura a izquierdas y luz de 900mm, unas guías de cabina y contrapeso T70/70/9 y T/70/65/9 y un chasis de cabina y chasis de contrapeso con entre guías de 900 mm y 910 mm respectivamente, así como otros elementos de iluminación y seguridad como pulsadores, soportes, pantallas de protección, escaleras, barandillas...



1.8.3. Foso

El foso es la parte del hueco situada por debajo del nivel de parada más bajo servido por la cabina. Constituye un área de trabajo para operaciones de instalación, mantenimiento y reparación, por lo que se exigen los necesarios espacios libres de seguridad.

Estos espacios mínimos de seguridad se recogen en el apartado 5.2 “Hueco, espacios de maquinaria y cuartos de polea” de la norma EN81-20 y en sus diferentes subapartados.

Se puede resumir que las posiciones más bajas de la cabina y contrapeso deben ser cuando estos estén sobre sus correspondientes amortiguadores inferiores completamente comprimidos.

Además deben cumplirse simultáneamente las siguientes condiciones:

- a) Debe quedar un espacio suficiente en el foso que permita alojar como mínimo un paralelepípedo rectangular de 0.50x0.60x1.0 m que se apoye sobre una de sus caras.
- b) La distancia vertical libre entre el fondo del foso y las partes más bajas de la cabina, debe ser al menos 0.5 m. Esta distancia puede reducirse a un mínimo de 0.10 m dentro de una distancia horizontal de 0.15 m entre:
 - i. Los guardapiés o partes de la(s) puerta(s) verticalmente deslizante(s) y la(s) pared(s) adyacente(s);
 - ii. Las partes más bajas de la cabina y las guías;
- c) La distancia vertical libre entre las partes más altas fijadas en el foso, por ejemplo el dispositivo tensor de los cables de compensación en su más alta y las partes más bajas de la cabina, excepto para los elementos indicados en los puntos “i” y “ii” anteriores, debe ser, al menos, de 0.30 m.

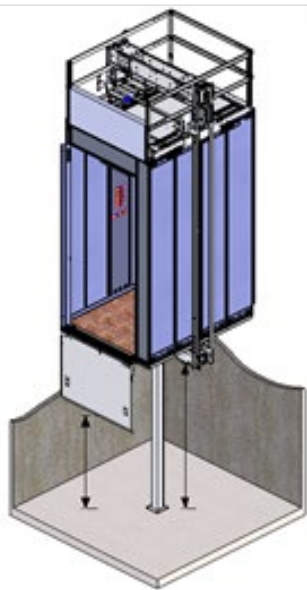
Otros requisitos que deben cumplirse son que:

- La parte inferior del hueco debe estar constituida por un foso cuyo fondo sea liso y aproximadamente a nivel, excepto para las bases de los amortiguadores y las guías o dispositivos de evacuación de agua.
- Después de la instalación de los diferentes anclajes de guías, amortiguadores, rejillas, etc., este foso debe quedar protegido de infiltraciones de agua.
- Si existe una puerta de acceso al foso, que no sea la puerta de piso, ésta debe cumplir con los requisitos del apartado 5.2.2.
- Esta puerta debe existir si la profundidad del foso es superior a 2,50 m y si la disposición del edificio lo permite.
- A falta de otro acceso, debe preverse un dispositivo permanente en el hueco, fácilmente accesible desde la puerta de piso, y que permita al personal competente un descenso seguro al fondo del foso. Este dispositivo no debe interferir el gálibo de los elementos móviles del ascensor.

Así pues, un foso reducido será aquel foso que no cumpla alguna de las medidas mencionadas, y se tendrá que aplicar las medidas compensatorias que se indican en el apartado 5.7. Distancias de seguridad reducidas en el foso de la norma EN81-21.

1.8.3.1. Cálculo del foso

1. Restricciones por chasis y paralelepípedo:



$$\text{FOSO} = F1 + F2 + F3 + F4 = 50 + 66 + 174 + 500 = 790 \text{ mm.}$$

F1 = Sobrecorrido inferior de cabina para chasis eléctricos,

Según norma $\rightarrow 50 \text{ mm.}$

F2 = Espesor armazón suelo cabina (según decoración).

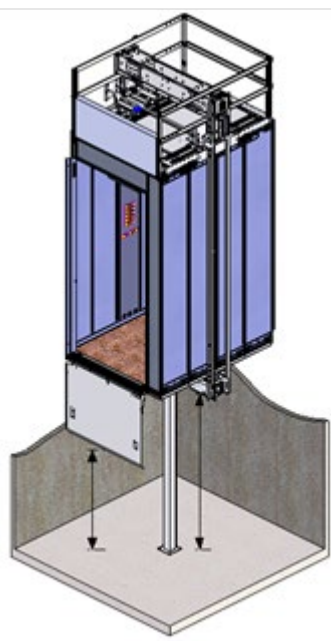
F3 = Distancia entre fijación al suelo de cabina y parte más baja del chasis (incluyendo pesacargas).

F4 = Distancia seguridad entre parte baja del chasis y el suelo de foso.

Según la tabla “Dimensiones de los espacios de refugio en el foso” del apartado 5.2.5.8.1 de la Norma EN81-20, según la postura (de pie, agachado o tendido) las dimensiones horizontales del espacio de refugio serán 0.40x0.50, 0.50x0.70 y 0.70x1.00 (m) y las dimensiones de altura del de este espacio serán 2.00, 1.00 y 0.50 (m) respectivamente.

Así pues, con la opción más desfavorable (postura tendida), F4 será 0.50 (m) de altura, con unas dimensiones horizontales del espacio de refugio de 0.70x1.00 (m)

2. Restricción por faldón fijo:



$$\text{FOSO} = F1 + F5 + F6 = 50 + 800 + 100 = 950 \text{ mm.}$$

F1 = Sobrecorrido inferior de cabina para chasis eléctricos, según norma $\rightarrow F1=50 \text{ mm.}$

F6 = Altura faldón estándar, 800 mm.

F7 = Distancia seguridad entre la parte baja del faldón y el suelo de foso según Norma $\rightarrow F7 = 100 \text{ mm.}$

De entre todas estas distancias, el foso mínimo para cumplir con la normativa será el más desfavorable. En caso de no cumplir con una de las distancias, hay que aplicar todas las medidas compensatorias que indica la normativa EN81-21 (faldón extensible, SAB (sistema de preaccionamiento de parada), contactos adicionales...)

FOSO MINIMO (mm)	FOSO DE LA INSTALACIÓN PROPUESTA (mm)
950	950

1.8.4. Huida

La huida es la parte del hueco situada por encima del nivel de parada más alto servido por la cabina.

Al igual que el foso, el techo de la cabina es un área de trabajo para operaciones de instalación, mantenimiento y reparación, por lo que también son necesarios espacios libres de seguridad.

Estos espacios mínimos de seguridad se recogen en el apartado 5.2. *“Hueco, espacios de maquinaria y cuartos de polea”* de la norma EN81-20 y en sus diferentes subapartados.

Se puede resumir que las posiciones más altas de la cabina y contrapeso o masa de equilibrado deben ser cuando estos estén sobre sus correspondientes amortiguadores superiores completamente comprimidos.

Además:

1. Cuando el contrapeso descansa en su(s) amortiguador(es) totalmente comprimidos, deben cumplirse de forma simultánea, las siguientes cuatro condiciones:
 - a) la longitud de las guías de la cabina debe ser tal que permita un recorrido guiado, expresado en metros, de al menos $0,1 + 0,035 v^2$ 4);
 - b) la distancia libre vertical, expresada en metros, entre el nivel de la superficie más alta del techo de la cabina, cuyas dimensiones son conforme al apartado 8.13.2 [quedan excluidas las superficies sobre los elementos contemplados en 5.7.1.1 c)] y el nivel de la parte más baja del techo del hueco (comprendiendo vigas y órganos situados bajo el techo) situados en la proyección de la cabina, debe ser, como mínimo, igual a $1,0 + 0,035 v^2$;
 - c) la distancia libre vertical entre las partes más bajas del techo del hueco expresada en metros y:
 - i. los órganos de mayor altura montados en dicho techo de cabina, deben ser igual o superior a $0,3 + 0,035 v^2$; a excepción de los casos previstos en ii);
 - ii. la parte más alta de las guíaderas, rodaderas, amarres de los cables, o los órganos de las puertas de cabina que se deslizan verticalmente, debe ser igual o superior a $0,1 + 0,035 v^2$;
 - d) debe haber suficiente espacio por encima de la cabina para contener un paralelepípedo rectangular no menor de 0.50x0.60x0.80 m apoyado sobre una de sus caras. Para los ascensores con suspensión directa, los cables de suspensión y sus amarres pueden incluirse en dicho volumen, siempre que ningún cable tenga su eje a una distancia superior a 0,15 m, de, al menos, a una cara vertical del paralelepípedo.
2. Cuando la cabina se encuentra sobre sus amortiguadores totalmente comprimidos, la longitud de las guías del contrapeso debe ser tal que permita un recorrido guiado igual o superior a $0,1 + 0,035 v^2$, expresado en metros.
3. Cuando se controla la deceleración del ascensor, de acuerdo con el apartado 12.8, el valor de $0,035 v^2$, indicado en los apartados 5.7.1.1 y 5.7.1.2 para el cálculo de los espacios, puede reducirse:
 - a) a la mitad, para los ascensores cuya velocidad nominal no exceda de 4 m/s. Sin embargo, este valor no debe ser menor de 0,25 m,
 - b) a la tercera parte, para los ascensores cuya velocidad nominal exceda de 4 m/s. Sin embargo, este valor no debe ser menor de 0,28 m.
4. En el caso de ascensores que están provistos de cables de compensación, cuya polea tensora está provista de un dispositivo anti-rebote (dispositivo de frenado o de bloqueo en caso de subida brusca) el valor de $0,035 v^2$ puede sustituirse por un valor ligado a la carrera posible de esta polea (dependiendo de la suspensión utilizada) aumentado en 1/500 del recorrido de la cabina, con un mínimo de 0,20 m para tener en cuenta la elasticidad de los cables.

Cabe añadir que los componentes más comunes que se instalan en el techo de la cabina son los siguientes:

- Barandilla de seguridad
- Caja de conexiones
- Extractor
- Ventilador

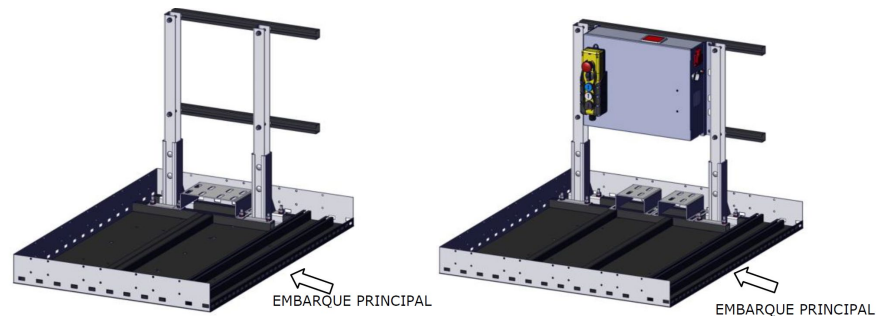


Ilustración 66 Componentes en techo de cabina [1]

Según el apartado 5.2.5.7.2, de la norma EN81-20, en su apartado “a” dice que los equipos más altos fijados sobre el techo, excepto por aquellos cubiertos por los apartados “b” y “c”, debe ser al menos de 0,50 m en cualquier dirección vertical o inclinada dentro de la proyección de la cabina.

En su apartado “b” dice que la parte más alta de las guideras, rozaderas, amarres de los cables y del dintel o los elementos de las puertas de cabina que deslicen verticalmente, si existen, debe ser al menos de 0,10 m en cualquier dirección vertical dentro de una distancia horizontal de 0,40 m dentro de la proyección de la cabina.

Y en su apartado “c” dice que la parte más alta de la barandilla debe ser al menos de 0,30 m dentro de una distancia horizontal de 0,40 m dentro de la proyección de la cabina y 0,10 m en el exterior de la barandilla, o 0,50 m en cualquier distancia inclinada más allá de 0,40 m dentro de la proyección de la cabina.

Particularmente las barandillas, según el apartado 5.4.7.4 de la norma EN81-20, deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) deben consistir en un pasamanos y en una barra intermedia a media altura;
- b) considerando la distancia libre en un plazo horizontal entre la parte interior del borde del pasamanos de la barandilla y la pared del hueco, su altura debe ser de, al menos:
 - 0,70 m donde la distancia llegue hasta 0,50 m;
 - 1,10 m donde la distancia exceda de 0,50 m.
- c) la barandilla debe estar situada a una distancia máxima de 0,15 m desde los bordes del techo de la cabina;
- d) la distancia horizontal entre la parte exterior del pasamanos de la barandilla y cualquier parte en el hueco (contrapeso o masa de equilibrado, interruptores, guías, soportes de guías, etc.) debe ser al menos de 0,10 m.

Con todo ello, a continuación se muestra gráficamente el resumen de distancias de seguridad que deben cumplirse.

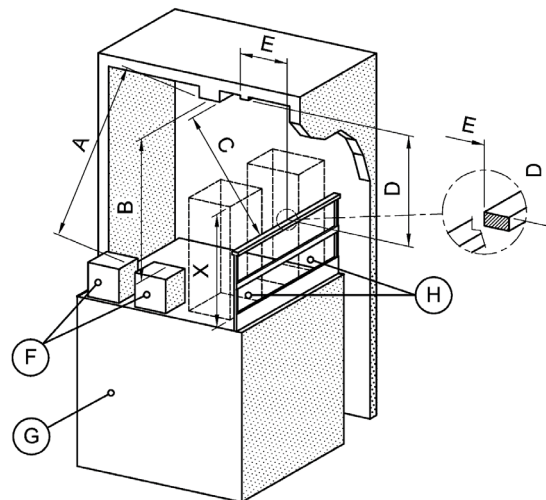


Ilustración 67 Distancias mínimas entre las partes fijas sobre el techo de la cabina y las partes fijas más bajas del techo del hueco [2]

Leyenda:

A: Distancia $\geq 0,50$ m [5.2.5.7.2 a)]
B: Distancia $\geq 0,50$ m [5.2.5.7.2 a)]
C: Distancia $\geq 0,50$ m [5.2.5.7.2 c) 2]
D: Distancia $\geq 0,30$ m [5.2.5.7.2 c) 1]
E: Distancia $\leq 0,40$ m [5.2.5.7.2 c) 1]

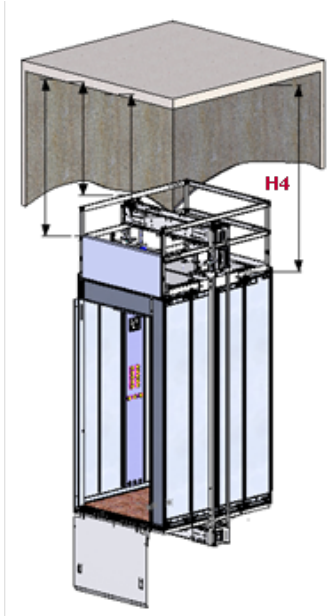
F: Elementos instalados sobre techo de cabina
G: Cabina
H: Espacio(s) de refugio
X: Altura de los espacios de refugio (tabla 3)

Así pues, una huida reducida será aquella huida que no cumpla alguna de las medidas mencionadas, y se tendrá que aplicar las medidas compensatorias que se indican en el apartado 5.5. Distancias de seguridad reducidas en la parte superior del hueco de la norma EN81-21.

1.8.4.1. Cálculo de la huida

Con todo ello, existen cuatro posibilidades generales para cumplir el espacio libre de seguridad necesario en la huida:

1. Cálculo de la huida por paralelepípedo:



$$HUIDA = H1 + H2 + H3 + H4$$

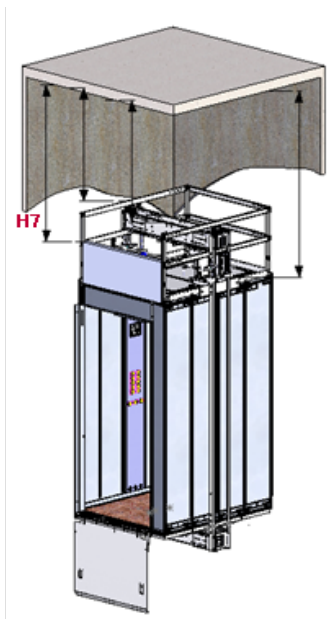
H1 = Sobre recorrido superior de cabina, según norma $\rightarrow 140 \text{ mm}$.
H2 = Altura interior útil de cabina $\rightarrow 2100 \text{ mm}$.
H3 = Altura sobre techo y fijación de suelo de cabina $\rightarrow 112 \text{ mm}$.
H4 = Distancia seguridad entre techo de cabina y techo de hueco o elemento en proyección $\rightarrow 1035 \text{ mm}$.

$$H4 = 1 + 0,035 \cdot v^2 = 1.035 \text{ (m)} = 1035 \text{ (mm)}$$

$$HUIDA_{\text{paralelepipedo}} = 140 + 2100 + 112 + 1035 = 2487 \text{ mm.}$$

CABINA EN SOBRECORRIDO SUPERIOR

2. Cálculo de la huida por operador de la puerta:



$$HUIDA = H1 + H5 + H6 + H7$$

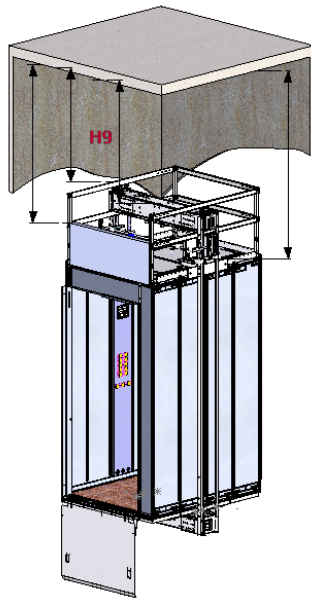
H1 = Sobre recorrido superior de cabina, según norma $\rightarrow 104 \text{ mm}$.
H5 = Altura libre de puerta de cabina $\rightarrow 2000 \text{ mm}$.
H6 = Altura operador $\rightarrow 458 \text{ mm}$.
H7 = Distancia parte superior operador a techo hueco o elemento en proyección $\rightarrow 535 \text{ mm}$.

$$H7 = 0.5 + 0.035 \cdot v^2 = 0.535 \text{ (m)} = 535 \text{ (mm)}$$

$$HUIDA_{\text{operador}} = 104 + 2000 + 458 + 535 = 3097 \text{ mm.}$$

CABINA EN SOBRECORRIDO SUPERIOR

3. Cálculo de la huida por chasis:



$$HUIDA = H1 + H8 + H9$$

H1 = Sobre recorrido superior de cabina, según norma $\rightarrow 104 \text{ mm}$.

H8 = Altura desde nivel de suelo de cabina hasta parte superior del chasis $\rightarrow 2486 \text{ mm}$.

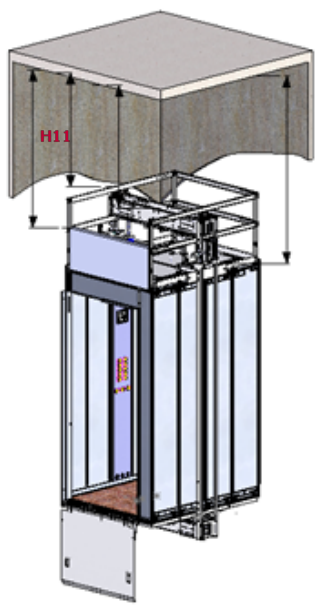
H9 = Distancia parte superior chasis a techo hueco o elemento en proyección $\rightarrow 135 \text{ mm}$.

$$H9 = 0.1 + 0.035v^2 = 0.135 \text{ (m)} = 135 \text{ (mm)}$$

$$HUIDA_{chasis} = 104 + 2486 + 135 = 2725 \text{ mm.}$$

CABINA EN SOBRECORRIDO SUPERIOR

4. Cálculo de la huida por barandilla:



$$HUIDA = H1 + H2 + H3 + H10 + H11$$

H1 = Sobre recorrido superior de cabina, según norma $\rightarrow 104 \text{ mm}$.

H2 = Altura interior útil de cabina $\rightarrow 2100 \text{ mm}$.

H3 = Altura sobre techo y tubos de fijación suelo de cabina $\rightarrow 82 \text{ mm}$.

H10 = Altura de la barandilla de seguridad $\rightarrow 700 \text{ mm}$.

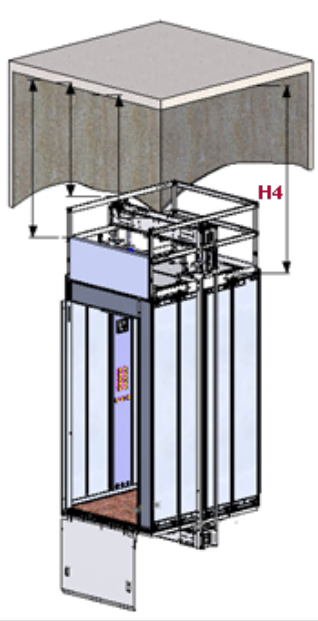
H11 = Distancia parte superior de la barandilla de seguridad a techo hueco o elemento en proyección.

$$H11 = 0.3 + 0.035v^2 = 0.335 \text{ (m)} = 335 \text{ (mm)}$$

$$HUIDA_{barandilla} = 104 + 2100 + 82 + 700 + 335 = 3321 \text{ mm.}$$

CABINA EN SOBRECORRIDO SUPERIOR

5. Cálculo de la huida por cabina:



$$HUIDA = H1 + H2 + H3 + H4$$

H1 = Sobre recorrido superior de cabina, según norma $\rightarrow 104 \text{ mm}$.

H2 = Altura interior útil de cabina $\rightarrow 2100 \text{ mm}$.

H3 = Altura sobre techo y tubos de fijación suelo de cabina $\rightarrow 82 \text{ mm}$.

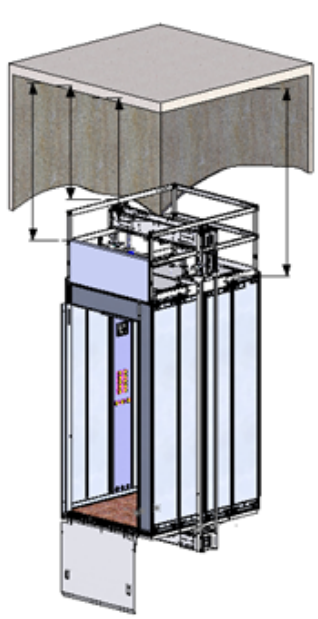
H4 = Distancia seguridad entre techo de cabina y techo de hueco o elemento en proyección $\rightarrow 1035 \text{ mm}$.

$$H4 = 1 + 0,035 \cdot v^2 = 1.035 (m) = 1035 (mm)$$

$$HUIDA_{cabina} = 104 + 2100 + 82 + 1035 = 3321 \text{ mm}.$$

CABINA EN SOBRECORRIDO SUPERIOR

6. Cálculo de la huida por caja de conexiones:



$$HUIDA = H1 + H2 + H3 + H12 + H13 + H14$$

H1 = Sobre recorrido superior de cabina, según norma $\rightarrow 104 \text{ mm}$.

H2 = Altura interior útil de cabina $\rightarrow 2100 \text{ mm}$.

H3 = Altura sobre techo y tubos de fijación suelo de cabina $\rightarrow 82 \text{ mm}$.

H12 = Altura caja de conexiones $\rightarrow 433$

H13 = Distancia parte superior de la caja de conexiones a techo del hueco o elemento en proyección.

H14 = Distancia de seguridad $\rightarrow 30$

$$H13 = 0.5 + 0,035 \cdot v^2 = 535 (m) = 535 (mm)$$

$$HUIDA_{cabina} = 104 + 2100 + 82 + 433 + 535 + 30 = 3284 \text{ mm}.$$

CABINA EN SOBRECORRIDO SUPERIOR

De entre todas estas distancias, la huida mínima para cumplir con la normativa será la más desfavorable. En caso de no cumplir con una de las distancias, hay que aplicar todas las medidas compensatorias que indica la normativa EN81-21 (barandilla plegable o extensible, SAB (sistema de preaccionamiento de parada), caja de conexiones horizontal, contactos adicionales...)

HUIDA MÍNIMA (mm)	HUIDA DE LA INSTALACIÓN PROPUESTA (mm)
3321	3000

1.8.5. Recorrido y altura total del hueco

El recorrido es la distancia que se desplaza en vertical el conjunto chasis-cabina desde el suelo del primer piso hasta el del último.

Por tanto el cálculo del recorrido consiste en la suma de las diferentes distancias entre el suelo de un piso y el del siguiente.

$$RECORRIDO = \sum^i d_i = 3570 + 3280 = 6850 \text{ (mm)}$$

La altura total del hueco sin embargo, constituye la distancia vertical total de la instalación, es decir, la comprendida por el foso, el recorrido y la huida.

$$ALTURA\ TOTAL\ DEL\ HUECO = FOSO + RECORRIDO + HUIDA = 950 + 6850 + 3000 = 10800 \text{ mm}$$

1.6. Toma de pedido real

Una vez realizado esto, se puede elaborar una toma de pedido real que cumplirá y garantizará las especificaciones descritas anteriormente.

TOMA DE PEDIDO INSTALACIÓN ASCENSOR COMPLETO 1/2	
DATOS DE PROYECTO	DATOS DE CABINA
Tipo de instalación: Obra nueva. Ubicación del ascensor: Interior. Idioma de la documentación: español	Altura útil de cabina: 2100 mm Puerta ubicada en el embarque a: 0 grados Enclavamiento mecánico: SI Tipo de puerta de cabina: AUTOMATICA Tipo de puerta de cabina: TELESCOPICA IZQUIERDA Nº de hojas: 2 Paso libre de la puerta de cabina: 900 mm Altura libre de la puerta: 2000 mm Modelo de hoja: ESTANDAR Marca: MASSEN Material de la pisadera: ALUMINIO Ancho de la pisadera: 75 mm Modelo de la puerta de cabina: HYDRA Acabado de la puerta de cabina: X13 - INOX LINEN Flechas en jamba: SI
CARACTERÍSTICAS GENERALES	ELEMENTOS DE CABINA
Carga útil (Q): 630 kg. Nº personas: 8 Tipo de accionamiento del ascensor: ELECTRICO SCM Normativa: EN81-20/50:2014 Norma EN-81-70: SI Norma EN-81-71: SI Norma EN-81-72: SI Modo incendios/bomberos: INCENDIOS EN81-73 Norma EN 81-28: SI Ascensor en grupo: POSIBILIDAD Nº Paradas máximas: 32 Velocidad nominal: 1 m/s Medidas de cabina: 1100x1400mm Tecnología de accionamiento: GEARLESS Serie: GO! FLEX Suspensión: 1:1 Modelo de ascensor: MP GO! FLEX	Tipo de suelo: Granito-Marmol Espesor de suelo: 20 mm Tipo de iluminación techo: Bajo Consumo (LED) Paños y jambas: INOX BRILLO SUPERESPEJO Paño estructural: Compacto Espesor paños: 10 mm Altura zócalo: 30 mm Nº de botoneras en cabina: 1 Distancia desde embocadura a centro de botonera: ESTANDAR MINUSVALIDOS
OTRAS CARACTERÍSTICAS	Fotocélulas
Pesa cargas: ELECTRONICO Engrasadores: EN CABINA Y CONTRAPESO Nivel de tráfico: MEDIO Marca del variador: ecoGO Síncrono INVERTER 7,5 kW Stand-by o "Modo espera": SI Ubicación del armario: ULTIMO PISO Armario anexo a marco puerta piso en rellano: ANEXO Armario anexo al hueco del ascensor: ANEXO Longitud de los tramos de guías: 5000 mm Acabado de la guía de cabina: 70/70/9 Stop adicional en techo de cabina: SEGÚN NORMATIVA	Fotocélula: CORTINA Tipo cortina: 2D
MANIOBRA	Pasamanos
Modelo de maniobra: MPecoGO Planta principal: 1 Estrategia de despacho de llamadas: SELECTIVA BAJADA Ascensor parado para tele-mantenimiento: SI Línea telefónica: GSM/GPRS (TELEFONO MOVIL) Trifonia: SI Intercomunicador entre el armario y el interior de la cabina: SI Gong: EN TECHO DE CABINA Frecuencia de red: 50 Hz Tensión de red del edificio: TRIFASICO.415V Arranques/hora: 180 (ESTANDAR) Sistema de detección de incendios: AUTOMATICO Planta alternativa designada para evacuación/acceso bomberos: 1 Interruptores magneto térmicos: SI Consola integrada: SI	Pasamanos: SI Tipo de pasamanos derecho: P13 - TUBULAR Color / Acabado pasamanos: X12 - INOX BRILLO ESPEJO

TOMA DE PEDIDO INSTALACIÓN ASCENSOR COMPLETO 2/2	
PUERTA DE CABINA	ARMARIO-HUECO
Puerta ubicada en el embarque a : 0 grados Enclavamiento mecánico : SI Tipo de puerta de cabina : AUTOMATICA Tipo de puerta de cabina : TELESCOPICA IZQUIERDA Nº de hojas : 2 Paso libre de la puerta de cabina : 900 mm Altura libre de la puerta : 2000 mm Modelo de hoja : ESTANDAR Marca : MP-MASSEN Material de la pisadera : ALUMINIO Ancho de la pisadera : 75 mm Modelo de la puerta de cabina : REVECO GO Acabado de la puerta de cabina : X22 - INOX BRILLO SUPERESPEJO Espesor de las hojas : 1.2 mm Flechas en jamba : SI	Protección contra fuego del armario SCM: E 120, EW 60 (EN81-58) Acabado del armario: X13 - INOX LINEN Mano de apertura del armario: DERECHA Frontis para armario SCM: SI Distancia entre las fijaciones de las guías de cabina: 1500 mm Posición del acceso del cableado al hueco: O2 Recorrido de cables de cuadro de maniobra/armario hasta máquina: 5000 mm Escalera de foso: SI Sistema de rescate incorporado: AUTOMATICO + ELECTROMANUAL + MES Sistema de rescate automático: CON EVACUACION EN PLANTA ADYACENTE SIN APOORTE DE Tipo de cable de tracción: CALIDAD SUPERIOR Tipo de cable de limitador: CALIDAD SUPERIOR Pintura de los componentes hueco: RAL 7044 GRIS (ESTANDAR) Tipo de toma de corriente: BS1363 Tipo de toma de corriente: INGLESA Canaletas de hueco: ESPECIAL RANURADA 80X60 Tipo de acometida: FUERZA Y ALUMBRADO, DOS MANGUERAS Interruptor diferencial de alumbrado: CLASE AC Interruptor principal externo: SI
PUERTAS DE PISOS	OTRAS OPCIONES
Paso libre de la puerta de piso: 900 mm Altura libre de la puerta: 2000 mm Tipo de puerta piso: AUTOMATICA Tipo de apertura: TELESCOPICA IZQUIERDA Nº de hojas: 2 Modelo: ESTANDAR Marca: MP-MASSEN Acabado de la puerta de piso: X22 - INOX BRILLO SUPERESPEJO Modelo de la puerta de piso: REVECO GO Comportamiento al fuego: E 120 (EN81-58) Material de la pisadera: ALUMINIO	Volado de puerta de piso: (4) PISADERA Y MARCOS VOLADOS
BOTONERAS DE PISO 0	CALCULO DE HUIDA Y FOSO
Indicador de posición y dirección: CD000 Ubicación del indicador: CAJA EN PARED Enviar caja para fijación en pared del indicador: SI Ubicación de la botonera: MARCO EN PUERTA Display indicador de posición: (6) TFT028 Acabado de la botonera de piso: INOX SB SATINADO Logo de botonera de piso: SI Técnica de grabación del logotipo: LASER Identificador del elemento de llamada: FLECHA SUBIDA Dimensiones de la caja: 75x180 Fijación de la botonera: TORNILLO M4	Barandilla quita miedos: SEGUN EN81-20/50 Conformidad: Huida reducida. Foso reducido Tipo de huida (EN 81-21): REDUCIDA
	DISPOSITIVOS Y HERRAMIENTAS
	Mando de montaje con mangueras: SI Bucle de inducción para personas con audifono: SI Sistema de desbloqueo del paracaídas: 2 Kit de des enclavamiento desde foso: SI Método de montaje: VIGAS Alumbrado de hueco: SI Número de hileras LED para alumbrado de hueco: 1 Longitud de tira LED 1 para alumbrado de hueco: 19000 mm

Anexo II: Planos de la instalación

	1	2	3	4		
A					A	
B					B	
C					C	
D	08-DETALLE DE FOSO				D	
	07-HUIDA					
	06-DETALLE HUECO PUERTA					
	05C-ALZADO ANDAMIOS					
	05B-PLANTA ANDAMIO					
	05-PLANTA FOSO					
	04B-BANCADA Y MAQUINA					
	04-VIGAS Y GANCHOS DE MONTAJE					
	03B-DETALLE FIJACIONES EN HUIDA					
	03-ALZADO DISTRIBUCION GUIAS Y SOPORTES					
E	02C-PERFIL LATERAL				E	
	02B-ALZADO LATERAL ELECTRICO					
	02-ALZADO LATERAL					
	01B-PLANTA ELECTRICA					
	01-PLANTA					
F	00-INDICE				F	
		Fecha	Nombre	Firma:		 <div>Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza</div>
	Dibujado		Daniel Laborda Menoyo			
	Comprobado					
		Escala	Titulo			Grado en Ing. Mecánica
		INIDCE				
				Plano N° 00		
	1	2	3		A4	

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

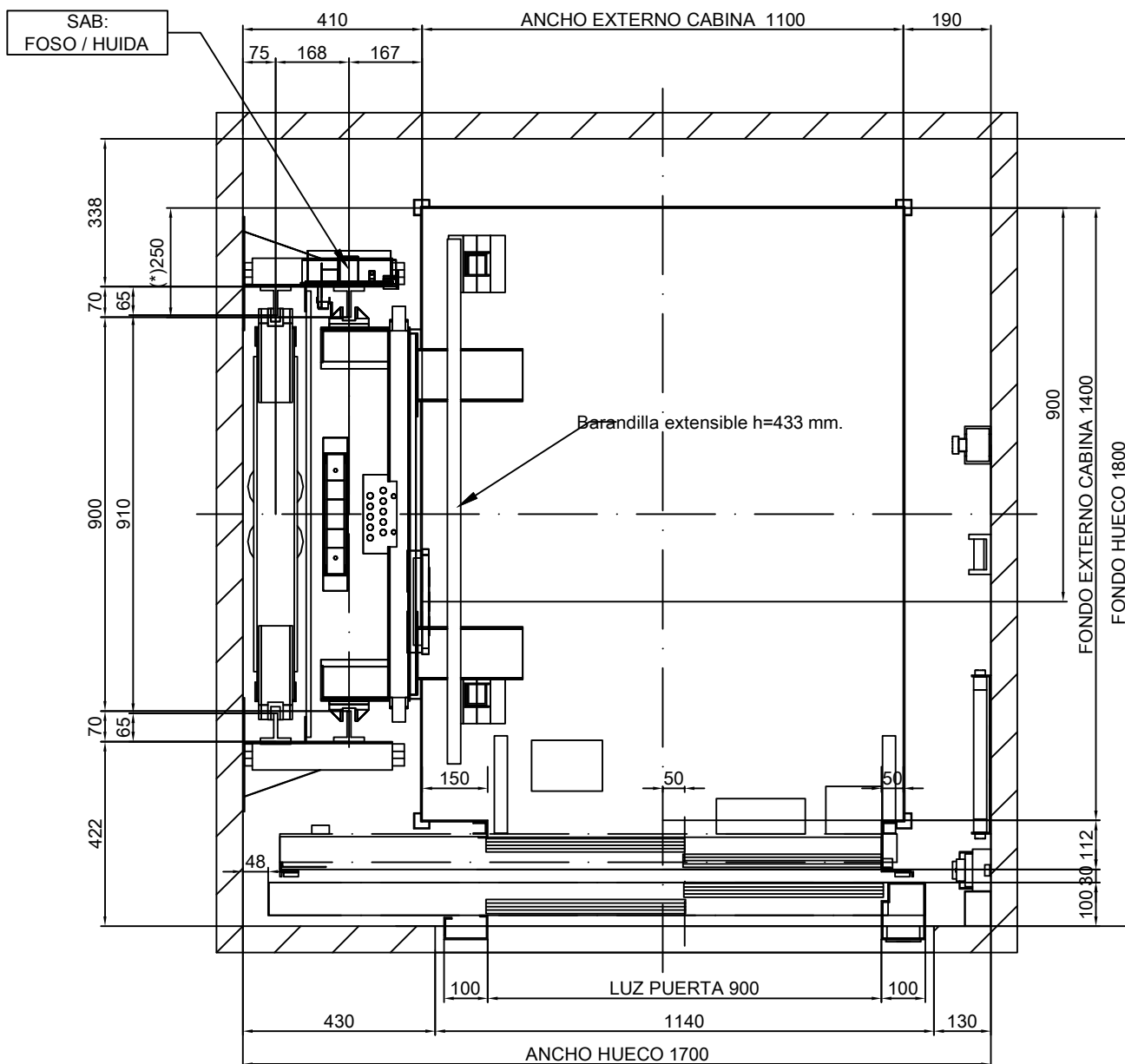
D

E


E

F

F



ESCALA: 1:15

	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado		Daniel Laborda Menoyo		
Comprobado				
Escala	Título	Grado en Ing. Mecánica		
1:15		Plano N°		01

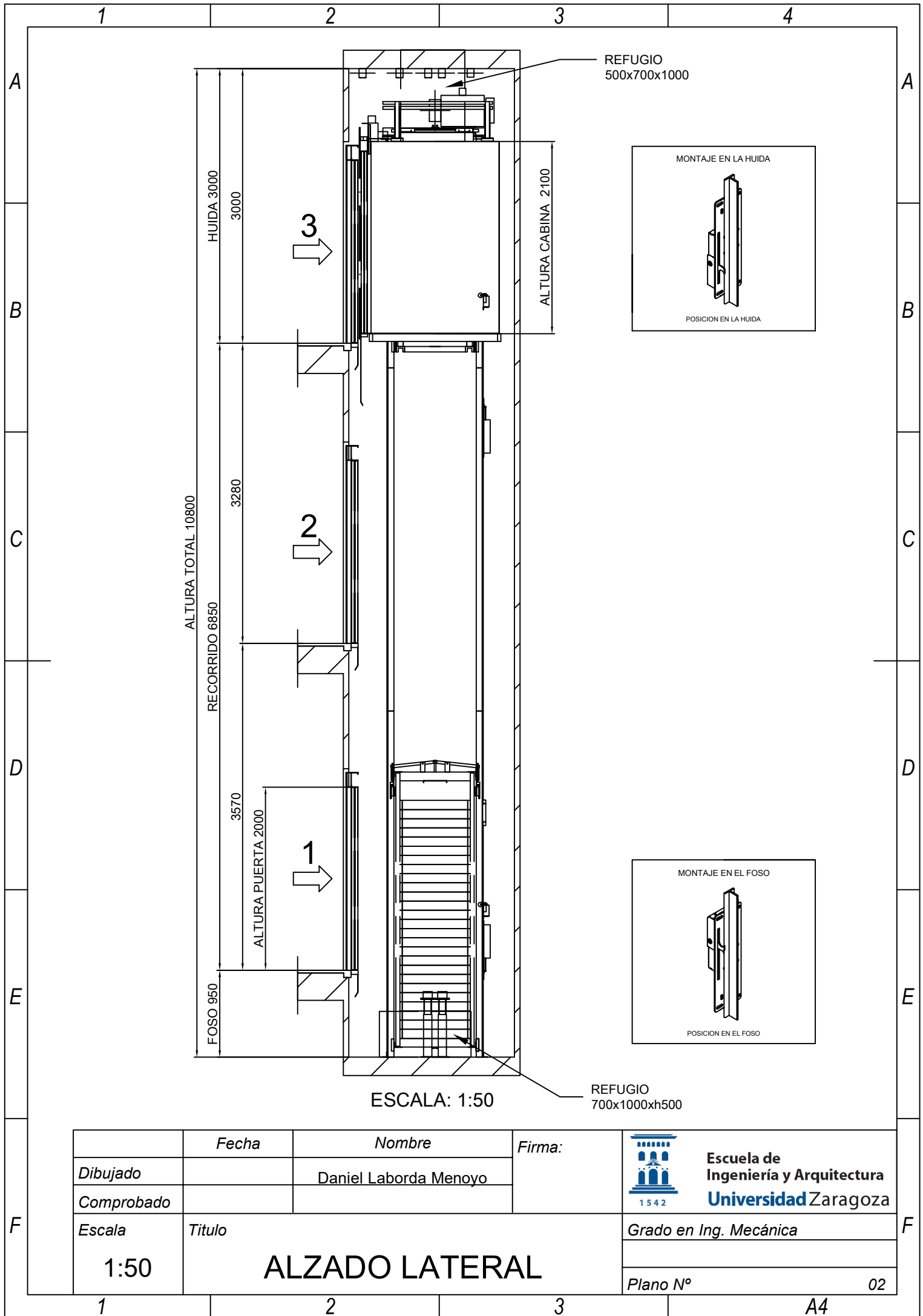
PLANTA

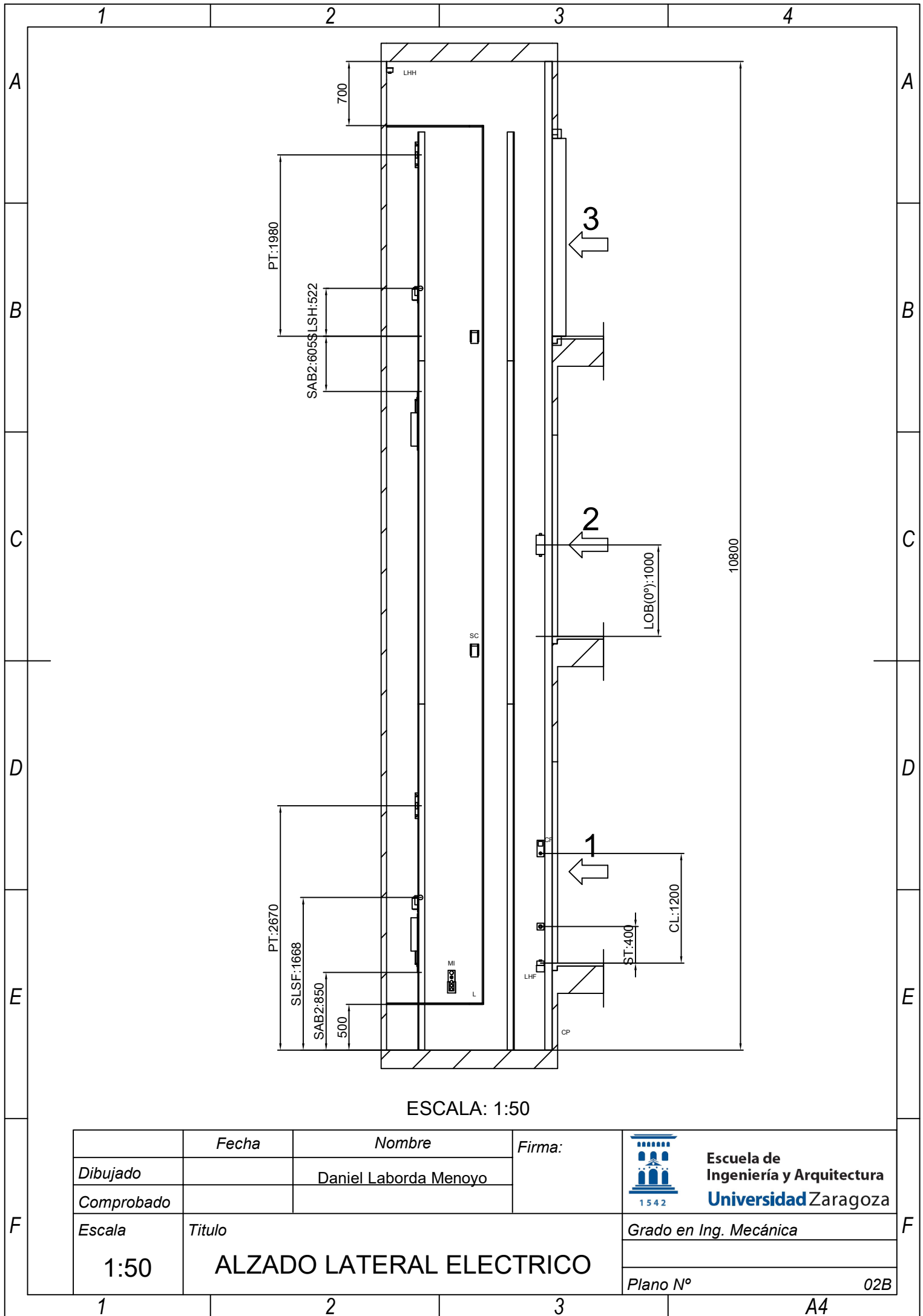
1

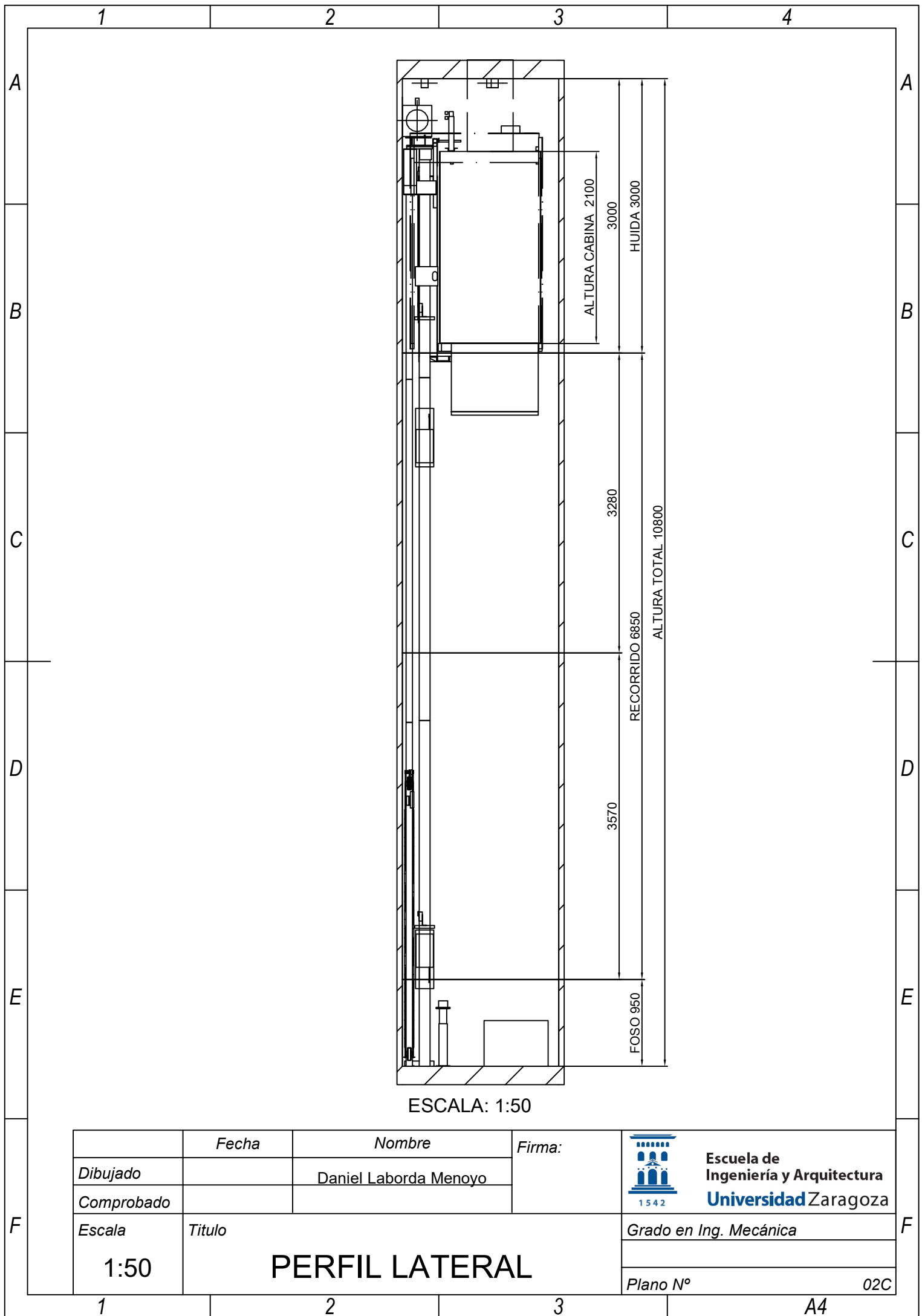
2

3

A4







1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

D

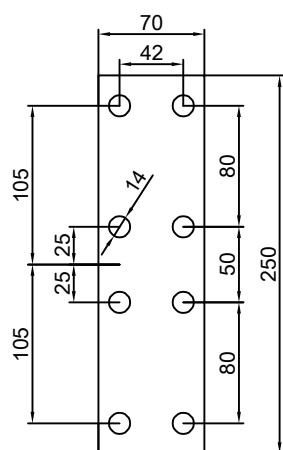
E

E

F

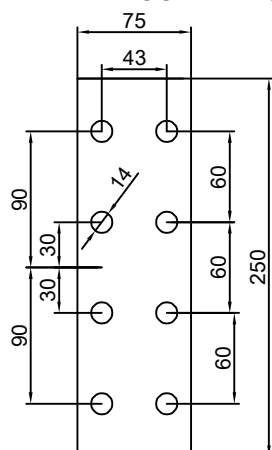
F

EMPALME PARA GUIA DE 70/65/9

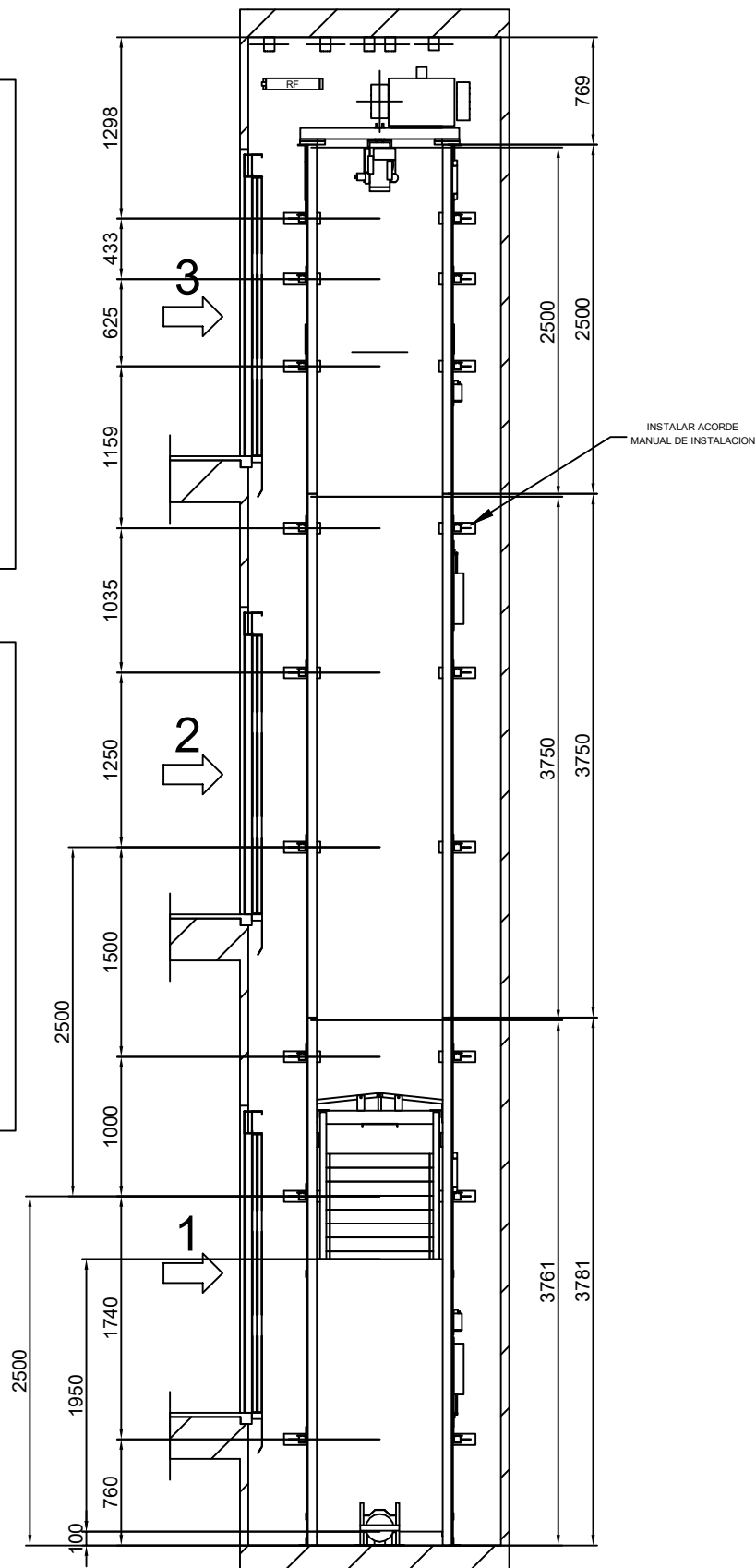


ESCALA 1:5

EMPALME PARA GUIA DE 70/70/9



ESCALA 1:5



ESCALA: 1:50

	Fecha	Nombre	Firma:		Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado		Daniel Laborda Menoyo			
Comprobado					
Escala	Título	ALZADO DISTRIBUCION GUIAS Y SOPORTES			Grado en Ing. Mecánica
1:50					Plano N° 03

1

2

3

A4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

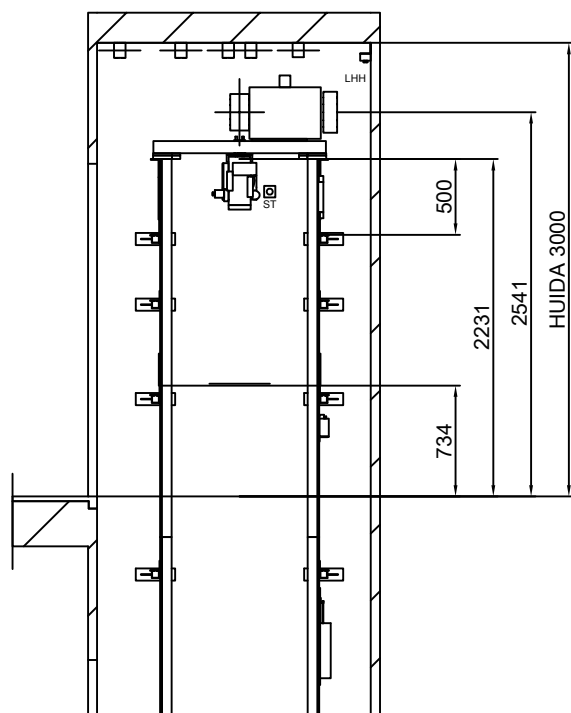
D

E

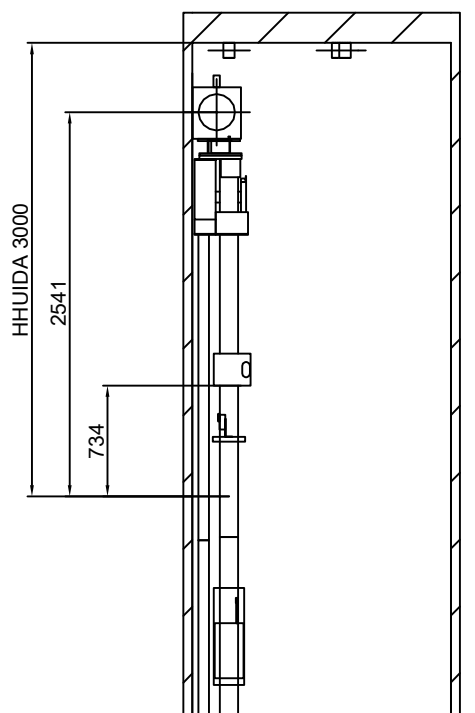
E

F


F



ESCALA: 1:50



ESCALA: 1:50

	Fecha	Nombre	Firma:	 <div>Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza</div>
Dibujado		Daniel Laborda Menoyo		
Comprobado				
Escala	Título DETALLE FIJACIONES EN HUIDA			Grado en Ing. Mecánica
1:50				
				Plano N° 03B

1

2

3

A4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

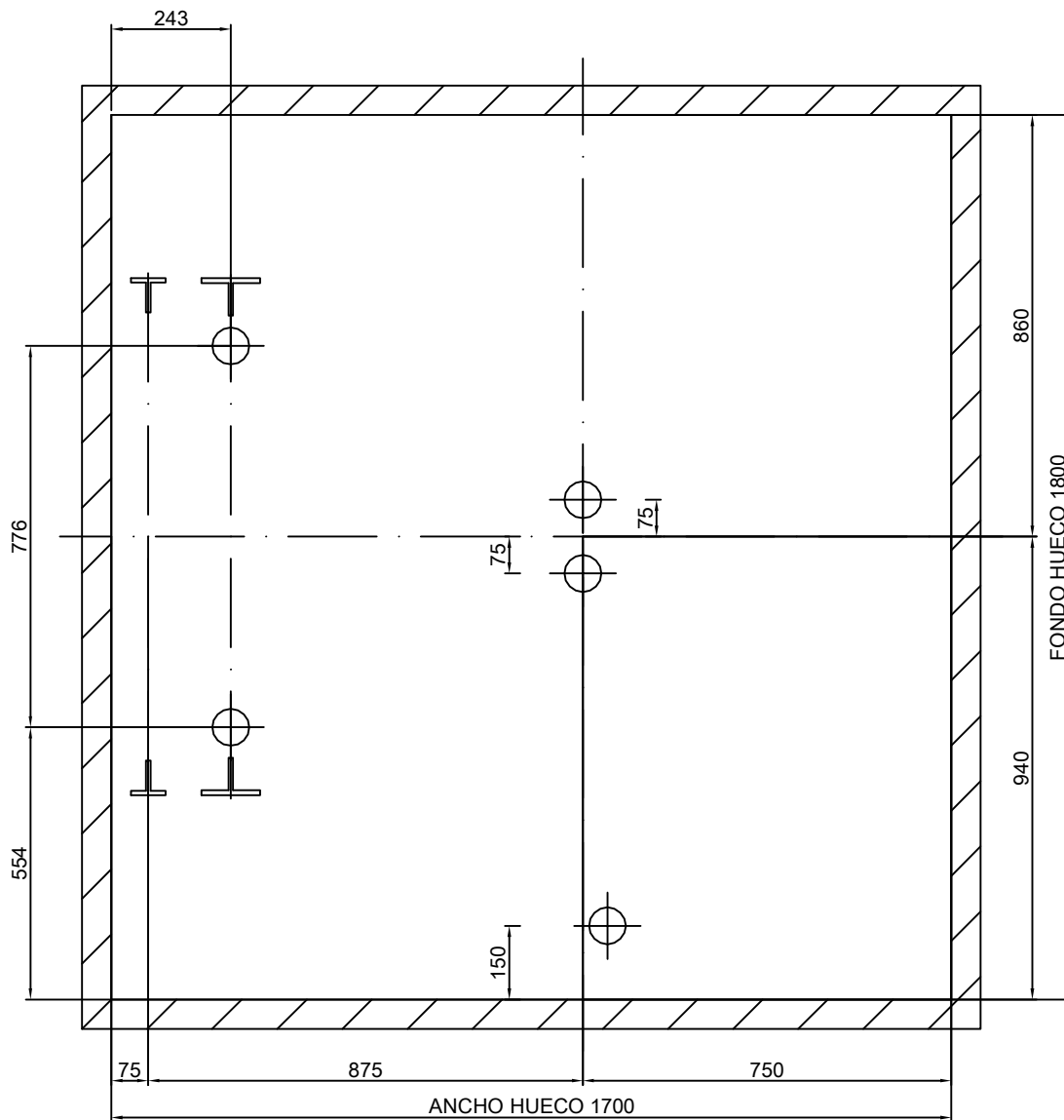
D

E


E

F

F



ESCALA: 1:15

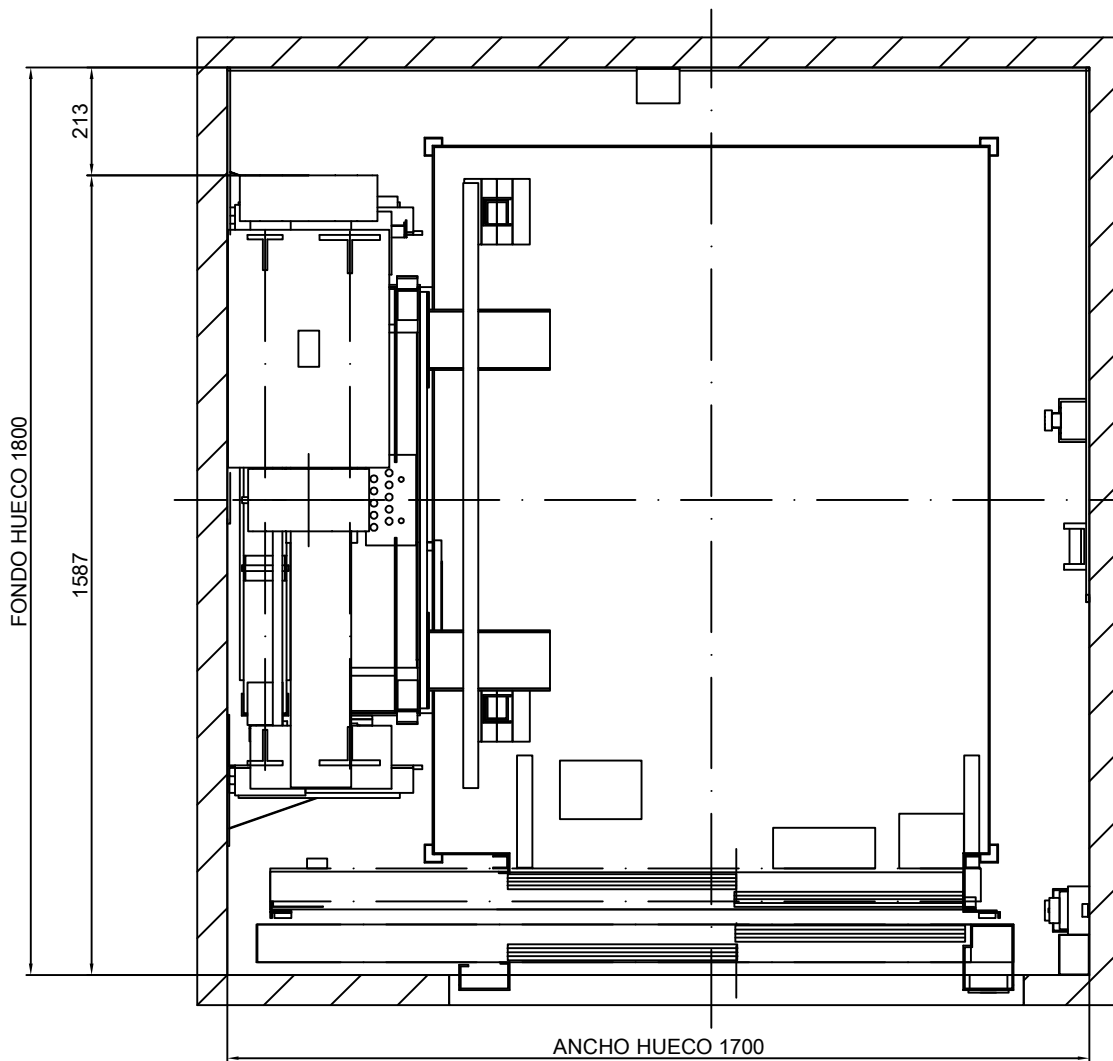
	Fecha	Nombre	Firma:	 <div>Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza</div>
Dibujado		Daniel Laborda Menoyo		
Comprobado				
Escala 1:15	Título VIGAS Y GANCHOS DE MONTAJE			Grado en Ing. Mecánica
				Plano N° 04

1


2

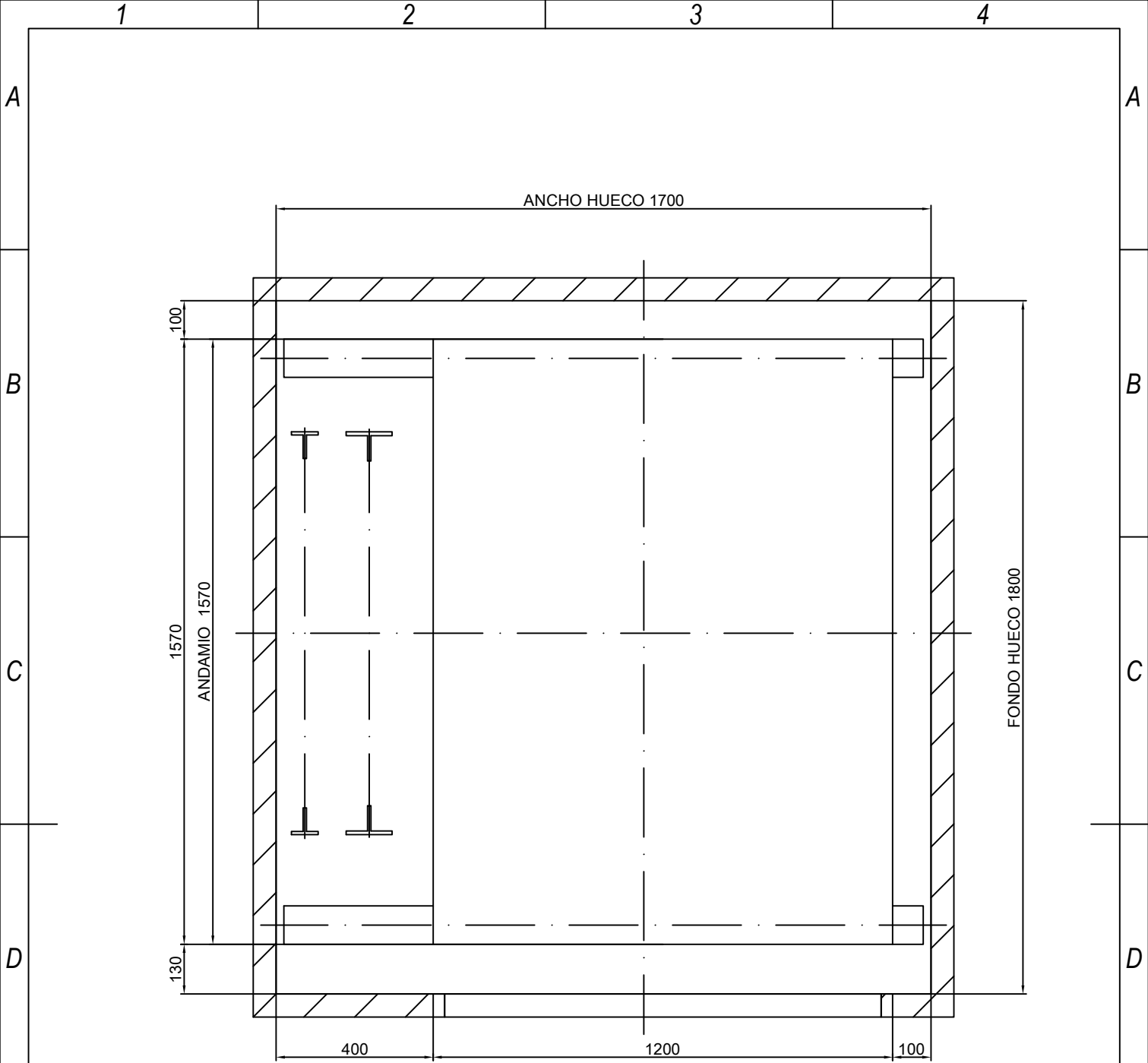
3

A4



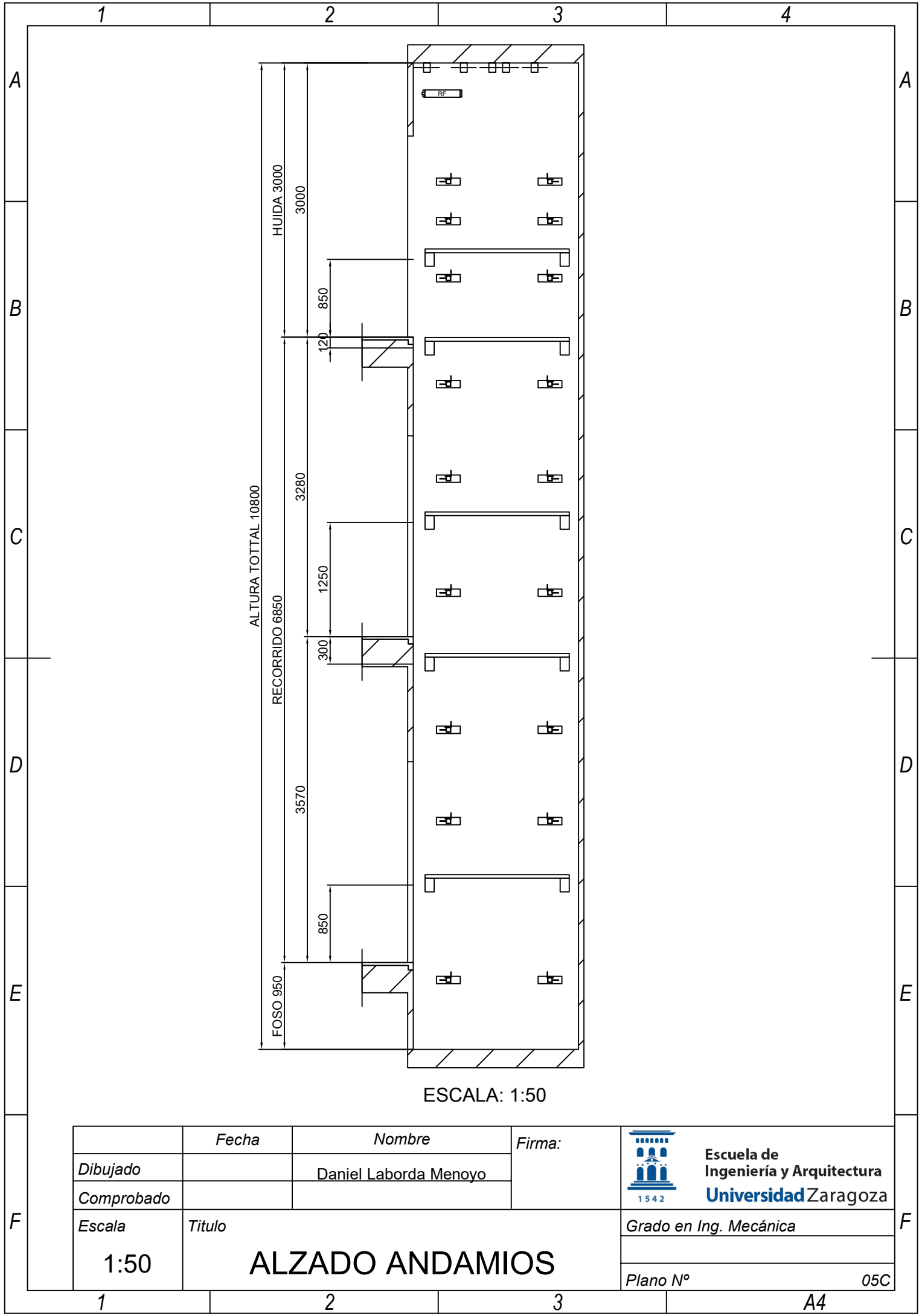
ESCALA: 1:15


	Fecha	Nombre	Firma:	 <div>Escuela de Ingeniería y Arquitectura UniversidadZaragoza</div>
Dibujado		Daniel Laborda Menoyo		
Comprobado				
Escala	Título			Grado en Ing. Mecánica
1:15	BANCADA Y MAQUINA			
				Plano N° 04B



ESCALA: 1:15

	Fecha	Nombre	Firma:	 <div>Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza</div>
Dibujado		Daniel Laborda Menoyo		
Comprobado				
Escala	Título			Grado en Ing. Mecánica
1:15	PLANTA ANDAMIO			
				Plano Nº 05B



	Fecha	Nombre	Firma:	 <div>Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza</div>
Dibujado		Daniel Laborda Menoyo		
Comprobado				
Escala	Titulo			Grado en Ing. Mecánica
1:50	ALZADO ANDAMIOS			
				Plano Nº 05C

1 2 3 4

A

A

B

B

C

C

D

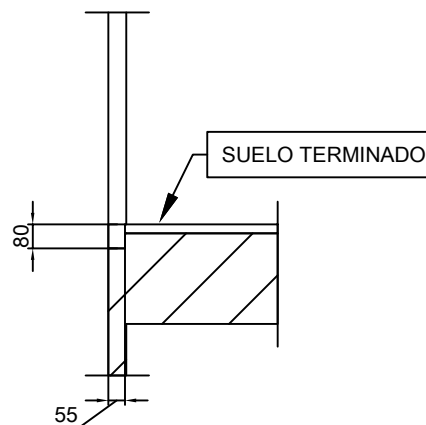
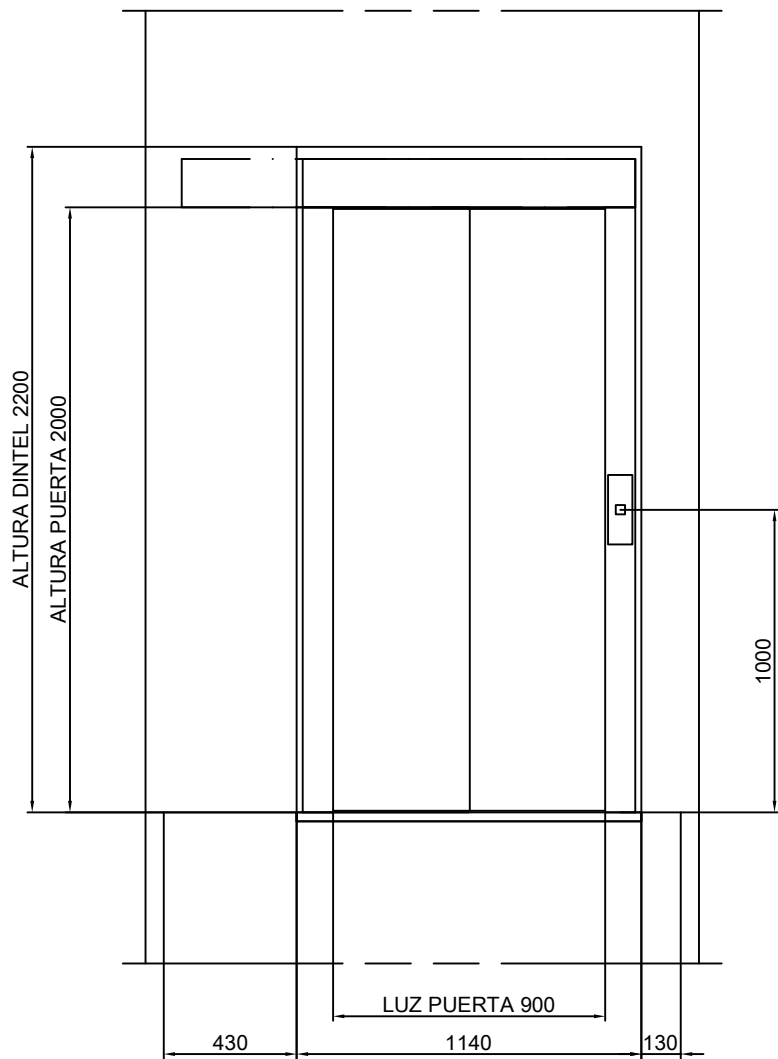
D


E

E

F

F



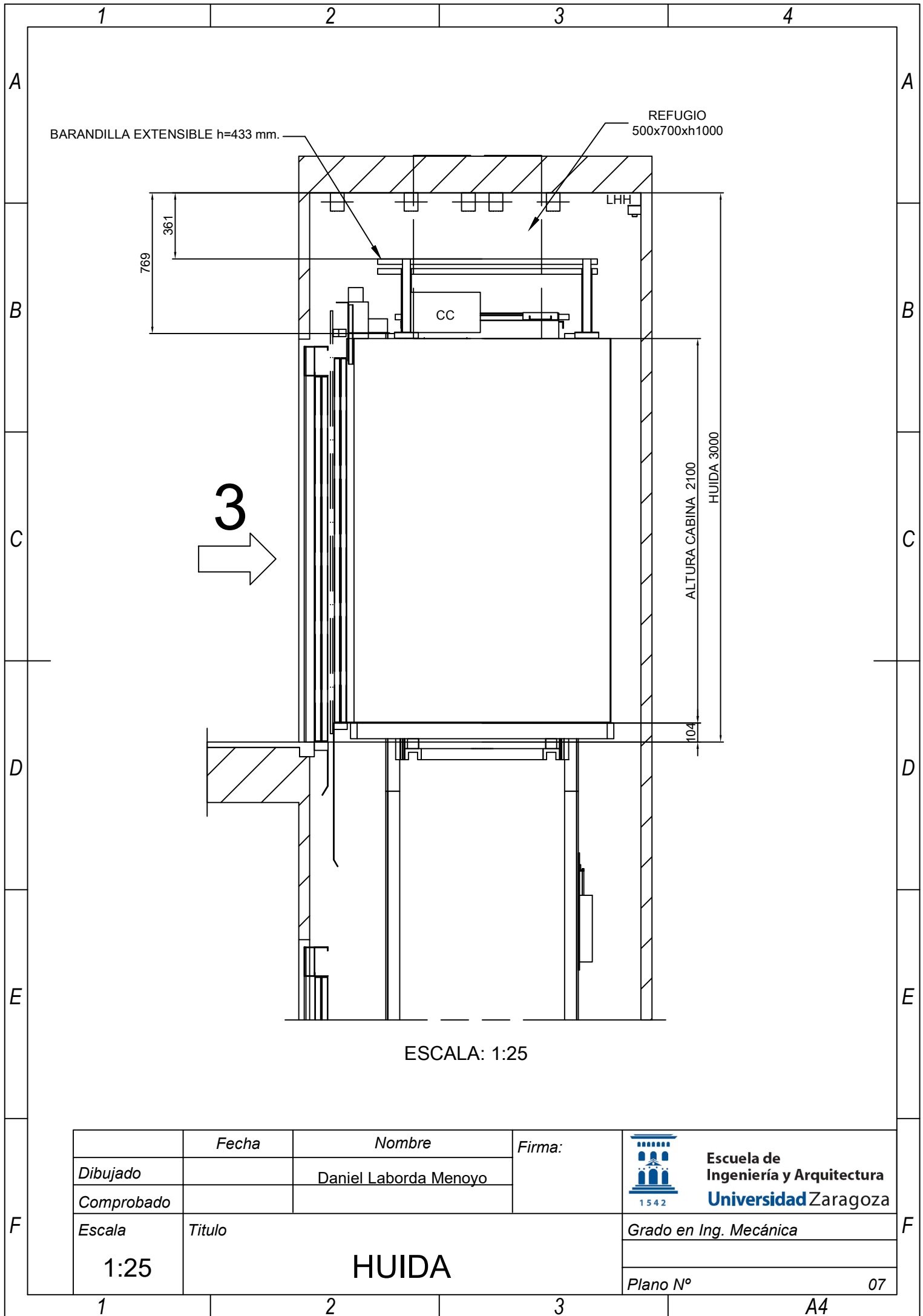
	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado		Daniel Laborda Menoyo		
Comprobado				
Escala	Título			Grado en Ing. Mecánica
1:25	DETALLE HUECO PUERTA			
				Plano N° 06

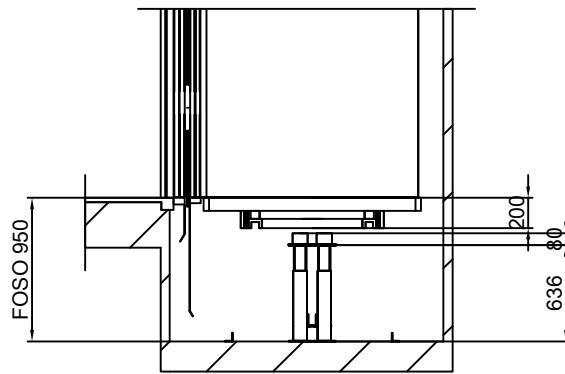
1

2

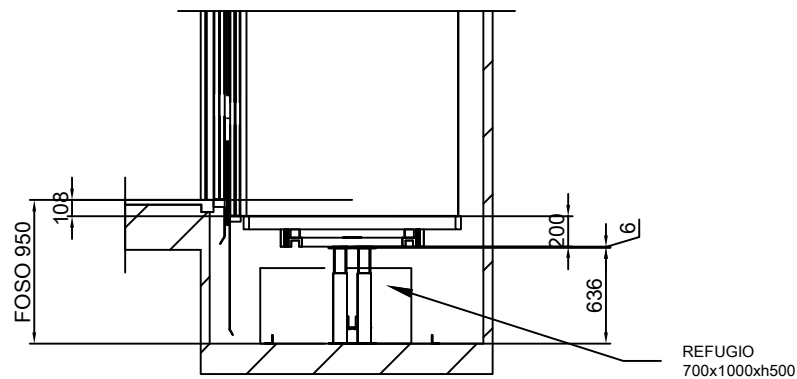
3

A4

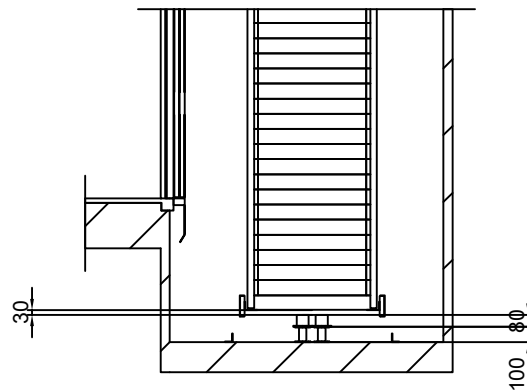




CABINA A NIVEL DE PLANTA BAJA
ESCALA: 1:50



CABINA EN SOBRERECORRIDO
ESCALA: 1:50



CABINA A NIVEL DE ULTIMA PLANTA
ESCALA: 1:50

	Fecha	Nombre	Firma:	 <div>Escuela de Ingeniería y Arquitectura UniversidadZaragoza</div>
Dibujado		Daniel Laborda Menoyo		
Comprobado				
Escala	Titulo			Grado en Ing. Mecánica
1:50	DETALLE FOSO			
				Plano Nº08

Anexo III: Modelado y ensamblaje del chasis de cabina

El modelado del conjunto del chasis de cabina se realizará a través de la superficie media mediante el módulo de superficies del software SolidWorks y constará de los siguientes elementos:

- TRAVESAÑO SUPERIOR
- LARGUEROS
- SOPORTE INFERIOR
- ROZADERAS

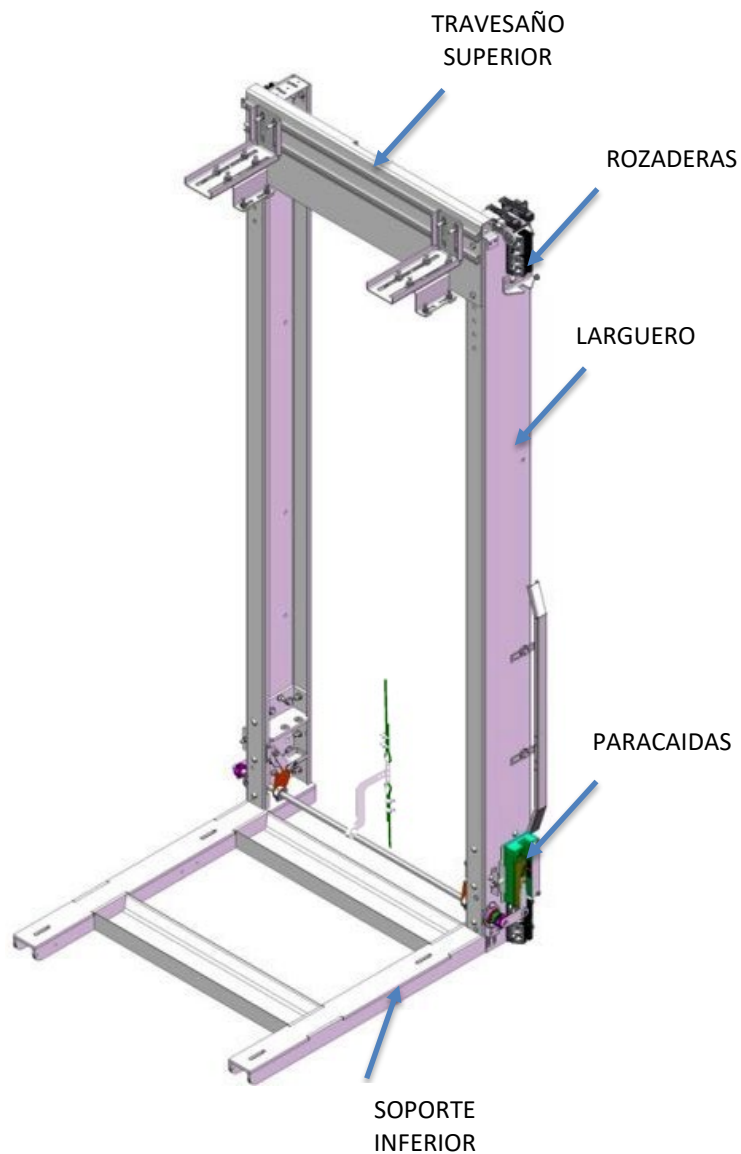
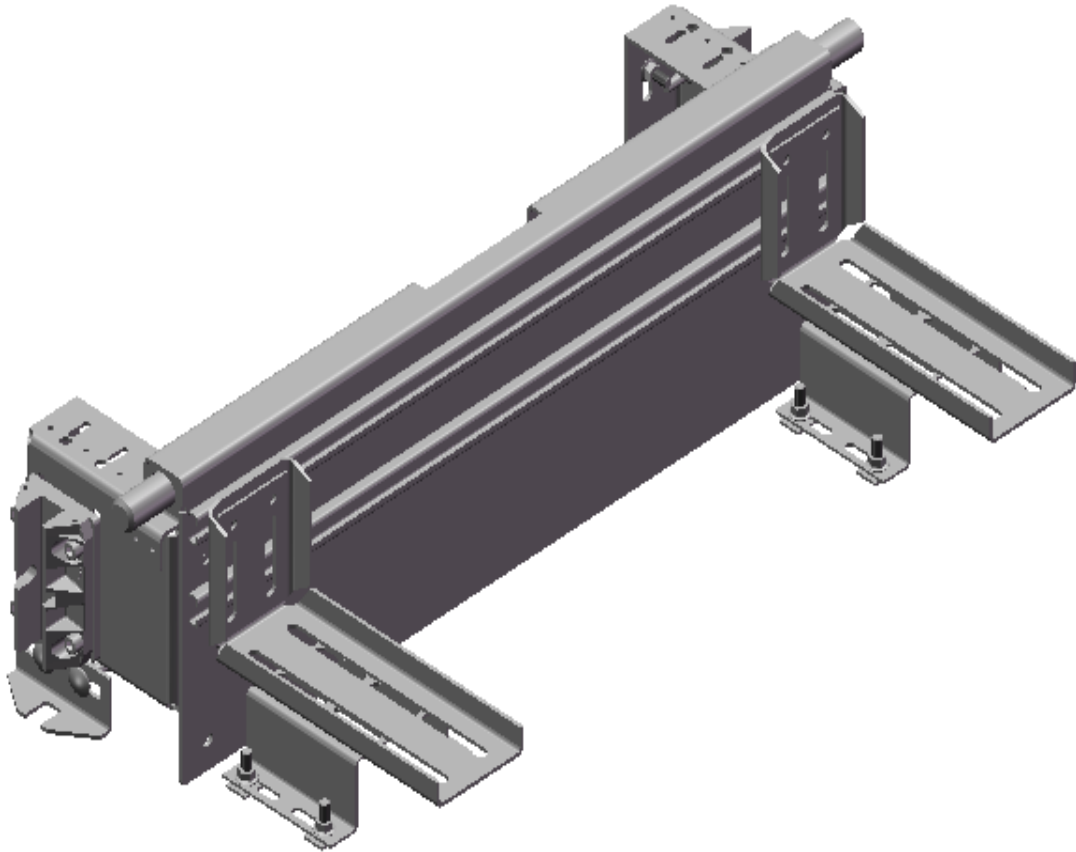


Ilustración 68 Elementos chasis de cabina [1]

3.1. Modelado del travesaño superior

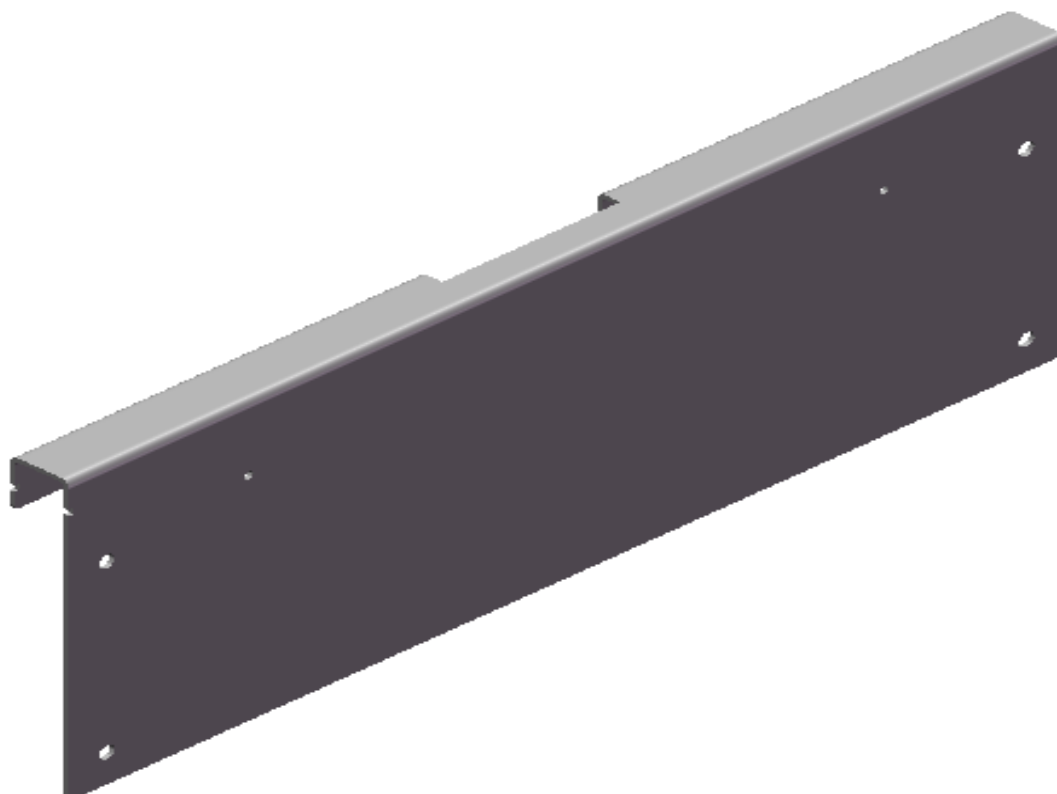


El travesaño superior estará compuesto por varias piezas que se describirán a continuación.

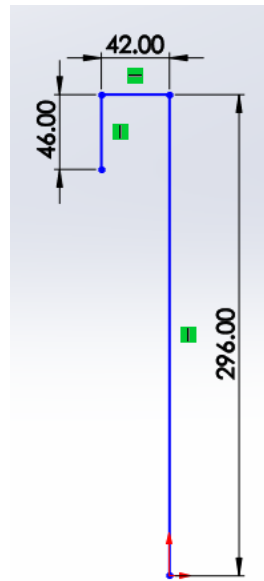
TRAVESAÑO SUPERIOR	
PANEL SUPERIOR	El panel superior será la pieza que dará union entre las fijaciones de amarre superiores, el eje de enclavamiento y los refuerzos laterales unidos a los largueros.
FIJACIONES DE AMARRE SUPERIORES	Estas fijaciones serán las encargadas de unir la cabina con el panel del travesaño superior.
REFUERZOS LATERALES	Los refuerzos laterales servirán para reforzar la union de los largueros y el travesaño superior

A continuacion se modelarán los distintos elementos que conforman el travesaño superior.

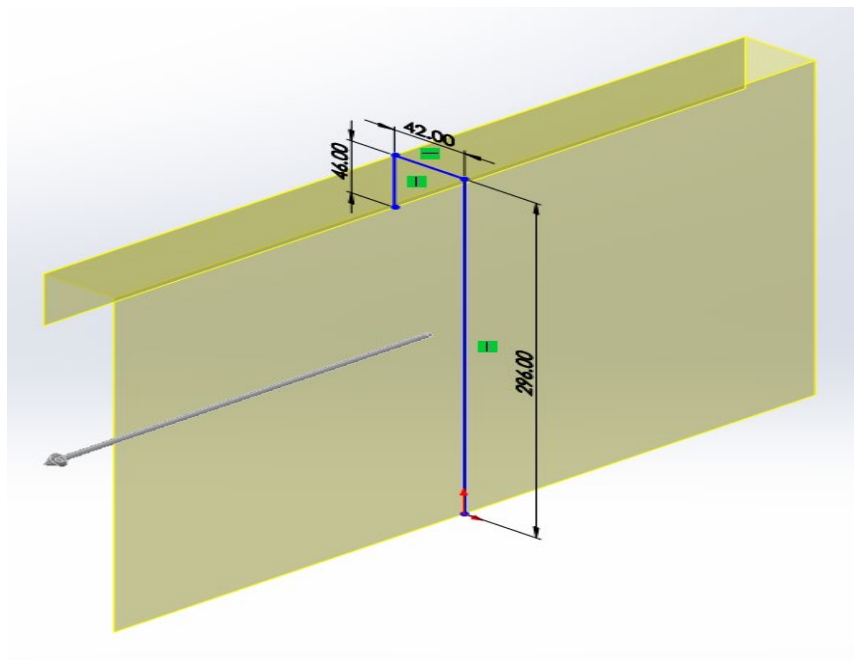
3.1.1. Modelado del panel superior



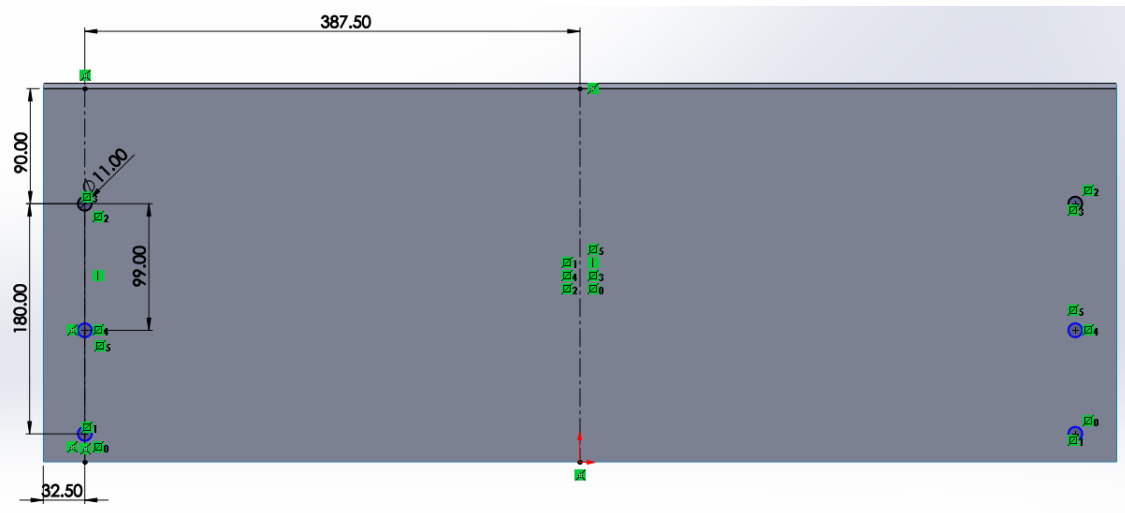
1. Para crear el panel del travesaño superior primero se creará un croquis con las siguientes medidas:



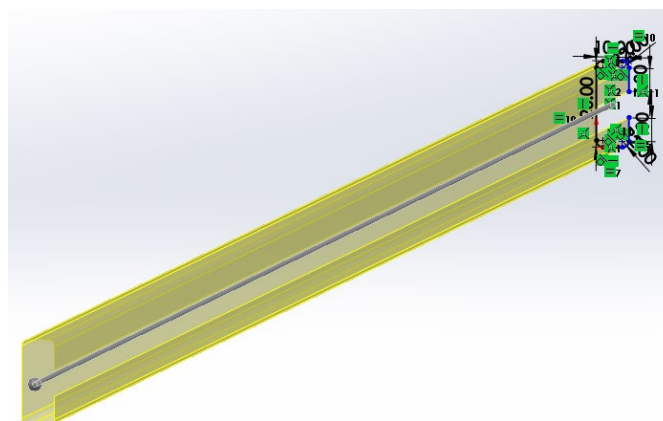
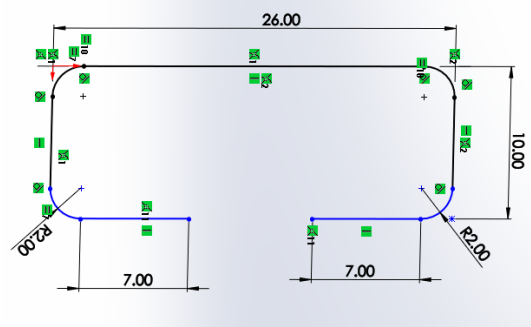
2. Después mediante la herramienta “Extruir superficie”, se dará una profundidad a la superficie de 840 mm. Y mediante la herramienta “redondeo” se redondearan las aristas con un radio 4 mm



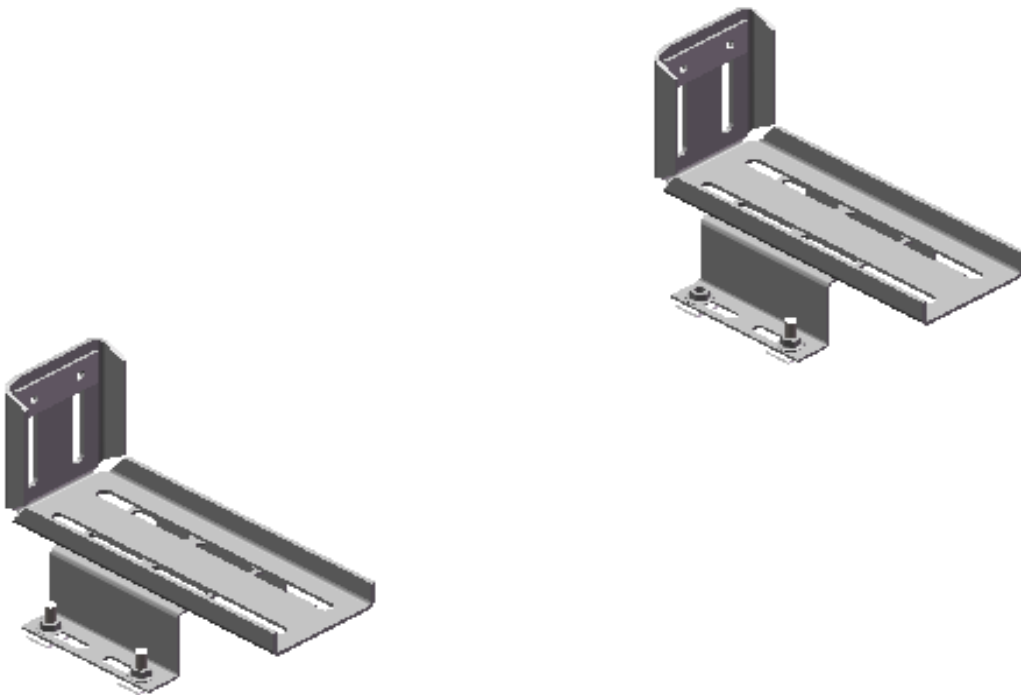
3. Seguidamente se procederá a realizar los correspondientes huecos destinados a la tornillería. Primero se realizará el siguiente croquis y luego mediante la herramienta "recortar superficie" se realizará el recorte. (Taladros de $\varnothing 11$)



4. Para crear los raíles que servirán de unión con las fijaciones superiores de la cabina, primero se realizara el siguiente croquis y, mediante la herramienta "extruir superficie", se le dará una profundidad de 830 mm.



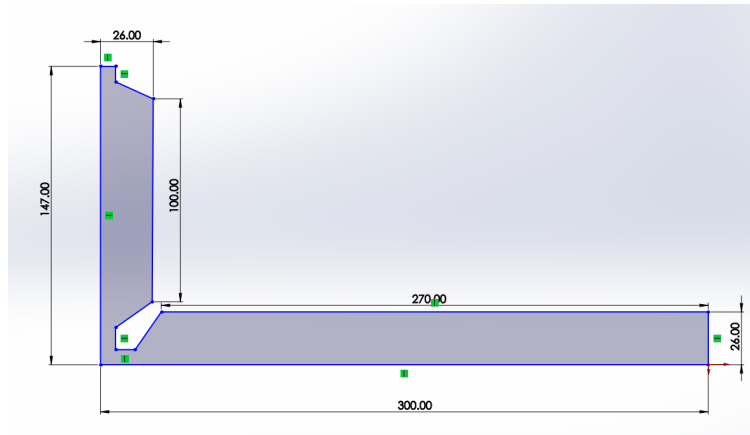
3.1.2. Modelado de las fijaciones y amarres superiores



El conjunto fijación amarre superior estará compuesto por tres piezas; una que hará la función de fijación con el panel, otra que hará la función de fijación con la cabina y otra que servirá de unión entre ellas.

3.1.2.1. Pieza 1: Amarre superior

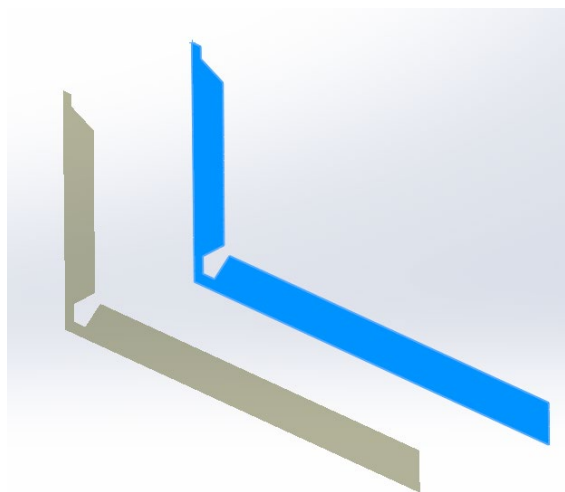
1. Para crear el amarre primero se creará el croquis siguiente:



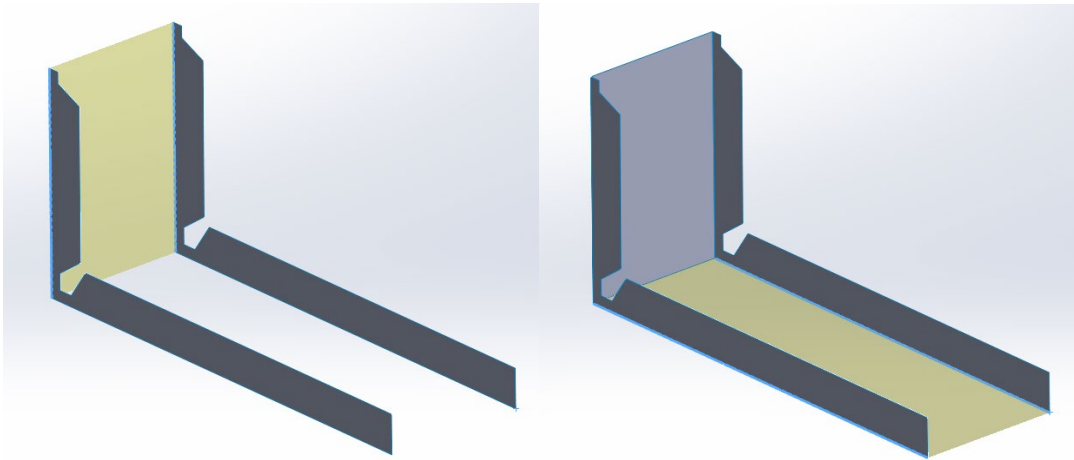
2. Una vez creado el croquis, mediante la herramienta "Crear Superficie" se creara la superficie lateral del amarre.



3. Después mediante la herramienta "Equidistanciar Superficie", se creará una superficie idéntica y paralela a una distancia de 96 mm.

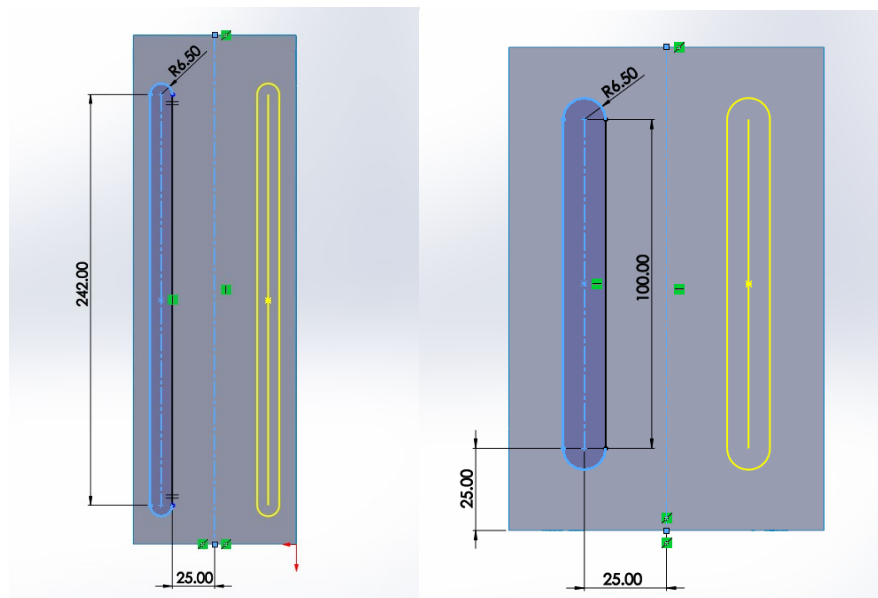


4. Seguidamente, mediante la herramienta “Crear Superficie”, se creará la superficie de unión vertical y horizontal entre las superficies paralelas creadas anteriormente.



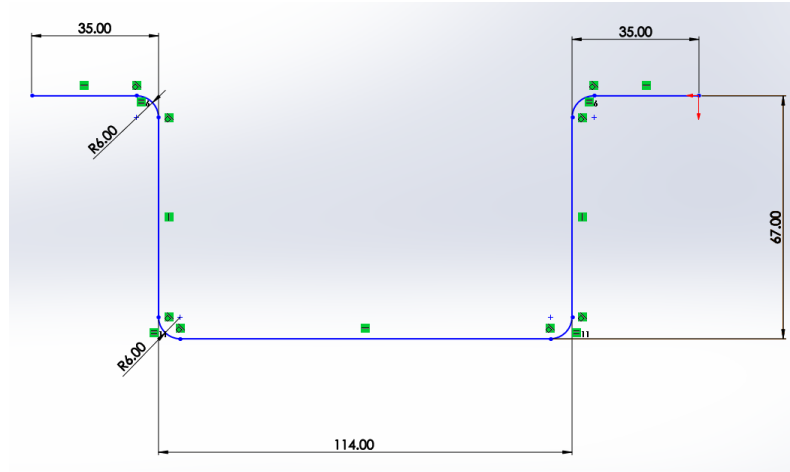
5. Una vez hecho esto, se crearán dos nuevos croquis, uno en la superficie horizontal y el otro en la superficie vertical, los cuales servirán para hacer un recorte de las cavidades necesarias para la correspondiente tornillería.

Para estos croquis se utilizará las herramientas “Ranura recta” y “Crear simetría de entidades”. Y mediante la herramienta “Recortar superficie”, se harán los recortes seleccionando las superficies a recortar por los croquis creados anteriormente

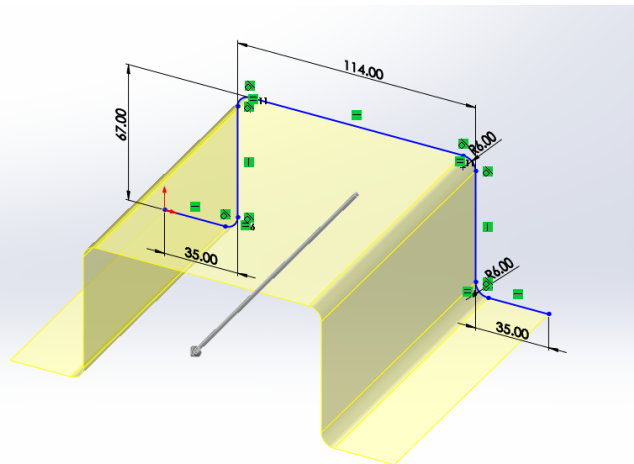
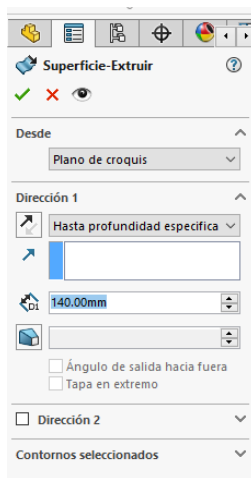


3.1.2.2. Pieza 2: Fijación a cabina

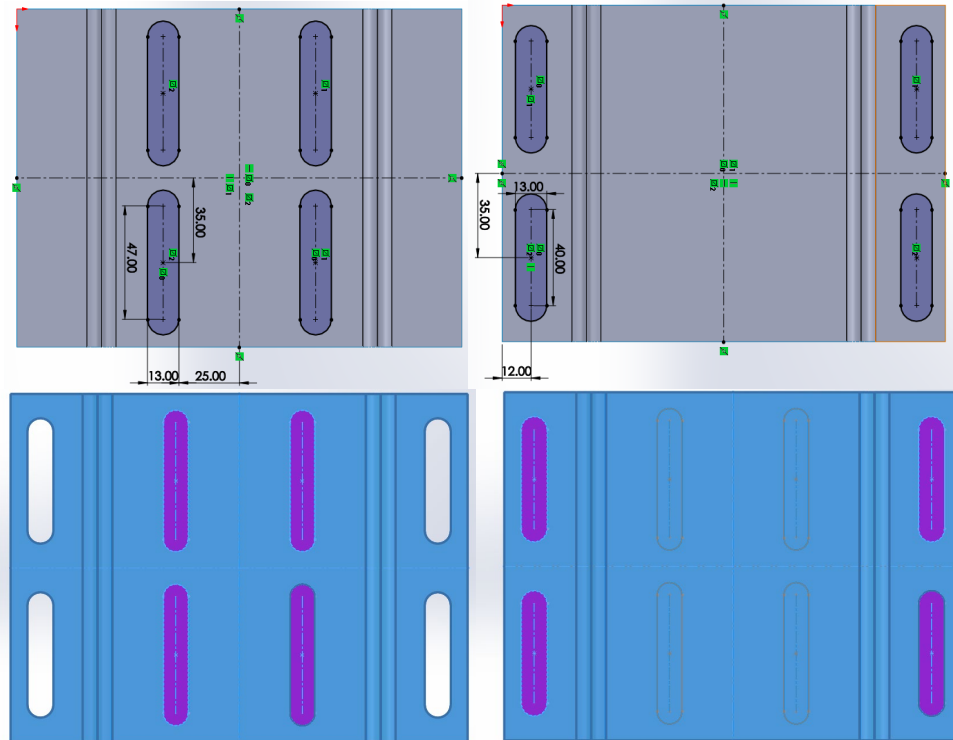
1. Para crear el amarre primero se creará el croquis siguiente:



2. Después mediante la herramienta “Extruir Superficie” se le dará una longitud de 140 mm.

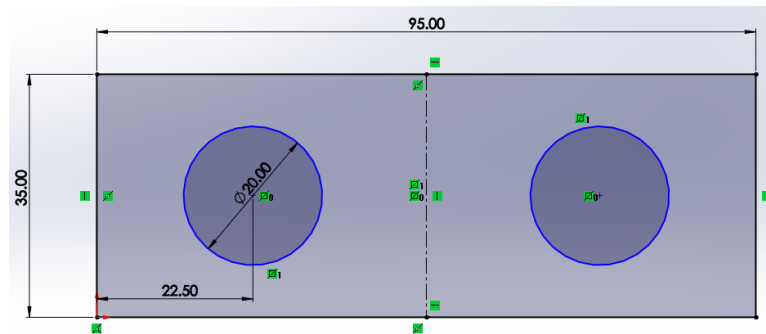


3. Luego se harán los correspondientes agujeros que tiene la pieza.
 - a. Para ello primero se creará el croquis donde irán las cavidades para la tornillería necesaria.
 - b. Después mediante la herramienta “Recortar superficie” se crearan las aberturas citadas anteriormente.

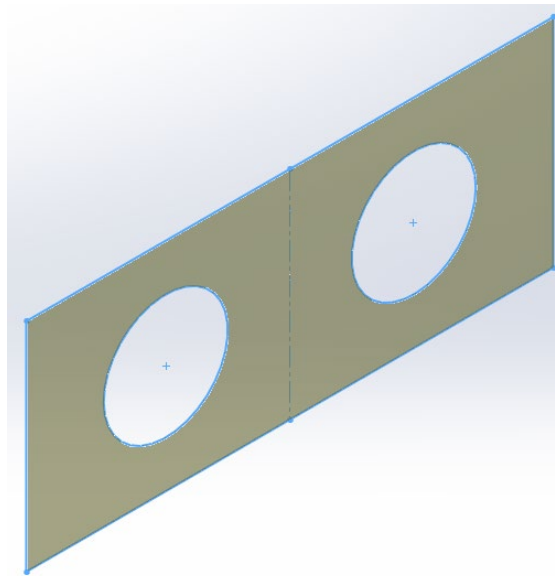


3.1.2.3. Pieza 3: Fijación a panel

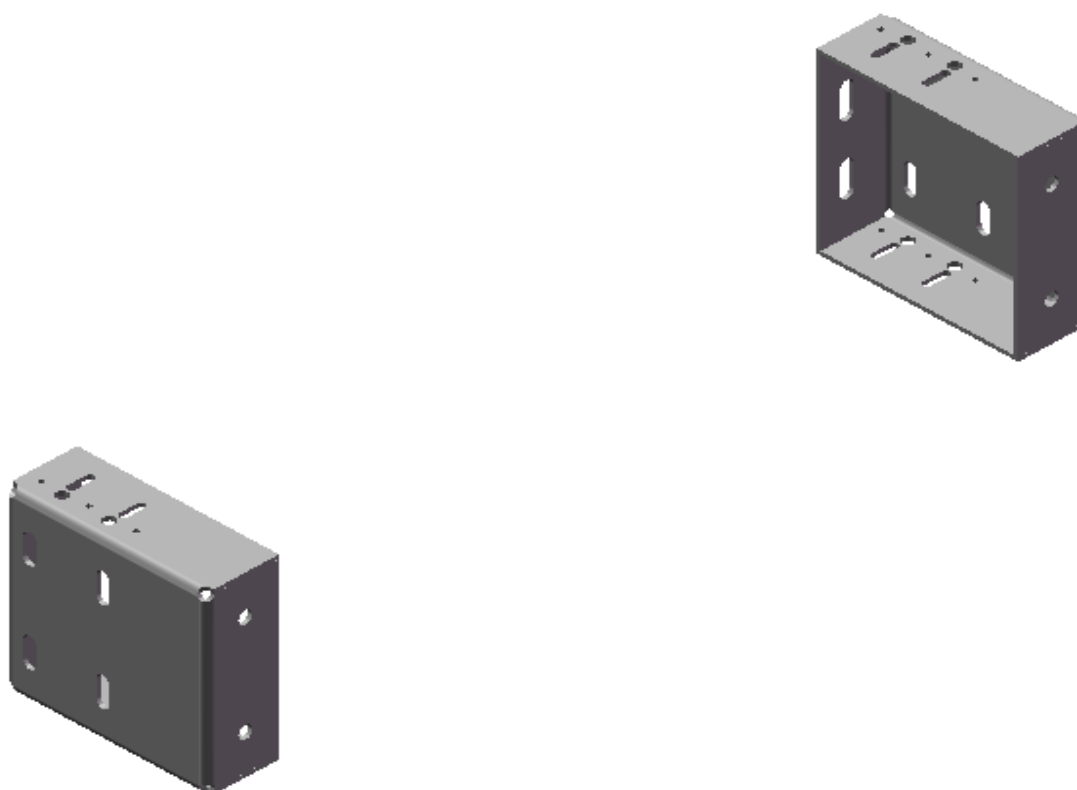
1. Para crear la pieza de fijación al panel primero se creará el siguiente croquis, teniendo en cuenta las aberturas necesarias para la tornillería correspondiente. (Taladros de $\varnothing 20$)



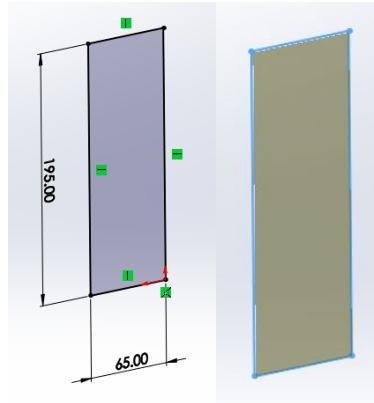
2. Después mediante la herramienta "Crear superficie" se dará superficie al croquis anterior.



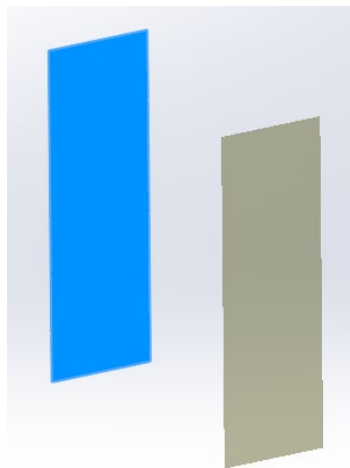
3.1.3. Modelado de los refuerzos laterales



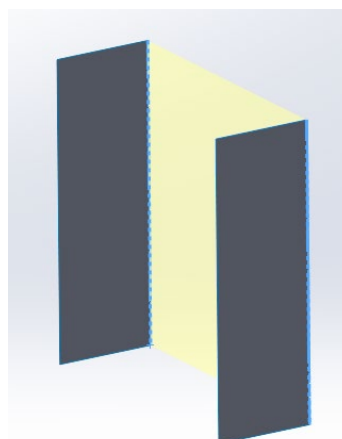
1. Para crear los refuerzos laterales primero se creará una superficie lateral:



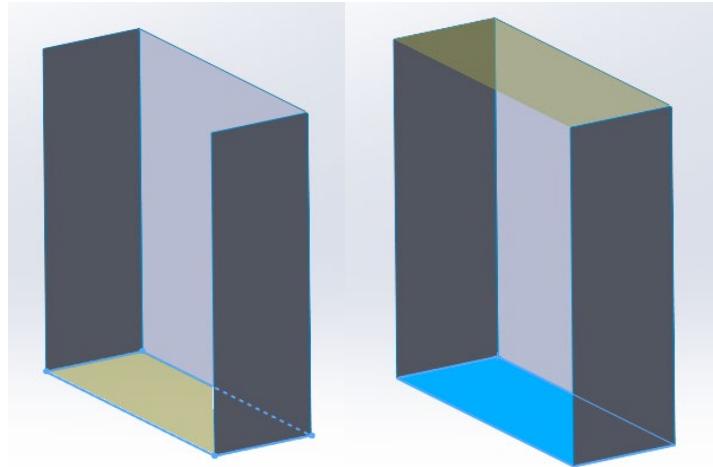
2. Seguidamente mediante la herramienta “Equidistar superficie” se creará una superficie igual y paralela a una distancia de 180 mm.



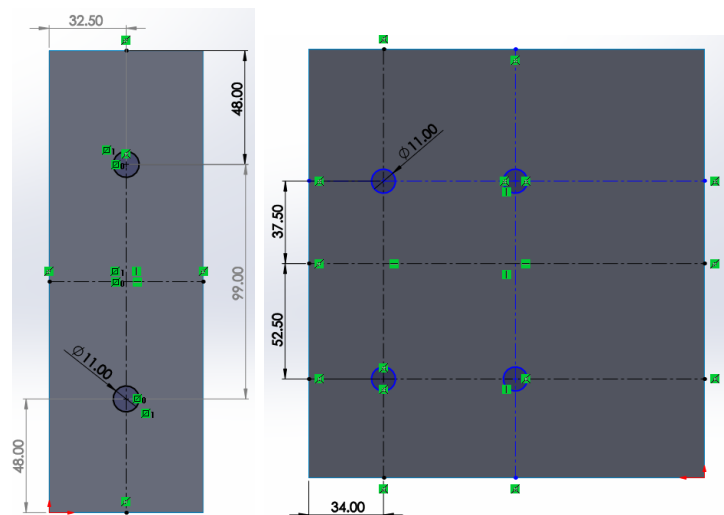
3. Una vez hecho esto, se creará mediante la herramienta “Crear superficie” la cara lateral siguiente:



4. Análogamente se completaran las caras superior e inferior mediante el mismo método:



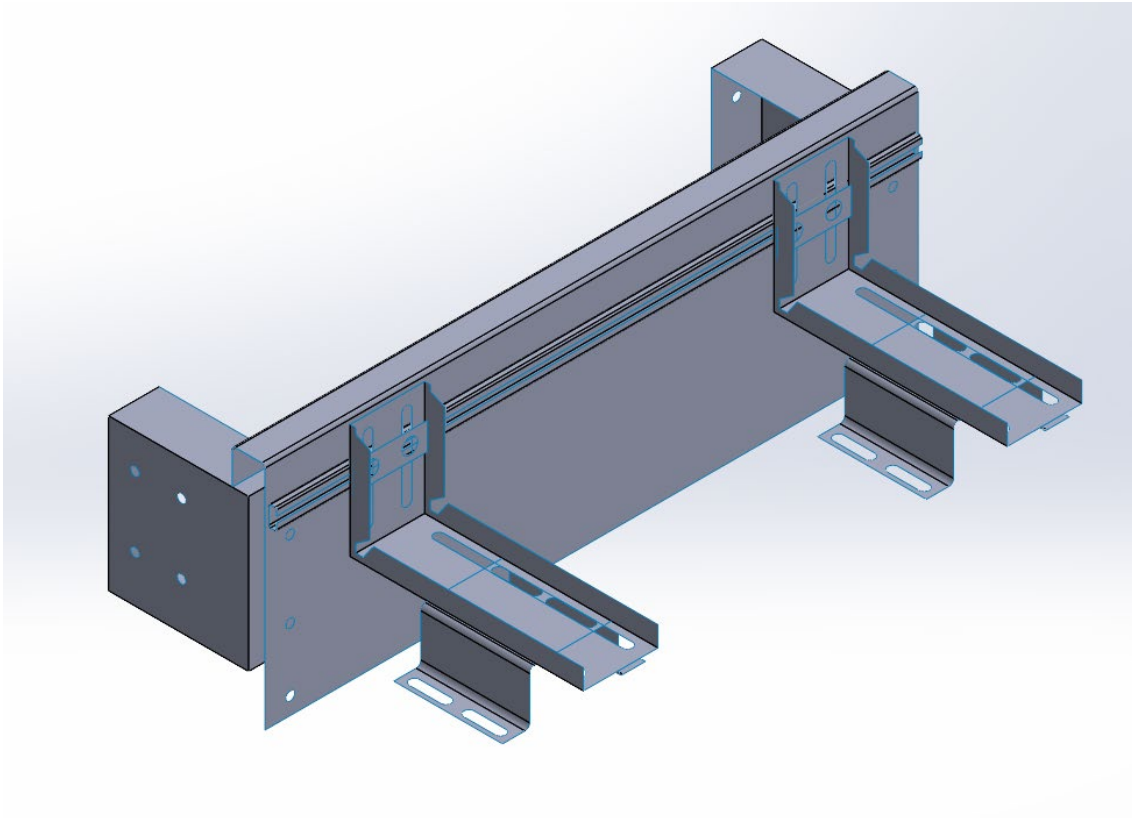
5. Finalmente se procederá a realizar los correspondientes huecos destinados a la tornillería. Primero se realizaran los siguientes croquis y luego mediante la herramienta “recortar superficie” se realizará el recorte. (Taladros de $\varnothing 13$)



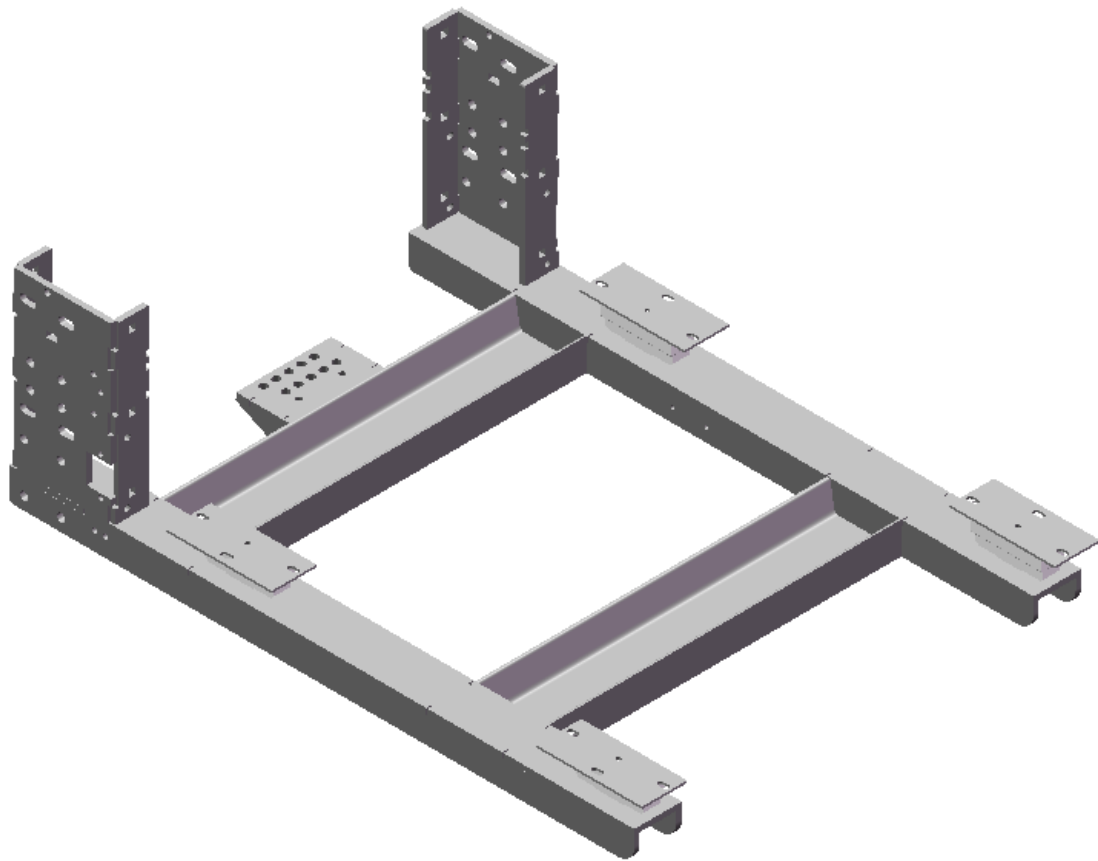
3.2. Ensamblaje del travesaño superior

Para realizar el ensamblaje del soporte superior, en una primera fase se realizará una unión individual de todas las superficies de cada pieza. Esto se realizará mediante la herramienta “Coser superficie”.

Una vez realizada esta unión de cada pieza por separado, se procederá con el ensamblaje. Para ello, se insertaran todas las piezas que conforman el soporte superior (Panel, fijaciones y refuerzos laterales) y se procederá, mediante relaciones de posición y, teniendo en cuenta los espesores que hay que añadir, a unir todas ellas en las posiciones correctas.



3.3. Modelado del soporte inferior



El soporte inferior estará formado por dos perfiles laterales y dos perfiles UPN 140 que harán la función de soporte y sujeción de la cabina. Además los perfiles laterales servirán de ubicación para los soportes de rozaderas inferiores. También, en este apartado se modelará la chapa de amarre de los cables.

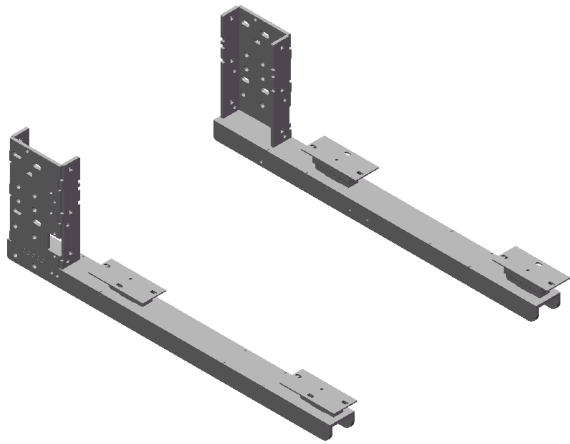


Ilustración 69 Perfiles UPN 140

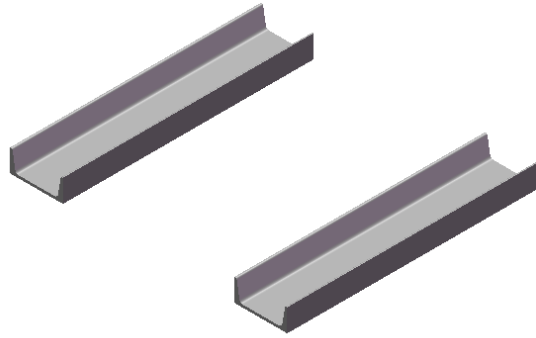


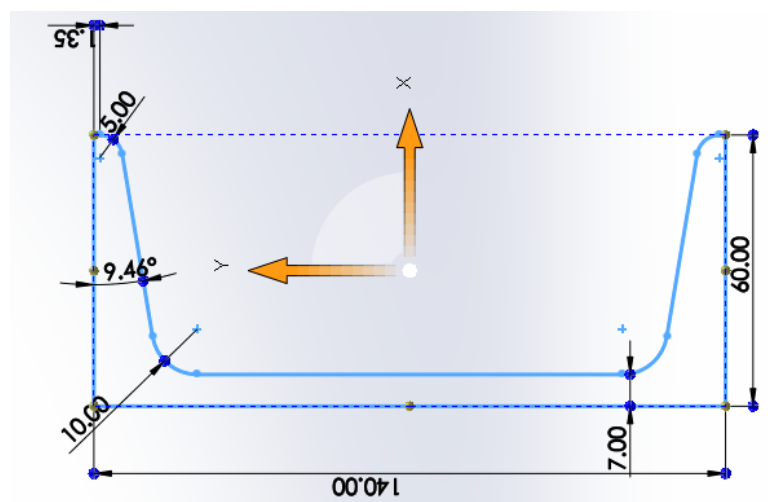
Ilustración 70 Perfiles Laterales

3.3.1. Perfil UPN 140

El perfil DIN UPN 140 tiene las siguientes características:

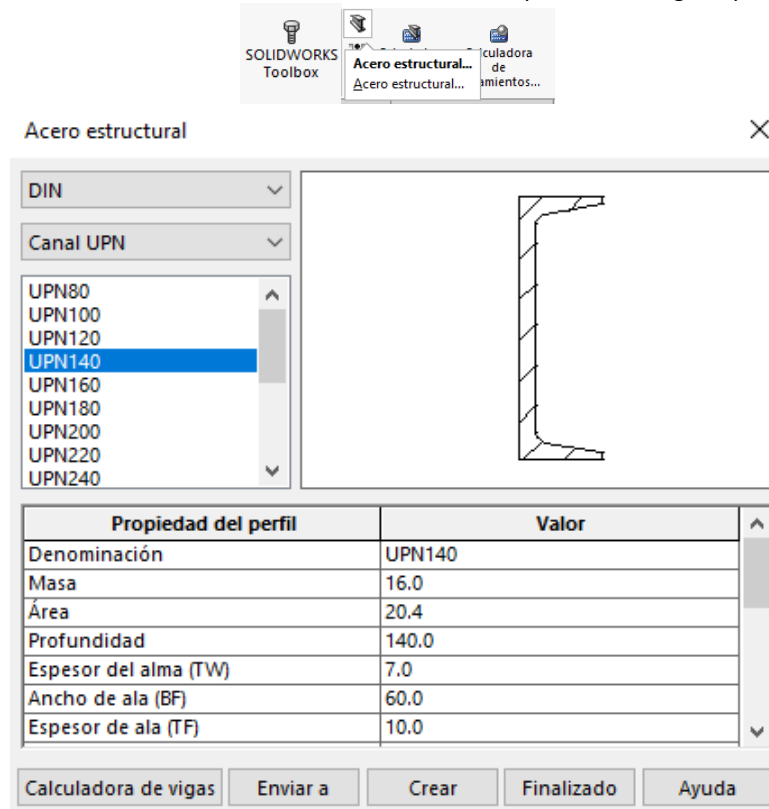
Propiedad del perfil	Valor
Denominación	UPN140
Masa	16.0
Área	20.4
Profundidad	140.0
Espesor del alma (TW)	7.0
Ancho de ala (BF)	60.0
Espesor de ala (TF)	10.0

Y su sección es de la forma siguiente:

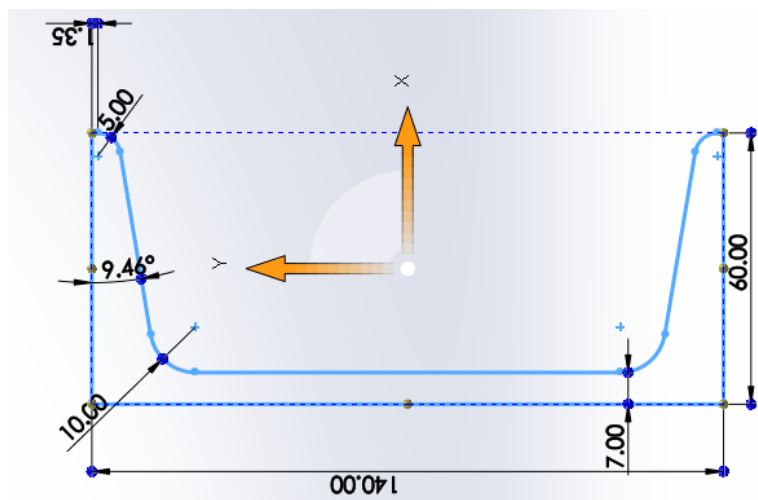


Dado que se trata de un elemento enterizo, para hacer el modelado mediante superficies, se simplificará el diseño del perfil UPN 140 creando sólo las caras más relevantes para el estudio.

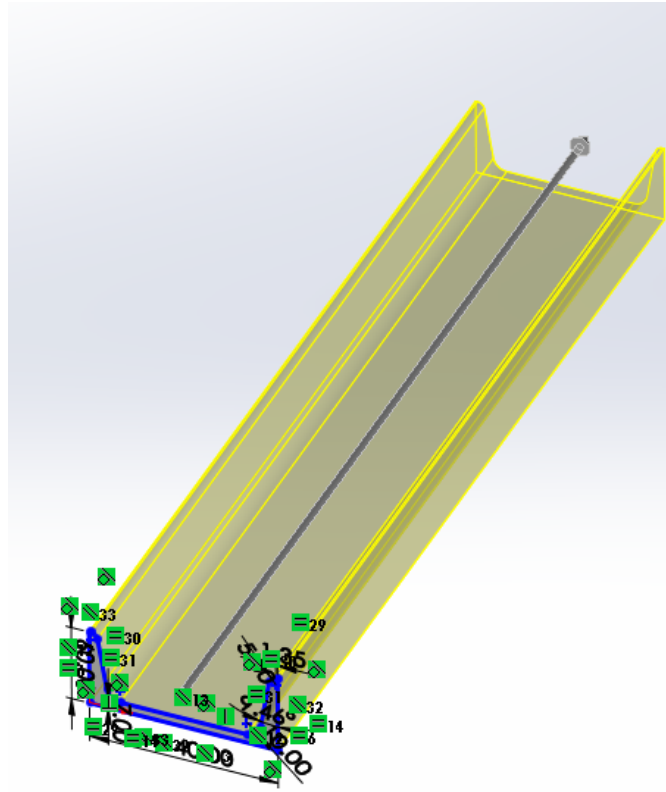
1. Para crear el perfil simplificado UPN 140 primero activamos la herramienta “SOLIDWORKS Toolbox” y luego utilizamos la librería de Aceros estructurales donde podremos elegir el perfil DIN UPN 140.



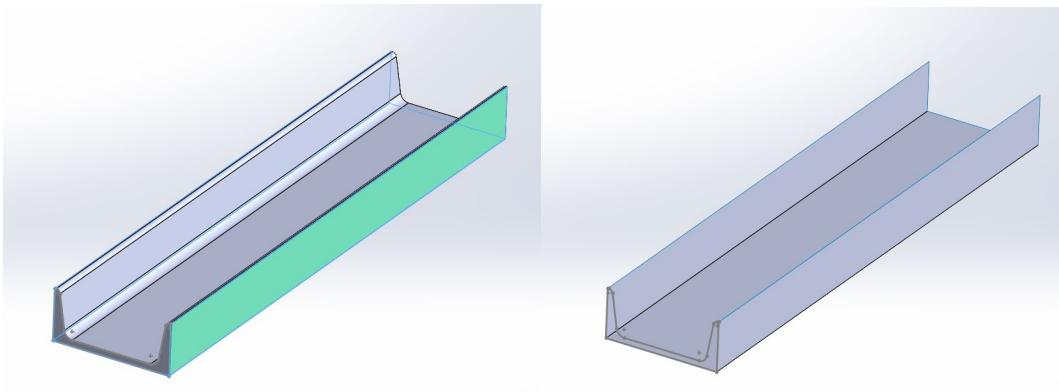
2. Una vez seleccionado el perfil DIN UPN 140, se crea el croquis de la sección.



- Después con la herramienta “Extruir Saliente/base” se dará una profundidad de 665 mm.



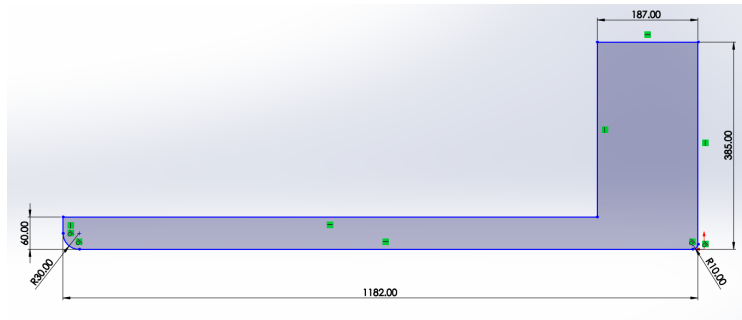
- Seguidamente mediante la herramienta “Equidistar superficie” se crearan las tres superficies exteriores que conformaran la definición aproximada del perfil UPN 140, y posteriormente mediante la opción eliminar/conservar sólido, se eliminará el sólido interior.



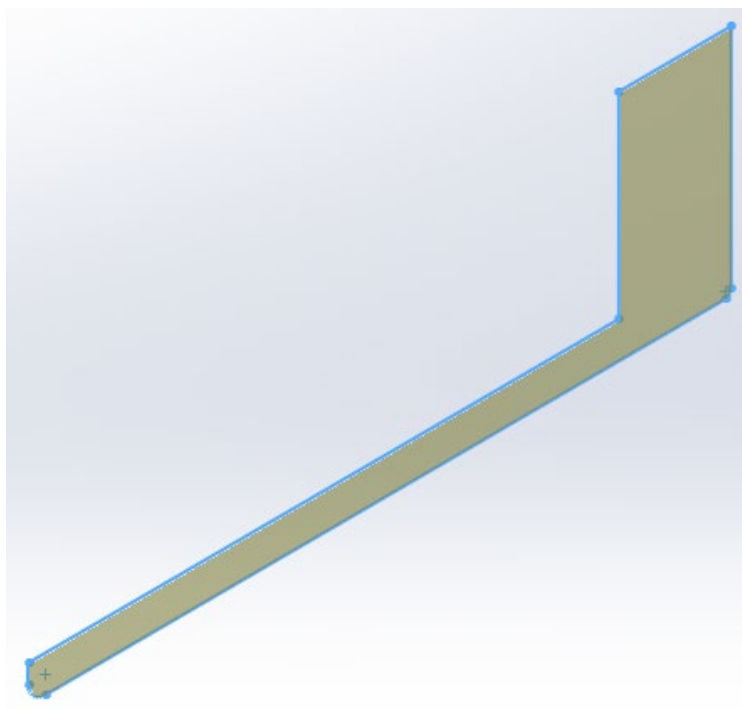
3.3.2. Perfiles laterales

Los perfiles laterales estarán compuestos por tres chapas, dos de ellas paralelas entre si y la otra a modo de unión que dará soporte a la cabina.

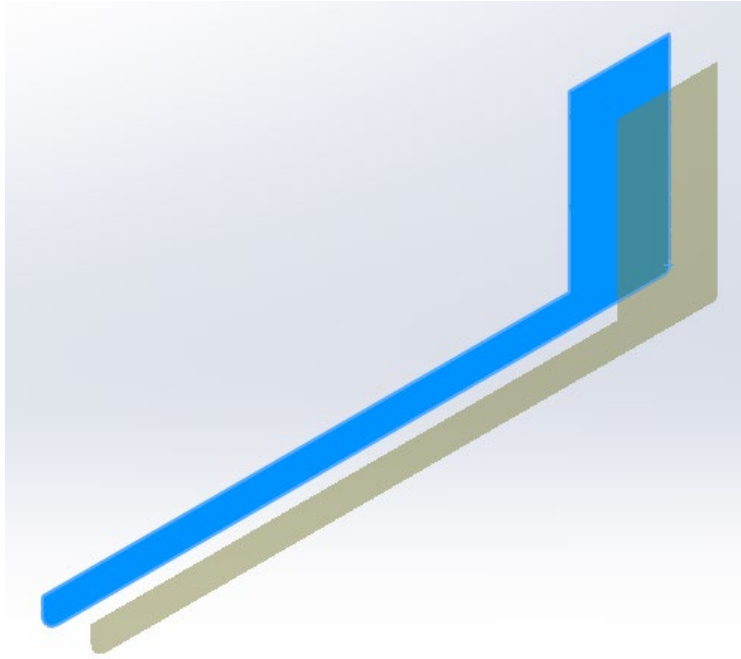
1. Para crear los perfiles laterales primero se creará el croquis de la pieza que constará de una largura de 1182 mm y una altura de 385 mm.



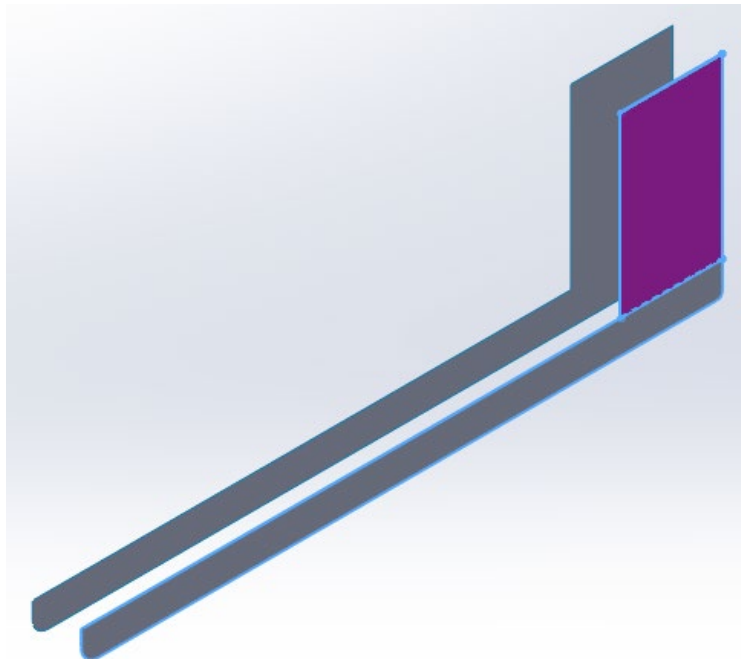
2. Una vez hecho el croquis, mediante la herramienta "Crear superficie" se creará la superficie lateral del perfil.



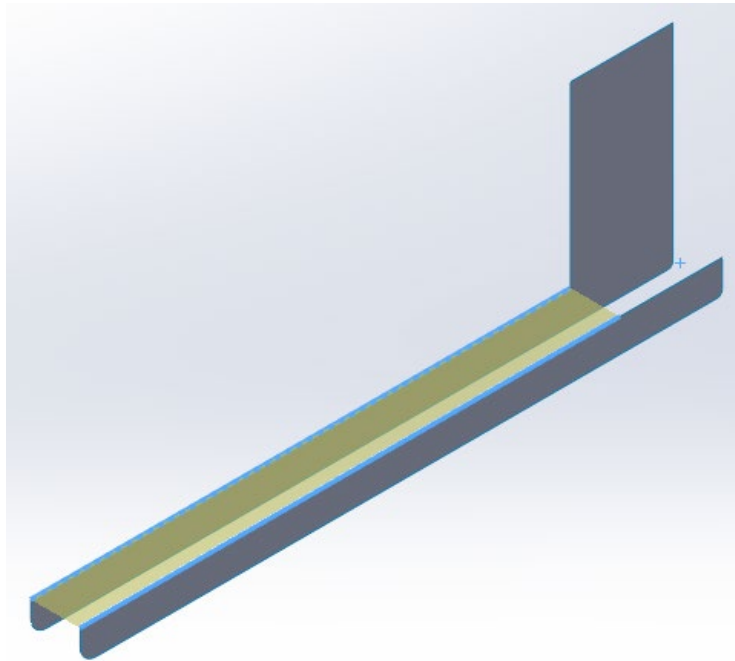
3. Seguidamente mediante la herramienta “Equidistar superficie” se creará una superficie paralela a la anterior a 90 mm de distancia.



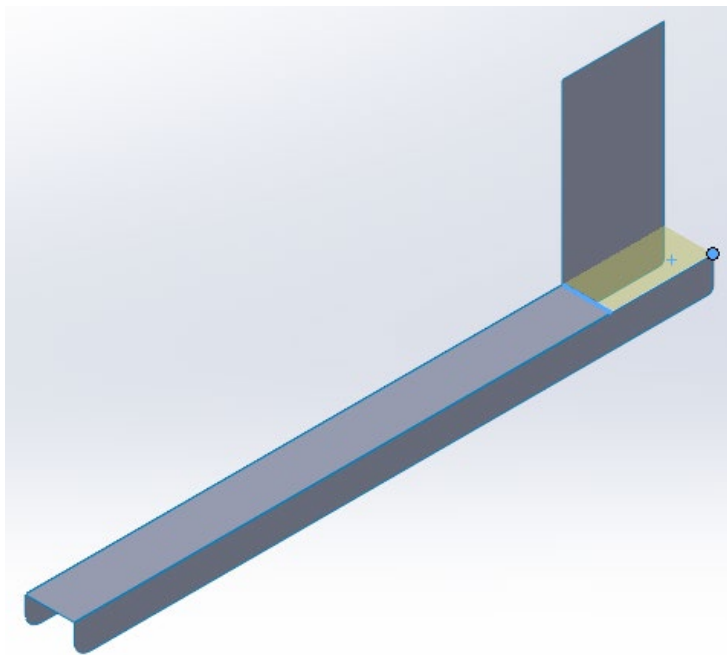
4. Después, creando un croquis en la cara lateral de una de las superficies y mediante la herramienta “Recortar superficie”, se hará el siguiente recorte.



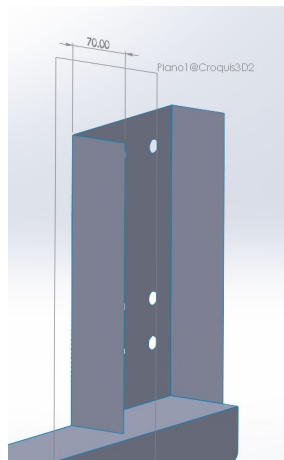
5. Una vez hecho esto, mediante la herramienta crear superficie se creará la superficie superior que unirá las dos laterales anteriores.



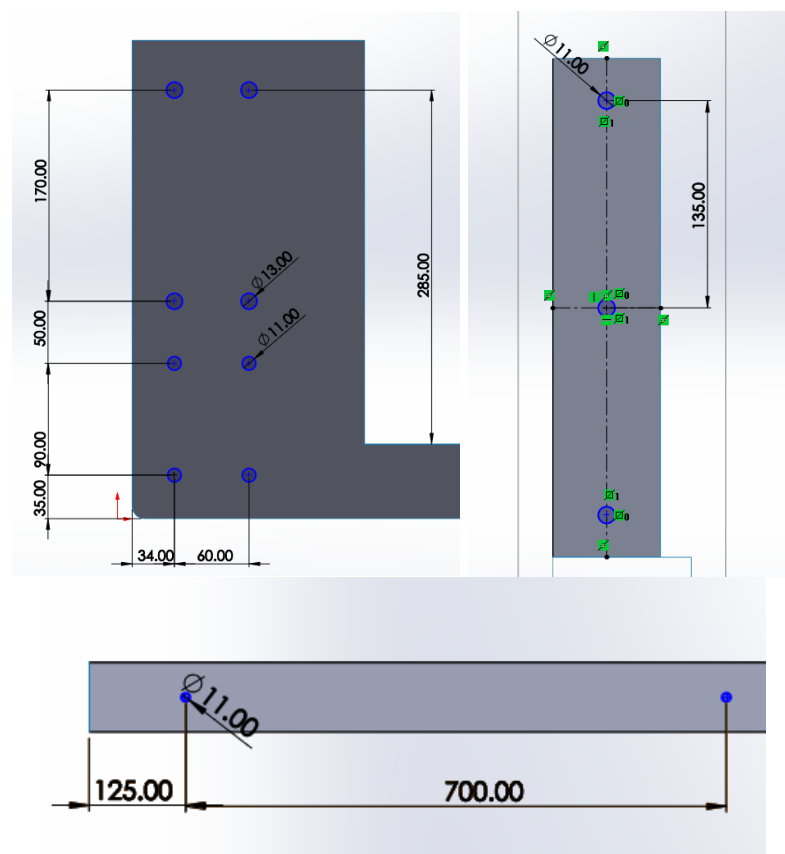
6. Seguidamente, mediante la herramienta “Extender superficie” se extenderá hasta el vertice final de la cara lateral.



7. Una vez hecho esto, se creará un plano perpendicular a ambas superficies laterales y que contenga la arista vertical, luego se creará el siguiente croquis, y mediante las herramientas “crear superficie” y “equidistar superficie”, se crearán las superficies laterales.

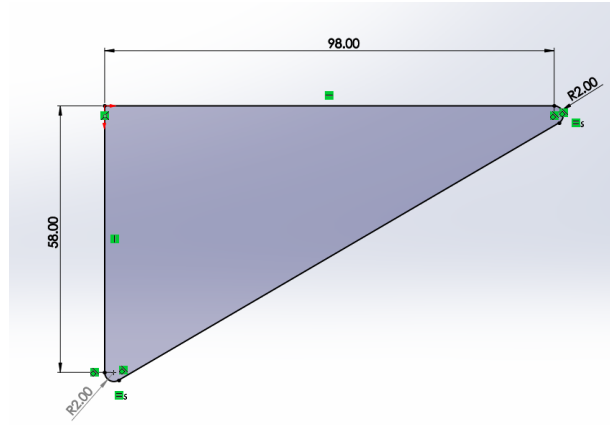


8. Finalmente, se realizarán los correspondientes huecos destinados para la tornillería creando los siguientes croquis y mediante la herramienta “recortar superficie” hacer los recortes.

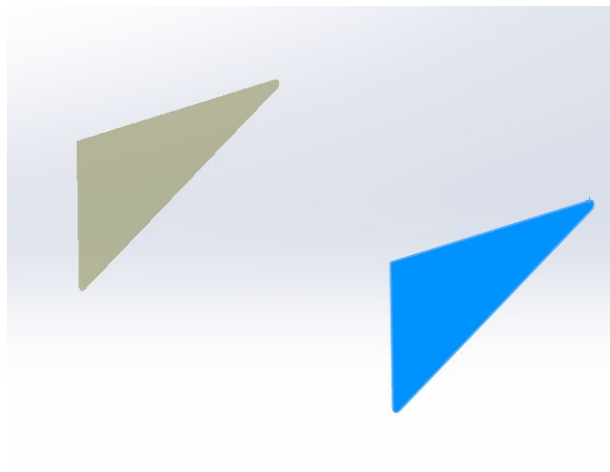


3.3.3. Chapa amarre de cables

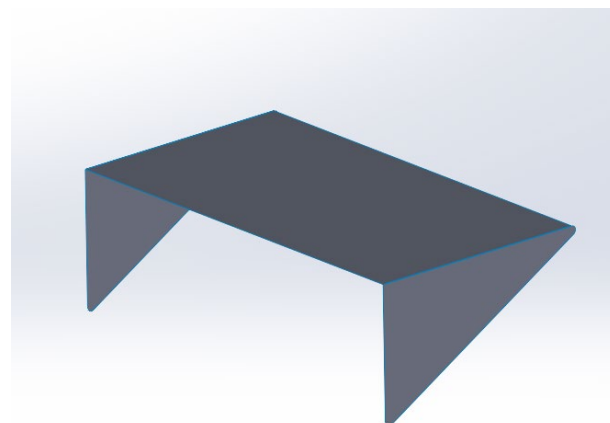
1. Para crear la chapa de sujeción de los cables, primero se creará uno de los croquis laterales de la chapa. Este es un perfil triangular de 100 mm de largo y 60 mm de ancho, y esquinas redondeadas con radios de 2 mm.



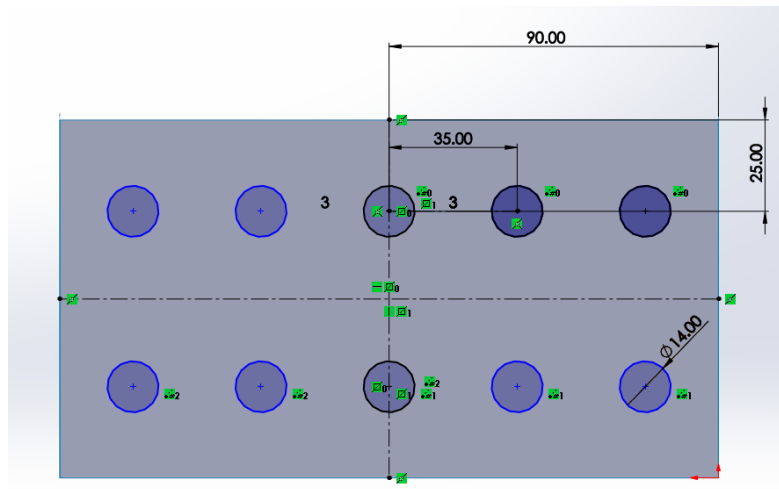
2. Una vez creado el croquis, mediante la herramienta "Crear superficie" se creará la superficie lateral del perfil. Seguidamente mediante la herramienta "Equidistar superficie" se creará una superficie paralela a la anterior a 180 mm de distancia.



3. Seguidamente, mediante la herramienta "Crear superficie" se creará la superficie que une ambos laterales.

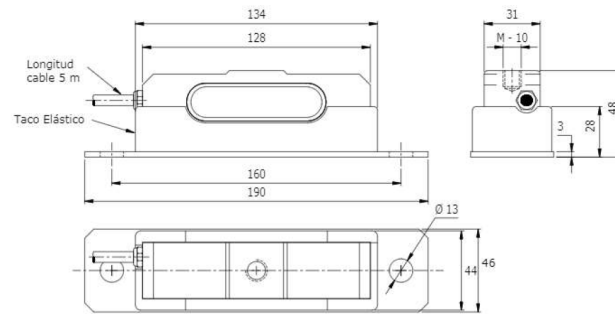


4. Finalmente, se realizarán los correspondientes huecos destinados para la sujeción de los cables, pensando en un diámetro de cable máximo de 14 mm, se crea el siguiente croquis y mediante la herramienta “recortar superficie” hacer los recortes.



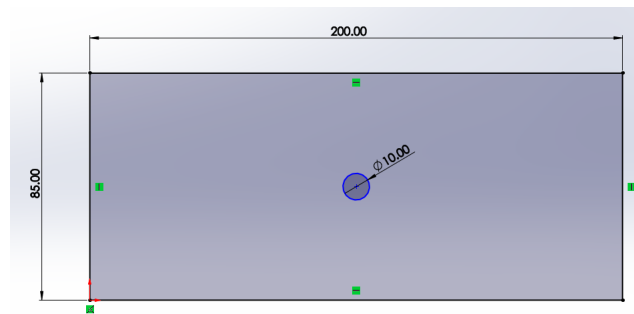
3.3.4. Celulas de carga y chapas de apoyo de cabina

Las dimensiones reales de las celulas de carga y chapas de apoyo son las siguientes:

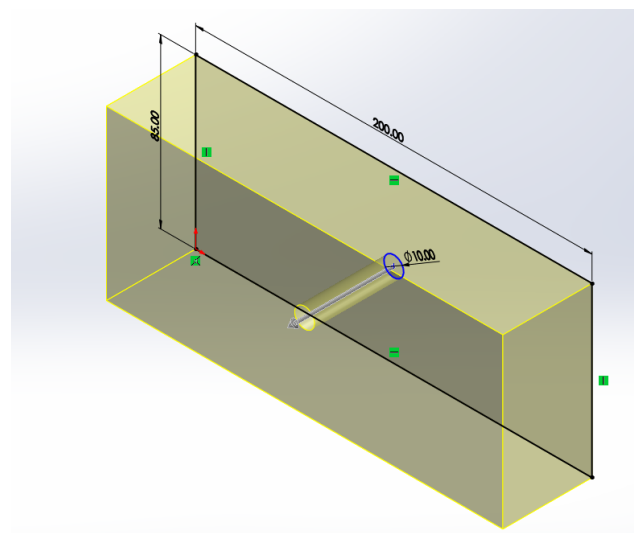


El modelado de las células de carga y chapas de apoyo servirá para transmitir y repartir la carga de la cabina al chasis y se realizará como un elemento 3D sólido.

1. Para ello primero se realizará el siguiente croquis:



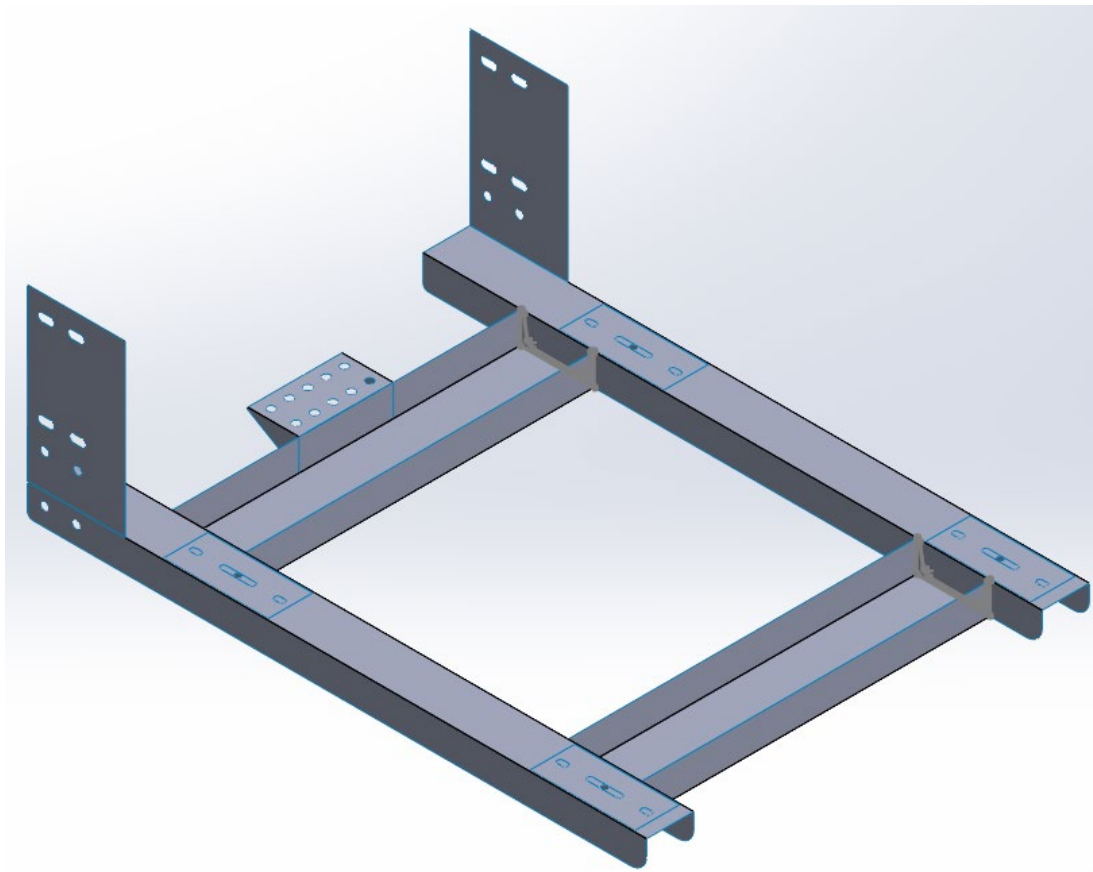
2. Y seguidamente mediante la herramienta "extruir saliente/base" se le dará una profundidad de 45 mm.



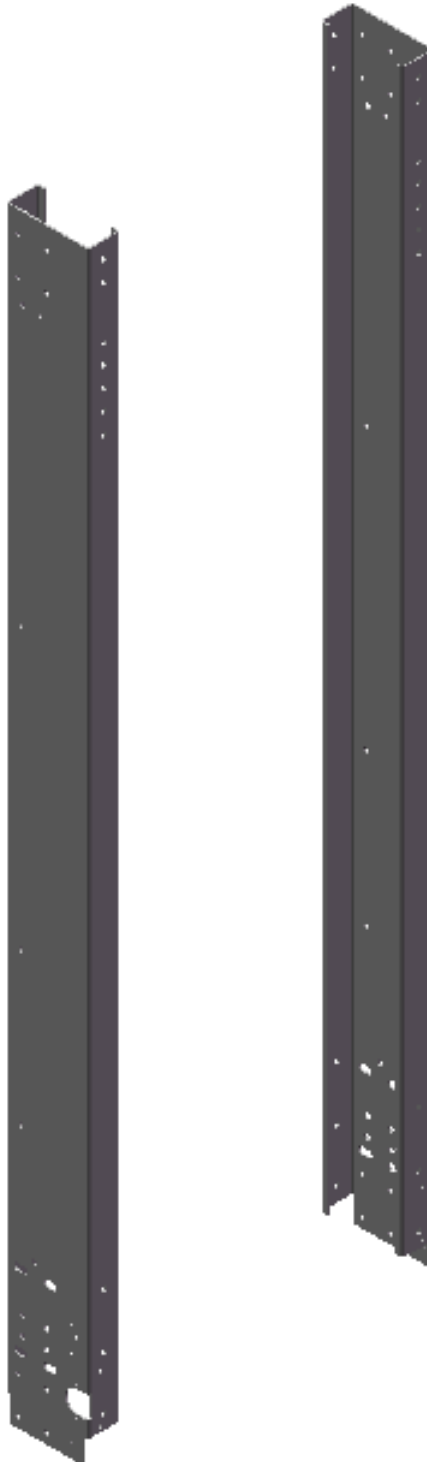
3.4. Ensamblaje del soporte inferior

Para realizar el ensamblaje del soporte inferior, en una primera fase se realizará una unión individual de todas las superficies de cada pieza. Esto se realizará mediante la herramienta “Coser superficie”.

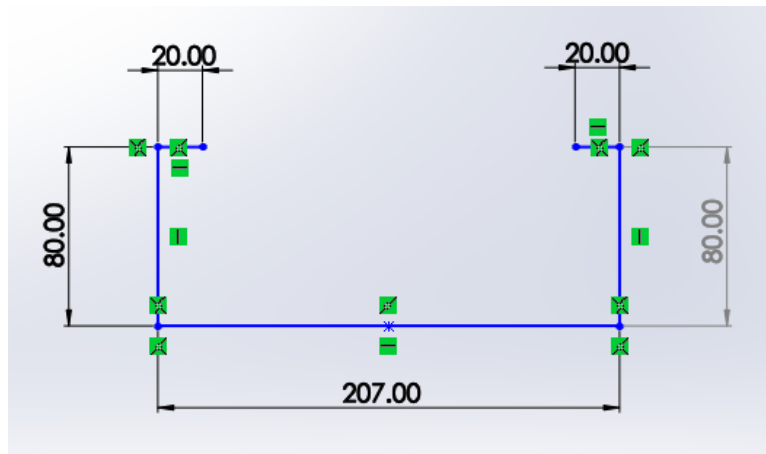
Una vez realizada esta unión de cada pieza por separado, se procederá con el ensamblaje. Para ello, se insertaran todas las piezas que conforman el soporte inferior (Perfil UPN140, perfiles laterales, chapa de amarre de cables y chapas de apoyo de la cabina) y se procederá, mediante relaciones de posición y, teniendo en cuenta los espesores que hay que añadir, a unir todas ellas en las posiciones correctas.



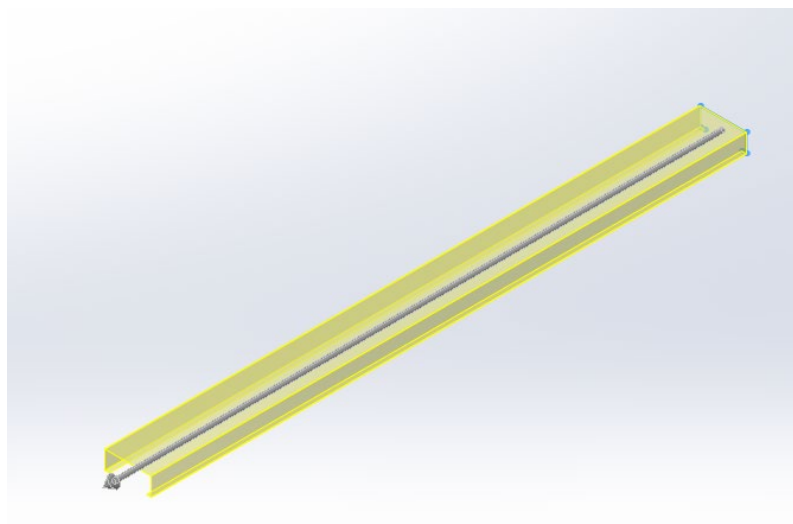
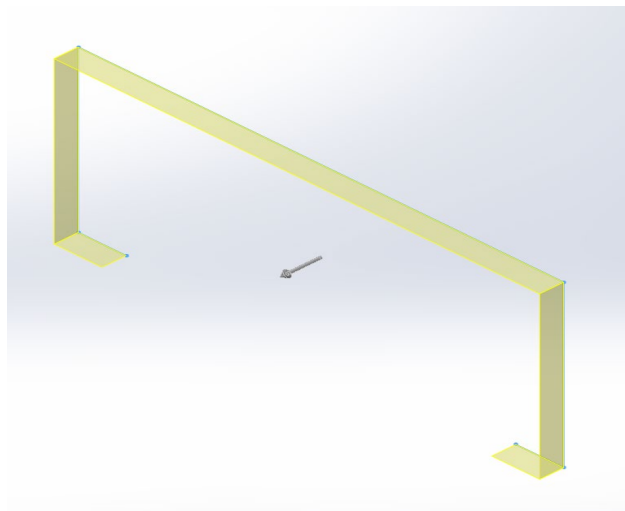
3.5. Modelado de los largueros



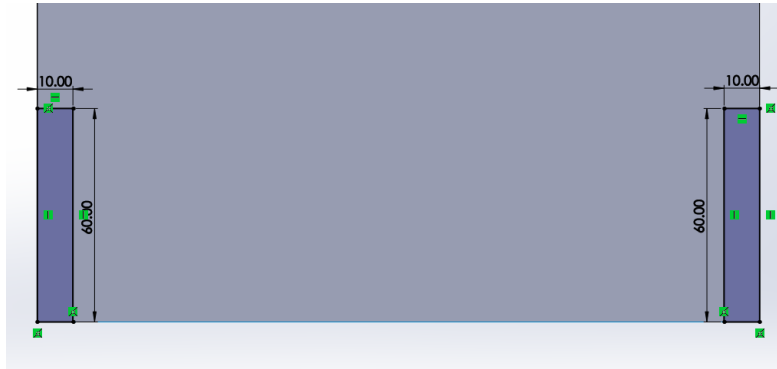
1. Para crear los largueros laterales primero se creara el croquis de la sección siguiente:



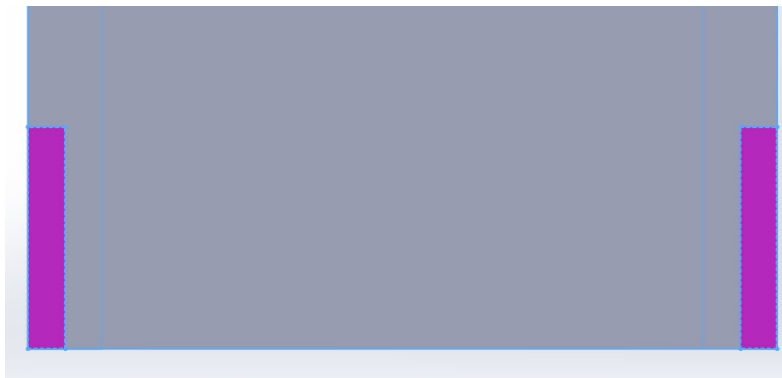
2. Después con la herramienta “Extruir Superficie” se dará una profundidad de 2600 mm.



3. En uno de los extremos de la pieza se hace un recorte para concluir su diseño mediante la herramienta recortar superficie.
 - a. Para ello primero se dibujan los croquis que servirán para hacer el recorte



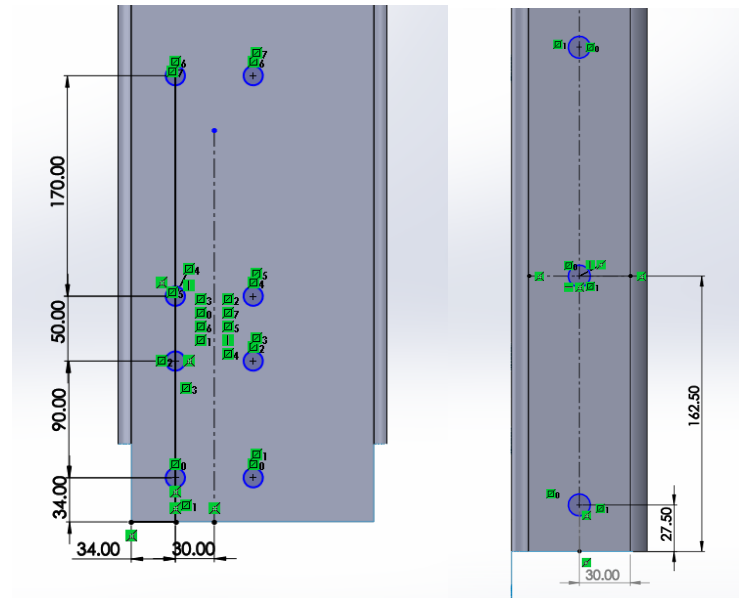
- b. Seguidamente mediante la herramienta “Recortar Superficie” se hace el recorte



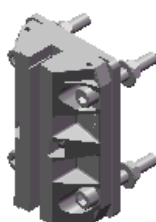
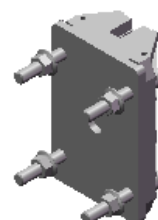
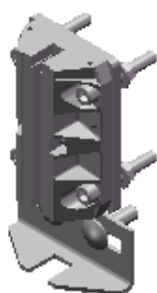
4. Después mediante la herramienta “Redondeo” se añadirá un redondeo a las aristas con un radio de 10 mm.



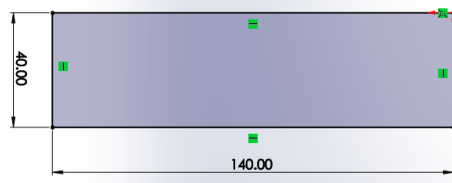
5. Finalmente, se realizarán los correspondientes huecos destinados para la tornillería creando los siguientes croquis y mediante la herramienta “recortar superficie” hacer los recortes. Los orificios destinados a la tornillería del paracaídas serán de un diámetro de 13 mm mientras que los orificios destinados a la tornillería de las rozaderas así como de union con el soporte inferior serán de un diámetro de 11 mm.



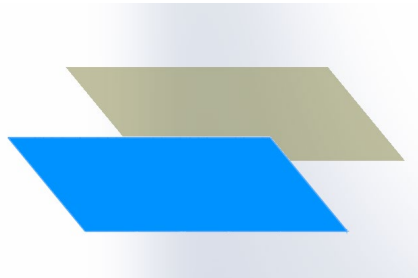
3.6. Modelado de las rozaderas y paracaídas



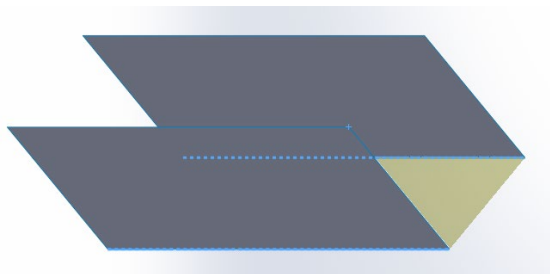
1. Para modelar las rozaderas primero se hará el siguiente croquis y luego mediante la herramienta “crear superficie” se creará la superficie que corresponderá a una de las caras laterales de la pieza.



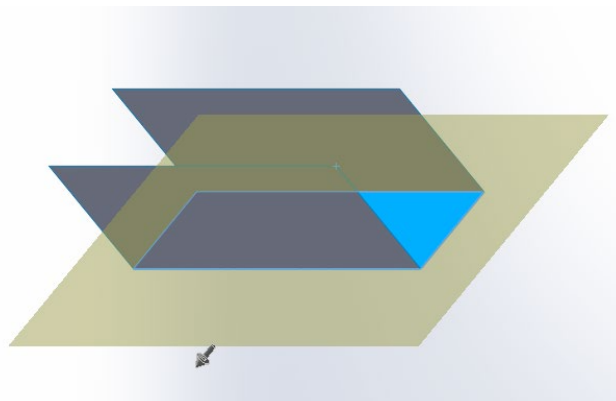
2. Seguidamente mediante la herramienta “equidistar superficie” se creará una superficie equidistante a la anterior a una distancia de 30 mm.



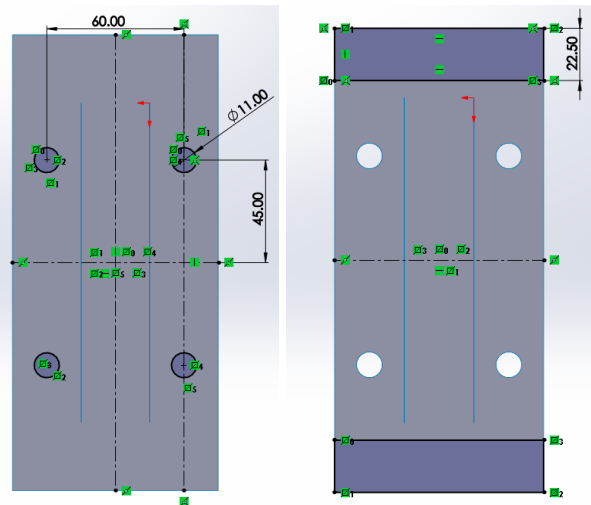
3. Posteriormente se creará una superficie mediante la herramienta “crear superficie” que unirá ambas anteriores.



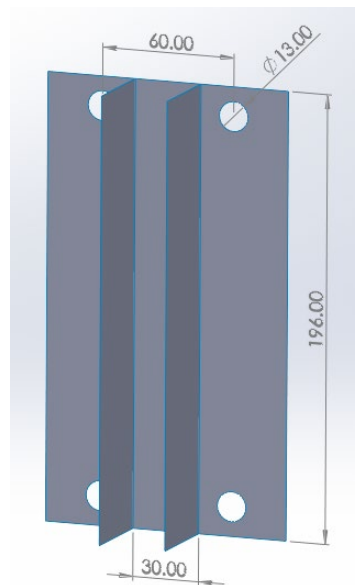
4. Luego, mediante la herramienta “extender superficie” se extenderá la superficie anterior 30 mm.



5. Posteriormente, se crearan los siguientes croquis y mediante la herramienta “recortar superficie” se hará los correspondientes recortes.

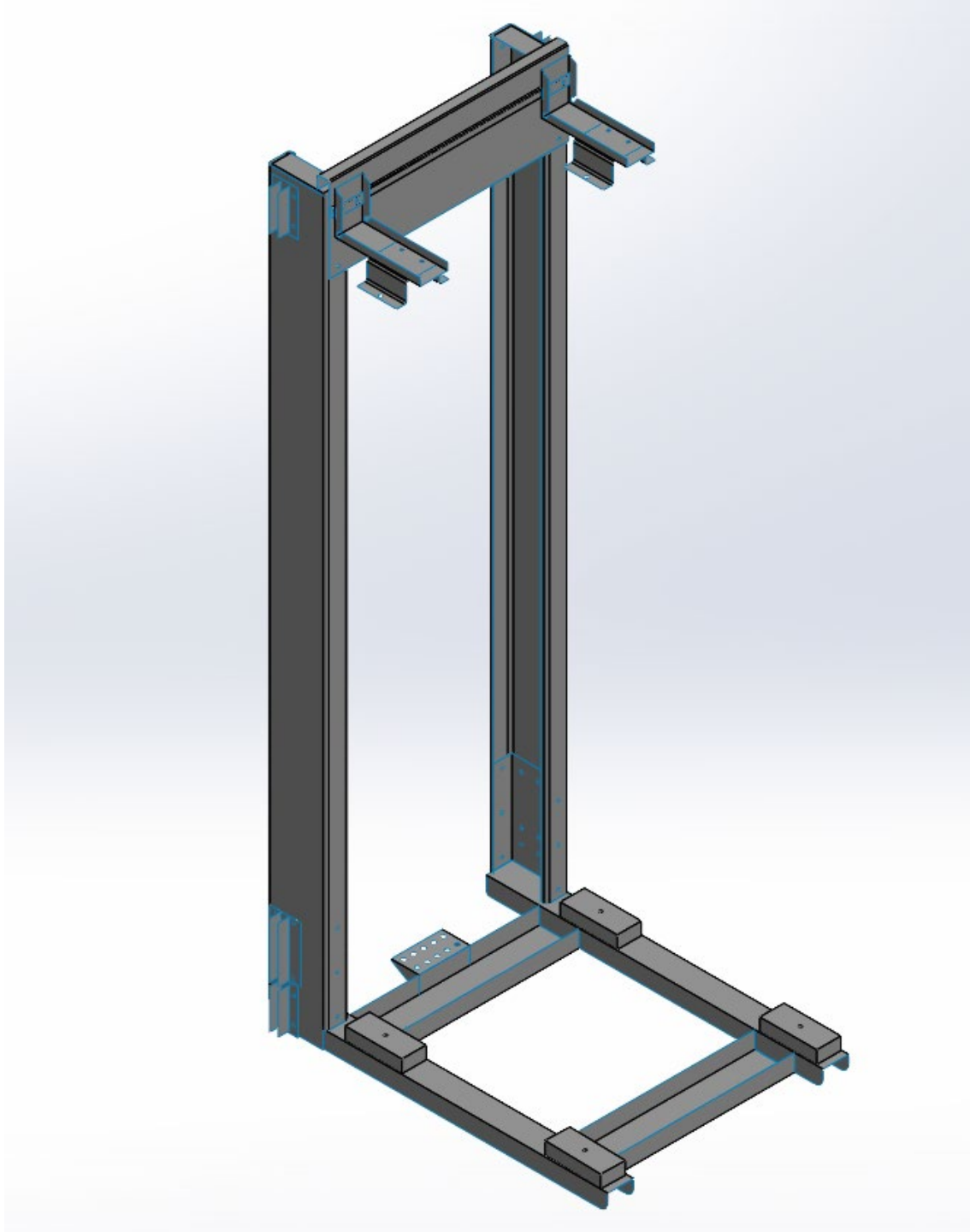


6. Para la creación de los paracaídas se seguirá el mismo procedimiento pero con las siguientes dimensiones:



3.7. Ensamblaje final

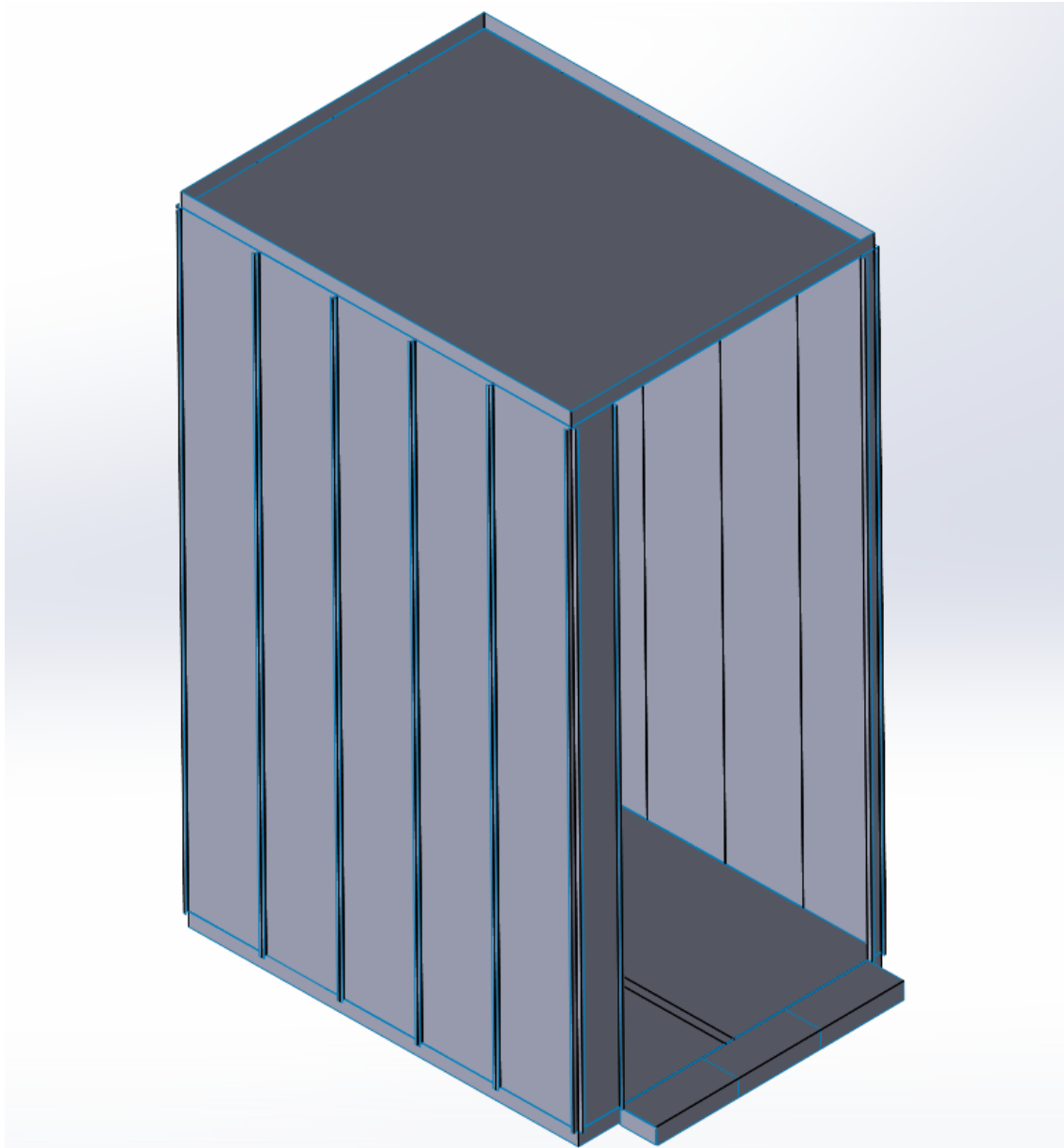
El ensamblaje final se realizará insertando todas las piezas que conforman el acabado final del chasis. Así pues, se unirán los ensamblajes superior e inferior, además de los largueros, rozaderas y paracaídas mediante relaciones de posición y teniendo en cuenta los espesores que tiene cada pieza.



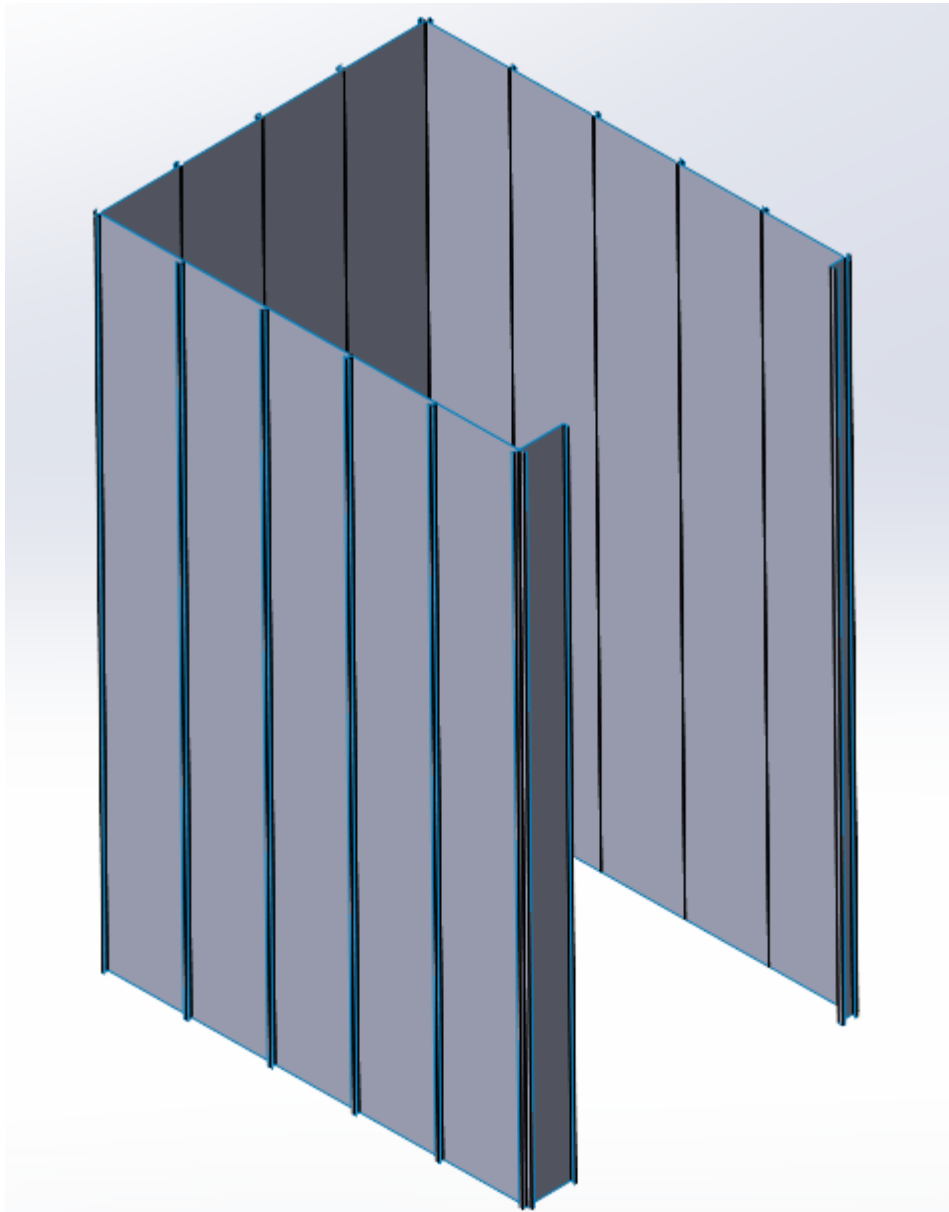
Anexo IV: Modelado y ensamblaje de la cabina

El modelado del conjunto de la cabina se realizará a través de la superficie media mediante el módulo de superficies del software SolidWorks y constará de los siguientes elementos:

- Paños en los laterales
- Paños en el fondo
- Jambas
- Pisadera
- Suelo
- Techo

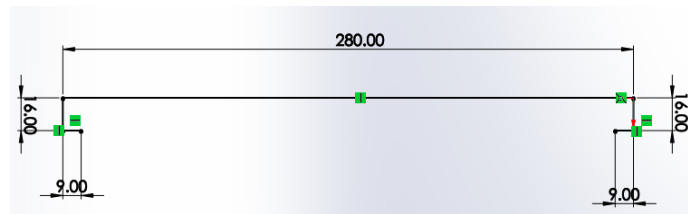


4.1. Modelado de los paños y jambas de la cabina

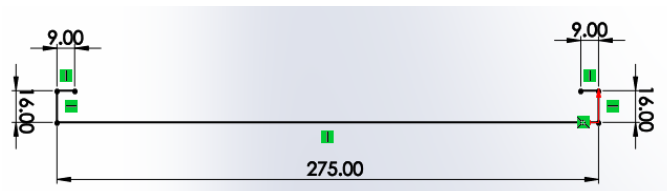


1. Para crear los paños y las jambas primero se creará un croquis con las siguientes medidas:

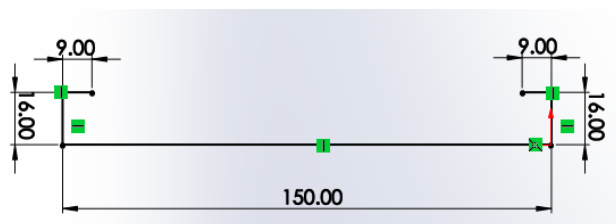
Medidas de los paños laterales:



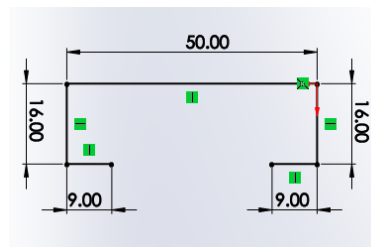
Medidas de los paños en el fondo:



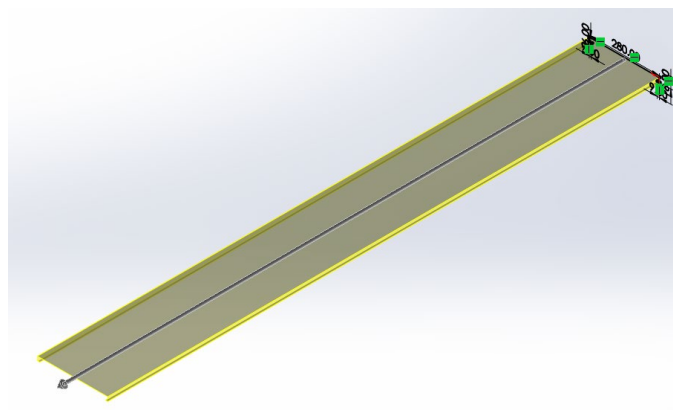
Medidas de la jamba mayor:



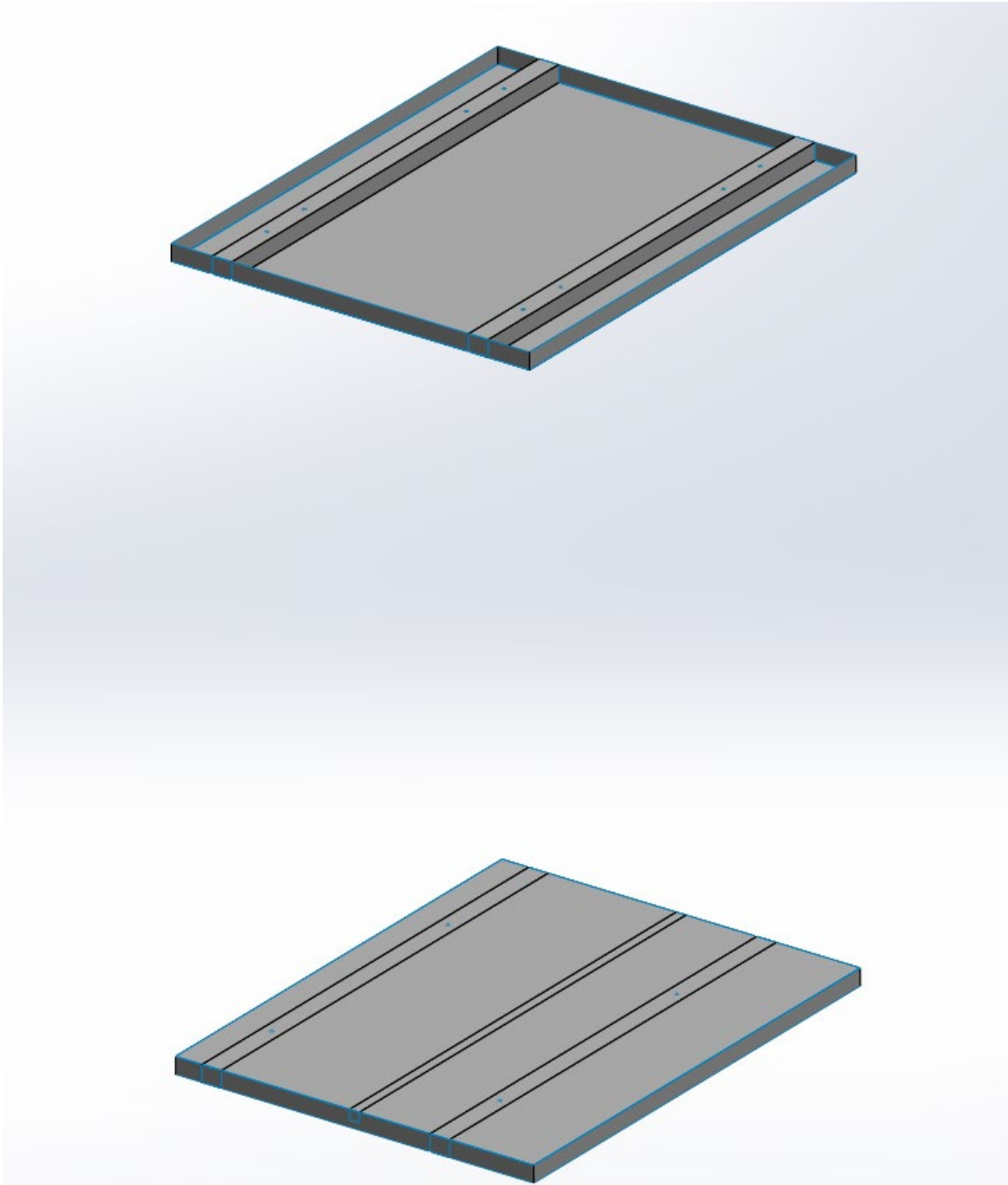
Medidas de la jamba menor:



2. Después mediante la herramienta “extruir superficie”, se les dará una altura de 2200 mm

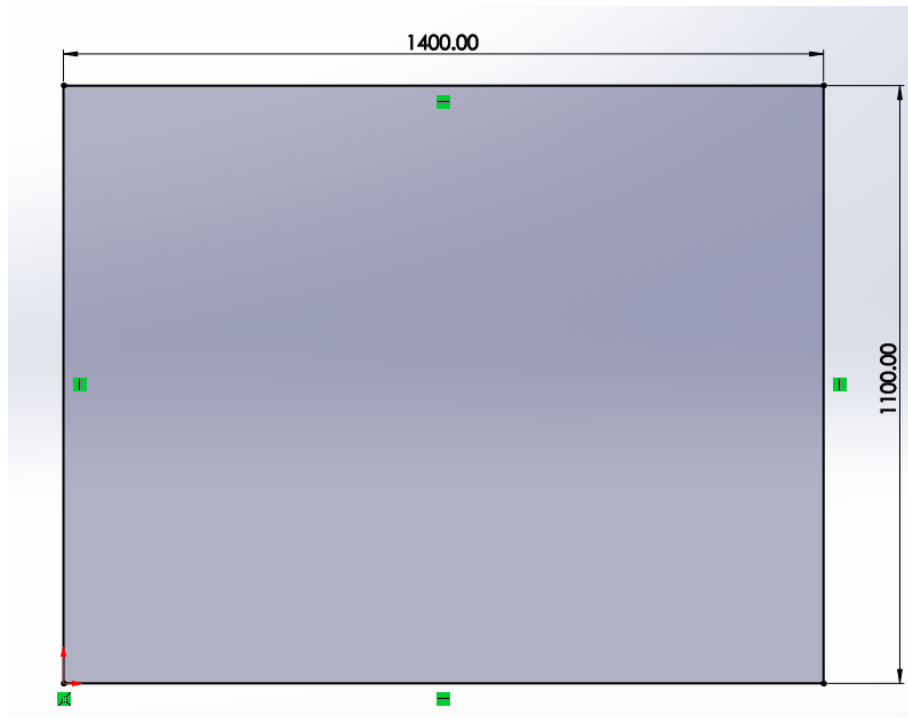


4.2. Modelado del suelo y techo de la cabina

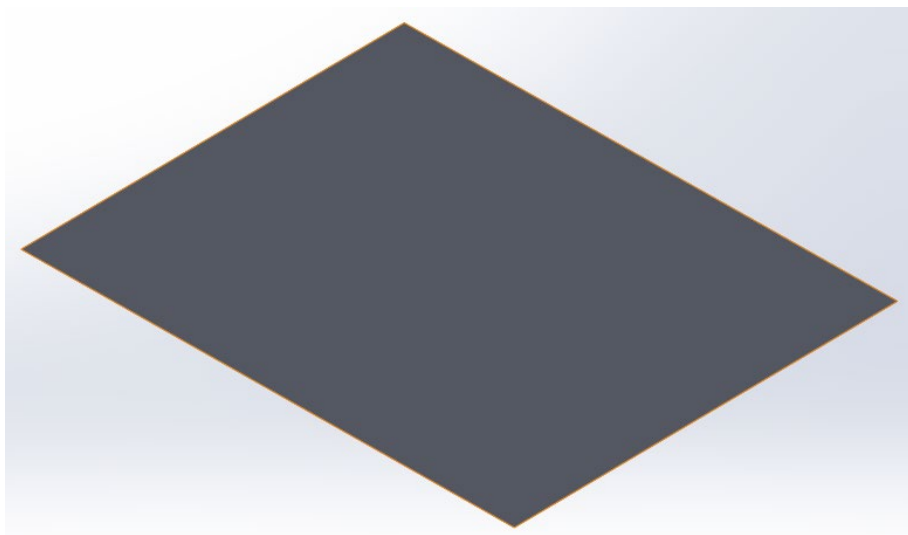


Tanto el suelo como el techo de la cabina se componen por piezas de sujeción al chasis que a su vez dan rigidez y mejoran la estructura de la cabina. Estas piezas son barras de sección rectangular y chapas ubicadas de forma perimetral que hacen de unión del suelo y techo con los paños.

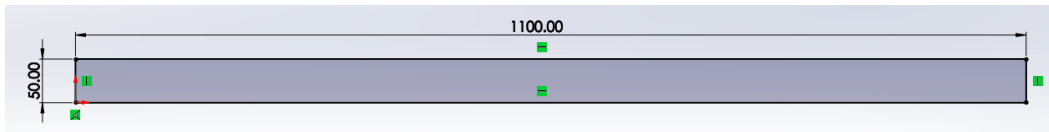
1. Para crear el suelo y el techo de la cabina, se creará a partir de la superficie media, unas “planchas” de sección rectangular y dimensiones 1100x1400 mm.
Para ello, primero se creará el siguiente croquis:



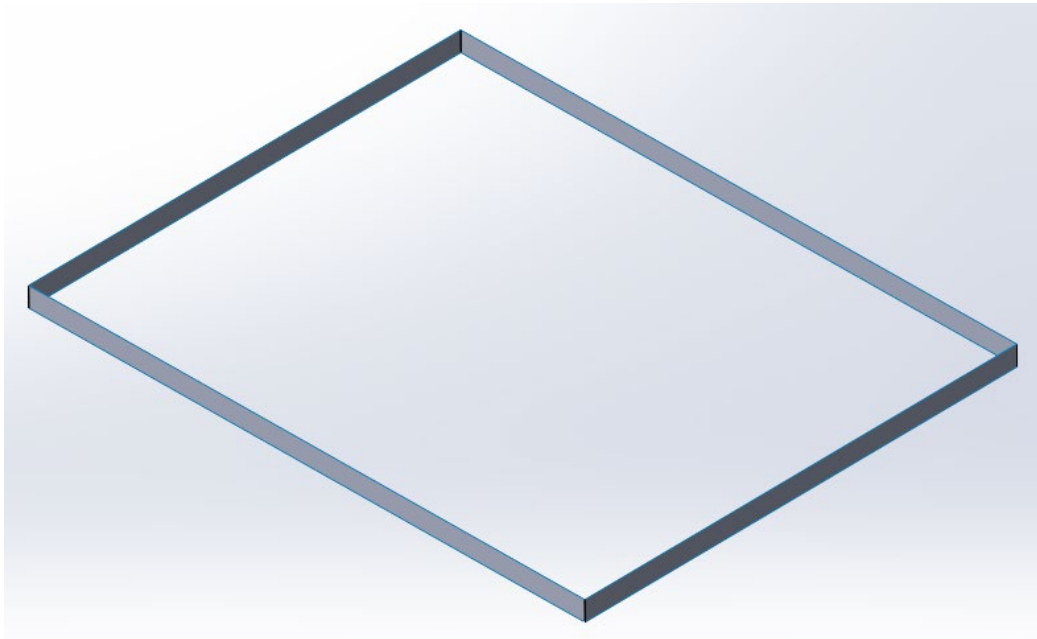
2. Seguidamente mediante la herramienta “crear superficie” se creará la superficie delimitada por el croquis anterior.



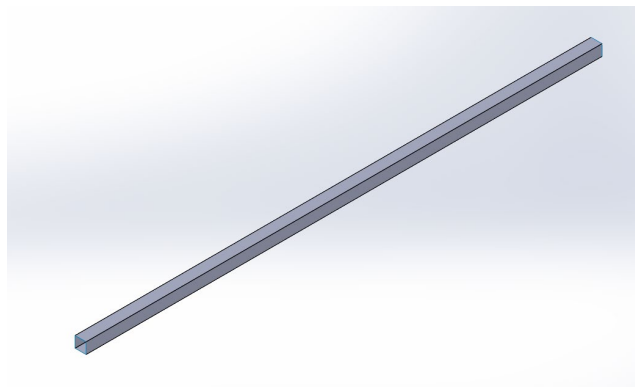
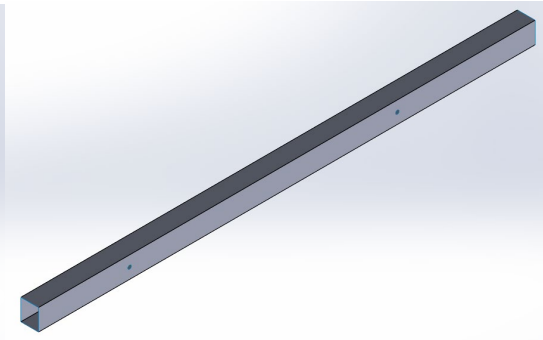
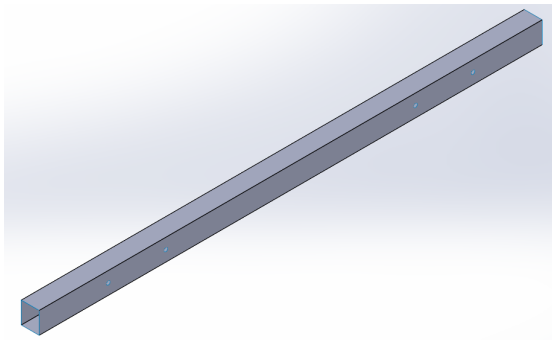
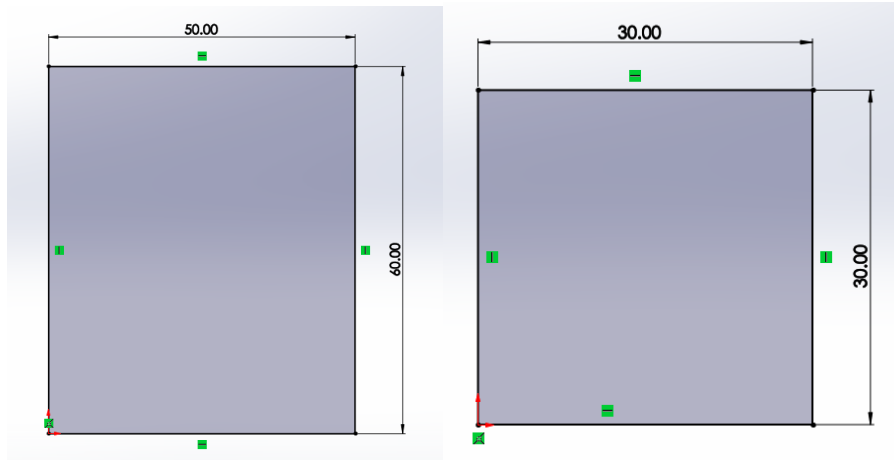
3. Para crear las chapas perimetrales que unen el suelo y techo con los paños, primero se creará el siguiente croquis:



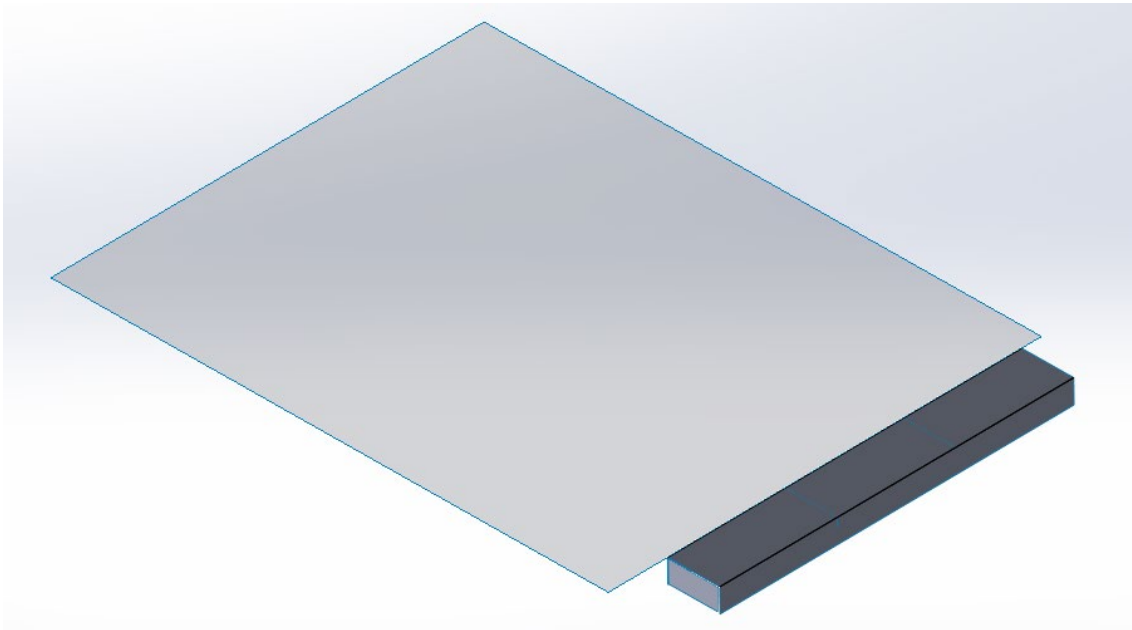
4. Después mediante la herramienta “crear superficie” se creará la superficie media que delimita el croquis anterior y seguidamente mediante la herramienta “equidistar superficie” se crearán las superficies que conforman el refuerzo perimetral, las cuales se unirán entre sí mediante la herramienta “coser superficie”



5. Las barras de sección rectangular se definirán mediante los siguientes croquis y junto con la herramienta “extruir superficie” se les dará una longitud de 1400 mm. Finalmente se les harán los taladros para la unión con la tornillería correspondiente mediante la herramienta “recortar superficie”.

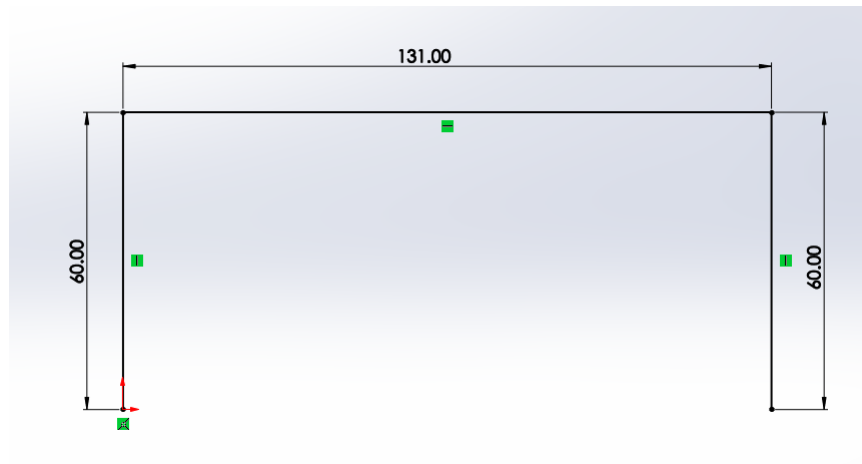


4.3. Modelado de la pisadera de la cabina

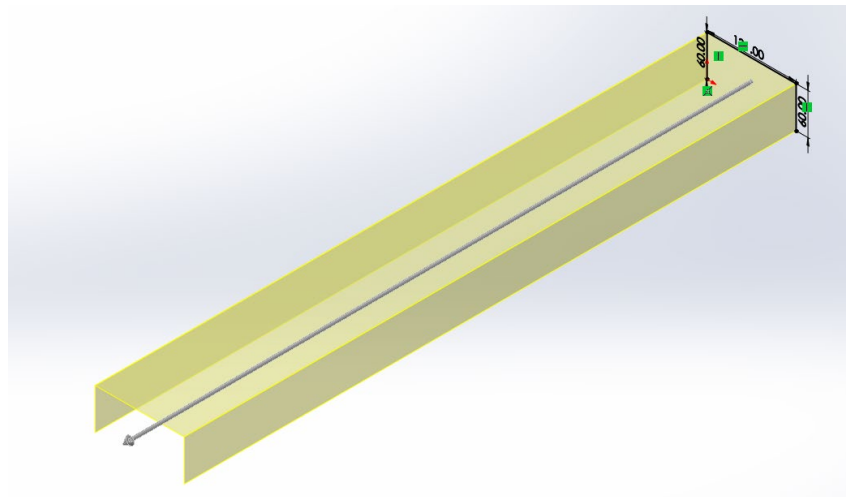


La pisadera de la cabina llevará unos refuerzos laterales e interiores para crear mayor rigidez.

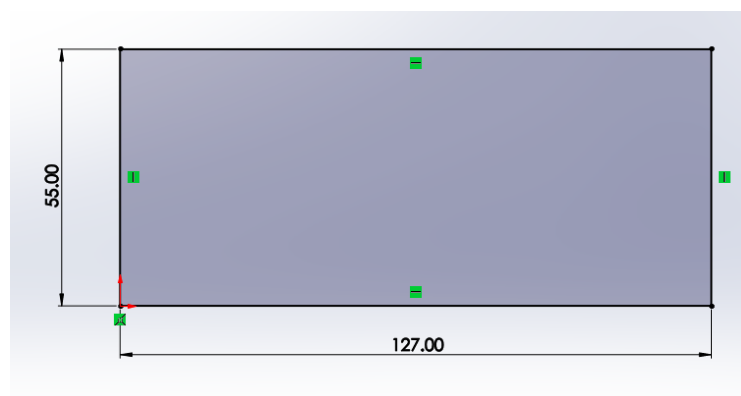
1. Para crear la pisadera primero se creará el siguiente croquis:



2. Seguidamente mediante la herramienta “extruir superficie”, se le dará una longitud de 900 mm.

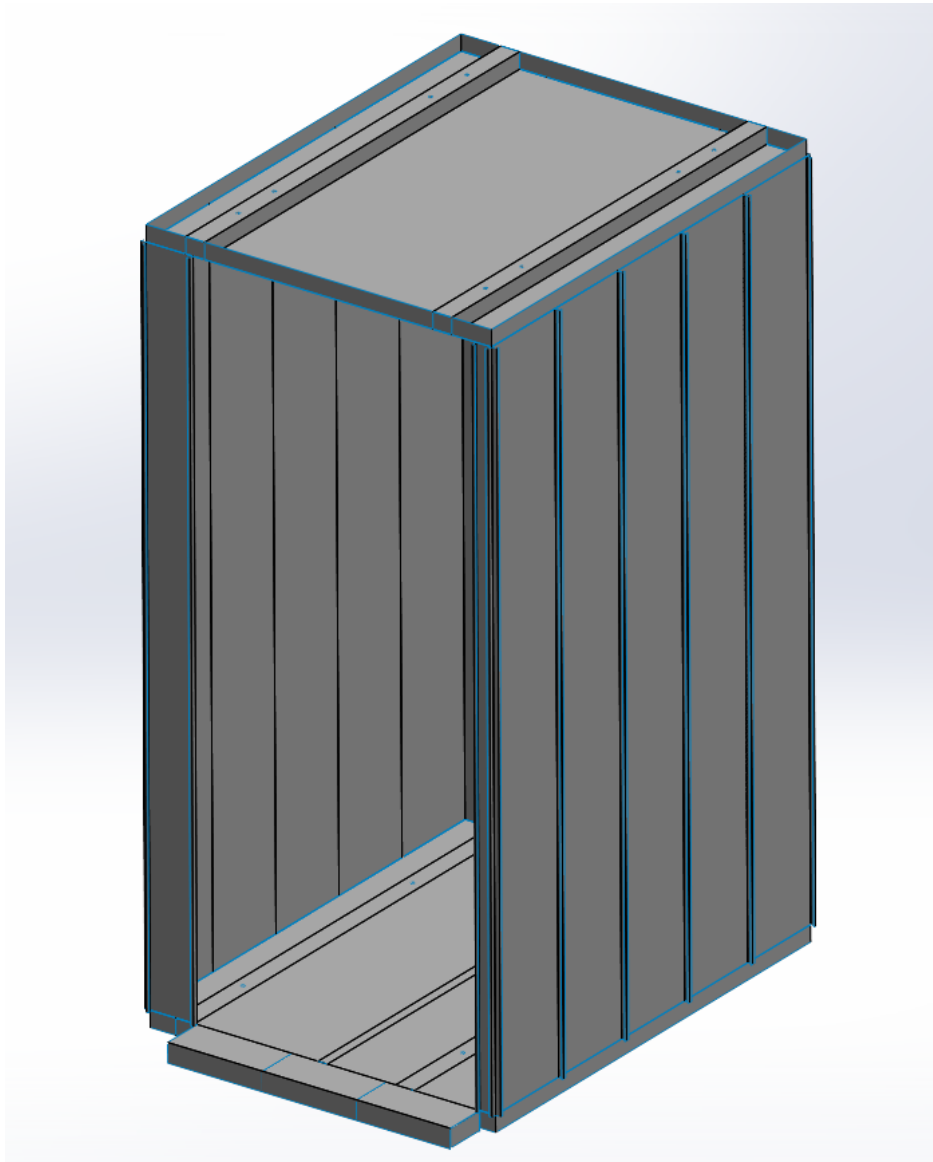


3. Para crear los refuerzos laterales e interiores de la pisadera primero se creará el siguiente croquis y posteriormente mediante la herramienta “crear superficie” se creará la superficie que dará la forma de los refuerzos.



4.4. Ensamblaje de la cabina

El ensamblaje final de la cabina se realizará insertando todas las piezas que la conforman y uniendo todos los componentes (paños laterales, paños del fondo, jambas, suelo, techo, pisadera y fijaciones y refuerzos) mediante relaciones de posición y teniendo en cuenta los espesores que tiene cada uno.



Anexo V: Análisis estructural del chasis de la cabina

Una vez hecho el diseño, en este apartado se realizará el cálculo y análisis estructural del chasis de cabina elegido para la instalación propuesta mediante el método de los elementos finitos con el módulo Simulation del software comercial SolidWorks.

5.1. Introducción al método de los elementos finitos

En este apartado se procederá a explicar, de forma resumida, la formulación general del problema elástico y los métodos diferenciales más comunes, y en particular el método de los elementos finitos, que sirven para aproximar las soluciones de ecuaciones diferenciales del problema elástico.

Un sólido puede definirse mediante un sistema de partículas haciendo que el número de éstas tienda a infinito. Si la distancia relativa entre las partículas permanece constante independientemente de las fuerzas que se ejercen sobre él se considerará sólido rígido. Mientras que si la distancia puede variar (deformarse) como resultado de las fuerzas exteriores o del propio movimiento nos encontramos con un sólido deformable. ^[8]

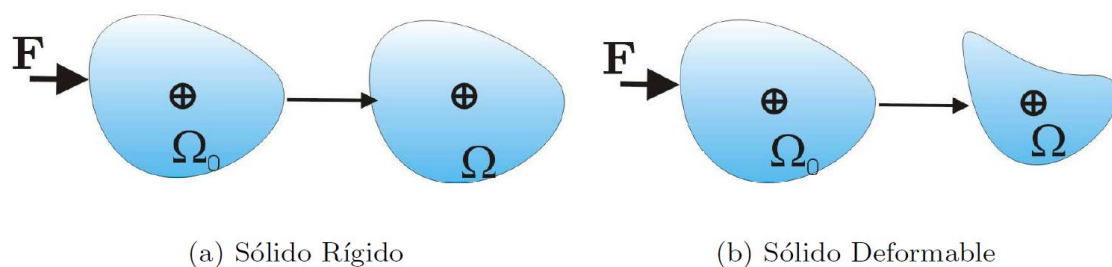


Ilustración 71 Sólido rígido - Sólido deformable ^[8]

Siendo el caso en el que las deformaciones no son muy elevadas, el proceso de deformación que se produce en el sólido al aplicar un sistema de cargas suele tener, en general, la propiedad de ser reversible. En este caso se dice entonces que el sólido presenta un comportamiento elástico y se denomina sólido elástico. ^[9]

En cambio, cuando las deformaciones que se producen son grandes, el proceso de deformación deja de ser reversible. Se dice entonces que el sólido ha comenzado a trabajar de forma plástica o con comportamiento plástico. ^[9]

La hipótesis de sólido deformable introduce un cambio drástico en el número de grados de libertad. Si en el caso del sólido rígido el ángulo girado es el mismo para todo el sólido, en el sólido deformable es necesario determinar para cada punto su posición final, por lo que al existir infinitos puntos en el sólido, se puede concluir que existirán infinitos grados de libertad para definir completamente la geometría final de todo el conjunto del sólido. Se dice entonces que el modelo es el de un medio continuo y es por ello que la mecánica del sólido deformable se le denomina mecánica de los medios continuos. ^[9]

La formulación general del problema elástico se puede plantear mediante métodos clásicos de resolución analítica teniendo definidas las variables cinemáticas y estáticas básicas de la mecánica de medios continuos (desplazamientos, deformaciones y tensiones) y las ecuaciones que las relacionan (compatibilidad, equilibrio y comportamiento).

Así, se obtendrán un total de 15 ecuaciones (3 ecuaciones de equilibrio interno, 6 ecuaciones que relacionan los desplazamientos con las deformaciones, y 6 ecuaciones de comportamiento expresadas como la ecuación de Lamé o a través de la ley de Hooke) y 15 incógnitas (6 tensiones $\sigma_{ij,j}$, 6 deformaciones ε_{ij} y 3 desplazamientos u_i).

Ecuaciones de equilibrio interno:

$$\sigma_{ij,j} + \rho b_i = 0$$

Ecuaciones desplazamiento-deformación:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} [u_{i,j} + u_{j,i}]$$

Ecuaciones de Lamé y Hooke:

$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2G \varepsilon_{ij}$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_{ij} - \frac{\nu}{E} \sigma_{kk} \delta_{ij}$$

El esquema lógico analítico resolutivo procederá conociendo las fuerzas volumétricas y en el contorno X_i , t_i y aplicando las ecuaciones de equilibrio, se obtendrán las tensiones. A partir de ellas y aplicando las ecuaciones de Lamé se obtendrán las deformaciones. Y por último aplicando unas condiciones de contorno e integrando las ecuaciones cinemáticas se llegará a la solución de los desplazamientos u_i .

De manera general el problema de elasticidad puede ser hiperestático por lo que no es posible resolverlo de esta forma, por lo que para obtener solución del sistema se suelen imponer unas condiciones de contorno y emplear dos métodos diferenciales según el orden en que se vayan sustituyendo unas ecuaciones en otras:

- Método de equilibrio o de Navier, adopta los desplazamientos como incógnitas básicas del problema.

$$(\lambda + G)u_{j,ji} + Gu_{i,jj} + \rho b_i = 0$$

- Método de la compatibilidad o de Beltrami-Michell, consiste en considerar como incógnitas básicas a las tensiones σ_{ij} y plantear las ecuaciones en términos de las mismas. Añadir ecuación

$$\nabla^2 \sigma_{ij} + \frac{1}{1+\nu} I_{1,ij} = -\rho (b_{i,j} + b_{j,i}) - \frac{\nu}{1+\nu} \rho b_{i,i} \delta_{ij}$$

Habitualmente en una estructura se pueden encontrar geometrías complejas combinando diferentes tipologías de elementos estructurales: barras, placas, láminas y sólidos tridimensionales. Es también usual encontrar cargas variables así como distintos materiales con leyes de comportamiento diferentes.

La solución de estas estructuras complejas mediante los métodos clásicos de resolución analítica de estructuras explicados anteriormente, solo son posibles mediante la introducción de una gran cantidad de hipótesis simplificadoras que permiten obtener una solución aproximada del problema, llegando a ser un método enormemente costoso y en muchas ocasiones no lo suficientemente fiable.

La evolución de la tecnología y la generalización del uso de las computadoras hacen posible que surjan varios métodos que aproximan soluciones de ecuaciones diferenciales parciales complejas.

Los métodos más importantes son los siguientes:

- Método de los elementos finitos
- Método directo de la rigidez
- Método de elementos de frontera, contorno o borde
- Método de las partículas SPH
- Método de volúmenes finitos

El método de los elementos finitos surge a mitad del siglo XX, en 1956, inmediatamente después del método directo de la rigidez, y cuyo primer libro fue publicado en 1967 por Zienkewicz y Chung. [7]

El MEF es el más general en la aplicación de análisis estructurales y problemas de mecánica de sólidos. No obstante, sus campos de aplicación son mucho más amplios abarcando análisis tensional en general, dinámica de fluidos, transmisión de calor, campos eléctricos, análisis electromagnéticos, etc.

El MEF parte de una forma matricial del problema elástico de Navier de la forma:

$$Au = f \quad \forall x \in \Omega$$

$$Cu = g \quad \forall x \in \delta\Omega$$

Siendo éste un sistema de ecuaciones diferenciales de orden par. Donde las ecuaciones de equilibrio, cinemáticas y de comportamiento en notación matricial S , H y D se unen conformando la matriz A .

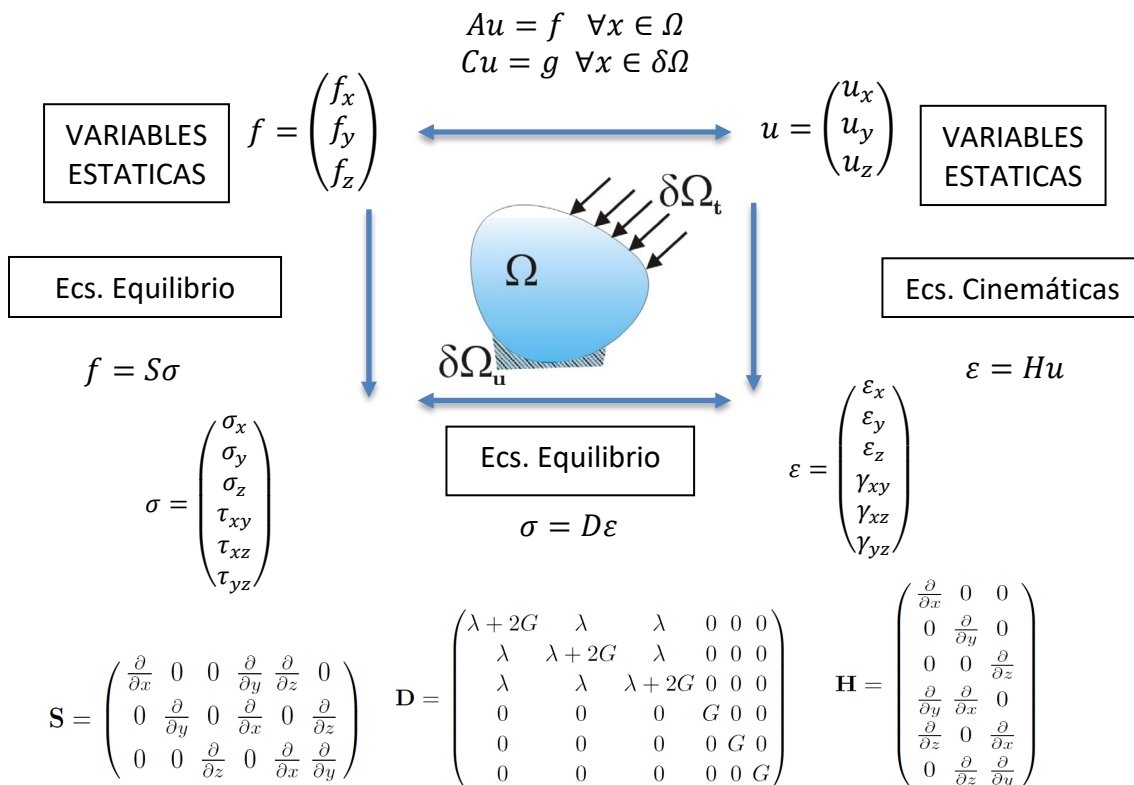


Ilustración 72 Relación entre ecuaciones e incógnitas del problema elástico [7]

ECUACIONES CINEMATICAS

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

ECUACIONES
COMPORTAMIENTO

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl}$$

ECUACIONES EQUILIBRIO

$$\sigma_{ij} + X_i = 0$$

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda + 2G & \lambda & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda + 2G & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda & \lambda + 2G & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{pmatrix}$$

$$SDHu = Au = f \quad \forall x \in \Omega$$

Ilustración 73 Forma matricial del problema elástico de Navier [7]

Así pues, el MEF transforma este sistema de ecuaciones diferenciales, llamada formulación fuerte ($Au = f$), en un sistema de ecuaciones algebraico lineal, denominada formulación débil ($KU = F$), y con ella, obtiene la matriz de rigidez y el vector de cargas elementales y desplazamientos.

$$Au = f \rightarrow KU = F$$

Donde:

- K : Matriz de rigidez
- U : Vector desplazamientos
- F : Vector de cargas elementales

Para transformar la formulación fuerte en la formulación débil, primero se realiza el producto escalar de los dos términos que definen la ecuación diferencial por una función vectorial Ψ de la misma dimensión que la función incógnita u y se integran las resultantes en el dominio del problema. Cabe mencionar que la formulación débil es equivalente al principio de los trabajos virtuales y en ella aparecerán derivadas primeras en vez de segundas, por lo que se obtiene una ventaja operacional y en requisitos del campo de desplazamientos sin aplicar ninguna simplificación, garantizando que la formulación fuerte igualada a cero se sigue cumpliendo y que la solución obtenida por la formulación débil es la misma que la obtenida por la formulación fuerte.

Formulación débil general del problema elástico:

$$\int_{\Omega} (\epsilon^{\psi})^T \sigma d\Omega = \int_{\Omega} (\mathbf{u}^{\psi})^T \mathbf{f} d\Omega + \int_{\delta\Omega} (\mathbf{u}^{\psi})^T \mathbf{t}^{\nu} d(\delta\Omega)$$

Obteniendo que la matriz de rigidez K será de la forma:

$$K^e = \int_{\Omega} (HN)^T D (HN) d\Omega = \int_{\Omega} B^T D B d\Omega$$

Particularizando para un caso de carga axil la formulación fuerte será la siguiente:

$$\frac{d}{dx} \left(EA \frac{du_x}{dx} \right) + \overline{N}_x = 0$$

Y la formulación débil para un caso de carga axil entonces será de la siguiente forma:

$$\int_0^L \frac{d\Psi}{dx} EA \frac{du_x}{dx} = \int_0^L \Psi \overline{N}_x dx + \Psi EA \left[\frac{du_x}{dx} \right]_0^L$$

La aproximación del campo de desplazamientos será:

$$\sum_{i=1}^N u_x^i \underbrace{\int_0^L \frac{dN_j}{dx} EA \frac{dN_i}{dx} dx}_{K_{ij}} = \underbrace{(N_j \overline{N})|_{\Gamma^t} + \int_0^L N_j \overline{n}_x dx}_{f_j}$$

Y haciendo uso del Jacobiano para trabajar en coordenadas naturales:

$$\sum_{i=1}^N u_x^i \underbrace{\int_{-1}^1 J^{-1} \frac{dN_j}{d\xi} EA J^{-1} \frac{dN_i}{d\xi} J d\xi}_{K_{ij}} = \underbrace{(N_j \overline{N})|_{\Gamma^t} + \int_{-1}^1 N_j \overline{n}_x J d\xi}_{f_j}$$

$$\sum_{i=1}^N u_x^i K_{ij} = f_j$$

Donde:

u_x^i : vector de incógnitas
 K_{ij} : matriz de rigidez
 f_j : vector de cargas

$N_{i/j}$: funciones de forma
 J : Jacobiano
 EA : modulo de young y seccion del material

Una vez obtenida la formulación débil, el método de los elementos finitos de forma analítica discretiza haciendo una división de elementos, determina las matrices de rigidez elementales, ensambla la matriz de rigidez y el vector de cargas y junto a la imposición de unas condiciones de contorno, resuelve el sistema de ecuaciones obteniendo los desplazamientos y con ellos las deformaciones y tensiones producidas.

Estas expresiones de matrices de rigidez y vectores de carga elementales requieren la evaluación de integrales para su obtención. En un método computacional de elementos finitos, la forma de realizar estas integrales es mediante su aproximación por una cuadratura numérica ya que su obtención analítica o de forma simbólica suele ser excesivamente laboriosa o inviable.

En el caso de los elementos finitos, la cuadratura numérica más utilizada es la de Gauss-Legendre en elementos de referencia hexaédricos y de Hammer para tetraedros y prismas de base triangular.

Si se quiere obtener una integral dada de una función $f(\xi)$ en un intervalo dado $[-1,1]$, $I = \int_{-1}^1 f(\xi) d\xi$, una cuadratura de Gauss-Legendre obtiene el valor de dicha integral como un sumatorio de los productos de valores del integrando en una serie de puntos dados en el interior de dicho intervalo por unos coeficientes determinados denominados "pesos". Si son empleados p puntos de integración se dice que la cuadratura es de orden p y se tiene $I^p = \sum_{i=1}^p f(\xi_i) w(\xi_i)$, donde $w(\xi_i)$ es el peso de Gauss i y ξ_i es la coordenada de dicho punto de Gauss. Una propiedad muy importante a destacar de esta cuadratura es que la cuadratura de Gauss-Legendre de orden n , integra de forma exacta un polinomio de grado $2n - 1$. Y el error de cálculo aproximado de una cuadratura de orden n es de orden (Δ^{2n}) donde Δ es la distancia entre los puntos de integración. [7]

5.2. Descripción del sistema

Los datos relativos a la geometría de la estructura (planos, secciones de los perfiles, disposición de los mismos) y los valores de carga son proporcionados por MP Ascensores (P+Q de 1550 kg con Q de 630 kg).

La estructura del chasis estará realizada con chapas plegadas de distintos espesores comprendidos entre 2 y 10 mm cuyo ensamblado se realizará mediante uniones soldadas y uniones atornilladas.

En el cálculo se incluirá una cabina de dimensiones 1100x1400 mm de forma simplificada que servirá para transmitir cargas tanto a la parte inferior como superior del chasis.

En la siguiente figura se muestra el chasis analizado y la denominación de los diferentes elementos que lo componen.

- Travesaño superior: compuesto de chapa plegada donde se amarran las piezas de sujeción de la cabina.
- Largueros: fabricados en chapa plegada con forma de U.
- Conjunto inferior: conjunto soldado al que se unen la cabina y donde van unidos también los largueros.

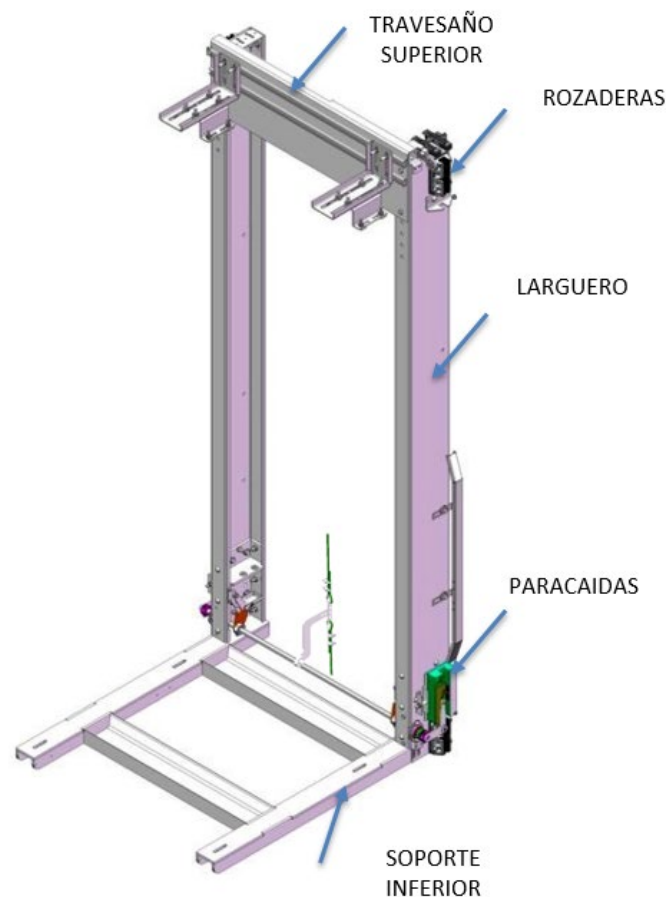


Ilustración 74 Elementos chasis de cabina ^[1]

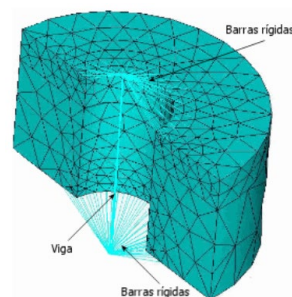
5.3. Descripción del modelo de elementos finitos

El análisis de la estructura del chasis de la cabina del ascensor se realiza mediante el método de los elementos finitos mediante el módulo Simulation del programa comercial SolidWorks.

En el modelo de elementos finitos se utilizarán:

- Elementos placa tipo Shell que servirán para modelar las diferentes chapas que componen la estructura a través de la superficie media y, a los que se les asignará el espesor correspondiente.
- Elementos tipo perno que servirán para modelar los tornillos.
- Elementos tipo sólido para modelar las células de carga.

Las uniones soldadas se simulan como contactos rígidos, y las uniones atornilladas se realizan mediante conectores tipo perno compuesto por una viga que representa el vástago del perno y barras rígidas que representan la tuerca y la cabeza.



La definición de los conectores tipo perno se realizará añadiendo el diámetro del vástago nominal, el diámetro de la cabeza, un tipo de conexión distribuida, un material de acero aleado (con las siguientes propiedades: $E = 2,1 \cdot 10^{11}$, $\nu = 0,28$, $\alpha = 1,3 \cdot 10^{-5}$), unos datos de resistencia con zona del límite de tensión conocida y factor de seguridad igual a 2 y una precarga axial aplicada (fuerza de cierre), que se definirá en el apartado de cargas aplicadas y proporcionará la fuerza de fricción necesaria para aguantar el deslizamiento entre las piezas conectadas.

Ilustración 75 Definición de perno [16]

Los conjuntos de contacto entre el perno y los componentes atornillados se definirán como contactos sin penetración y superficie a superficie, para solventar escenarios de cargas de compresión.

En el cálculo también se incluirá la cabina de forma simplificada mediante elementos placa tipo Shell para transmitir parte de la carga a la zona inferior y superior. La unión de la cabina al chasis se realizará en dos zonas: en la zona inferior, y en la zona superior, a los amarres de la cabina.

En el análisis elástico se utilizará modelos de materiales elástico lineal, homogéneo e isótropo, cuyas propiedades se muestran en las siguientes tablas:

PROPIEDADES MECANICAS DEL ACERO 275	
Modulo elástico (E)	$2,1 \cdot 10^{11} \left(\frac{N}{m^2} \right)$
Coeficiente de Poisson (ν)	0,28
Densidad (ρ)	$7800 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$
Límite elástico	$275 \cdot 10^6 \left(\frac{N}{m^2} \right)$

PROPIEDADES MECANICAS ACERO GALVANIZADO	
Modulo elástico (E)	$2 \cdot 10^{11} \left(\frac{N}{m^2} \right)$
Coeficiente de Poisson (ν)	0,29
Densidad (ρ)	$7870 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$
Límite elástico	$204 \cdot 10^6 \left(\frac{N}{m^2} \right)$

Para especificar los diferentes tamaños de los elementos se escogerá una malla basada en curvatura con densidad fina con los siguientes parámetros:

PARAMETROS DE MALLADO			
Tamaño máximo de elemento	Tamaño mínimo de elemento	Número mínimo de elementos en un círculo	Cociente de crecimiento del tamaño del elemento
40 mm	10 mm	36	1.4

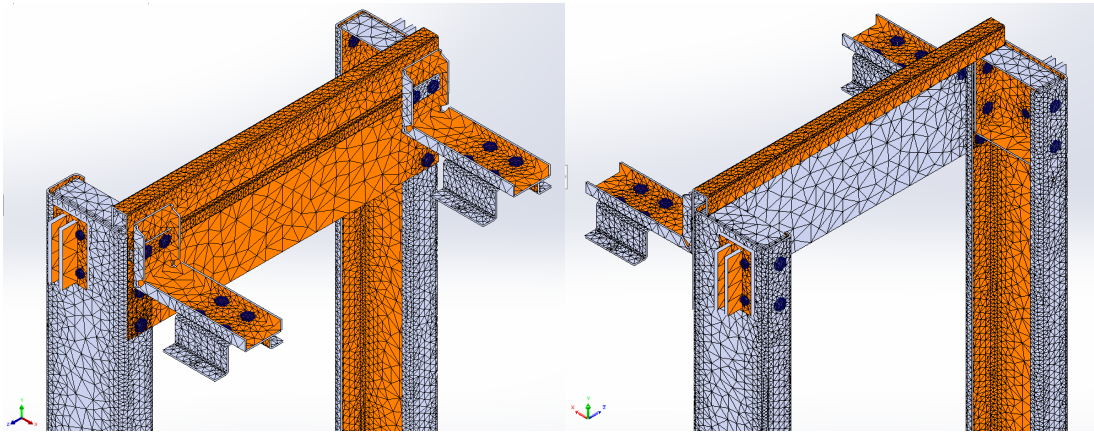


Ilustración 76 Mallado de amarres y rozaderas superiores chasis de cabina

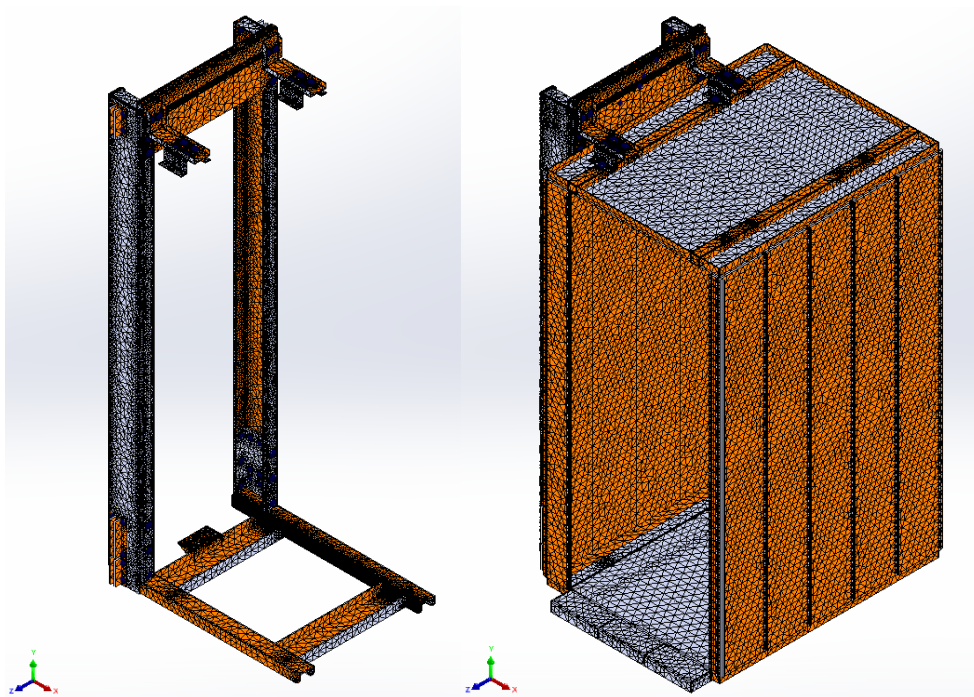


Ilustración 77 Mallado del chasis de cabina

Ilustración 78 Mallado del conjunto chasis y cabina

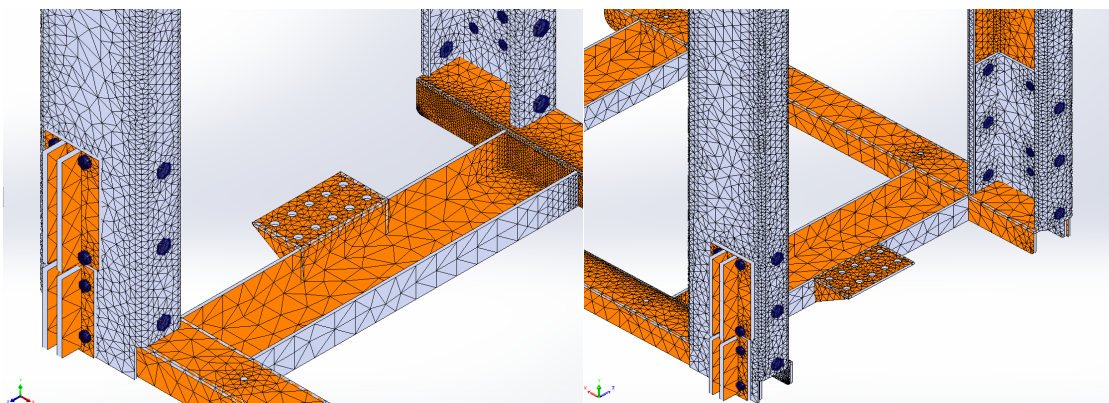


Ilustración 79 Mallado de tiro de cables, paracaídas, rozaderas y soporte inferior

5.4. Hipótesis de carga y condiciones de contorno

Se analizarán cuatro hipótesis de carga para el chasis de cabina:

- Hipótesis 1: Uso normal – En movimiento
- Hipótesis 2: Uso normal – Carga y descarga.
- Hipótesis 3: Actuación del dispositivo de seguridad.
- Hipótesis 4: Impacto contra buffer.

Para el análisis, se aplicarán las siguientes condiciones de contorno en el modelo, dependiendo del caso de carga analizado:

- De forma general y común a todos los casos de carga, se aplicará en las rozaderas unas restricciones de desplazamiento en dirección del “Eje Z” en las zonas que simulan la zona donde las estas contactan con las guías, y se restringe el desplazamiento en la dirección del “Eje X” en aquellas rozaderas en las que se produce contacto con las guías, dependiendo del movimiento del chasis.
- Para el caso de uso normal, se restringe en dirección vertical la zona correspondiente al tiro de cables.
- Para el caso del paracaídas, se restringen los desplazamientos en las tres direcciones en las zonas que simulan donde los paracaídas contactan con las guías, simulando el chasis suspendido en los mismos.
- Para el caso de impacto contra buffer, se restringen los desplazamientos en dirección vertical en la zona donde apoya el chasis contra el buffer.

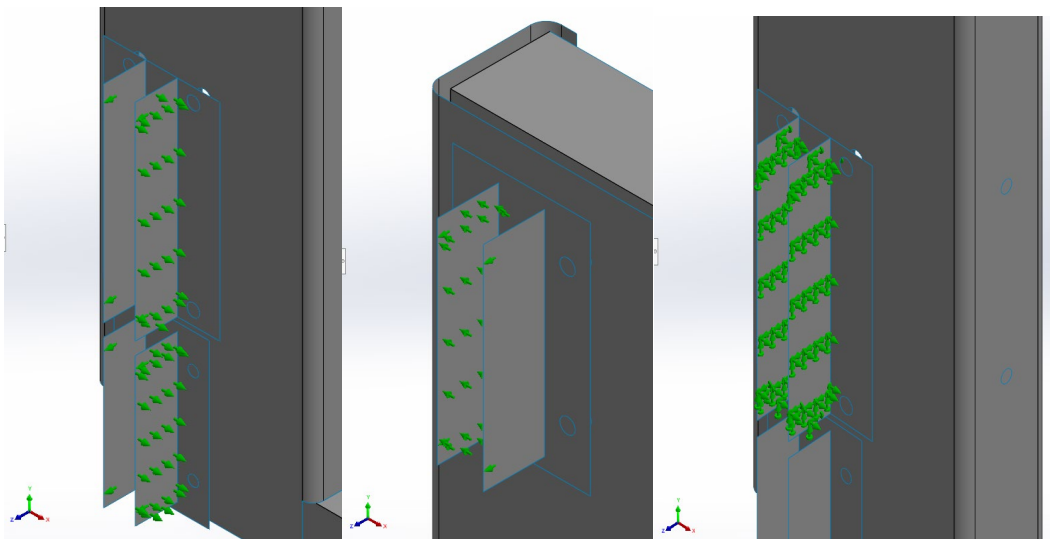


Ilustración 80 Restricción rozaderas caso más desfavorable

Ilustración 81 Restricción paracaídas

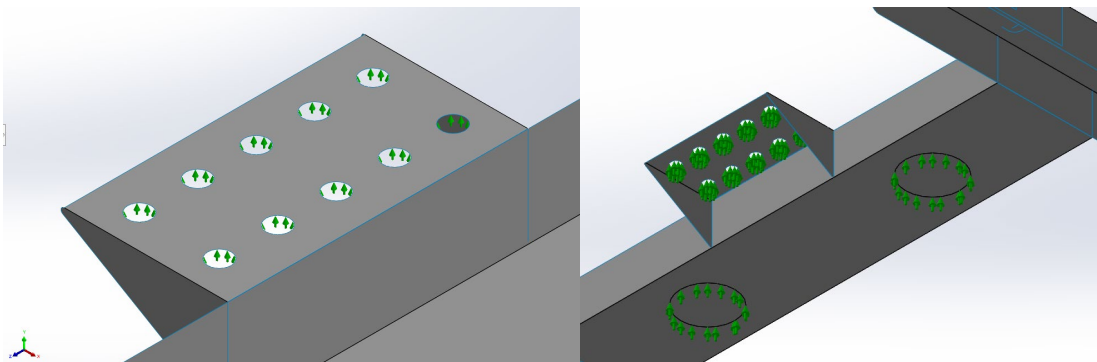


Ilustración 82 Restricción tiro de cables y amortiguadores

5.5. Cargas aplicadas en el modelo

Las cargas aplicadas serán las siguientes:

- Peso propio de la estructura (P)
- Peso correspondiente al resto de P (excepto el peso propio de los componentes modelados) como presión repartida en el suelo de la estructura de la cabina.
- La carga útil Q, en este caso 630 Kg, debe estar uniformemente distribuida dentro de las $3/4$ partes del área de la cabina, estando en la posición más desfavorable. Por lo que se aplicará como una presión descentrada en dirección del “Eje X” y “Eje Z” sobre el suelo de la cabina. Sobre la carga útil se aplica un coeficiente de mayoración de 1,25 suministrado por MP Ascensores.
- Fuerza vertical que actúa en el centro de la pisadera; Para la hipótesis 2 (Uso normal - carga y descarga) ya que mientras se carga o descarga una cabina, se debe considerar una fuerza vertical F_s que actúa en el centro de la pisadera de la entrada de la cabina. (UNE-EN81-20, 5.7.2.3.6.)
La fuerza aplicada sobre la pisadera debe ser: $F_s = 0,6 \cdot g_n \cdot Q$ (N)

Además, se aplicaran unos coeficientes de impacto sobre todas las cargas según el caso de carga:

- Para la hipótesis de uso normal de valor 1,2 que tiene en cuenta los efectos dinámicos provenientes de la aceleración y deceleración de arranque y parada.
- Para la hipótesis de accionamiento de paracaídas de valor 3, en este caso, por ser un paracaídas de acción instantánea, que tiene en cuenta la deceleración.
- Para la hipótesis de impacto contra buffer, de valor 2 debido a la fuerte deceleración que se produce mediante la acción del amortiguador cuando contacta con el chasis por un exceso de alargamiento del cable.

En los casos de carga de “uso normal” y “actuación de dispositivos de seguridad”, la carga nominal Q debe estar uniformemente distribuida dentro de las tres cuartas partes del área de la cabina, estando en la posición más desfavorable. (UNE-EN81-20, apartado 5.7.2.3.4).

En el caso de carga “uso normal, en movimiento”, las masas en movimiento vertical de la cabina (P+Q) y los pesos de contrapeso y masa de equilibrado, deben multiplicarse por el factor de impacto K_2 (véase en la tabla) para tomar en consideración la parada brusca debido a la actuación de un dispositivo eléctrico de seguridad o por la interrupción accidental de la energía eléctrica de la red. (UNE-EN81-20, apartado 5.7.4.3.).

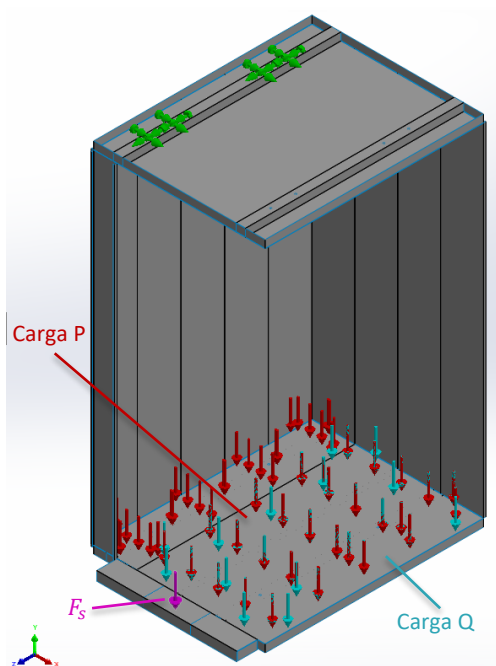


Ilustración 83 Cargas repartidas en la cabina

Impacto por	Factor de impacto	Valor
Actuación de paracaídas instantáneo, excepto de tipo de rodillo cautivo	k_1	5
Actuación de paracaídas instantáneo de tipo de rodillo cautivo, o dispositivo de bloqueo con amortiguador de tipo de acumulación de energía, o amortiguador de acumulación de energía.		3
Actuación de paracaídas progresivo o dispositivo de bloqueo con amortiguador de tipo de disipación de energía, o amortiguación de tipo de disipación de energía.		2
Válvula paracaídas		2
En movimiento	k_2	1,2
Partes auxiliares fijadas a la guía y otros posibles escenarios	k_3	(...) ^a
a El valor debe mantenerse por el fabricante, puesto que depende de cada instalación real.		

5.5.1. Especificaciones técnicas de la tornillería y precarga aplicada

DIN 912 M10x65 y DIN 912 M12x65

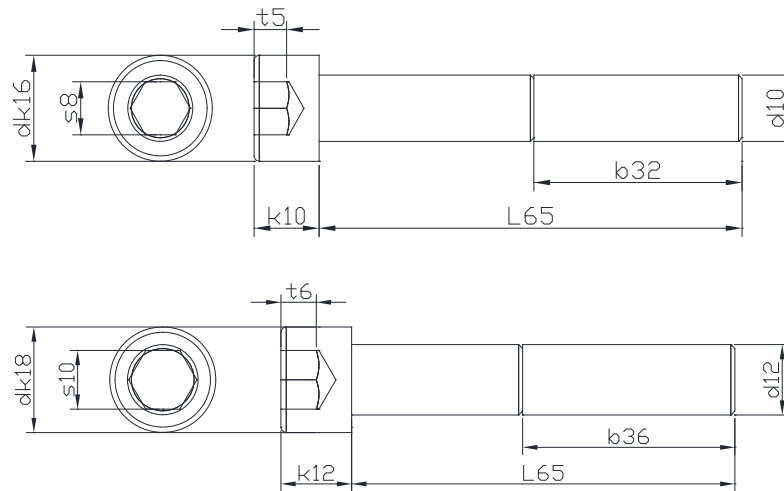


Ilustración 84 Dimensiones DIN 912 M10x65 y DIN 912 M12x65 (mm) [25]

DIMENSIONES

d	M4	M5	M6	M7	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36
Paso	0,7	0,8	1	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5	3,5	4
b	20	22	24	26	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	78	84
dk	7	8,5	10	12	13	16	18	21	24	27	30	33	36	40	45	50	54
k	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36
s	3	4	5	6	6	8	10	12	14	14	17	17	19	19	22	24	27
t	2	2,5	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13,5	15,5	18	19

Ilustración 85 Especificaciones técnicas tornillería (mm) [23]

ISO 8678 M10x35

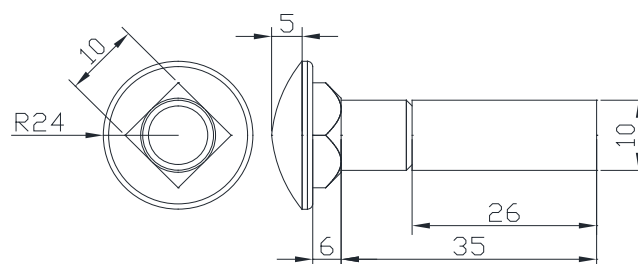


Ilustración 86 Dimensiones ISO 8678 M10x35 (mm) [25]

DIMENSIONES

d1	M 5	M 6	M 8	M 10	M 12	M 16	M 18	M 20
Paso	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	2,5
b1	16	18	22	26	30	38	42	46
b2	22	24	28	32	36	44	48	52
dk	13	16	20	24	30	38	42	46
f	4	4	5	6	8	12	13,5	15
k	3,3	3,5	4,5	5	6,5	8,5	8,5	10,5
v	5	6	8	10	12	16	18	20

Ilustración 87 Especificaciones técnicas tornillería (mm) [23]

Según marca la norma DIN 267 existen dos tipos de precarga que se pueden aplicar: carga axial y par torsor.

En la siguiente tabla se puede ver un resumen de las fuerzas de pretensión y par de apriete de los tornillos:

Roscas regulares, coeficiente de fricción $\mu = 0,14$

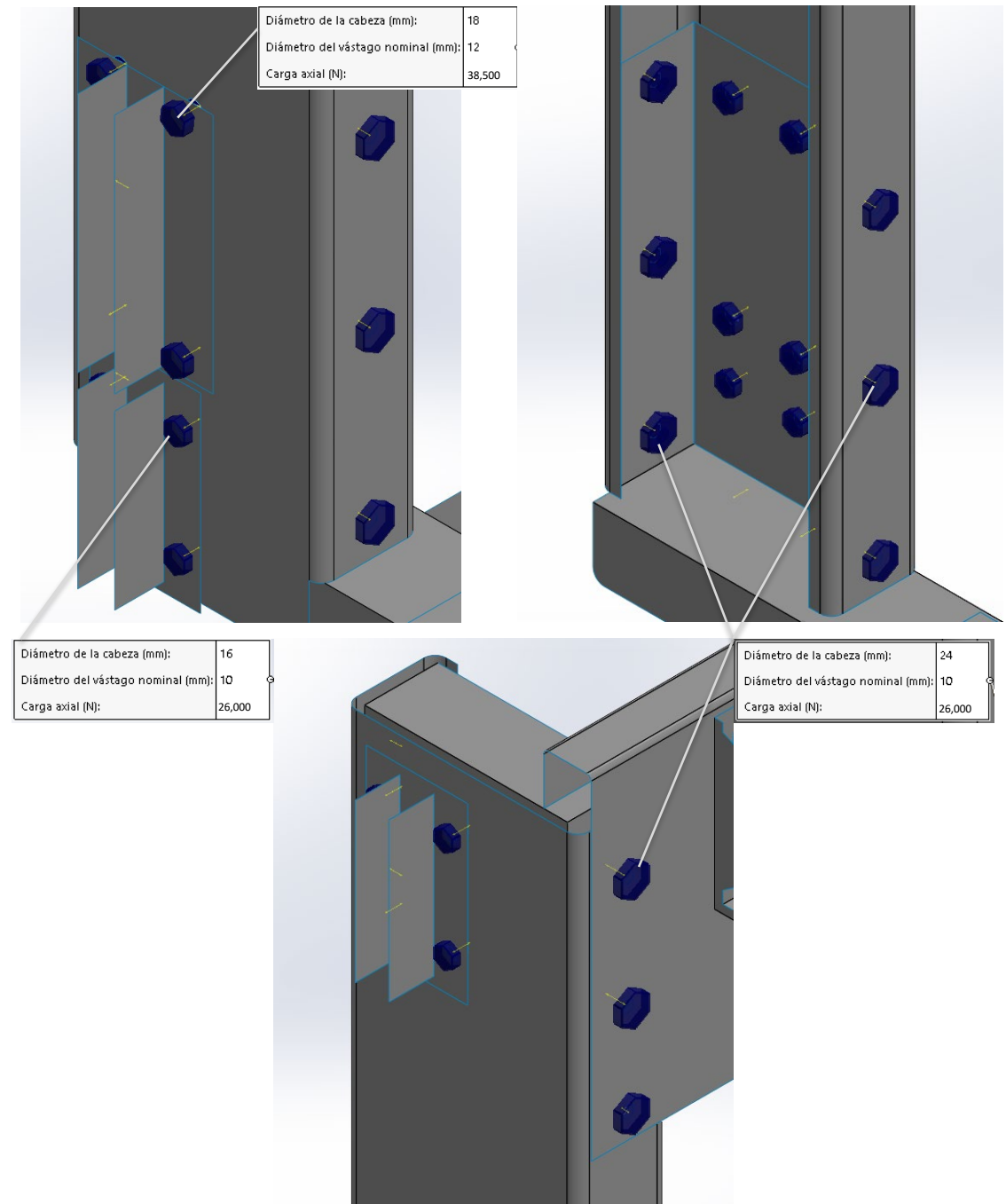
Dimensiones		Sección de tensión	Fuerza de pretensión (cifras de precarga) $F_v(N) = 0,7 \times R_{p0,2} \times A_s$					Par de apriete $M_A(Nm)$				
Diámetro	P	A_s/mm^2	4.6	5.6	8.8	10.9	12.9	4.6	5.6	8.8	10.9	12.9
M 4	0,7	8,78	1.280	1.710	3.900	5.700	6.700	1,02	1,37	3,0	4,4	5,1
M 5	0,8	14,2	2.100	2.790	6.400	9.300	10.900	2,0	2,7	5,9	8,7	10
M 6	1,0	20,1	2.960	3.940	9.000	13.200	15.400	3,5	4,6	10	15	18
M 8	1,25	36,6	5.420	7.230	16.500	24.200	28.500	8,4	11	25	36	43
M 10	1,5	58,0	8.640	11.500	26.000	38.500	45.000	17	22	49	72	84
M 12	1,75	84,3	12.600	16.800	38.500	56.000	66.000	29	39	85	125	145
M 14	2,0	115	17.300	23.100	53.000	77.000	90.000	46	62	135	200	235
M 16	2,0	157	23.800	31.700	72.000	106.000	124.000	71	95	210	310	365
M 18	2,5	193	28.900	38.600	91.000	129.000	151.000	97	130	300	430	500
M 20	2,5	245	37.200	49.600	117.000	166.000	194.000	138	184	425	610	710
M 22	2,5	303	46.500	62.000	146.000	208.000	243.000	186	250	580	830	970
M 24	3,0	353	53.600	71.400	168.000	239.000	280.000	235	315	730	1.050	1.220
M 27	3,0	459	70.600	94.100	221.000	315.000	370.000	350	470	1.100	1.550	1.800
M 30	3,5	561	85.700	114.500	270.000	385.000	450.000	475	635	1.450	2.100	2.450
M 33	3,5	694	107.000	142.500	335.000	480.000	560.000	645	865	2.000	2.800	3.400
M 36	4,0	817	125.500	167.500	395.000	560.000	660.000	1.080	1.440	2.600	3.700	4.300
M 39	4,0	976	151.000	201.000	475.000	670.000	790.000	1.330	1.780	3.400	4.800	5.600

Ilustración 88 Fuerza de pretensión y par de apriete de los tornillos [23]

	PAR DE APRIETE ($N \cdot m$)	CARGA AXIAL DE APRIETE (N)
DIN 912 M10x65 / ISO 8678 M10	49	26000
DIN 912 M12x65	85	38500

Cabe añadir, que los taladros destinados a la tornillería correspondiente normalmente suelen diferir con el diámetro de los tornillos en un centímetro, pero para aplicar correctamente la precarga de apriete, el radio del vástago tiene que ser igual al radio de las caras cilíndricas asociadas con al menos uno de los componentes, por lo que se ajustan los radios de los taladros para cumplir con esta especificación.

Ilustración 89 Tornillería utilizada en el modelo



5.6. RESULTADOS

Los resultados obtenidos han sido en términos de tensiones y desplazamientos que se producen para cada una de las hipótesis y casos de carga considerados. En el apartado “Resultados gráficos” se pueden apreciar detalladamente cada uno de los resultados obtenidos.

Para la obtención de los resultados, primero se han obtenido las reacciones que provocan las cargas aplicadas en la cabina a las distintas zonas de contacto con el chasis.

Ejemplo reacciones en la parte superior de la cabina hipótesis 1 con descentramiento de Q en eje X:

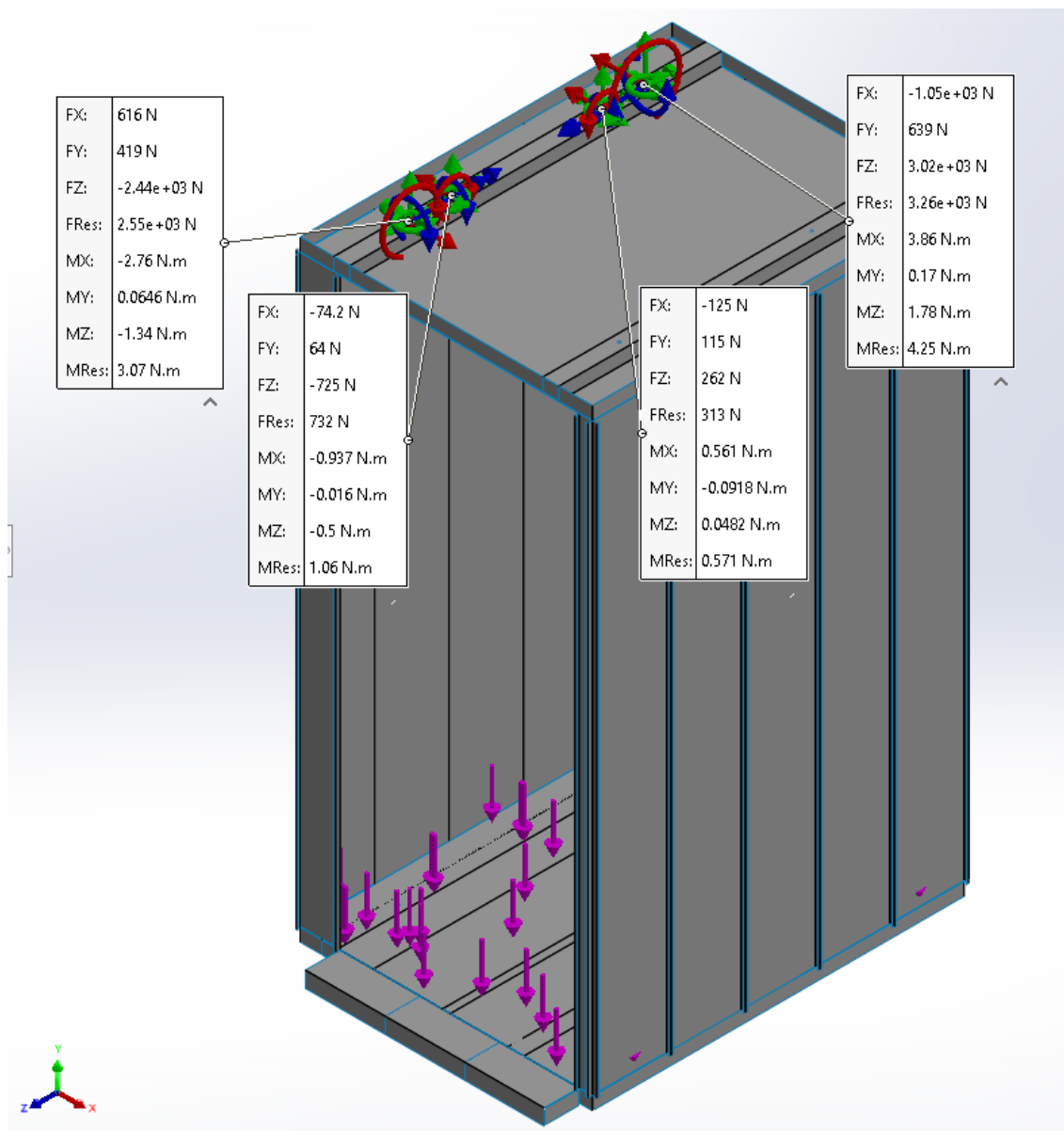


Ilustración 90 Reacciones en la parte superior de la cabina con descentramiento de Q en eje X

Fuerza de reacción (N)		
Componente	Selección	Todo el modelo
Sum X:	-637.61	-0.00021935
Sum Y:	1,237.4	13,136
Sum Z:	120.84	9.1553E-05
Resultante:	1,397.3	13,136

Ilustración 91 Fuerzas resultantes en el modelo (Ilustración 90)

Ejemplo reacciones en la parte inferior de la cabina hipótesis 1 con descentramiento de Q en eje X:

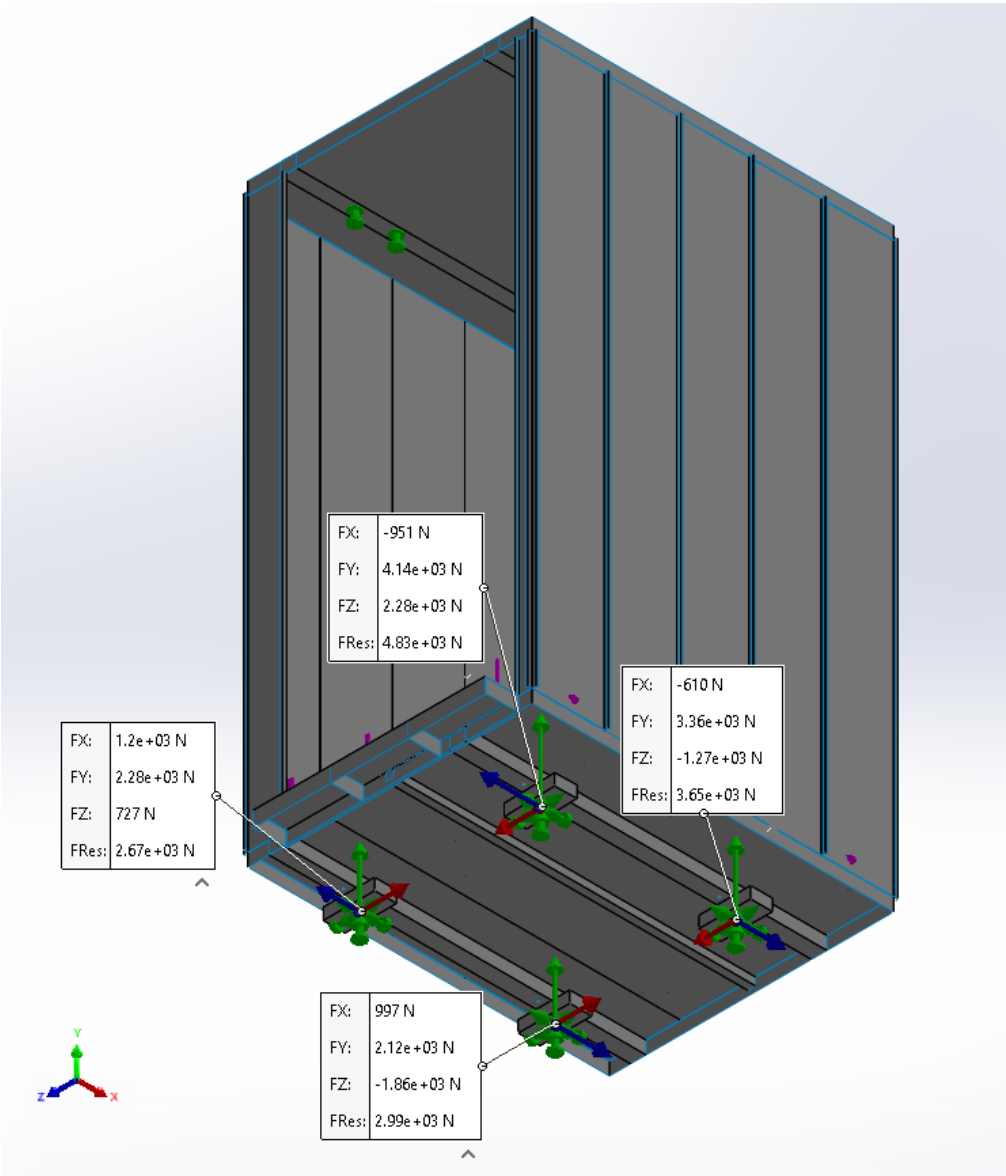


Ilustración 92 Reacciones en la parte inferior de la cabina con descentramiento de Q en eje X

Fuerza de reacción (N)		
Componente	Selección	Todo el modelo
Sum X:	637.61	-0.00021935
Sum Y:	11,899	13,136
Sum Z:	-120.84	9.1553E-05
Resultante:	11,916	13,136

Ilustración 93 Fuerzas resultantes en el modelo (Ilustración 92)

Análogamente se realizará lo mismo para el caso de descentramiento de Q en el eje Z, así como para la Hipótesis 2: Uso normal – Carga y descarga, Hipótesis 3: Actuación del dispositivo de seguridad e Hipótesis 4: Impacto contra buffer aplicando los respectivos coeficientes de impacto a cada caso.

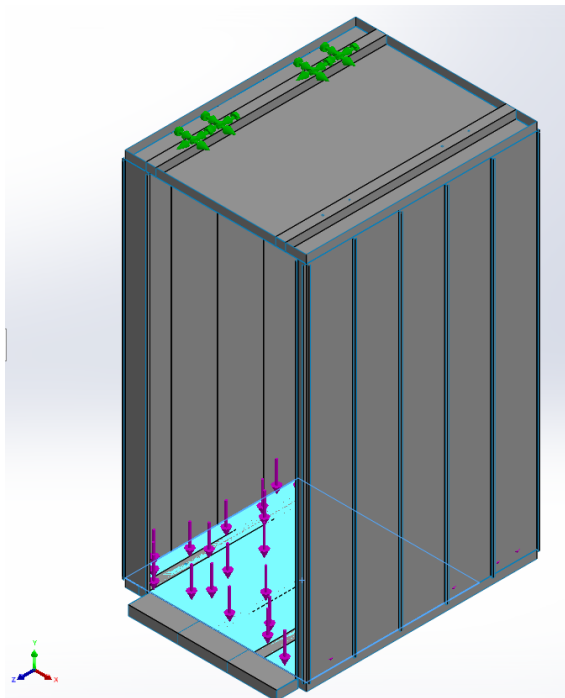


Ilustración 94 Carga descentrada en eje Z

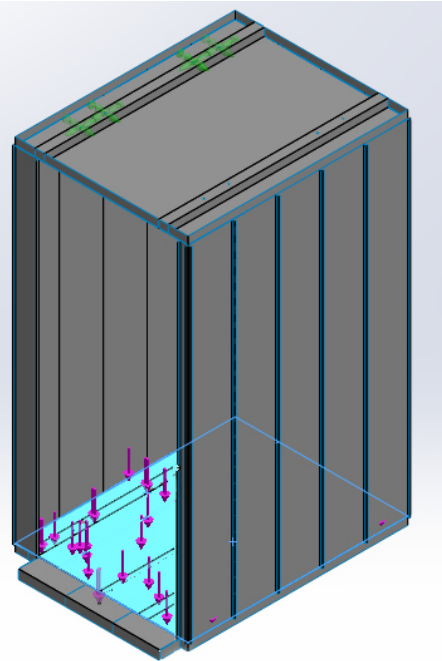


Ilustración 95 Hipótesis 2: Uso normal – Carga y descarga

MATERIALES Y ESPESORES DE LOS ELEMENTOS DEL CHASIS			
CONJUNTO	ELEMENTO	MATERIAL	ESPESOR (mm)
TRAVESAÑO SUPERIOR	PANEL SUPERIOR	ACERO 275	4
	FIJACIONES SUPERIORES	ACERO 275	6
	RAIL FIJACION	ACERO 275	2
	REFUERZOS LATERALES	ACERO 275	4
LATERALES	LARGUEROS	ACERO 275	5
	ROZADERAS	ALUMINIO	10
	PARACAIDAS	FUNDICION	10
SOPORTE INFERIOR	PERFIL UPN 140	ACERO 275	6
	PERFILES LATERALES	ACERO 275	6
	TIRO DE CABLES	ACERO 275	10
	CELULAS DE CARGA	ACERO 275	45

MATERIALES Y ESPESORES DE LOS ELEMENTOS DE LA CABINA		
ELEMENTO	MATERIAL	ESPESOR (mm)
PAÑOS Y JAMBAS	Chapa galvanizada	1
BARRAS	ACERO 275	3
PISADERA	EN10111 DD-11	10
SUELO	EN10111 DD-11	3
TECHO	EN10111 DD-11	2

MASA TOTAL DEL CHASIS DE LA CABINA (kg)	MASA TOTAL DE LA CABINA (kg)
164	460

Posteriormente para simular el estudio del chasis se han aplicado las reacciones obtenidas, en sentido contrario en los puntos de contacto entre el chasis y la cabina.

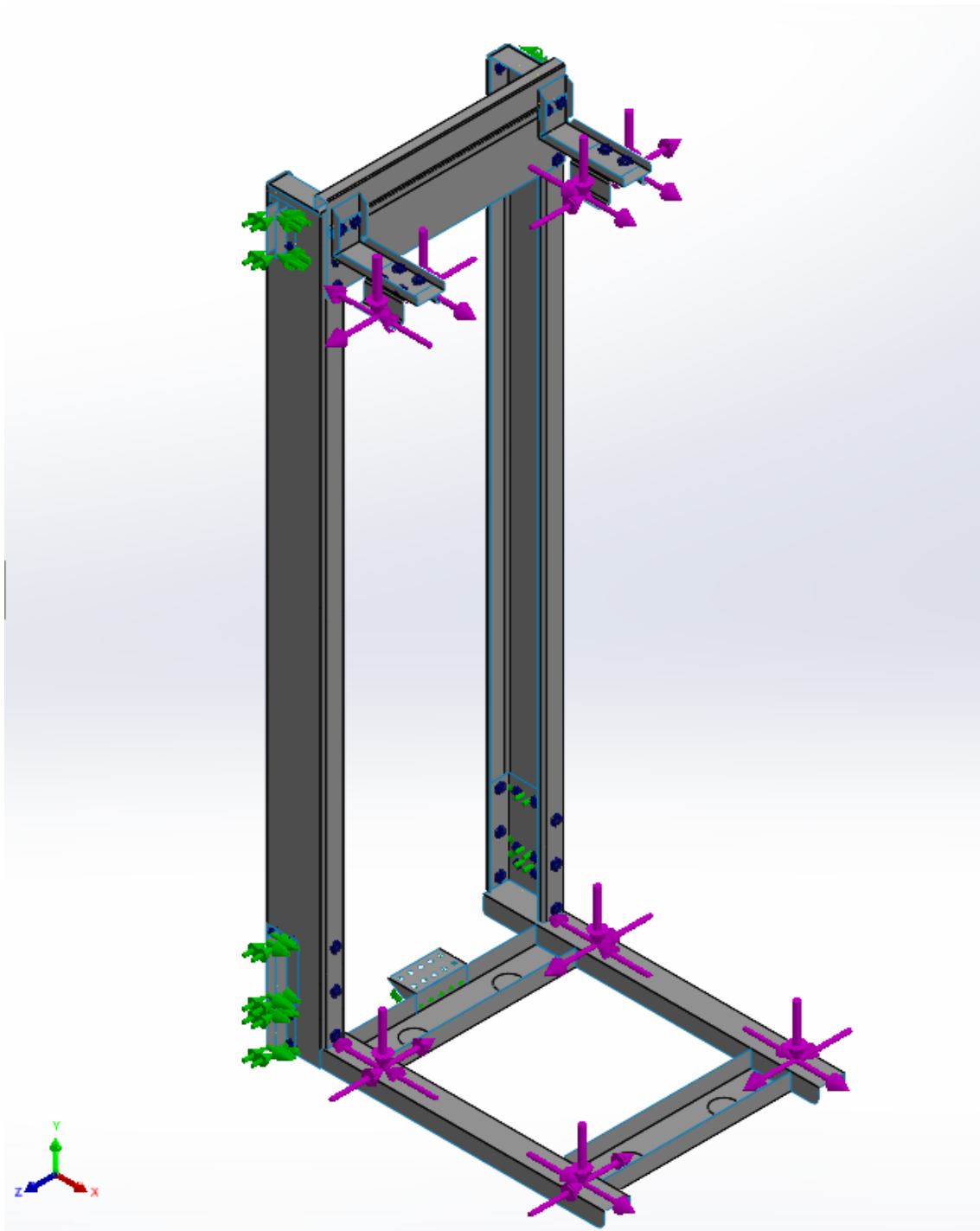
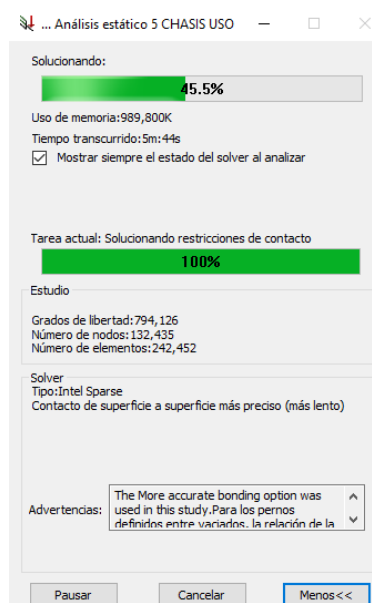


Ilustración 96 Reacciones aplicadas en puntos de contacto entre chasis y cabina

Cabe añadir que el equipo utilizado para realizar la simulación ha sido un ordenador portátil MSI GL75 Leopard 10SEK con procesador Intel® Core i7 de 10ª generación concretamente Comet lake i7-10750H+HM470, memoria DDR IV 8GB*2 (2666 MHz), almacenamiento 1TB NVMe PCIe Gen3x4 SSD y controlador gráfico GeForce® RTX 2060, GDDR6 6GB.

PROPIEDADES DEL ESTUDIO	
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático - Intel Sparse
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Desactivar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar

INFORMACION DE LA MALLA	
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	40 mm
Tamaño mínimo del elemento	10 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	132435
Número total de elementos	242452
Número de grados de libertad	794126
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:07



5.7. RESULTADOS GRAFICOS CASO REAL

5.7.1. Hipótesis 1: Uso normal – En movimiento

5.7.1.1. Tensiones

5.7.1.1.1. Carga descentrada en el eje X

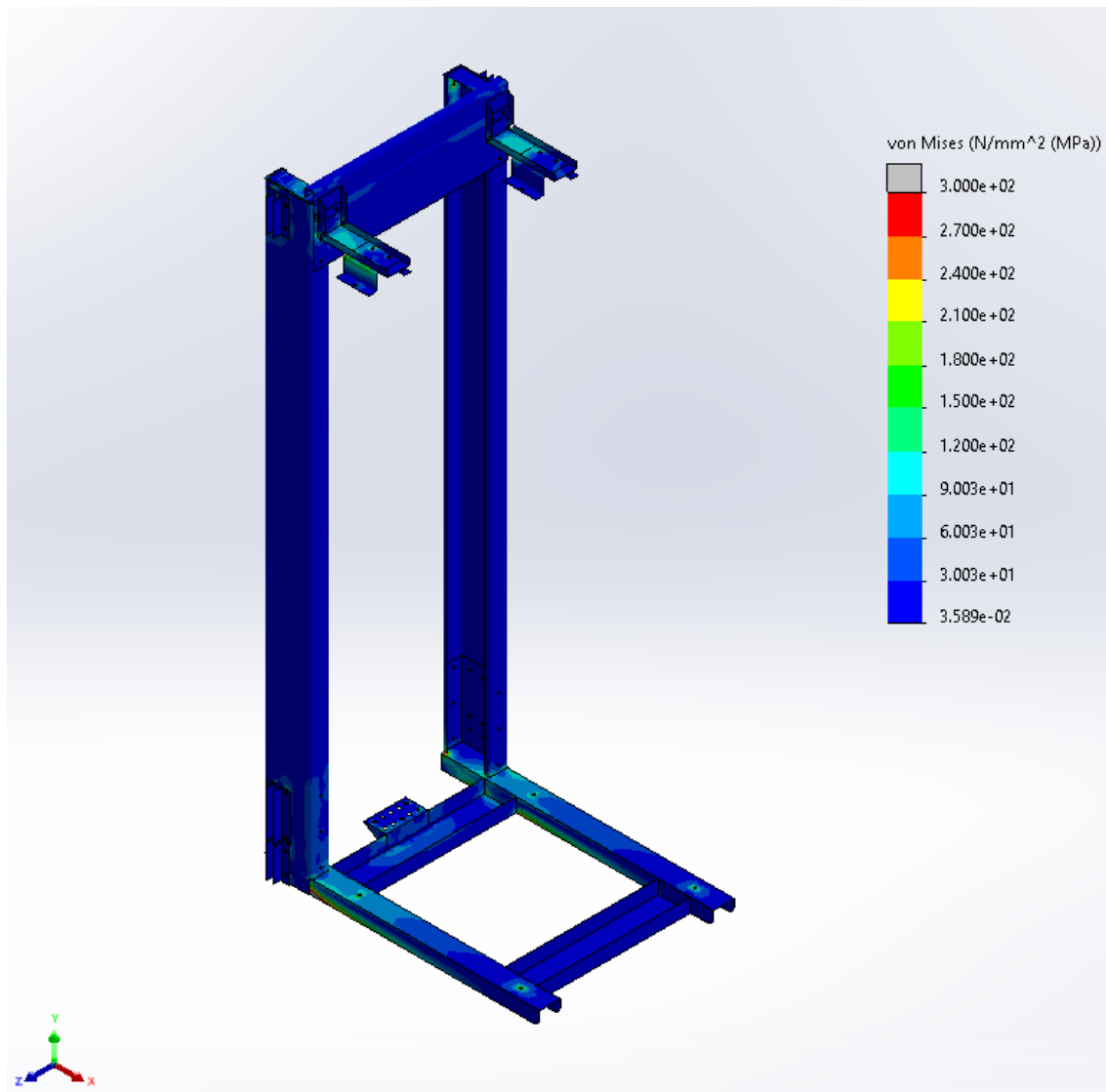


Ilustración 97 Tensiones (MPa) Conjunto total Q descentrada eje X Hipótesis 1

Escala de deformación: 19.8413
Valor global: 0.143704 a 565.026 N/mm² (MPa)

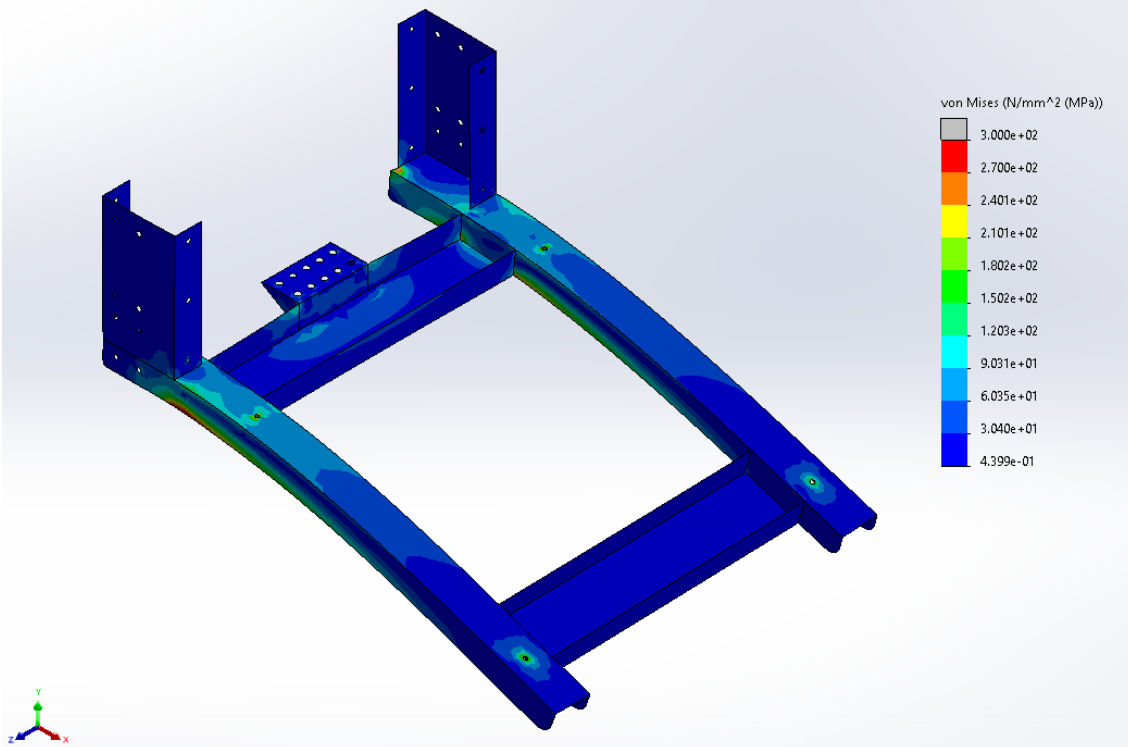


Ilustración 98 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje X Hipótesis 1

Escala de deformación: 19.8413
Valor global: 0.143704 a 565.026 N/mm² (MPa)

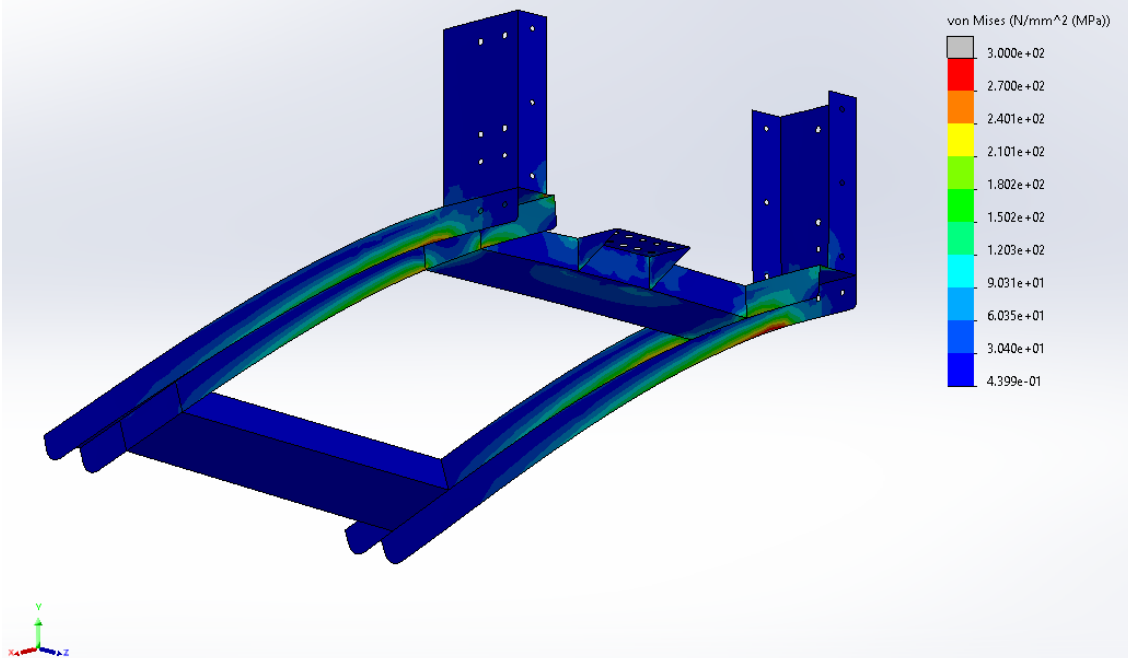


Ilustración 99 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje X Hipótesis 1

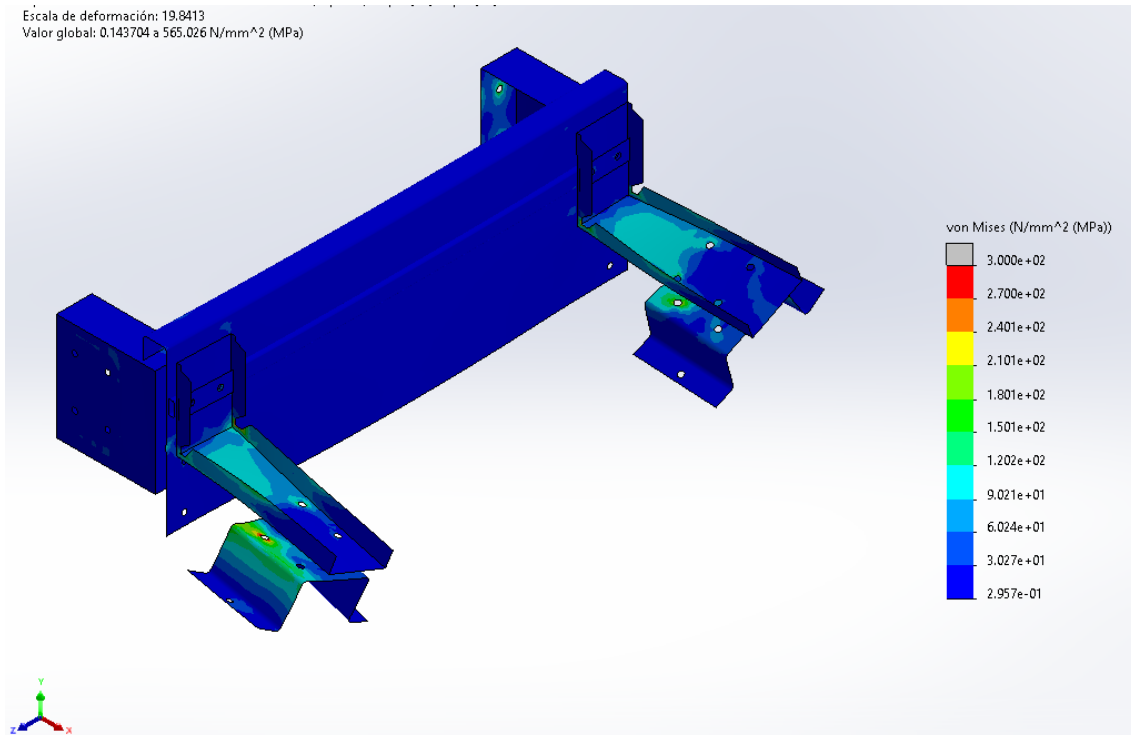


Ilustración 100 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje X Hipótesis 1

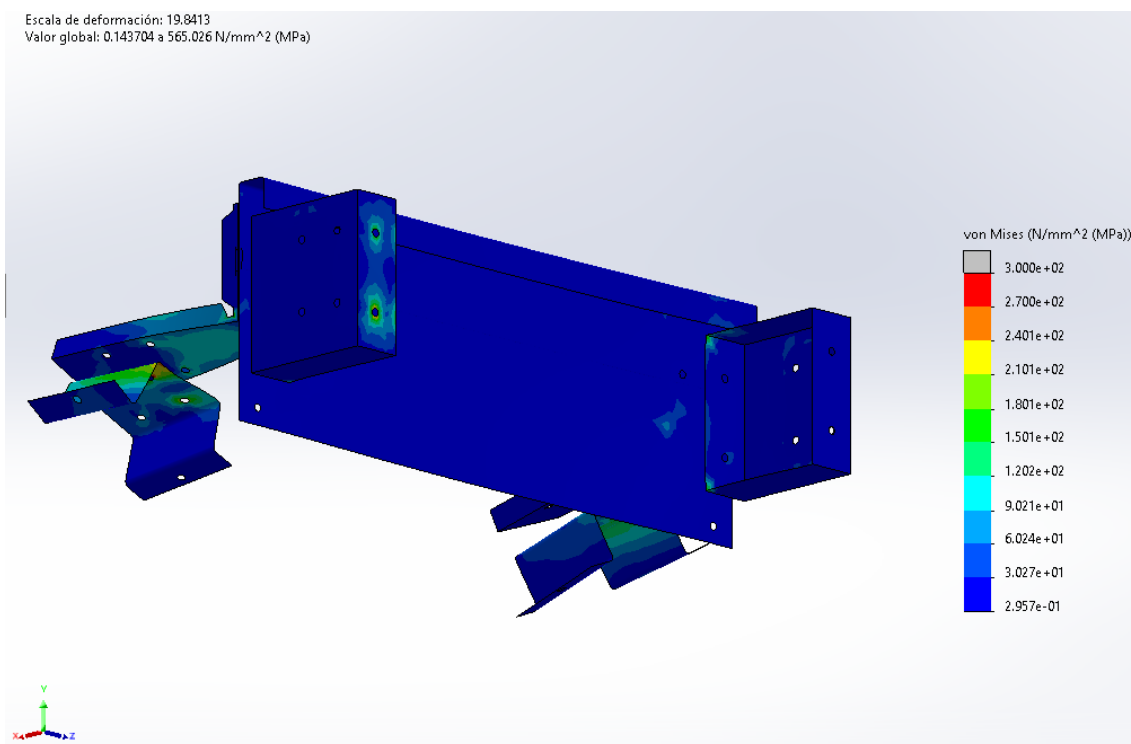


Ilustración 101 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje X Hipótesis 1

5.7.1.1.2. Carga descentrada en el eje Z

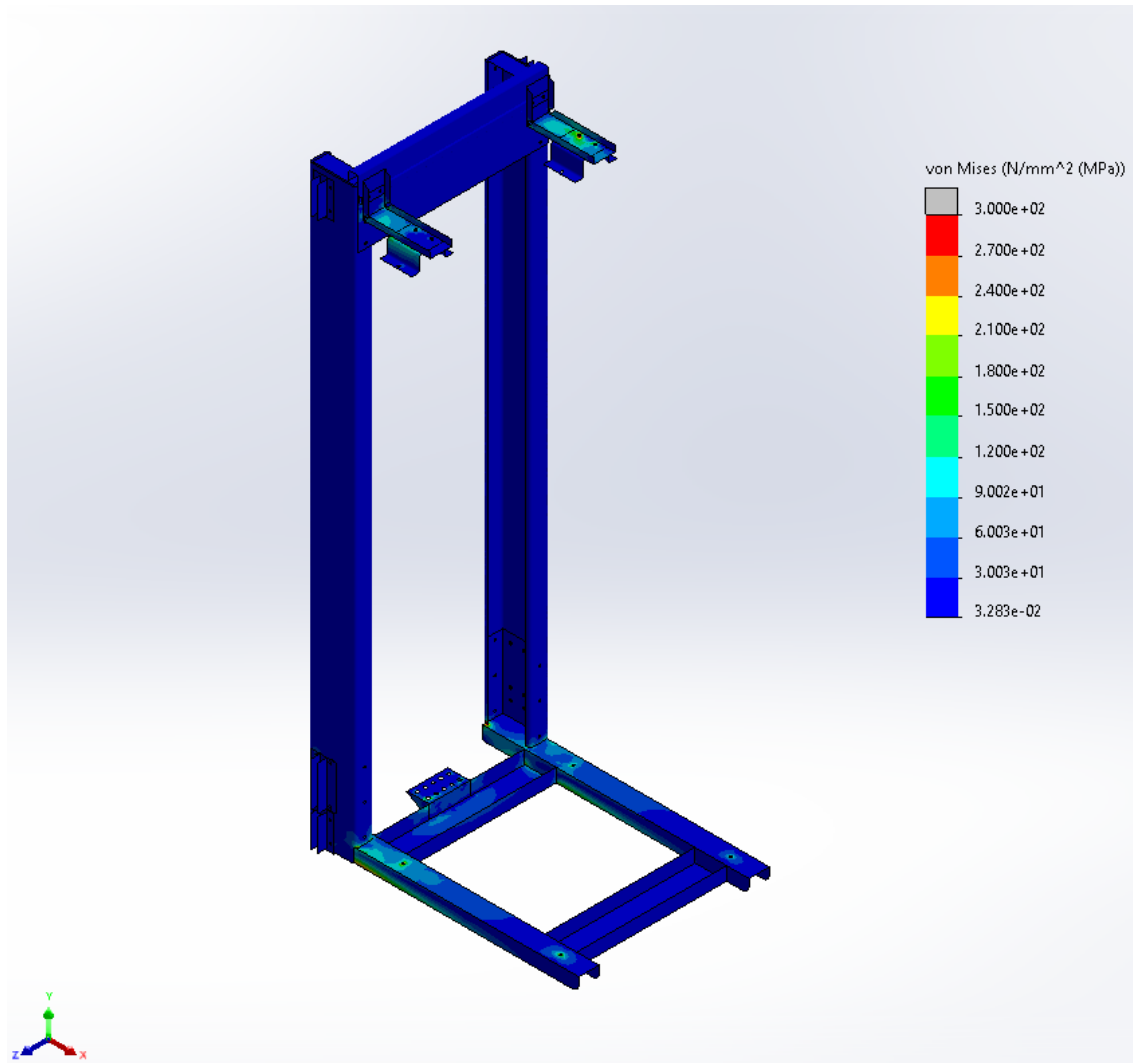


Ilustración 102 Tensiones (MPa) Conjunto total Q descentrada eje Z Hipótesis 1

Escala de deformación: 22.3091
Valor global: 0.0328288 a 735.244 N/mm² (MPa)

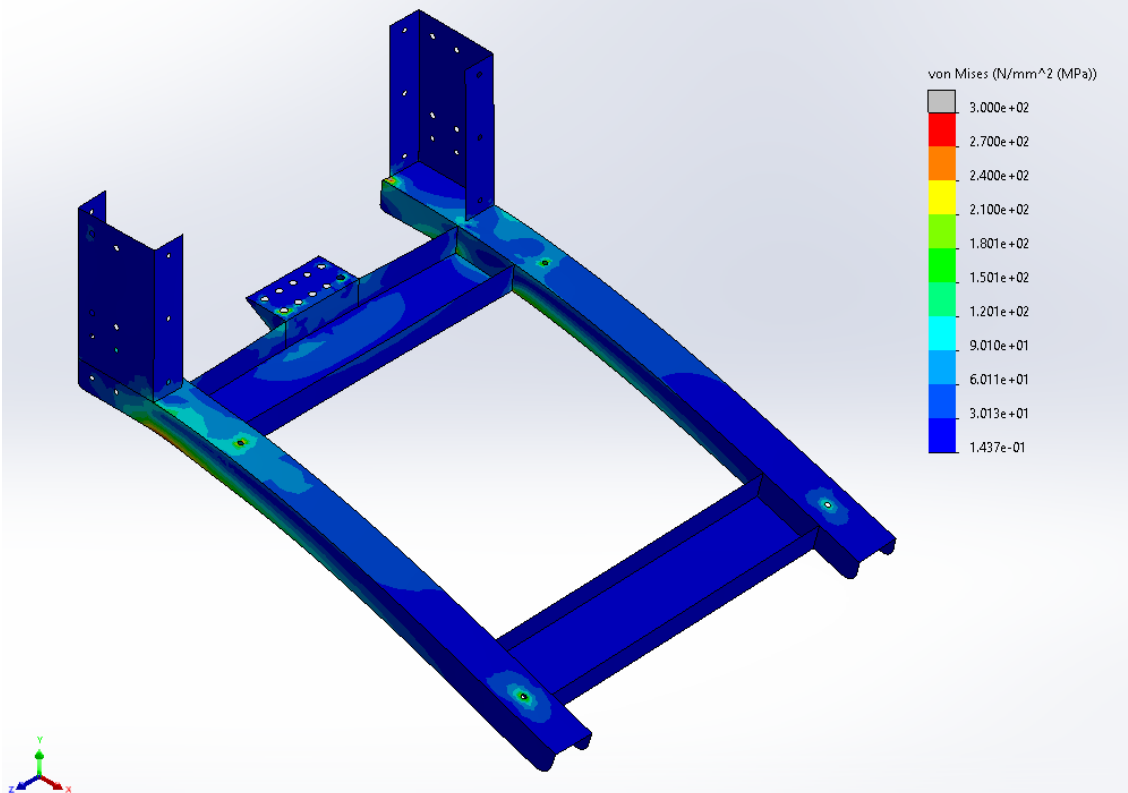


Ilustración 103 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje Z Hipótesis 1

Escala de deformación: 22.3091
Valor global: 0.0328288 a 735.244 N/mm² (MPa)

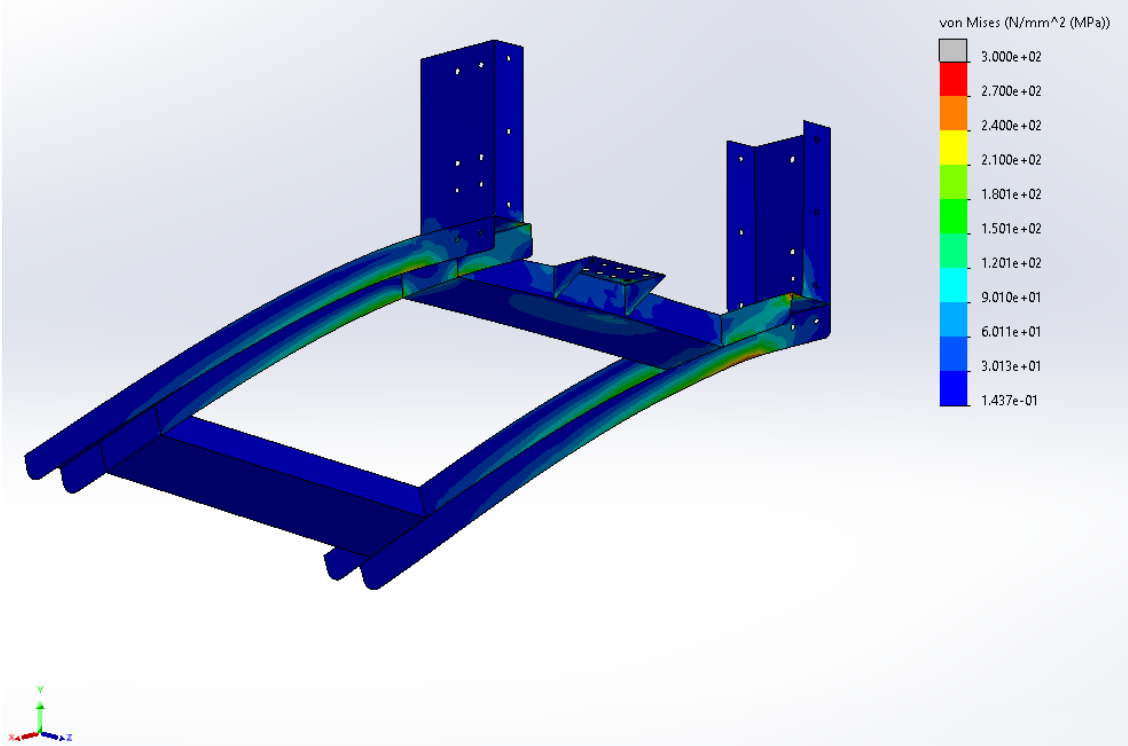


Ilustración 104 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje Z Hipótesis 1

Escala de deformación: 22.3091
Valor global: 0.0328288 a 735.244 N/mm² (MPa)

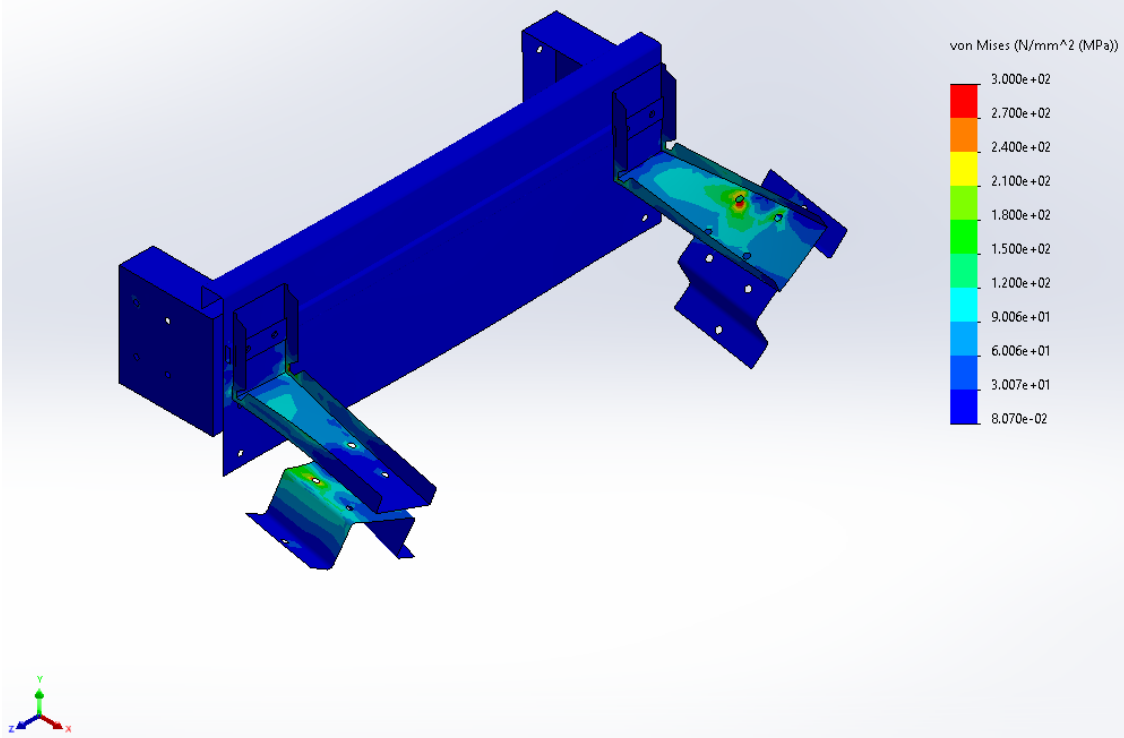


Ilustración 105 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje Z Hipótesis 1

Escala de deformación: 22.3091
Valor global: 0.0328288 a 735.244 N/mm² (MPa)

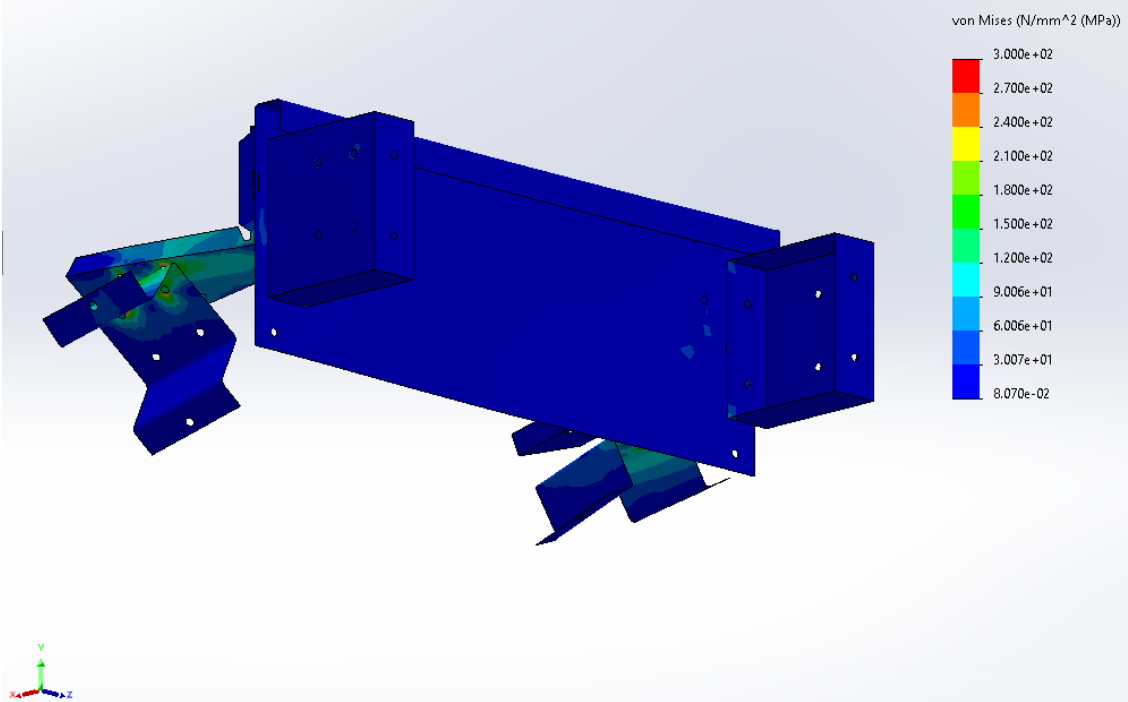


Ilustración 106 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje Z Hipótesis 1

5.7.1.2. Desplazamientos

5.7.1.2.1. Carga descentrada en el eje X

Escala de deformación: 19,8413

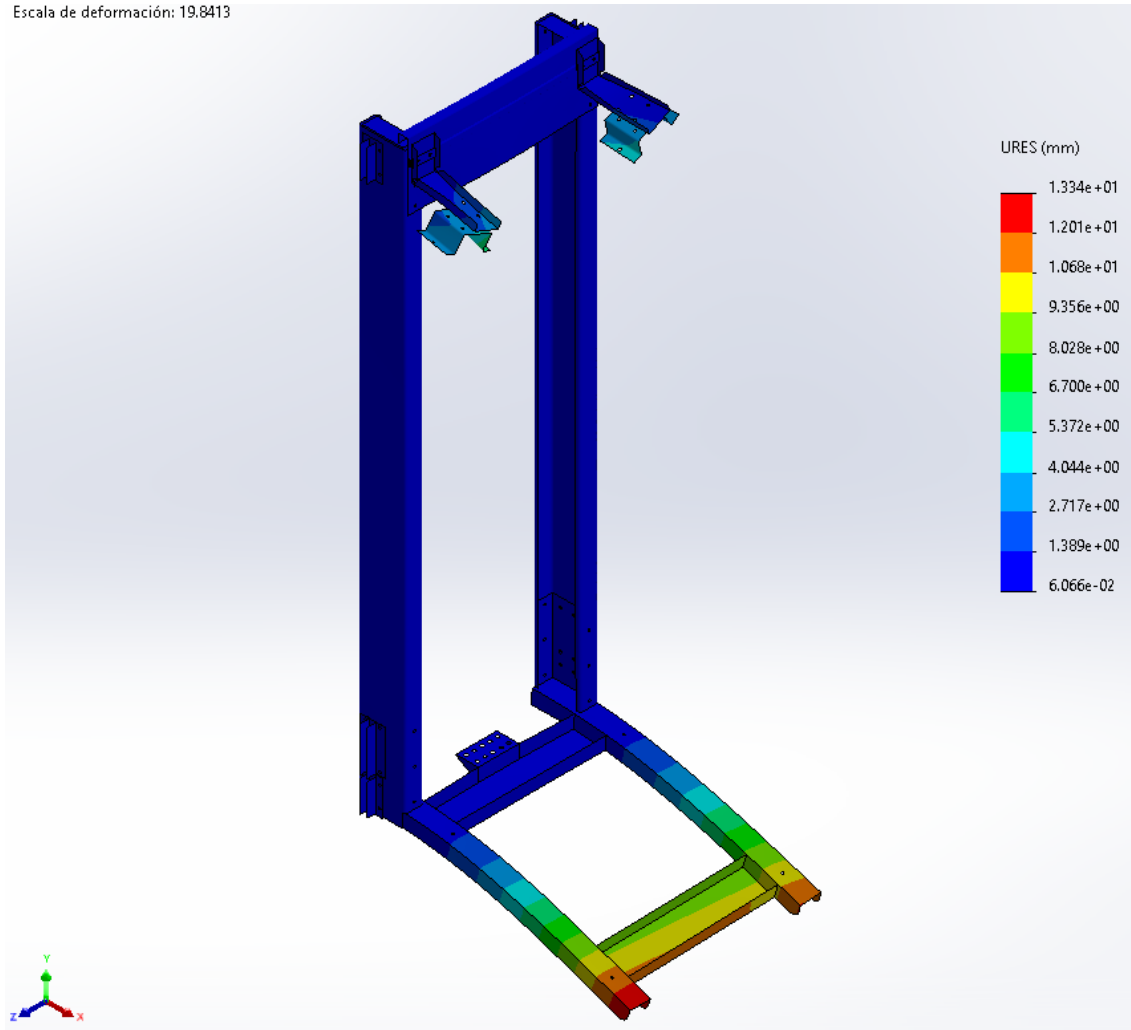


Ilustración 107 Desplazamientos URES (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 1

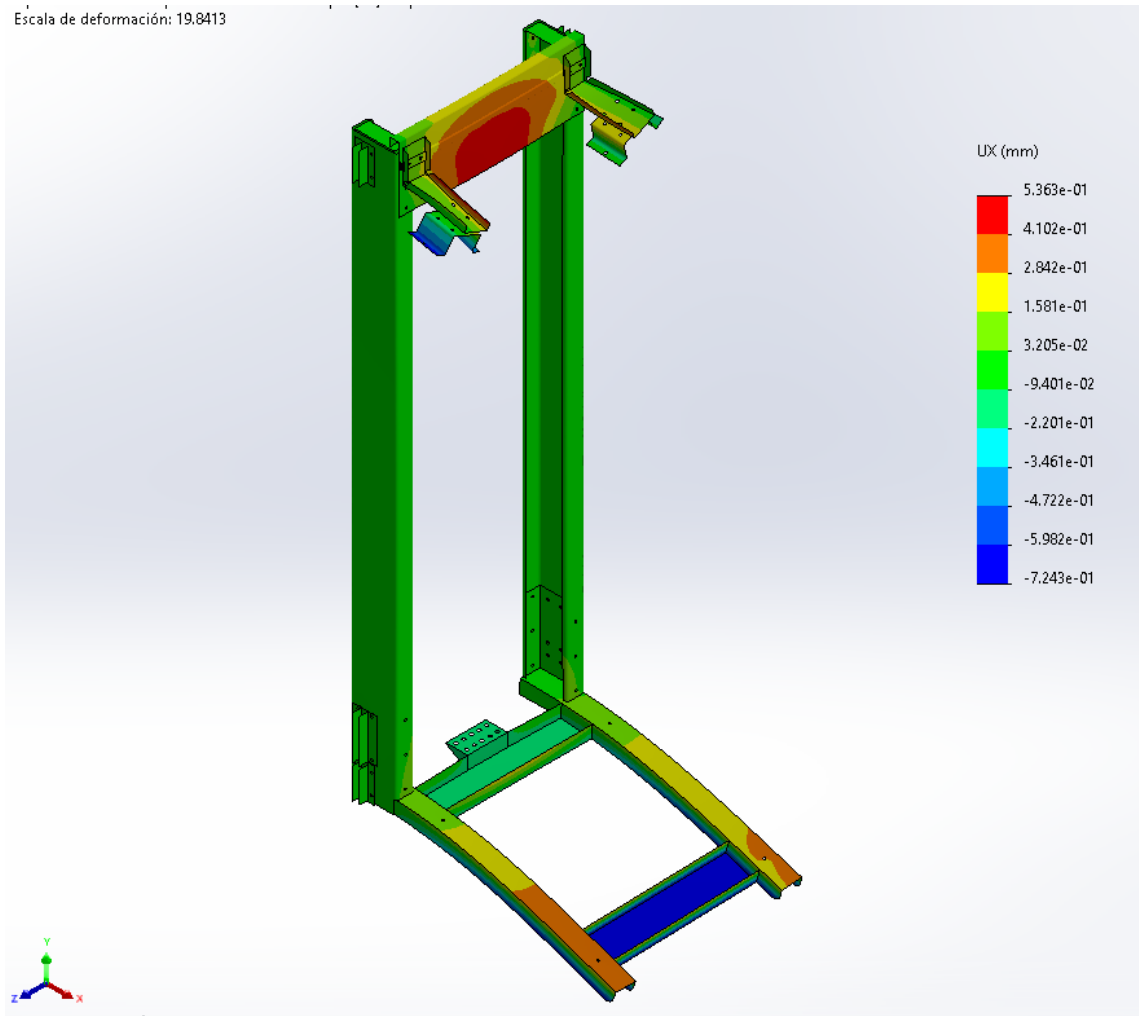


Ilustración 108 Desplazamientos U_x (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 1

Escala de deformación: 19.8413

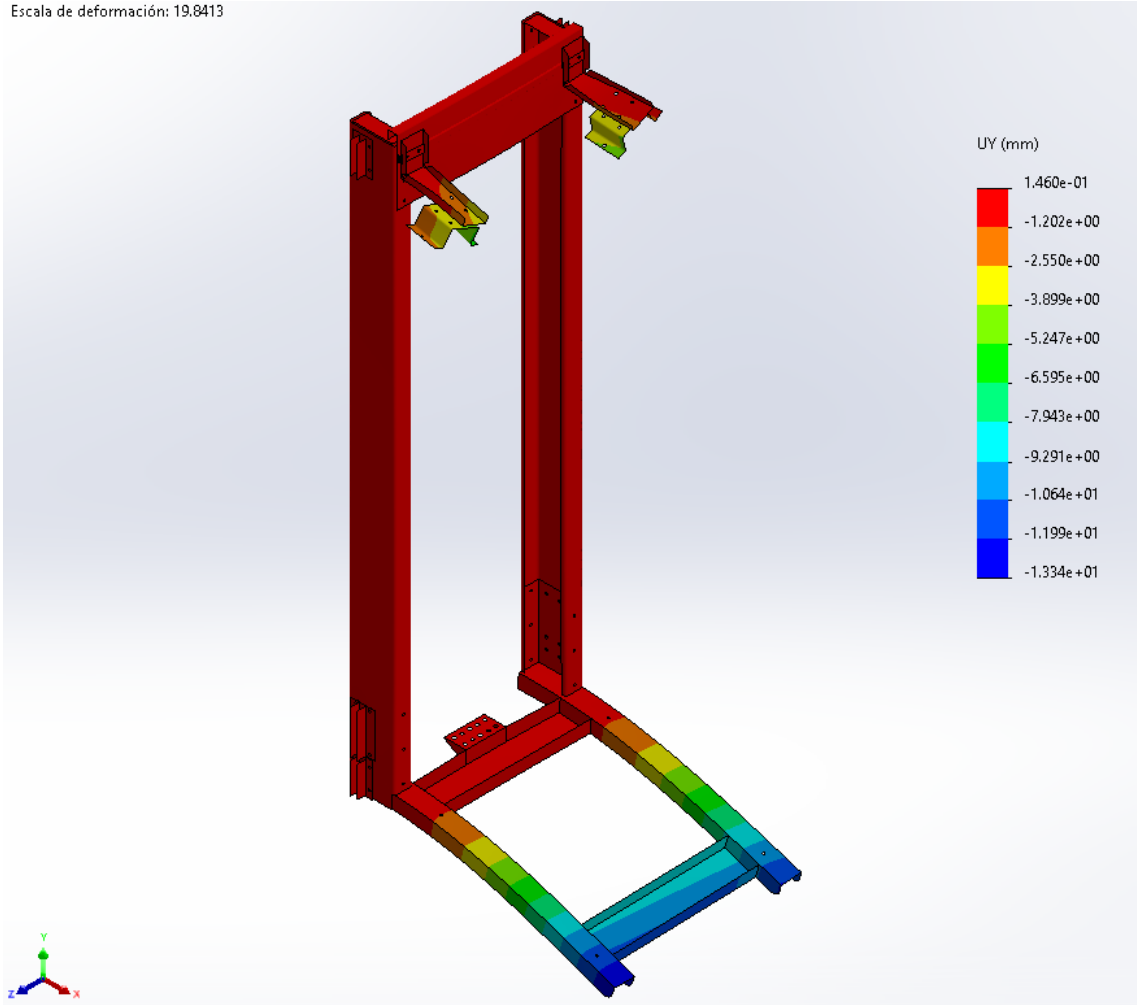


Ilustración 109 Desplazamientos Uy (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 1

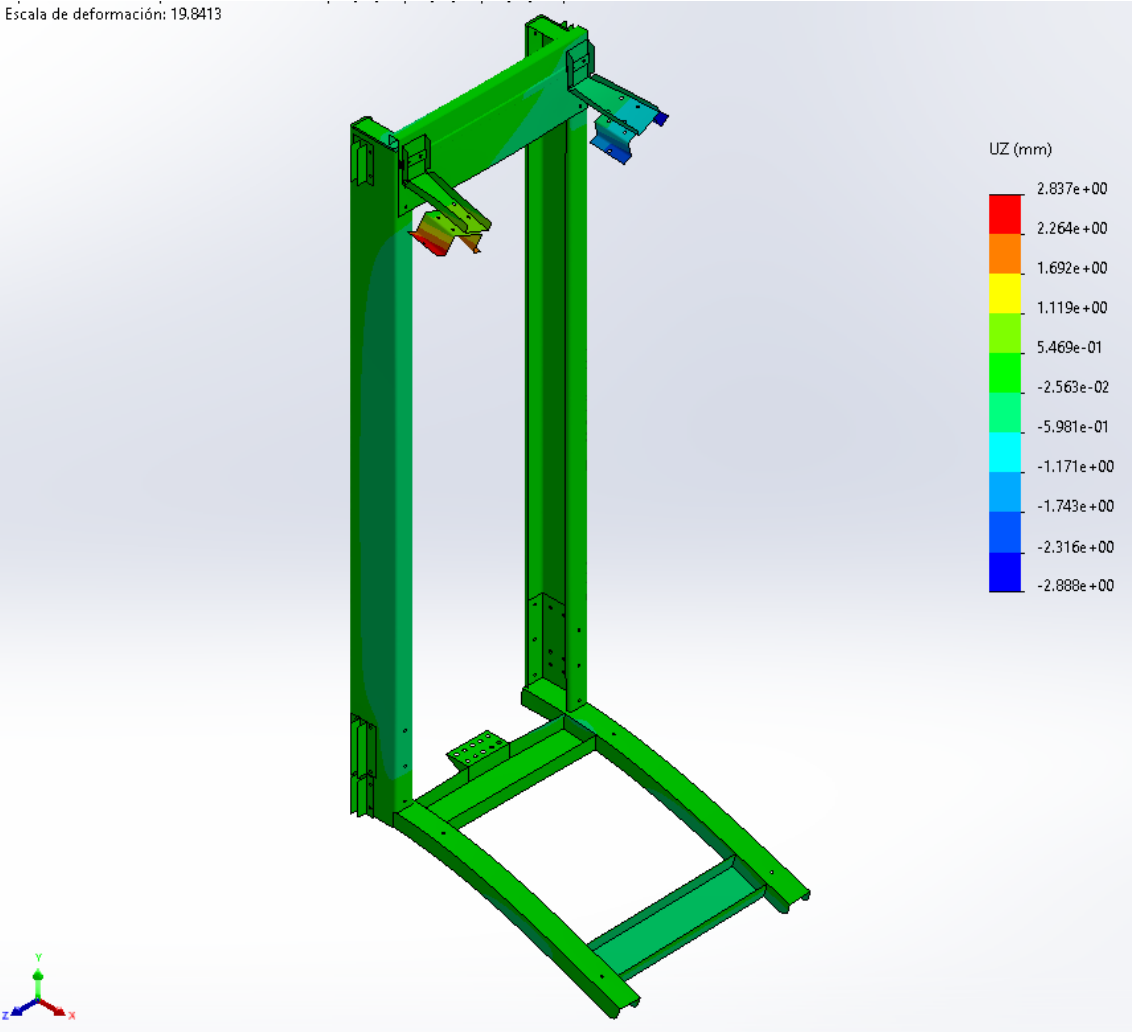


Ilustración 110 Desplazamientos U_z (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 1

5.7.1.2.2. Carga descentrada en el eje Z

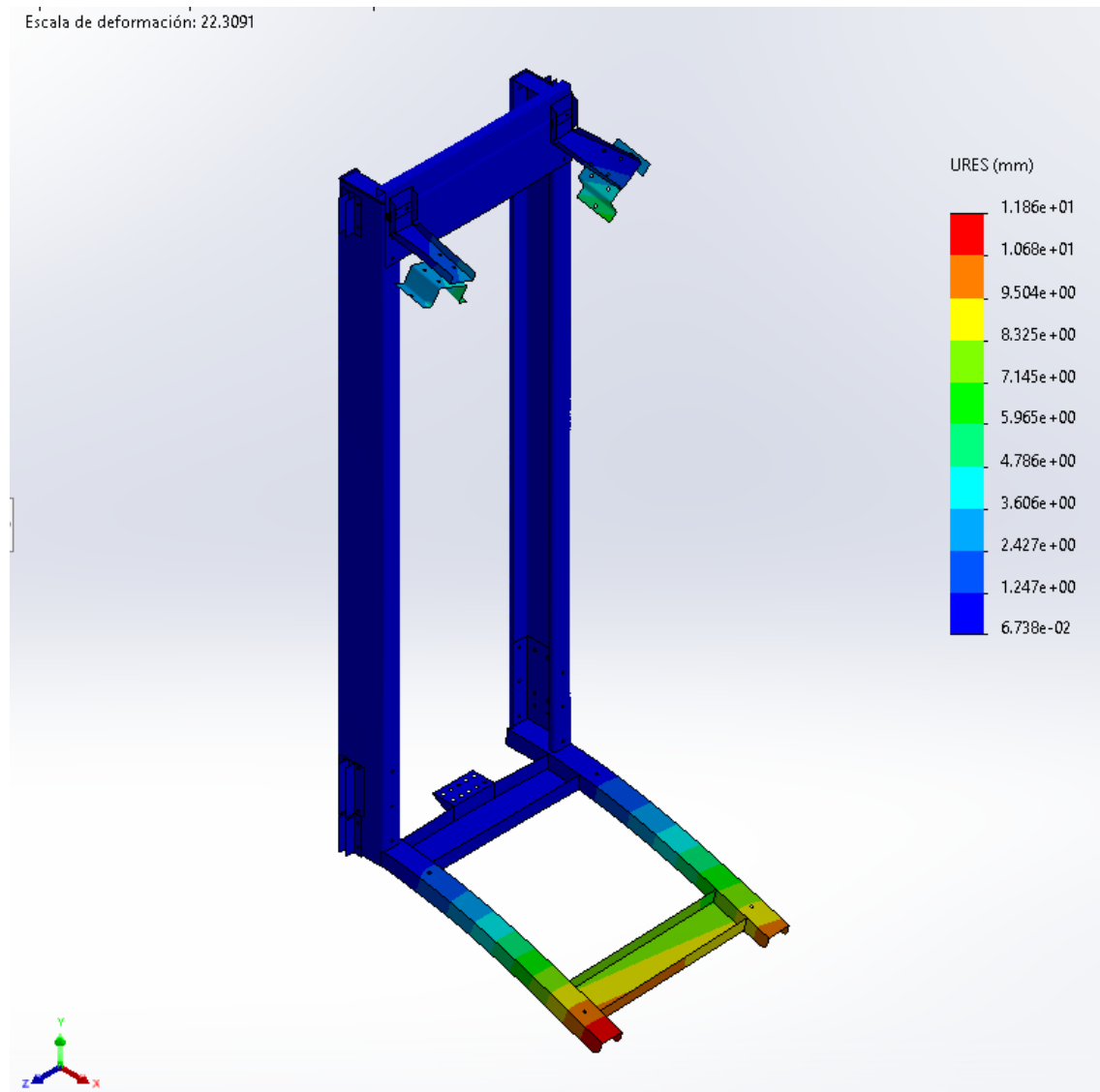


Ilustración 111 Desplazamientos URES (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 1

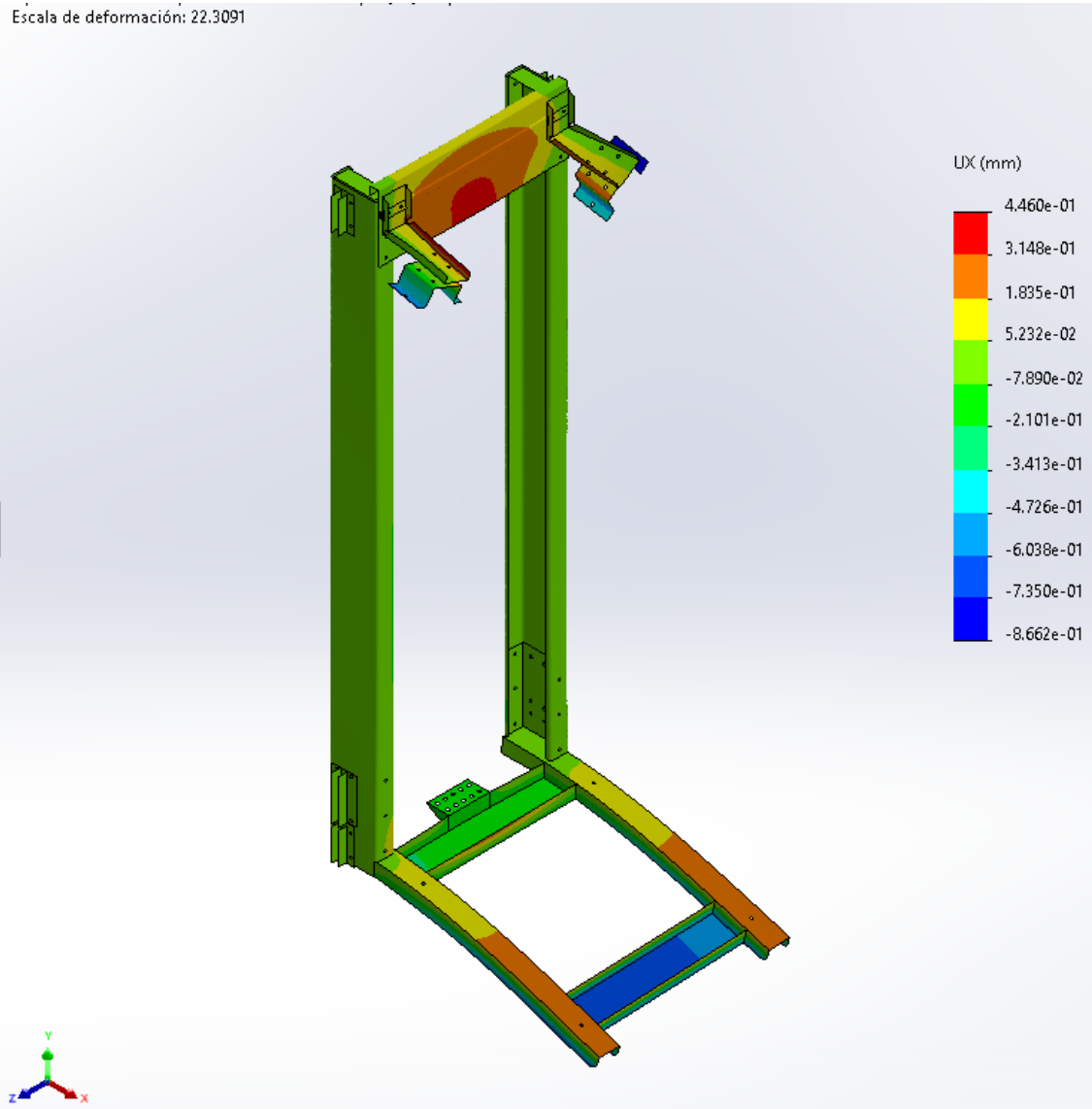


Ilustración 112 Desplazamientos U_x (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 1

Escala de deformación: 22.3091

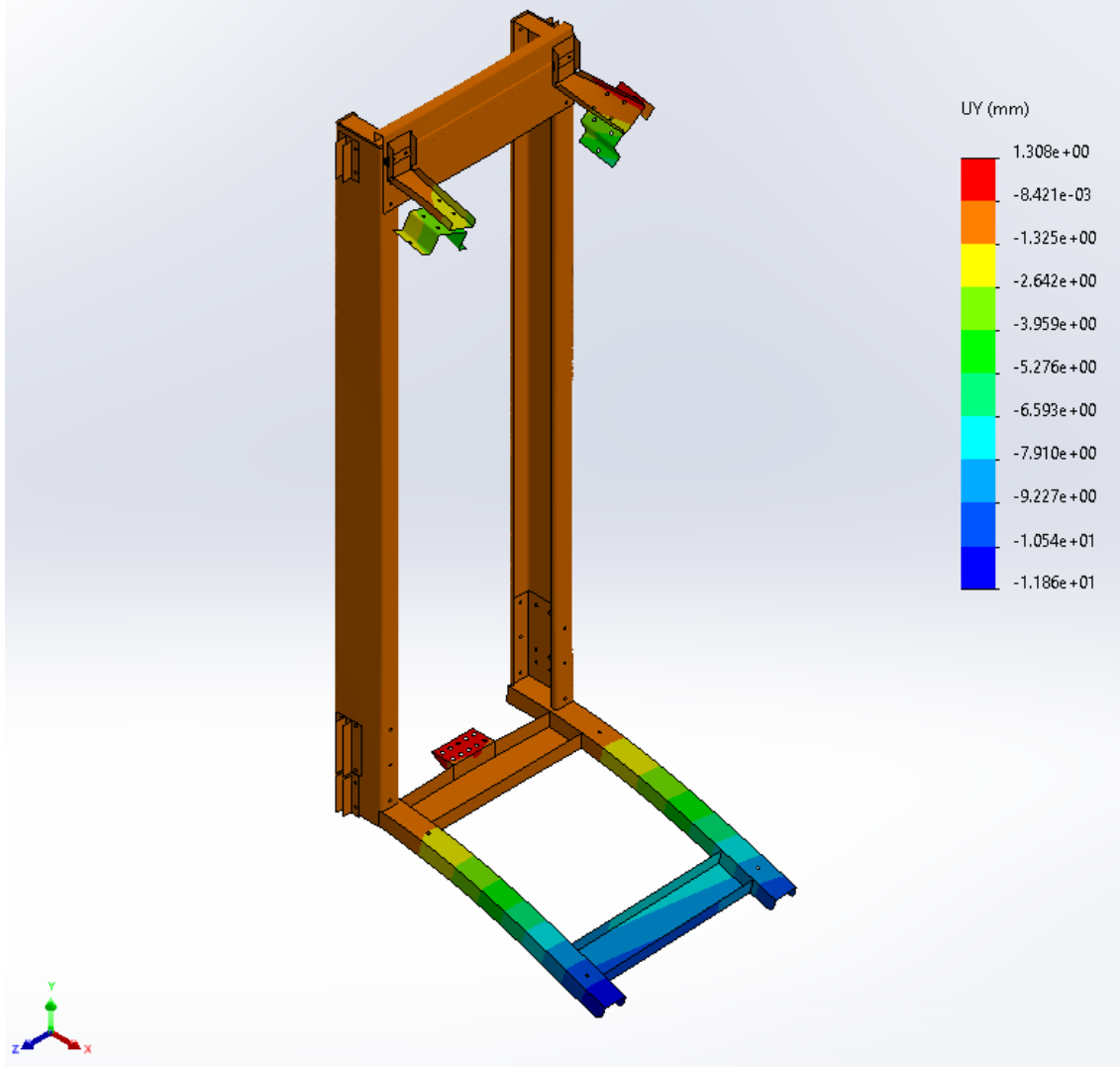


Ilustración 113 Desplazamientos U_y (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 1

Escala de deformación: 22.3091

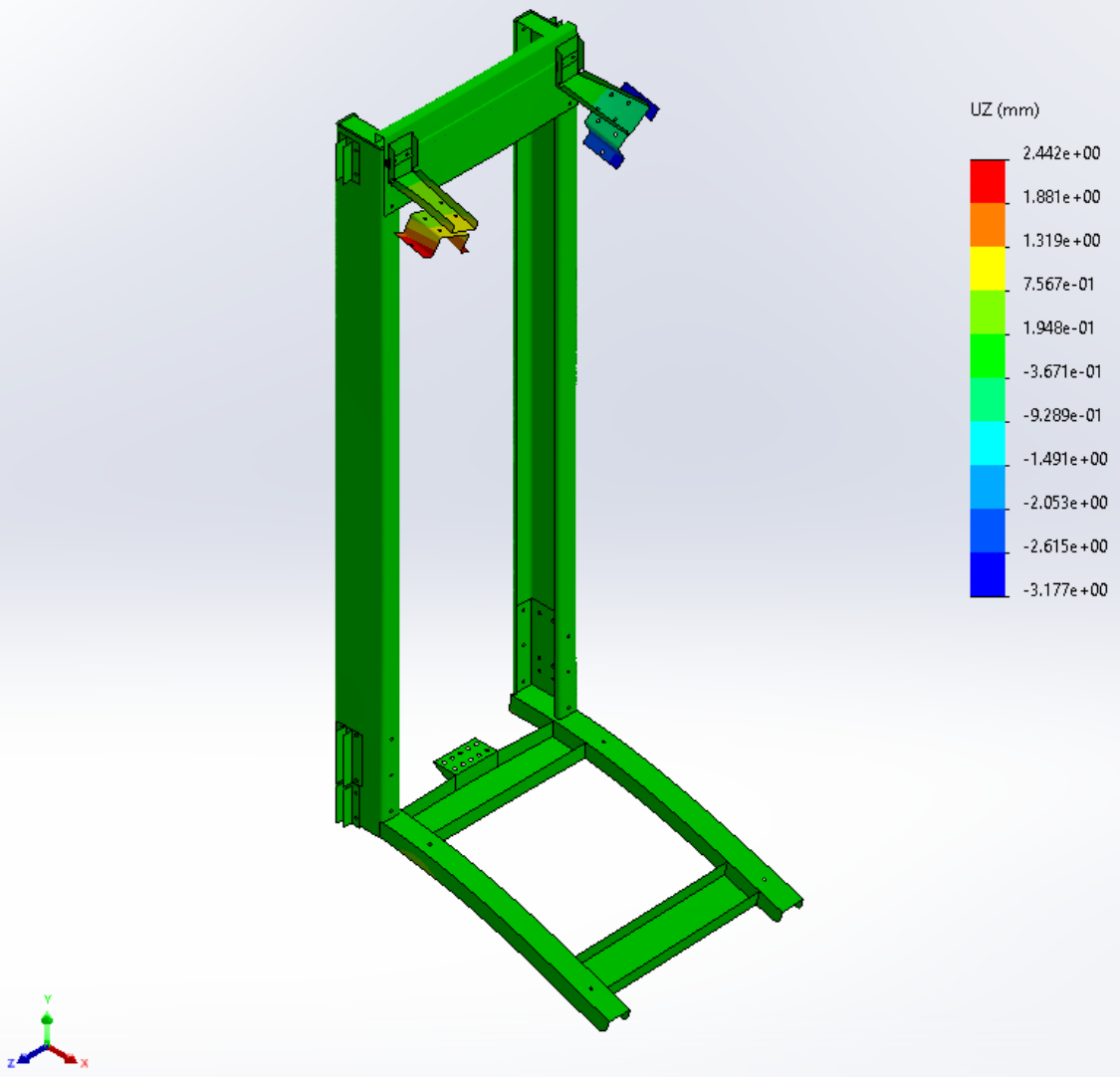


Ilustración 114 Desplazamientos U_z (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 1

5.9.2. Hipótesis 2: Uso normal – Carga y descarga

5.7.1.3. Tensiones

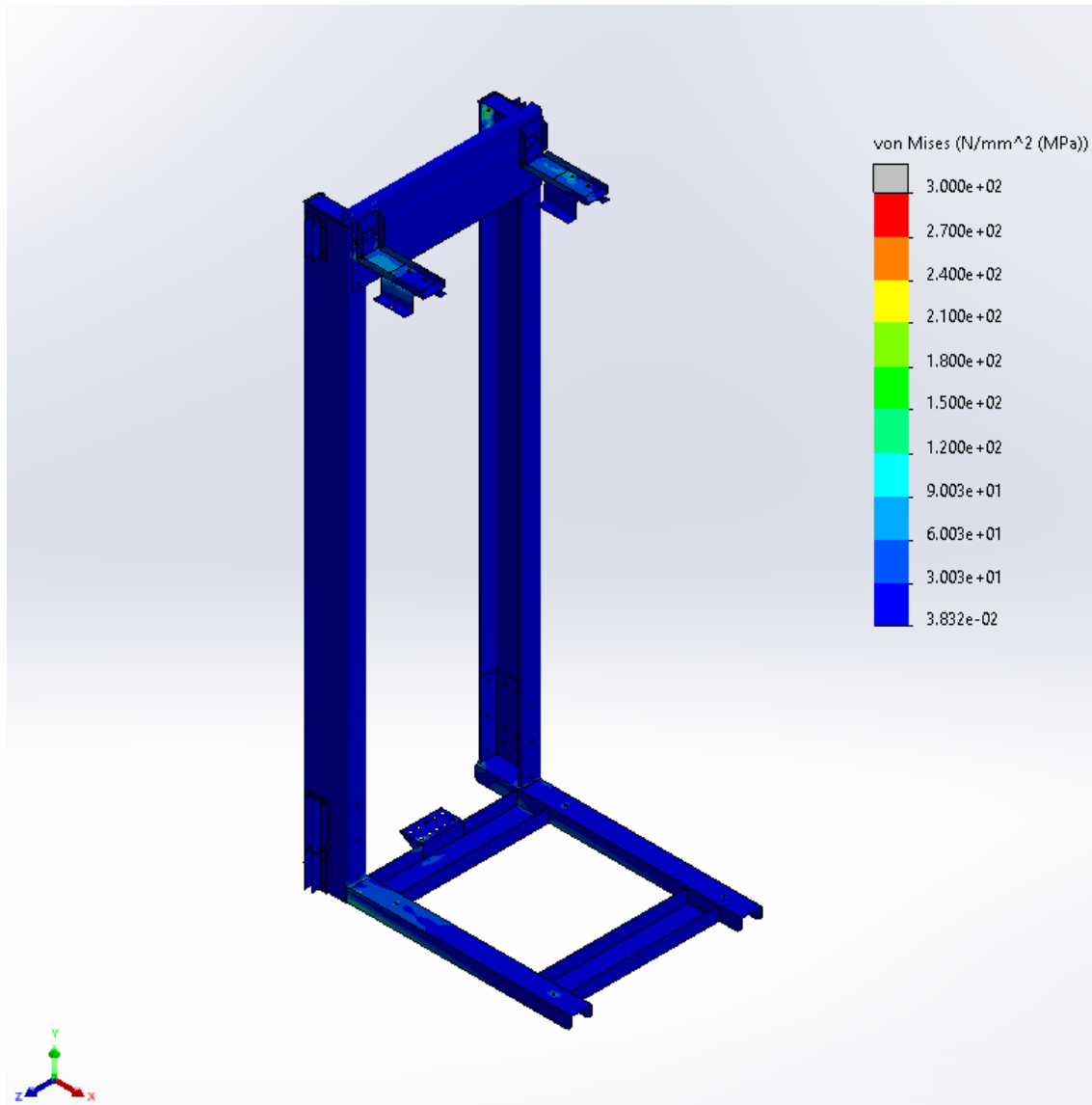


Ilustración 115 Tensiones (MPa) Hipótesis 2

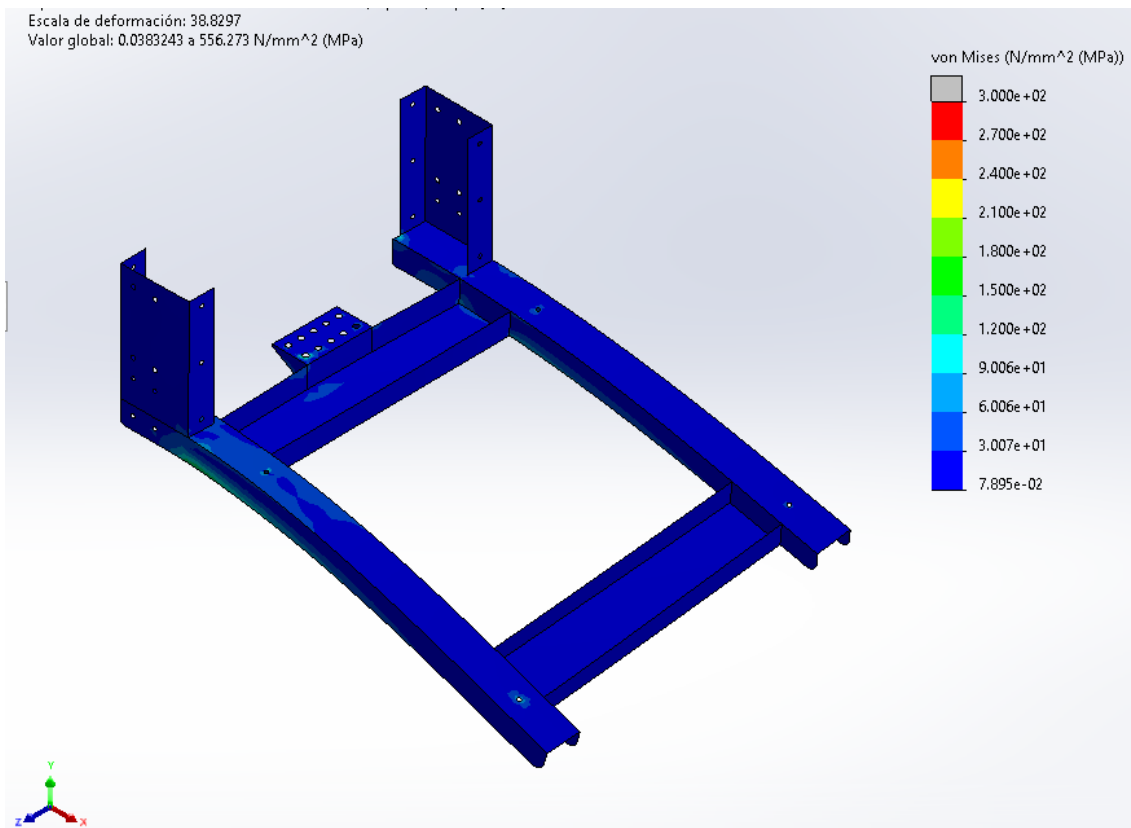


Ilustración 116 Tensiones (MPa) Hipótesis 2

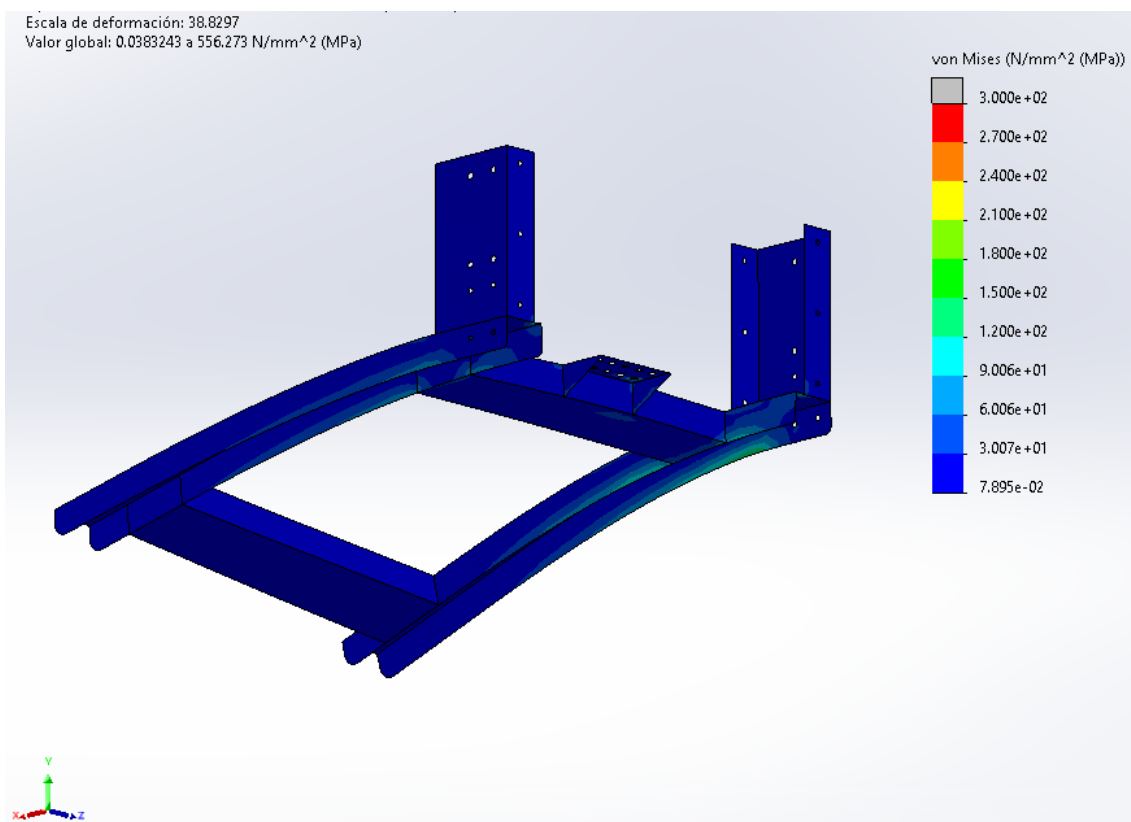


Ilustración 117 Tensiones (MPa) Hipótesis 2

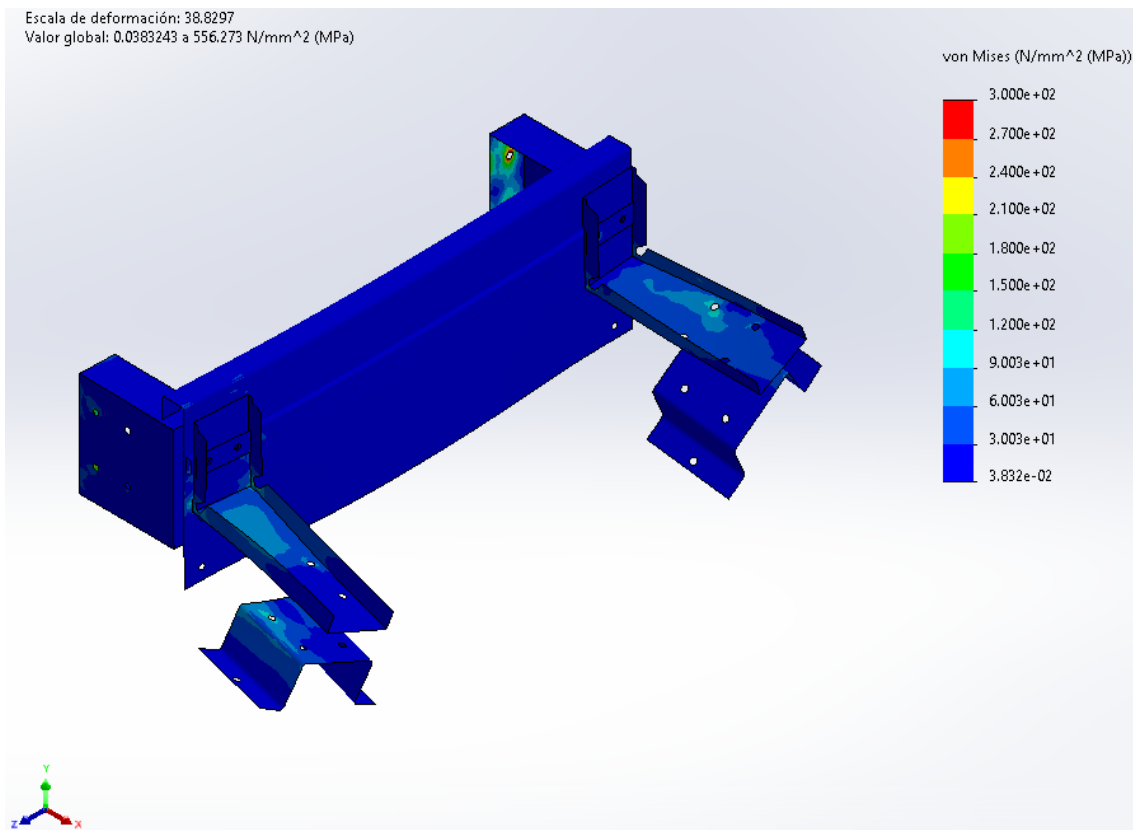


Ilustración 118 Tensiones (MPa) Hipótesis 2

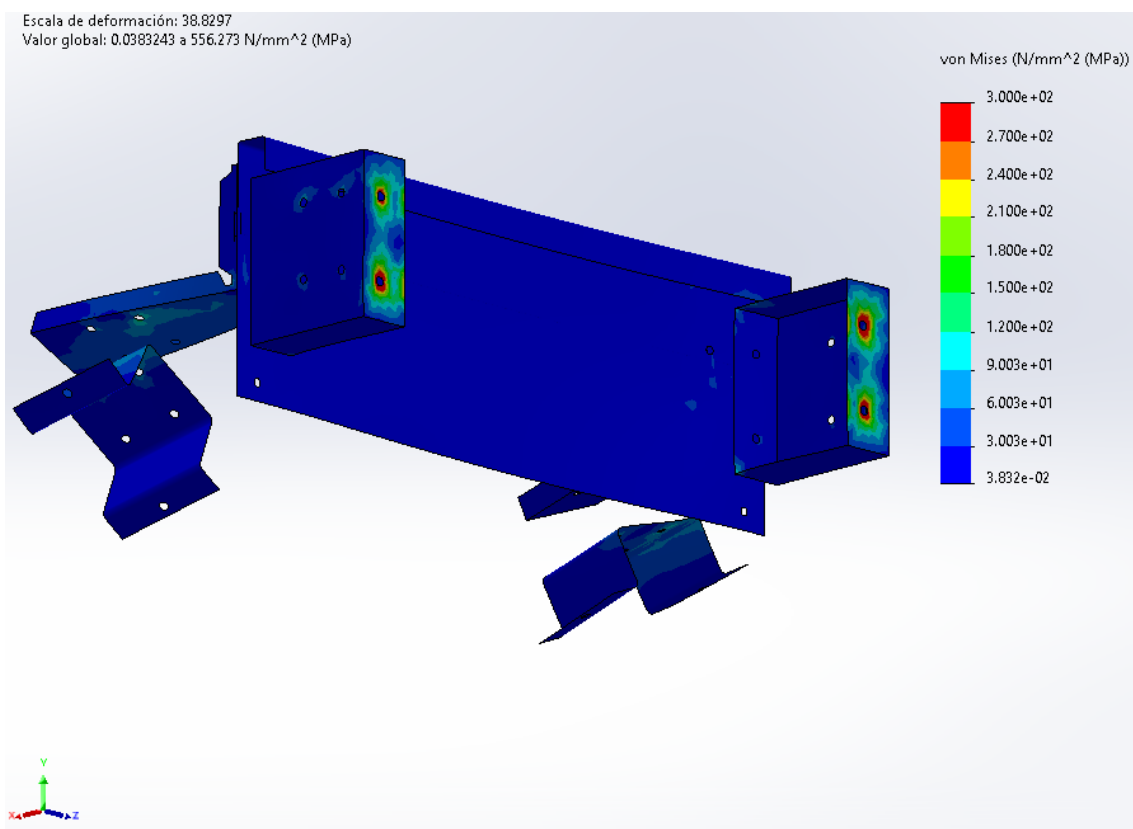


Ilustración 119 Tensiones (MPa) Hipótesis 2

5.7.1.4. Desplazamientos

Escala de deformación: 38.8297

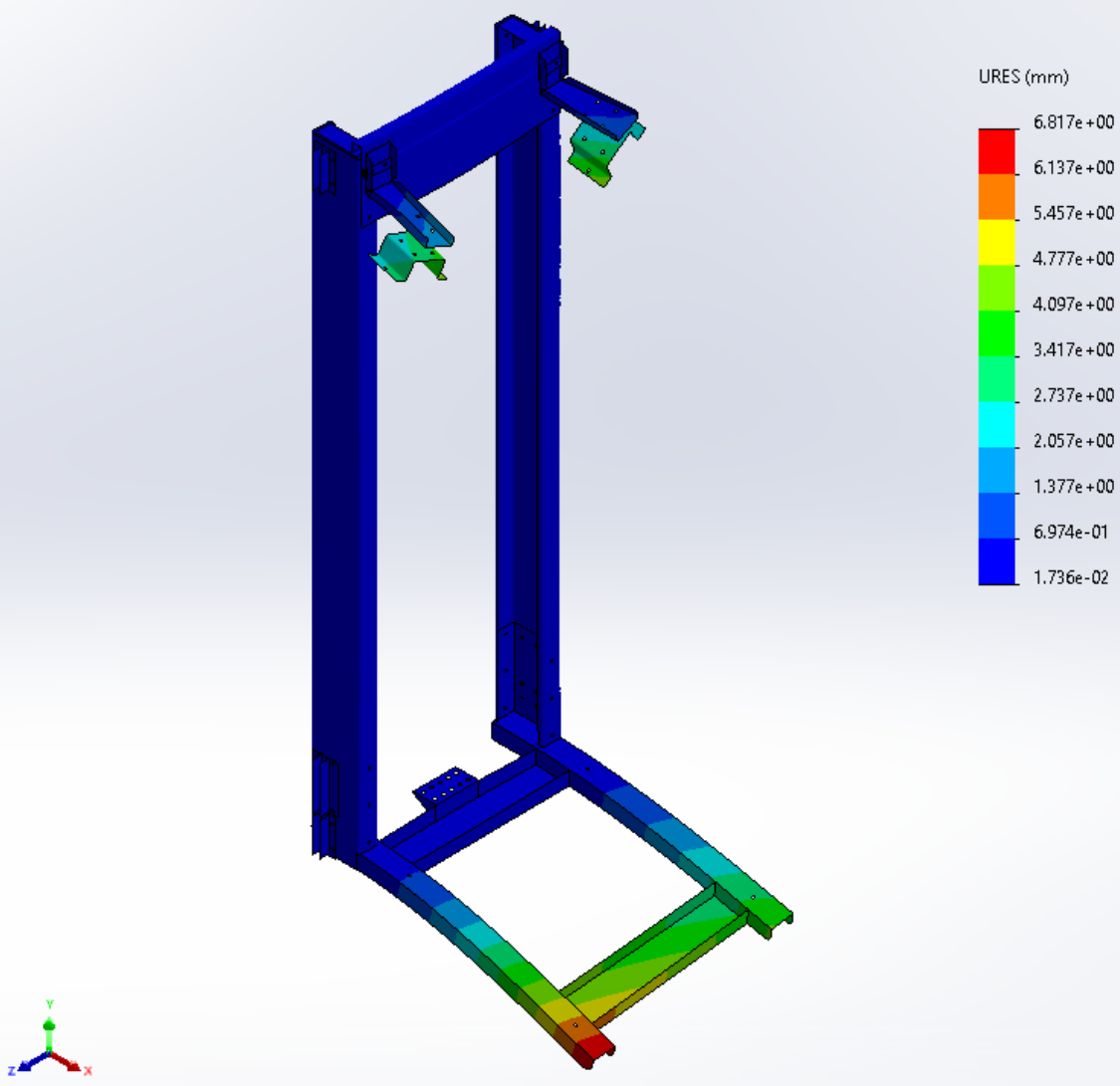


Ilustración 120 Desplazamientos URES (mm) Hipótesis 2

Escala de deformación: 38.8297

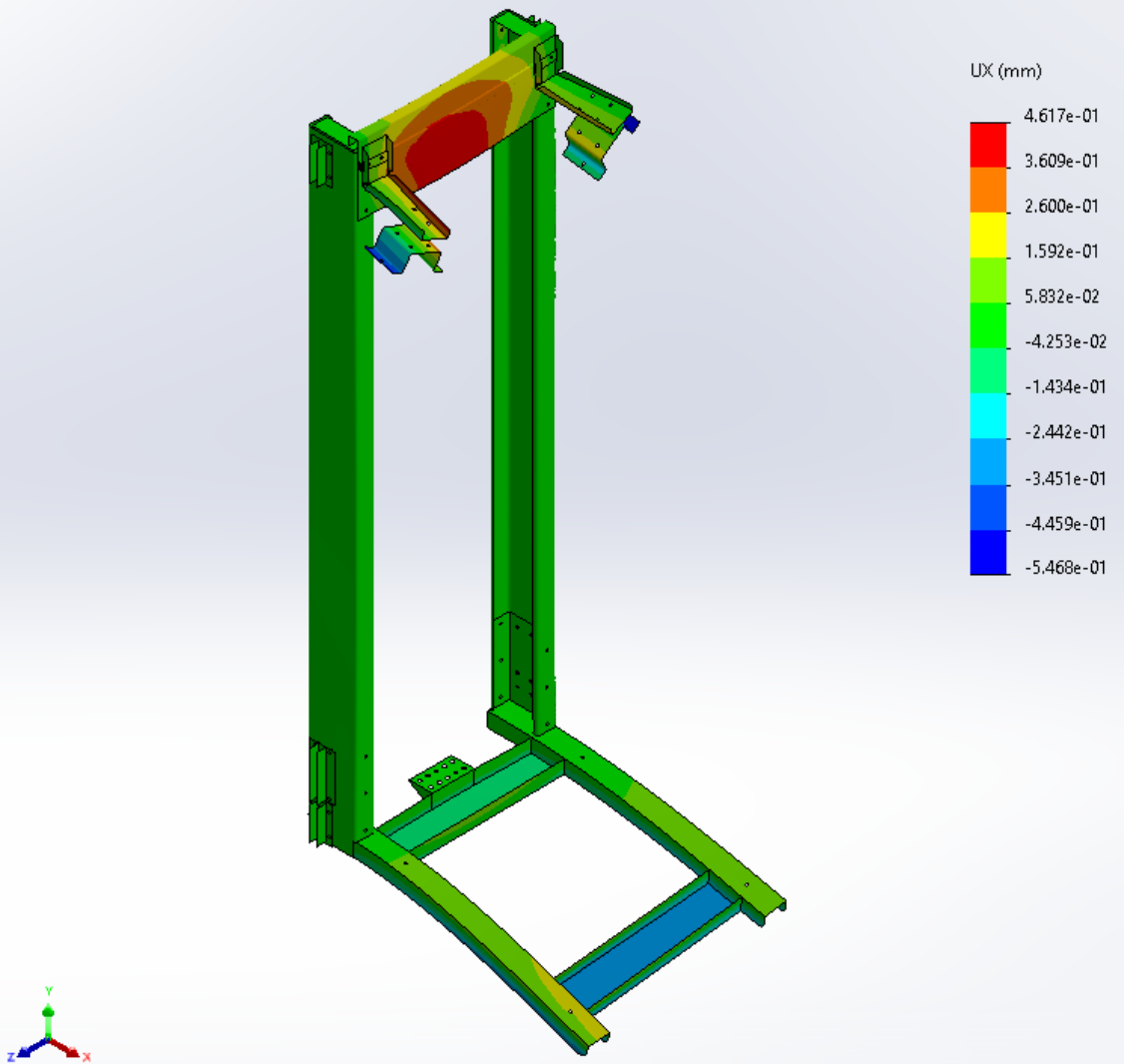


Ilustración 121 Desplazamientos Ux (mm) Hipótesis 2

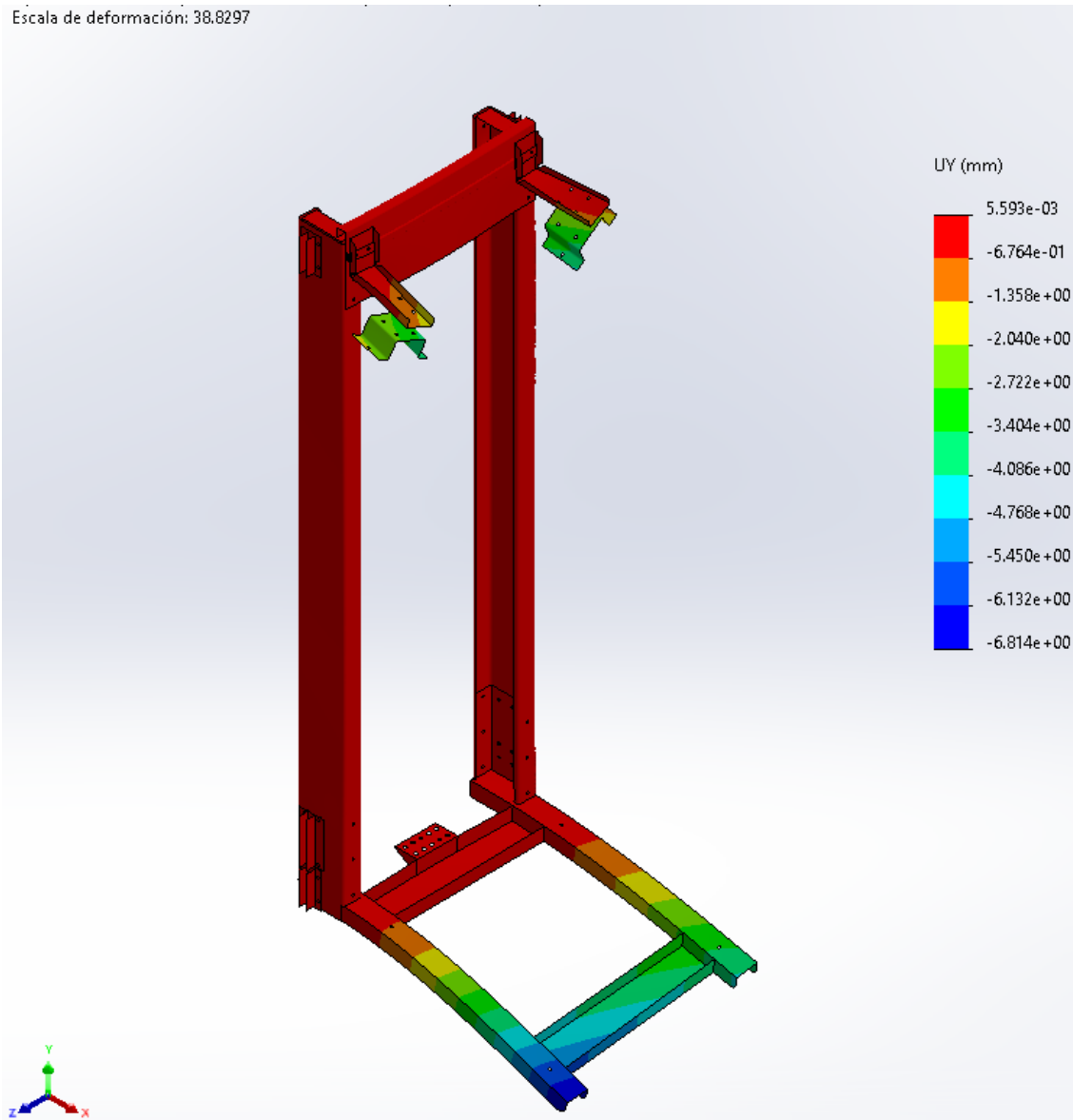


Ilustración 122 Desplazamientos Uy (mm) Hipótesis 2

Escala de deformación: 38.8297

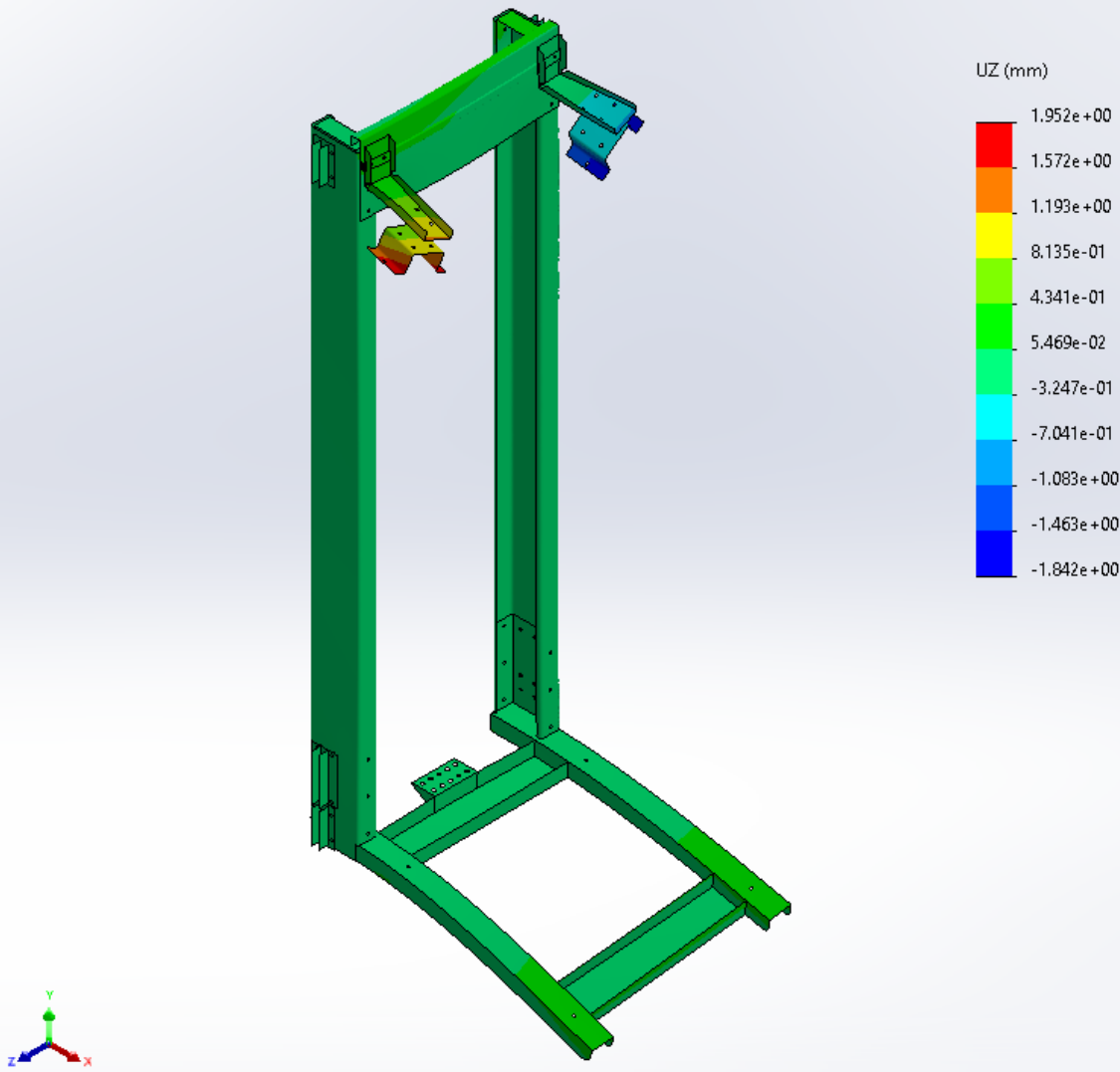


Ilustración 123 Desplazamientos Uz (mm) Hipótesis 2

5.7.2. Hipótesis 3: Actuación del dispositivo de seguridad

5.7.1.5. Tensiones

5.7.1.5.1. Carga descentrada en el eje X

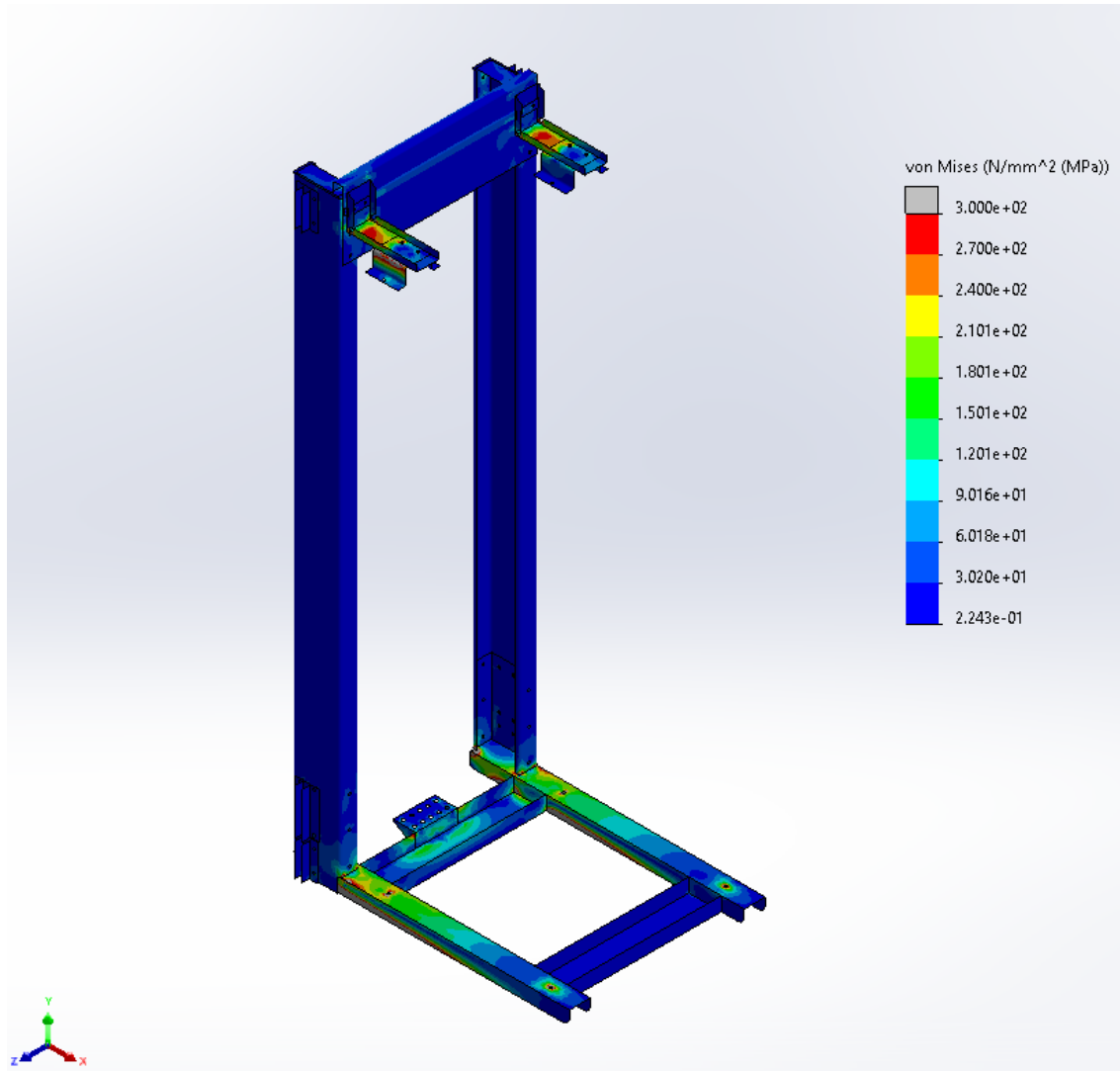


Ilustración 124 Tensiones (MPa) Conjunto total Q descentrada eje X Hipótesis 3

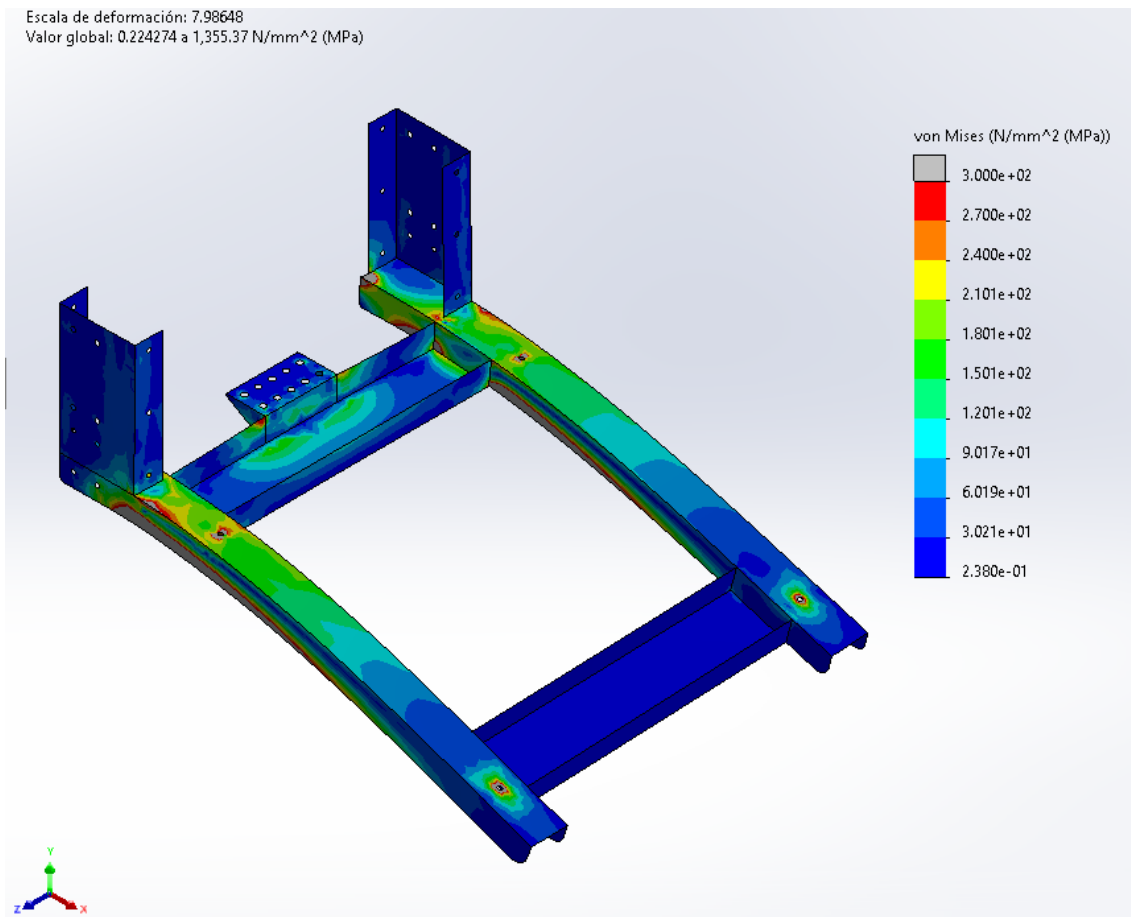


Ilustración 125 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje X Hipótesis 3

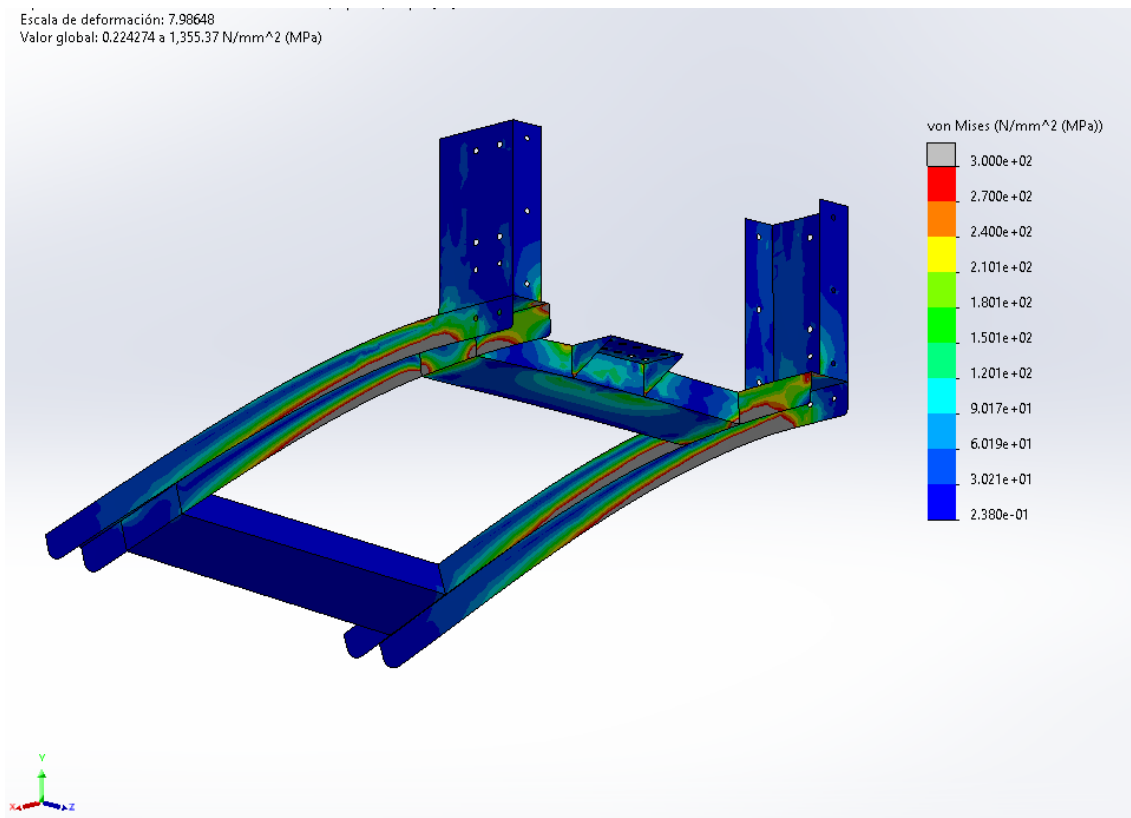


Ilustración 126 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje X Hipótesis 3

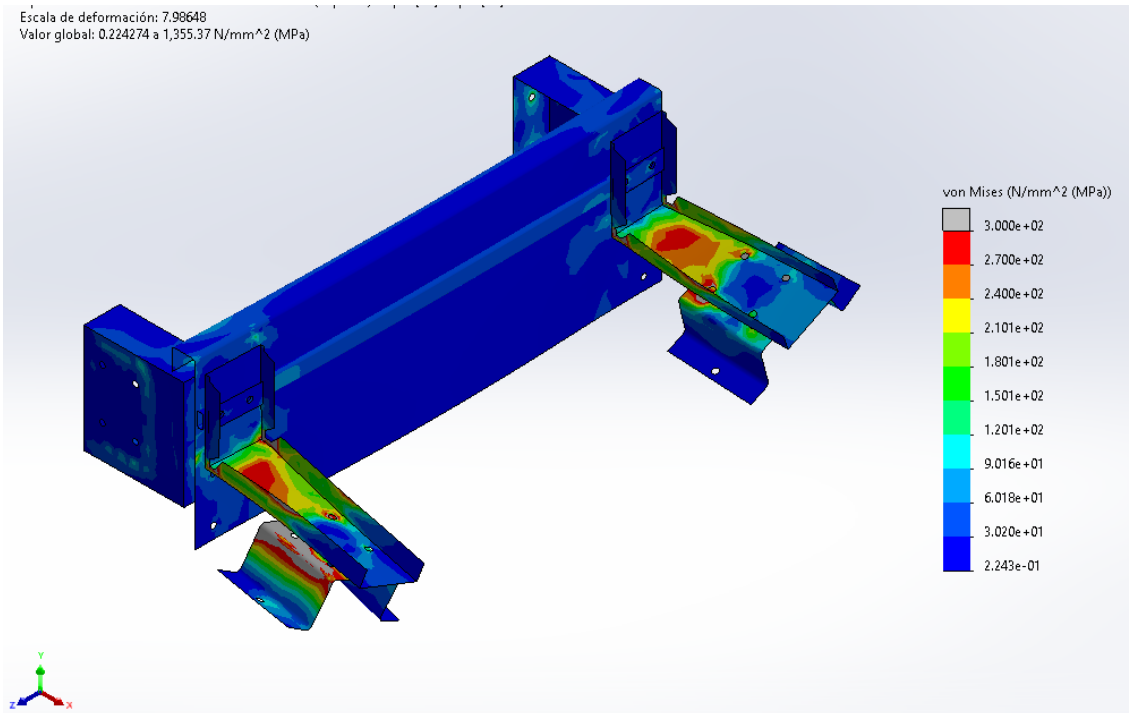


Ilustración 127 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje X Hipótesis 3

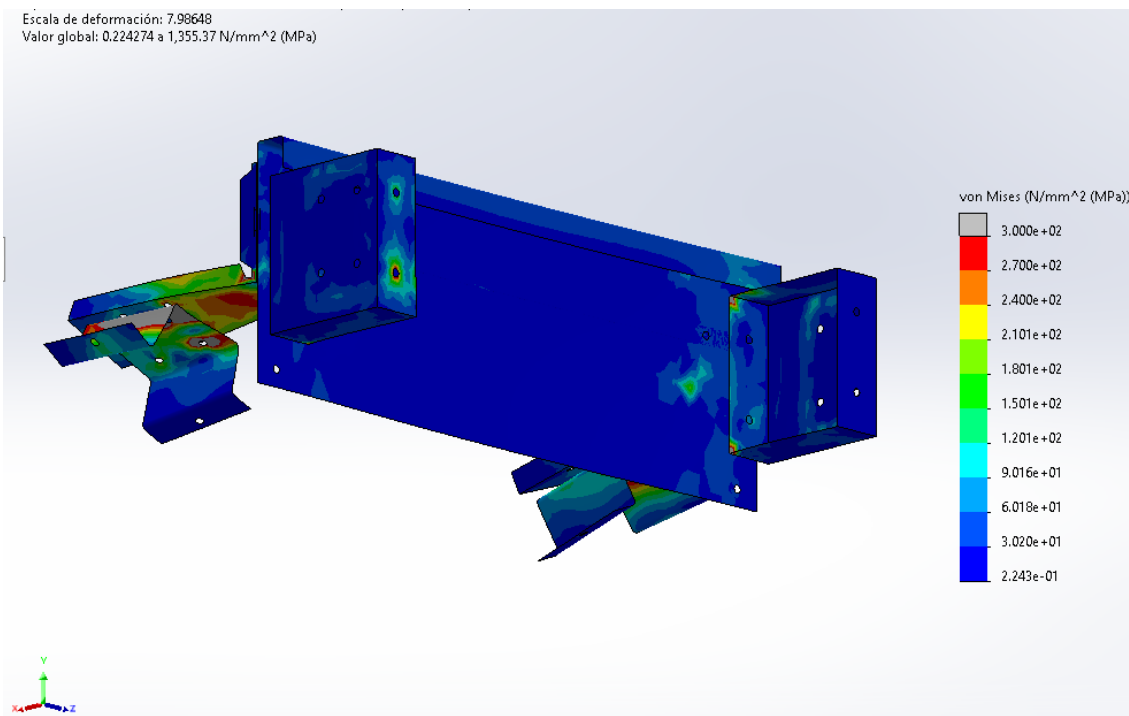


Ilustración 128 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje X Hipótesis 3

5.7.1.5.2. Carga descentrada en el eje Z

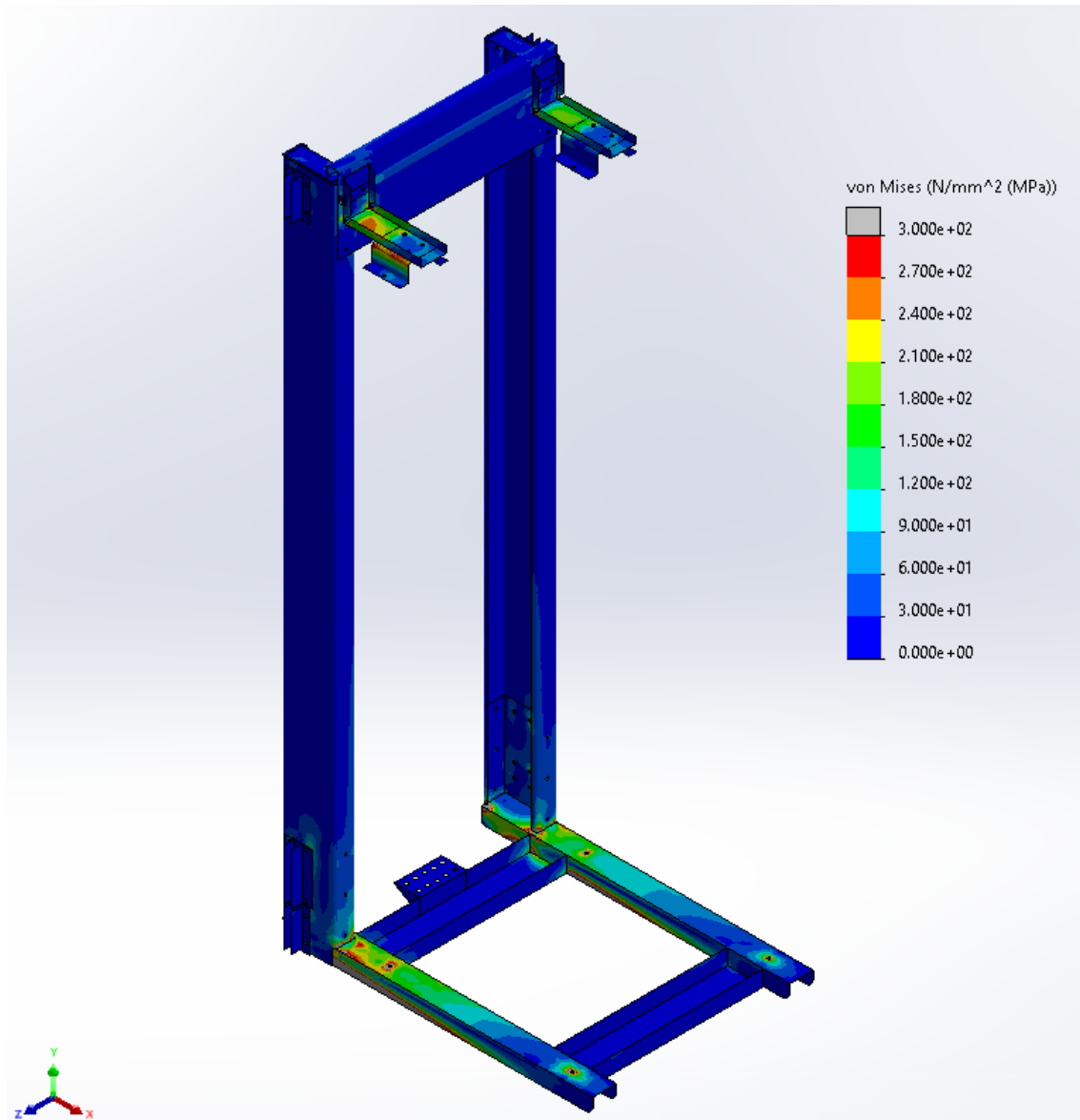


Ilustración 129 Tensiones (MPa) Conjunto total Q descentrada eje Z Hipótesis 3

Escala de deformación: 7.8838
Valor global: 0 a 1,243.22 N/mm² (MPa)

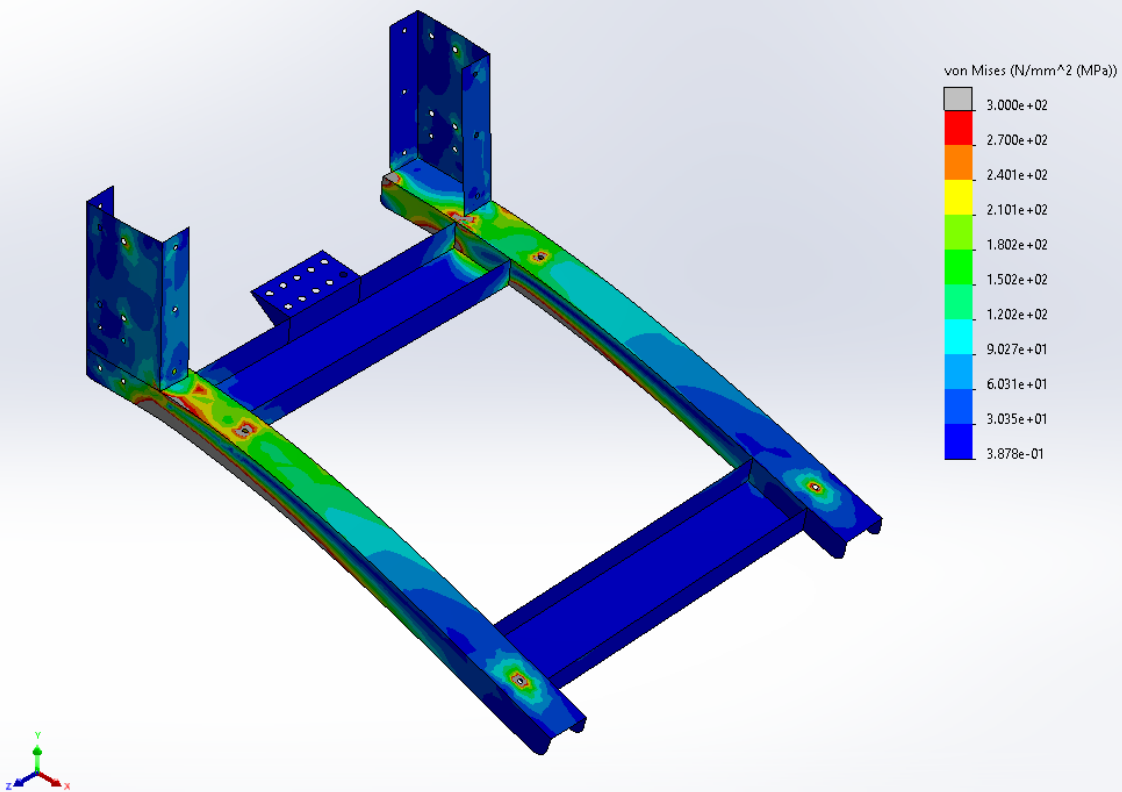


Ilustración 130 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje Z Hipótesis 3

Escala de deformación: 7.8838
Valor global: 0 a 1,243.22 N/mm² (MPa)

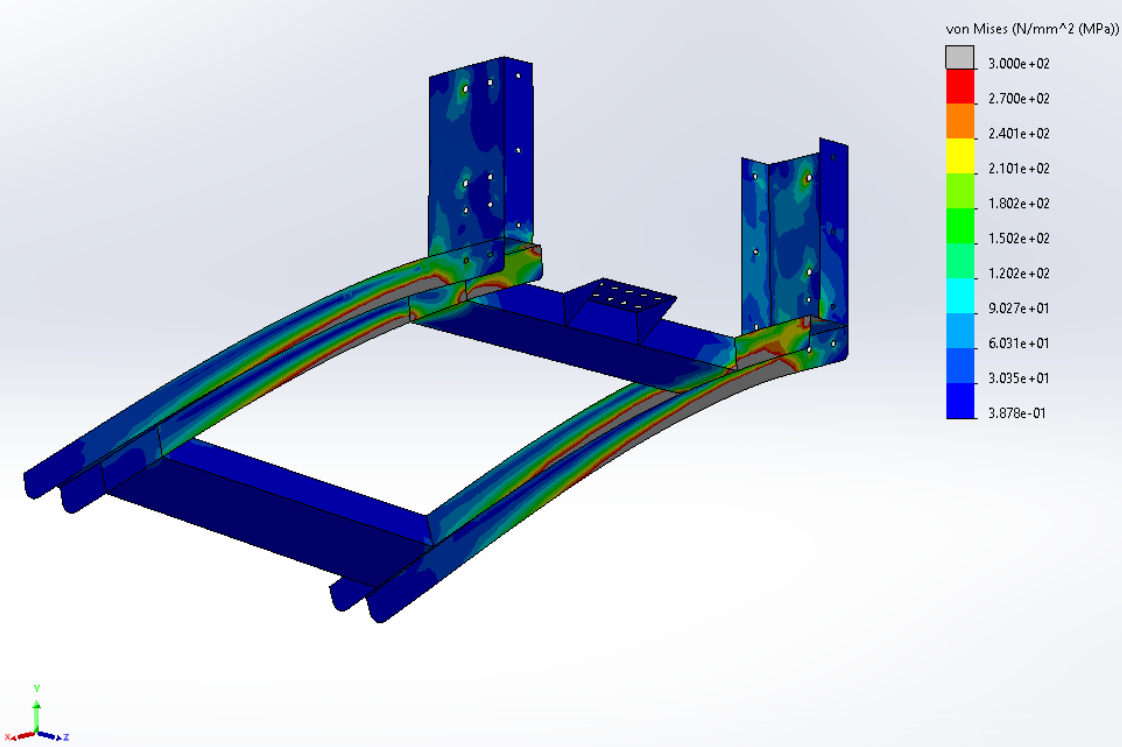


Ilustración 131 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje Z Hipótesis 3

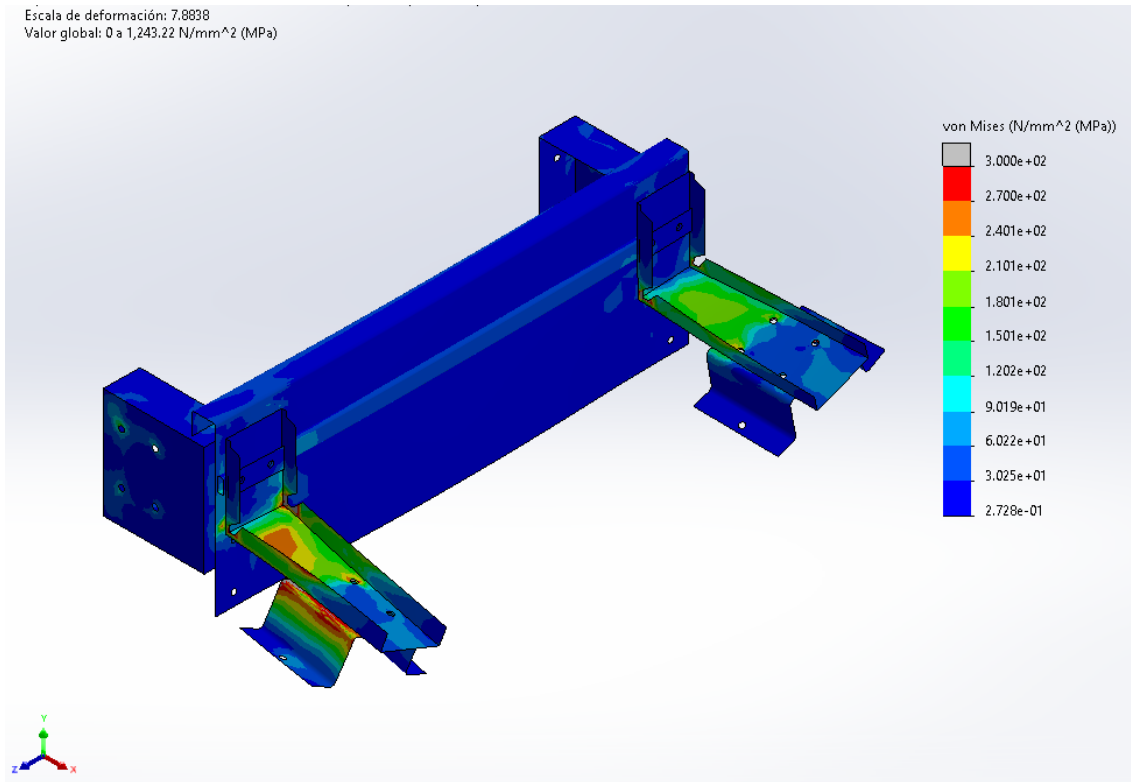


Ilustración 132 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje Z Hipótesis 3

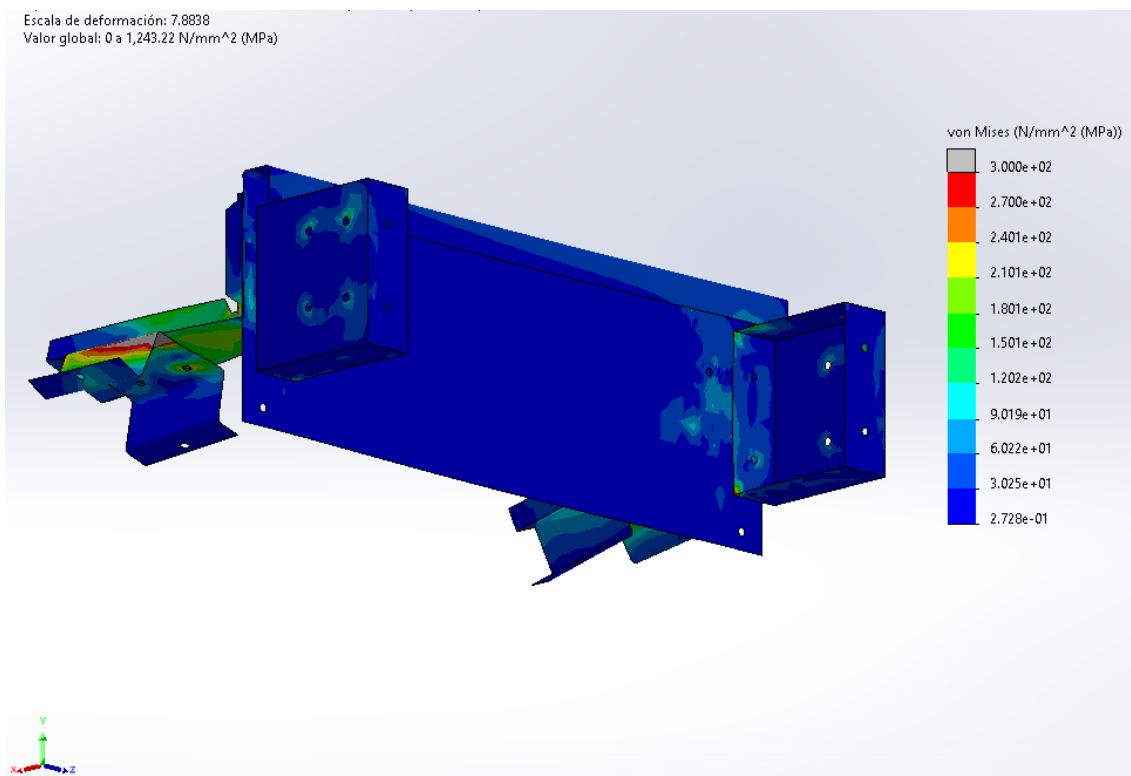


Ilustración 133 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje Z Hipótesis 3

5.7.1.6. Desplazamientos

5.7.1.6.1. Carga descentrada en el eje X

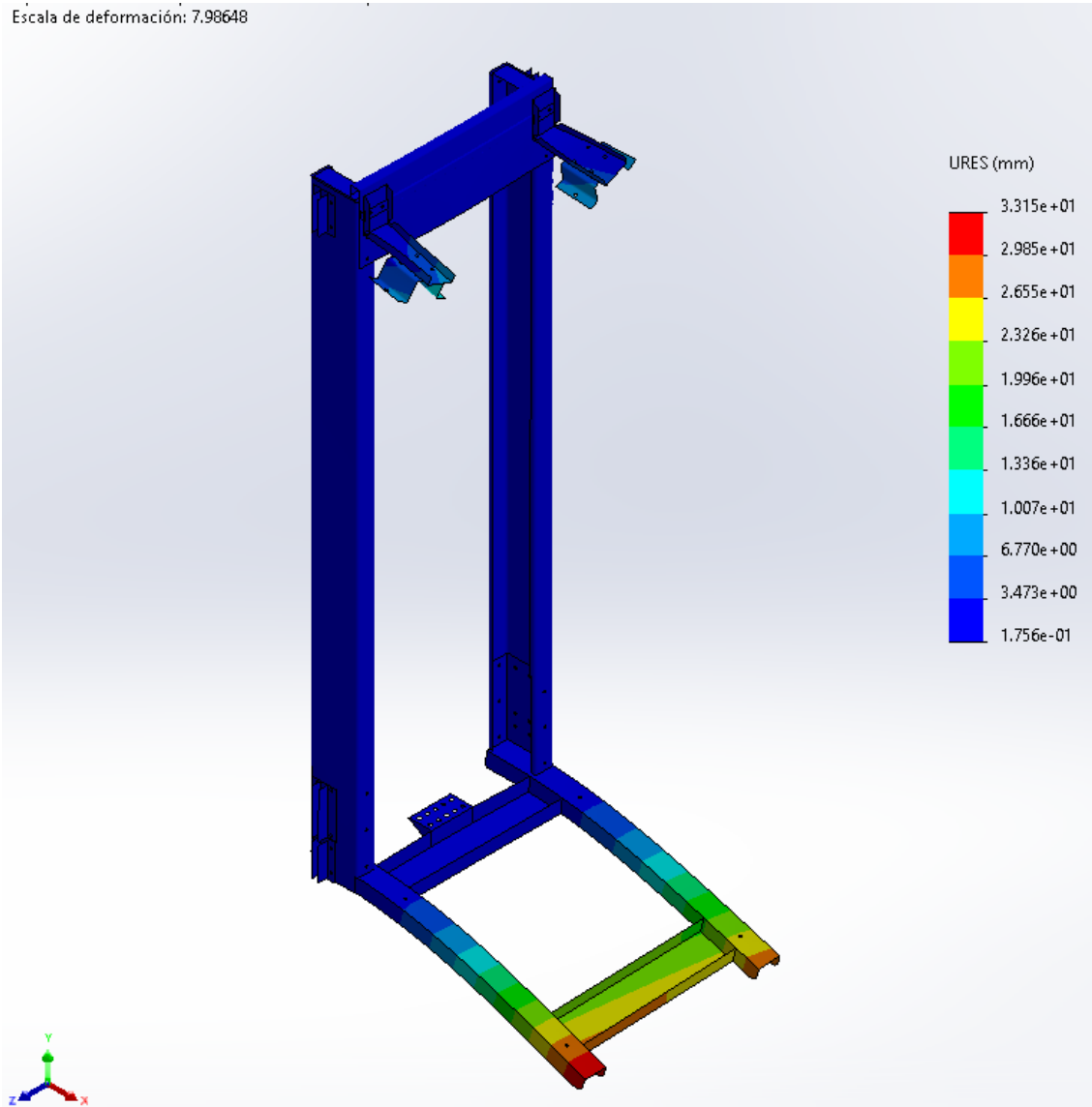


Ilustración 134 Desplazamientos URES (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 3

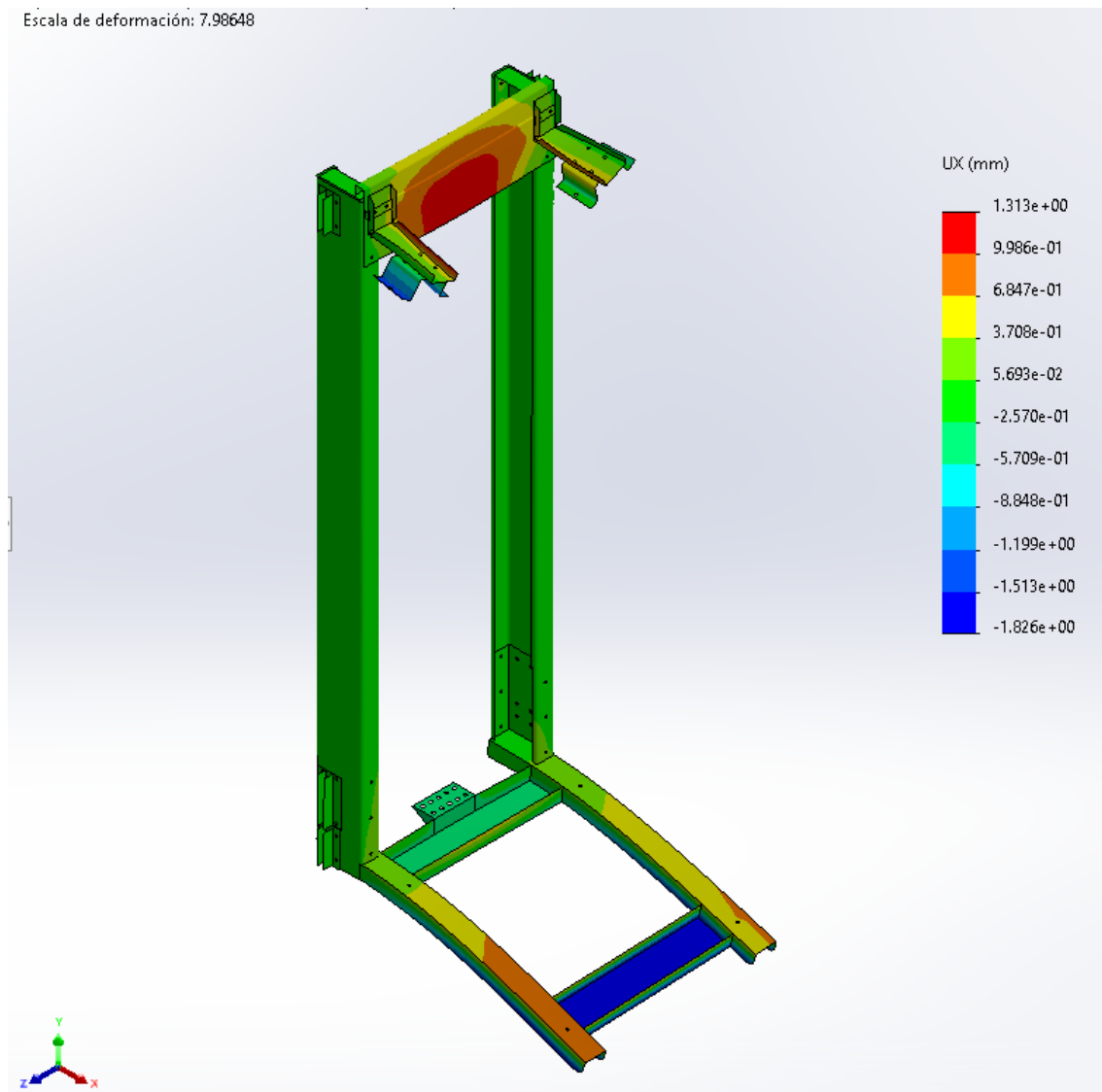


Ilustración 135 Desplazamientos U_x (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 3

Escala de deformación: 7.98648

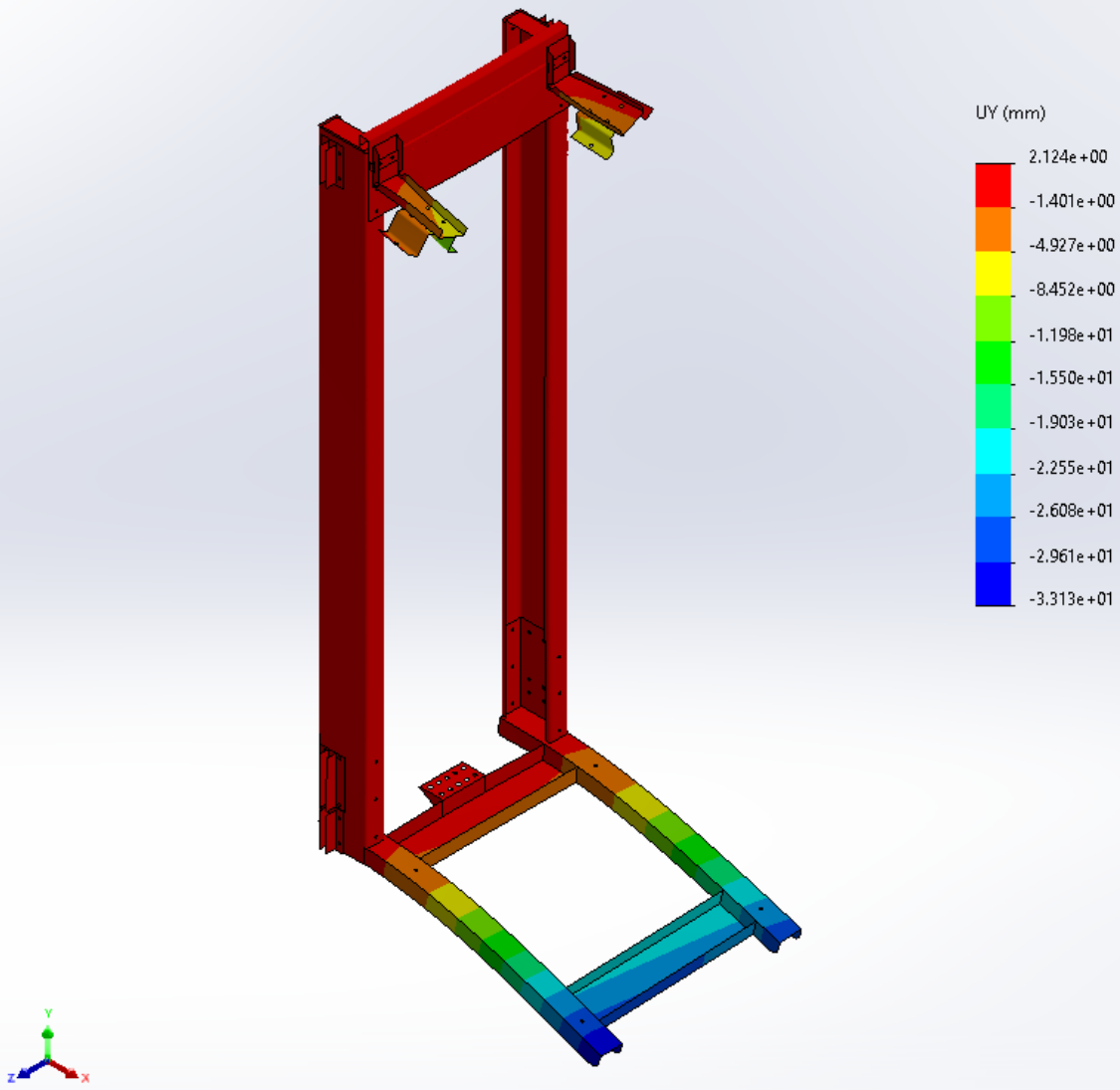


Ilustración 136 Desplazamientos Uy (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 3

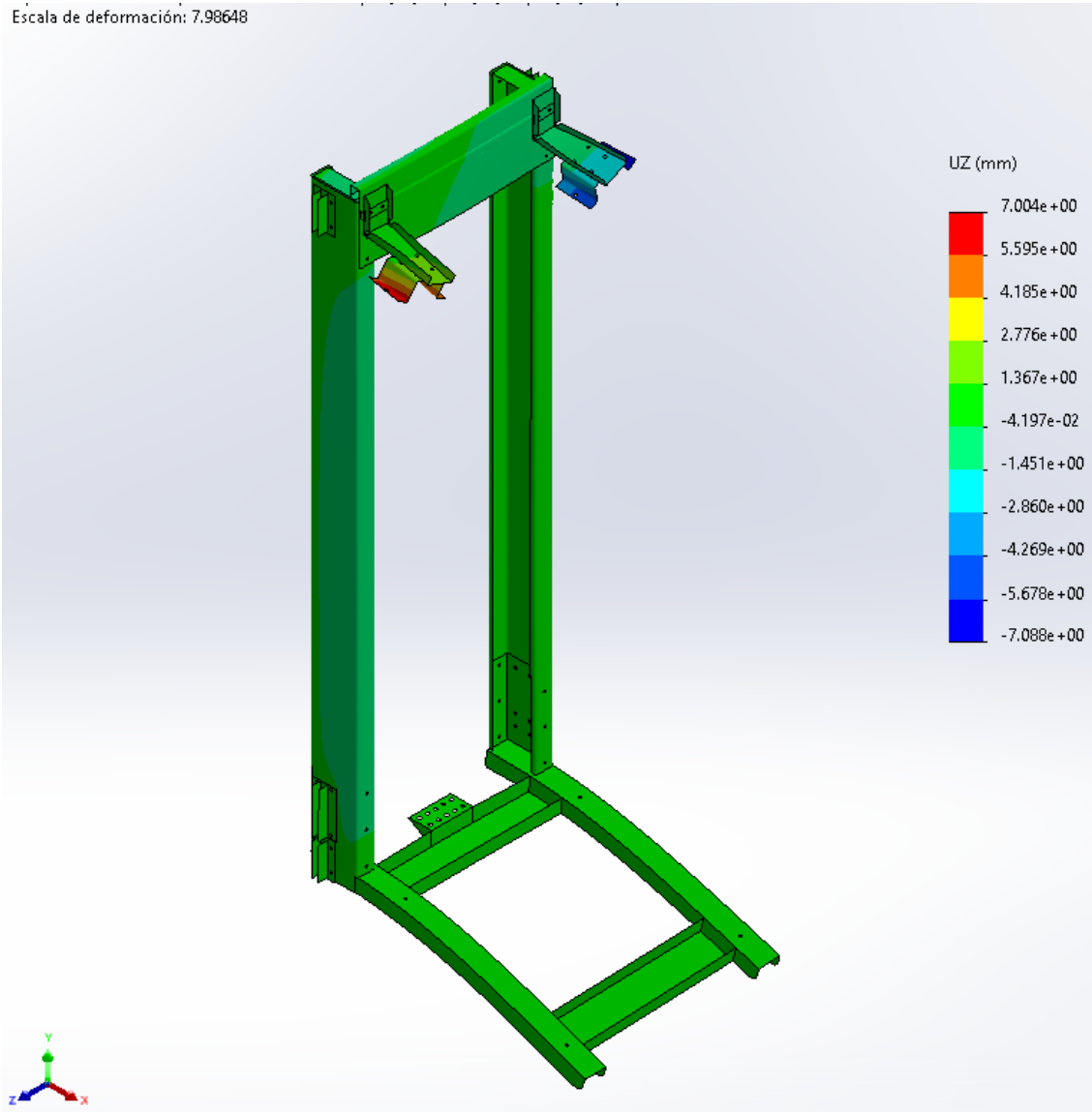


Ilustración 137 Desplazamientos U_z (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 3

5.7.1.6.2. Carga descentrada en el eje Z

Escala de deformación: 7.8838

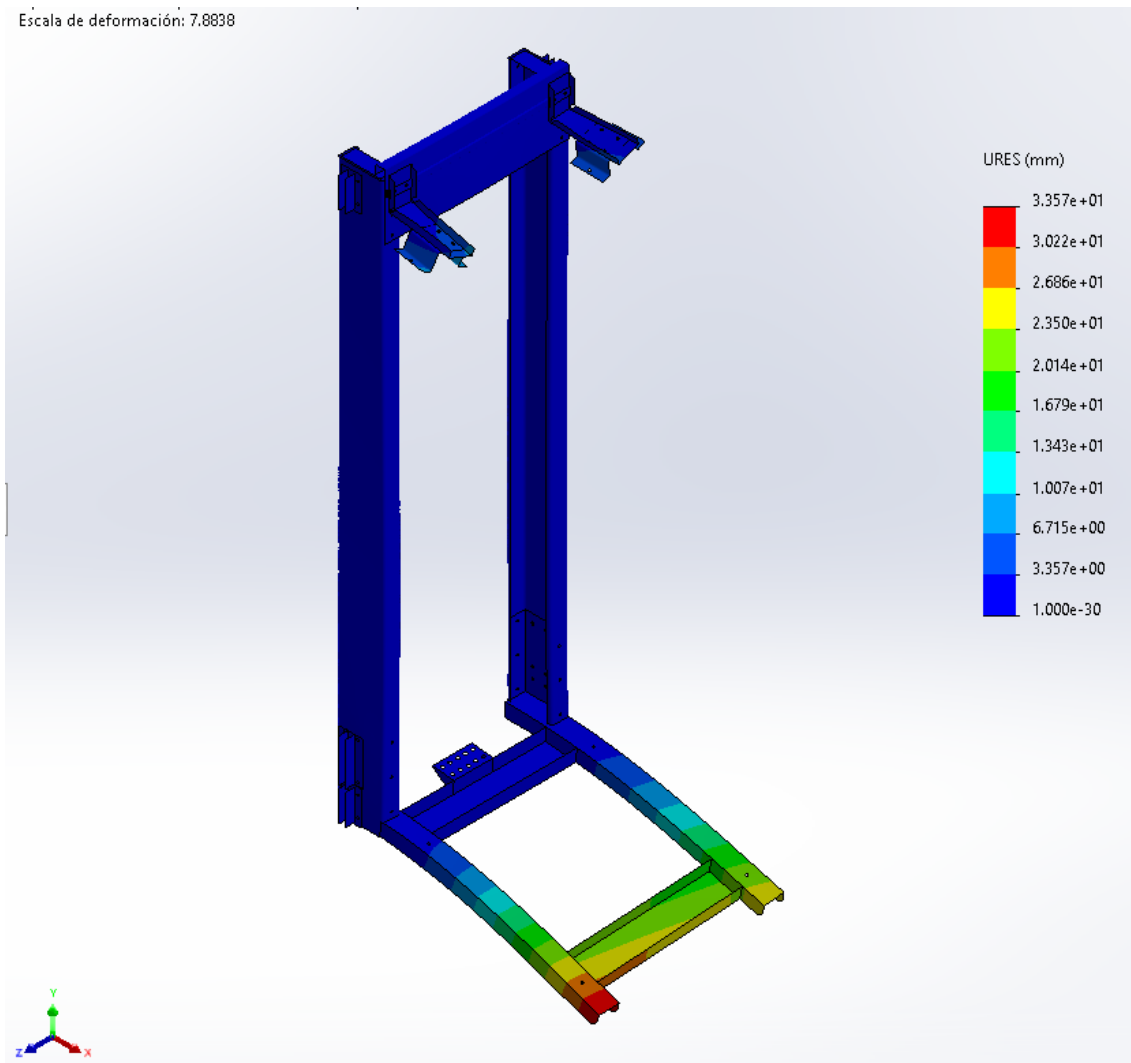


Ilustración 138 Desplazamientos URES (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 3

Escala de deformación: 7.8838

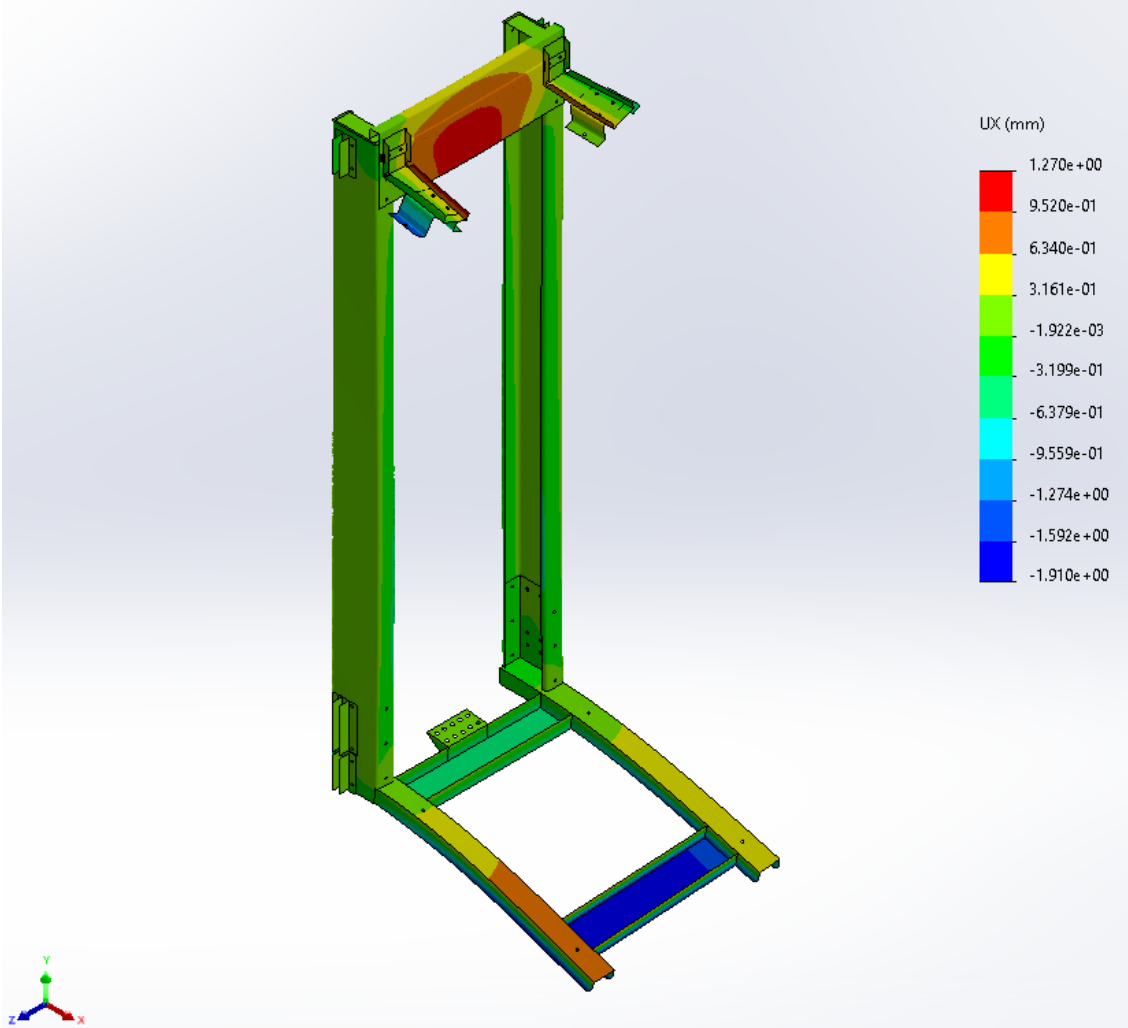


Ilustración 139 Desplazamientos U_x (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 3

Escala de deformación: 7.8838

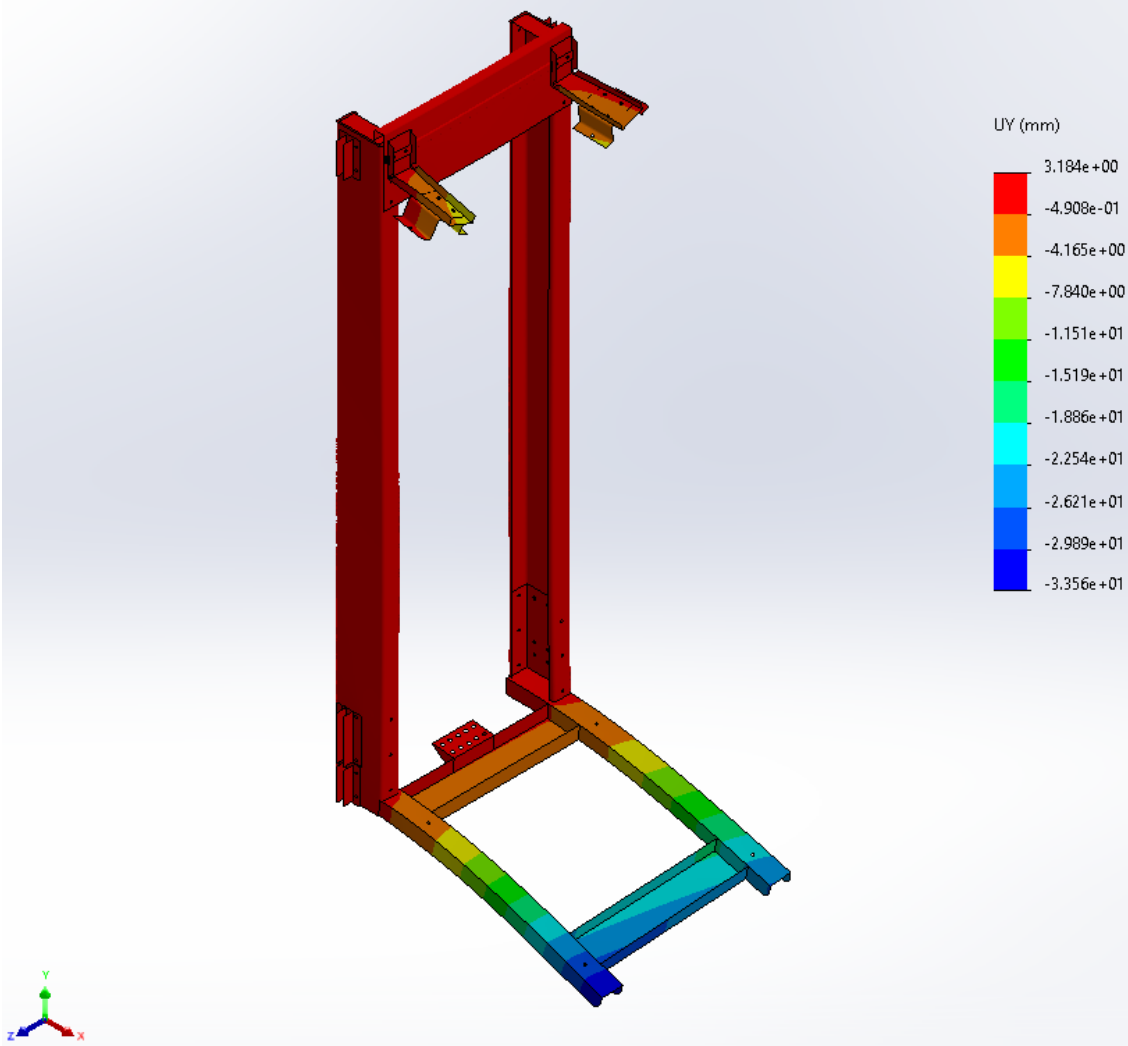


Ilustración 140 Desplazamientos Uy (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 3

Escala de deformación: 7.8838

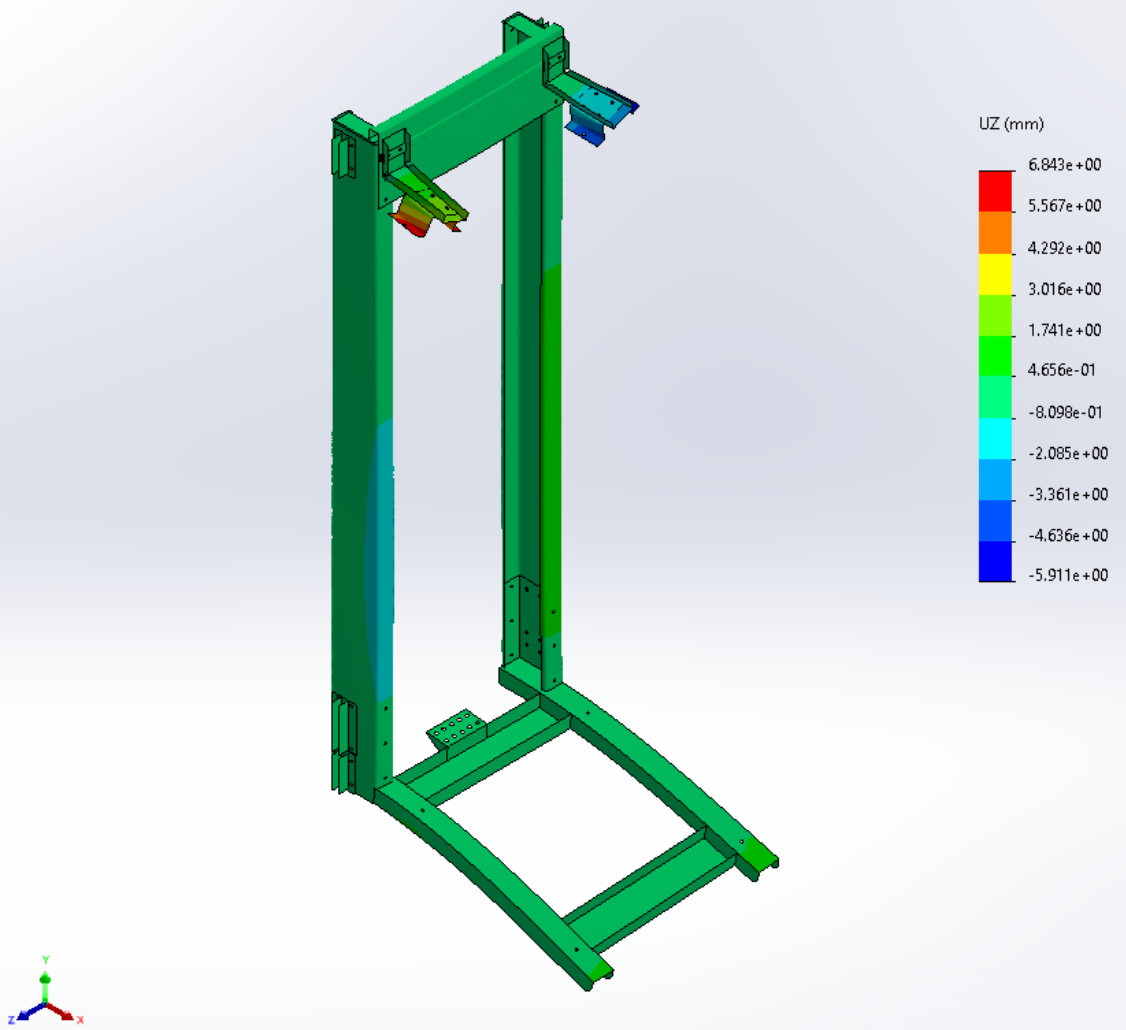


Ilustración 141 Desplazamientos U_z (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 3

5.7.3. Hipótesis 4: Impacto contra buffer

5.7.1.7. Tensiones

5.7.1.7.1. Carga descentrada en el eje X

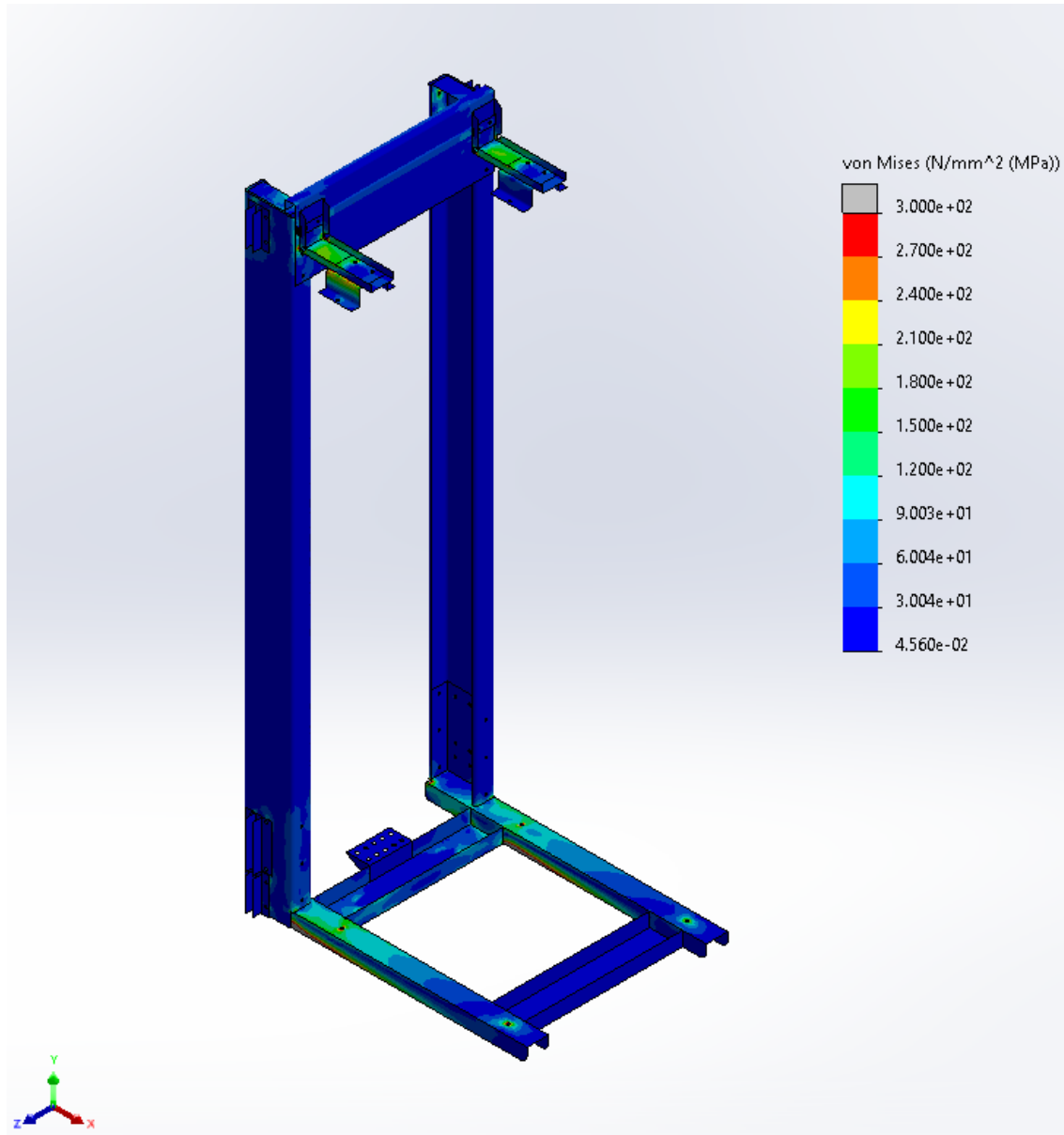


Ilustración 142 Tensiones (MPa) Conjunto total Q descentrada eje X Hipótesis 4

Escala de deformación: 13.7949
Valor global: 0,045271 a 1,194.84 N/mm² (MPa)

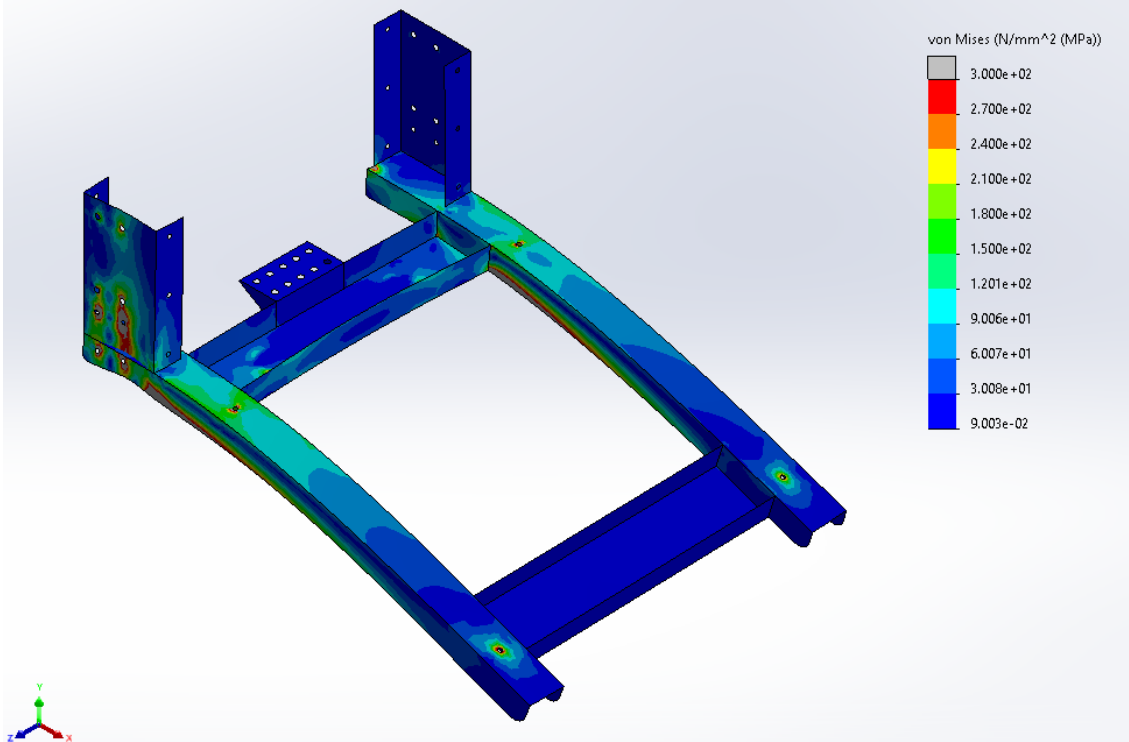


Ilustración 143 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje X Hipótesis 4

Escala de deformación: 13.7949
Valor global: 0,045271 a 1,194.84 N/mm² (MPa)

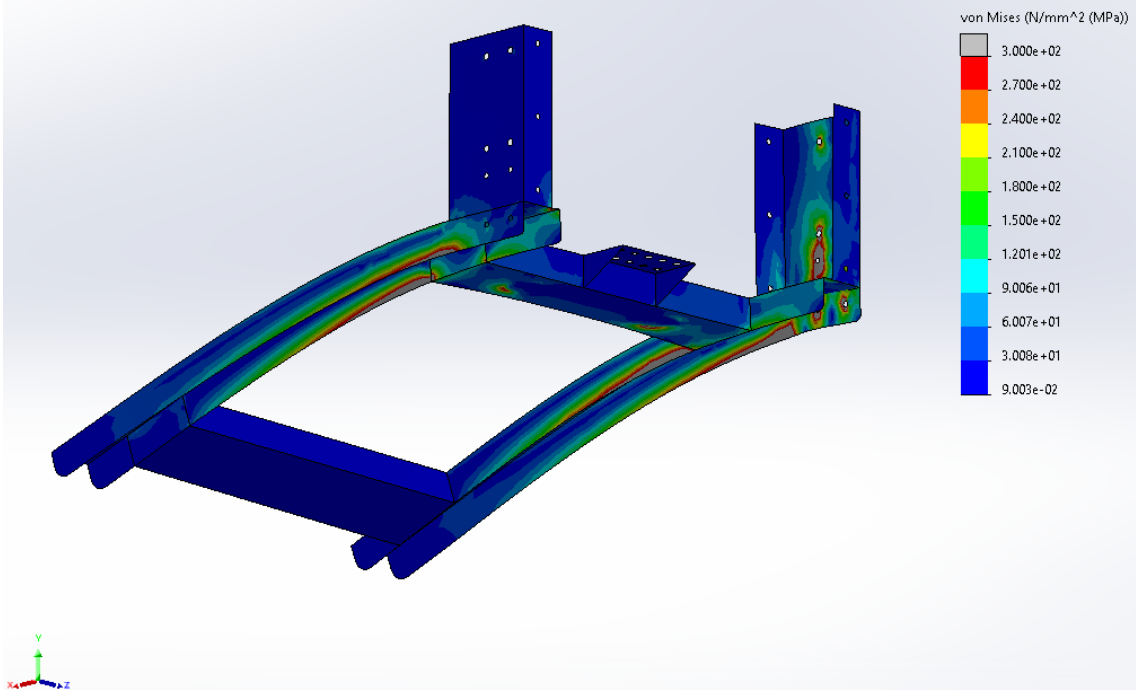


Ilustración 144 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje X Hipótesis 4

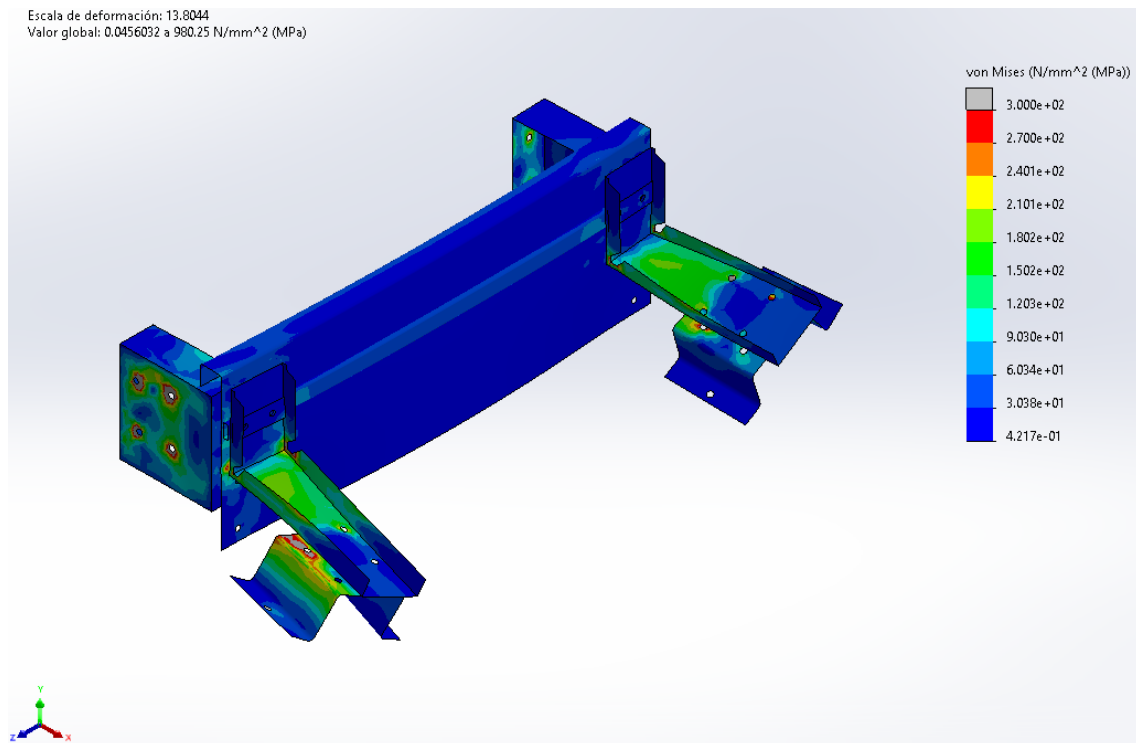


Ilustración 145 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje X Hipótesis 4

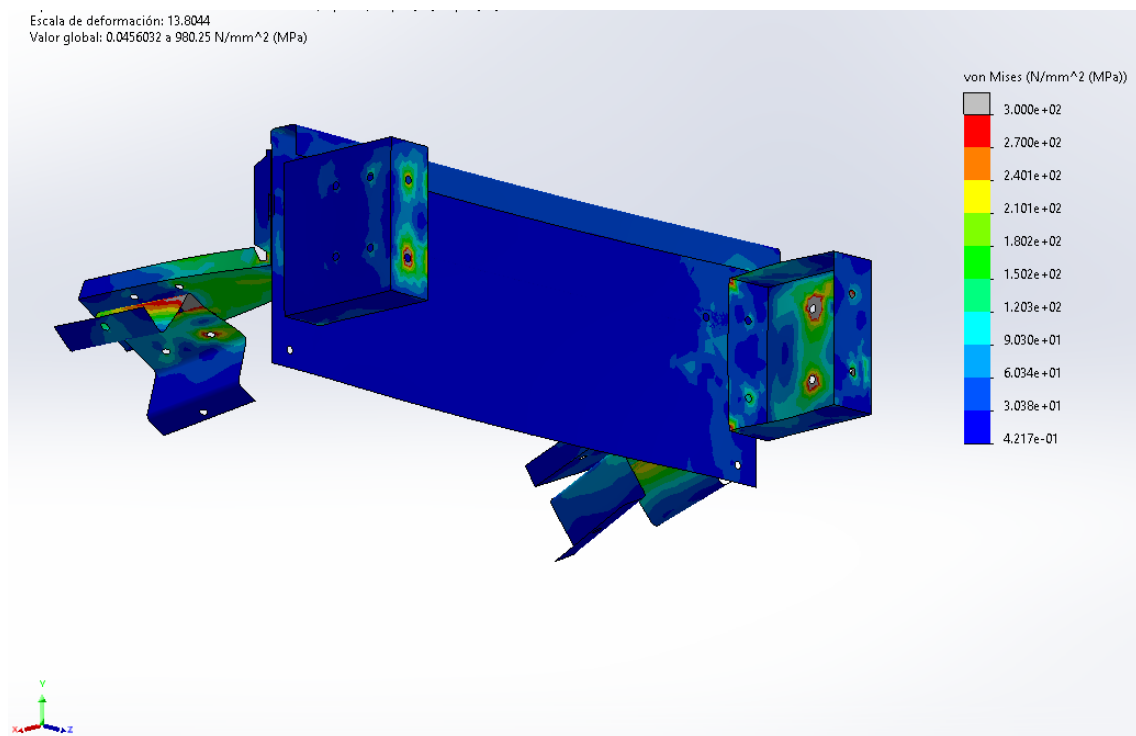


Ilustración 146 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje X Hipótesis 4

5.7.1.7.2. Carga descentrada en el eje Z

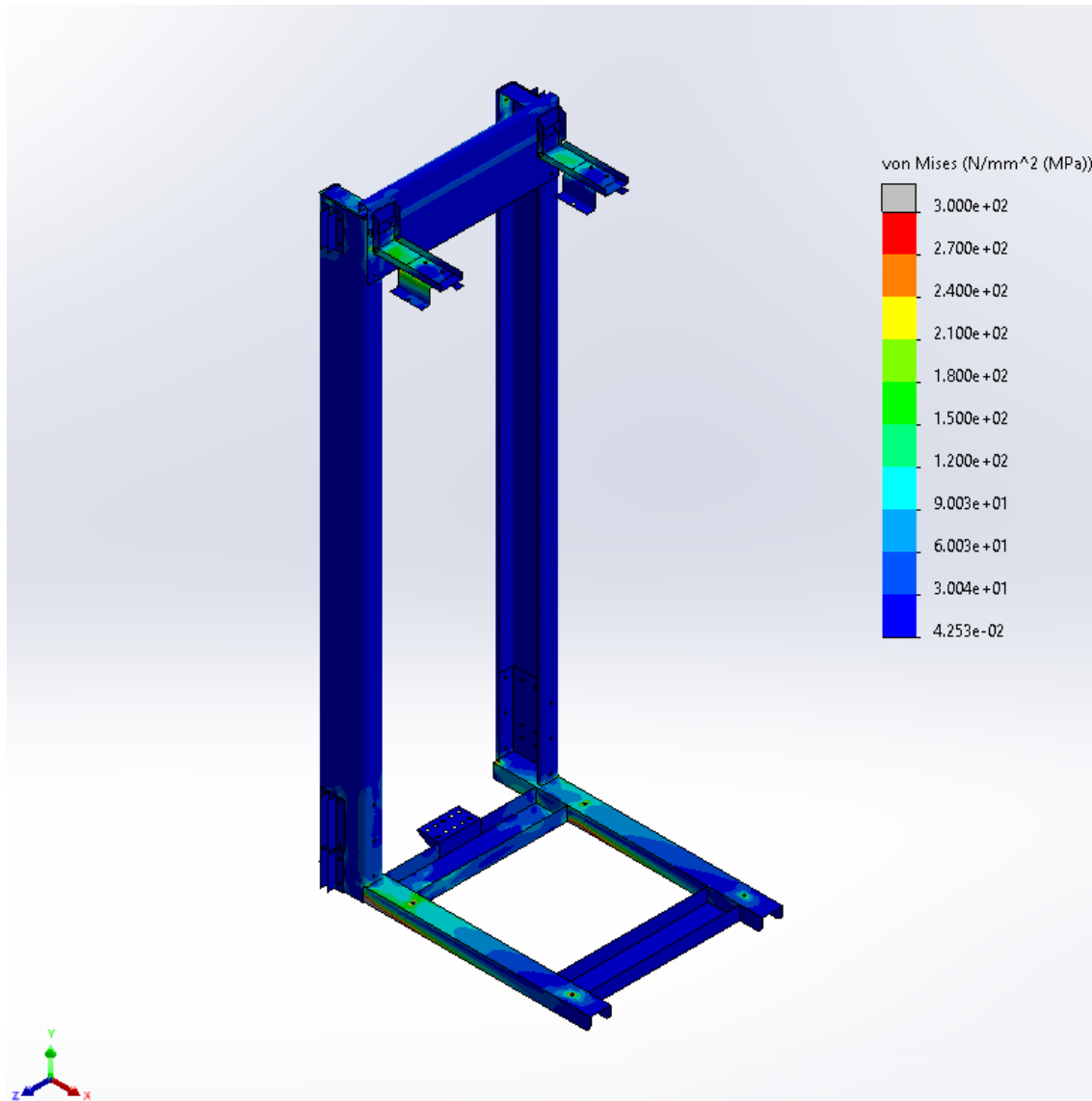


Ilustración 147 Tensiones (MPa) Conjunto total Q descentrada eje Z Hipótesis 4

Escala de deformación: 13.9869
Valor global: 0.0425289 a 988.23 N/mm² (MPa)

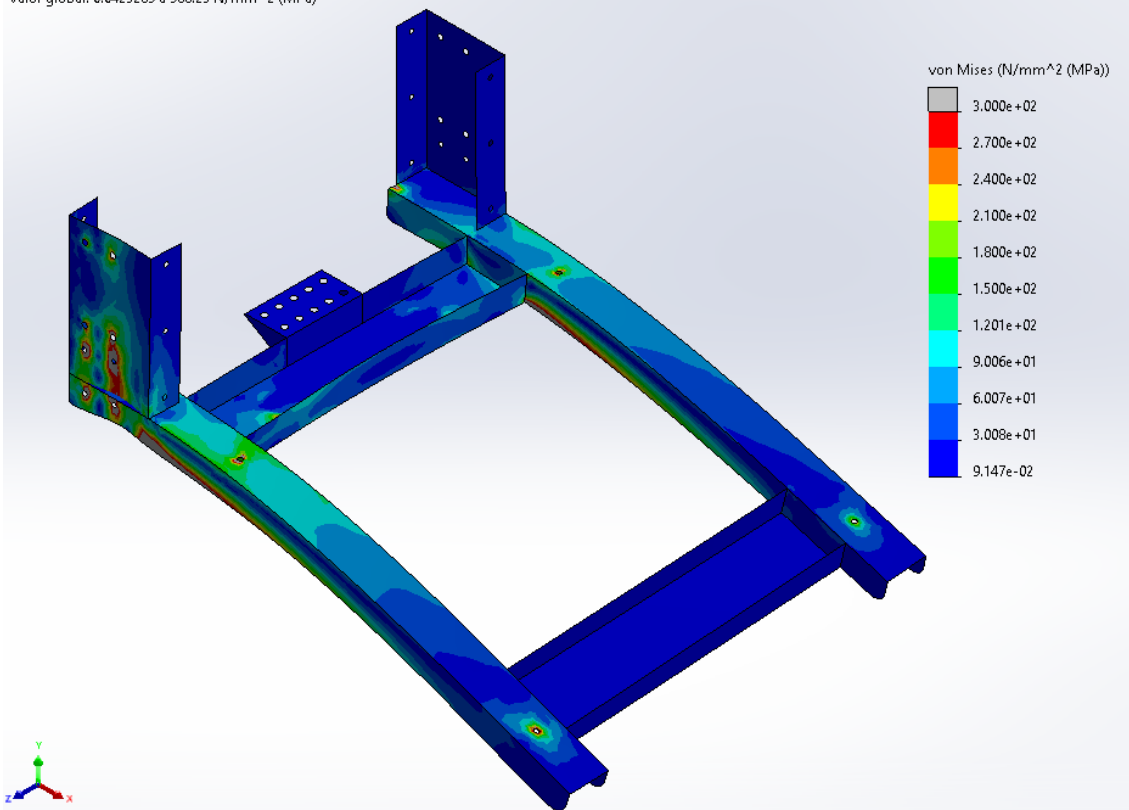


Ilustración 148 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje Z Hipótesis 4

Escala de deformación: 13.9869
Valor global: 0.0425289 a 988.23 N/mm² (MPa)

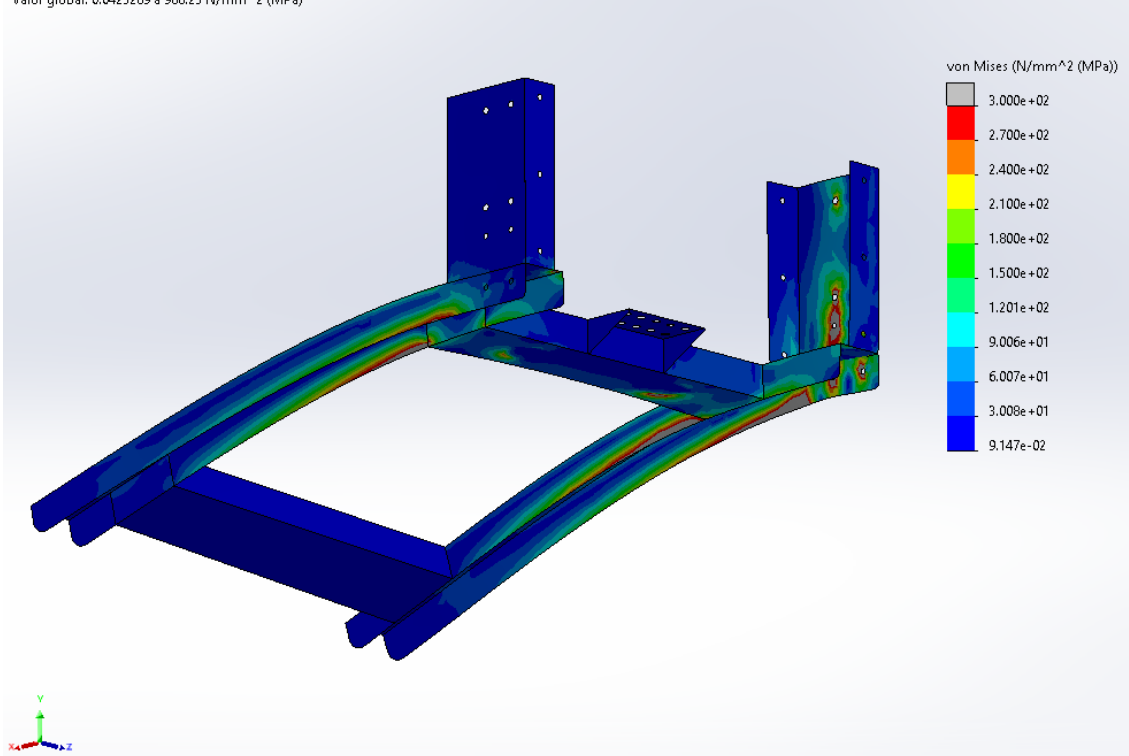


Ilustración 149 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje Z Hipótesis 4

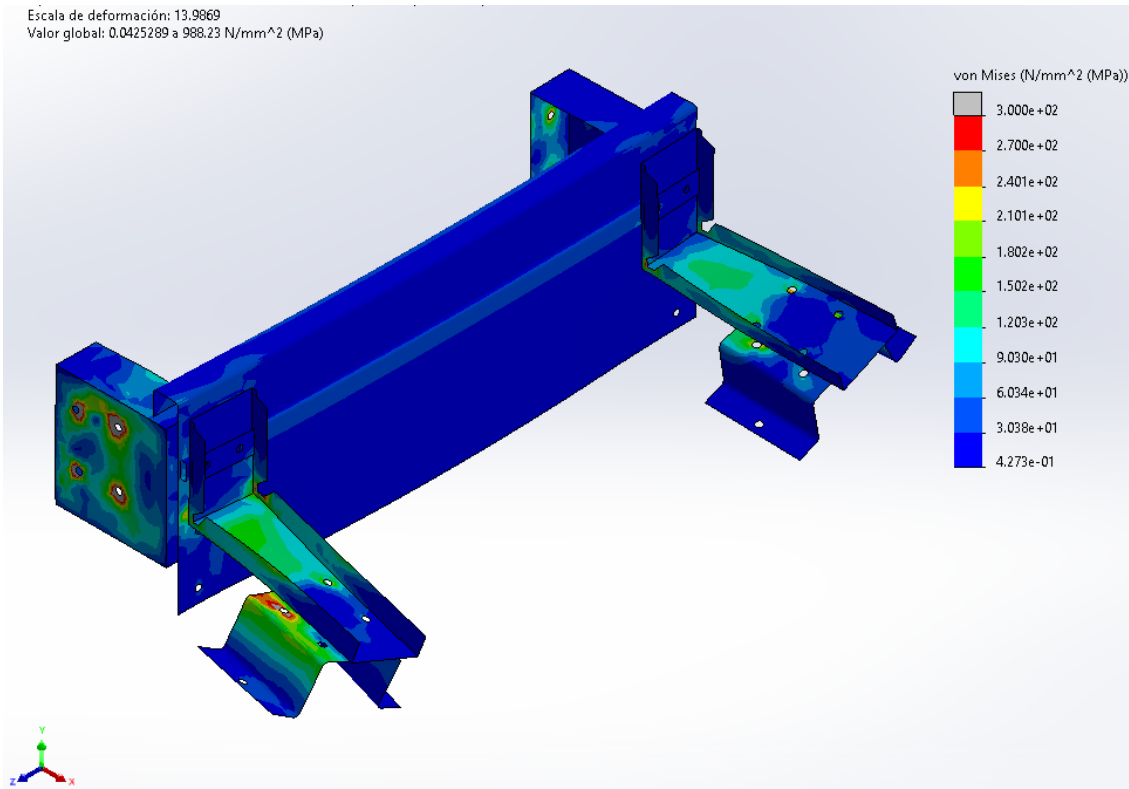


Ilustración 150 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje Z Hipótesis 4

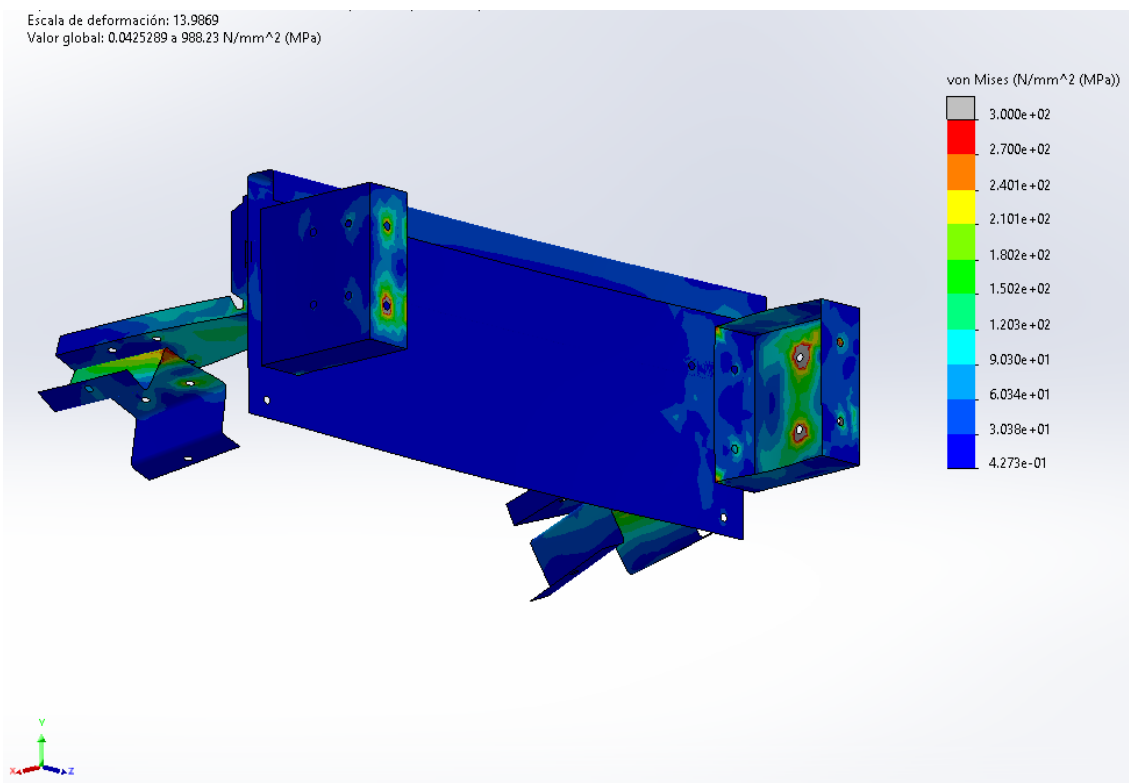


Ilustración 151 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje Z Hipótesis 4

5.7.1.8. Desplazamientos

5.7.1.8.1. Carga descentrada en el eje X

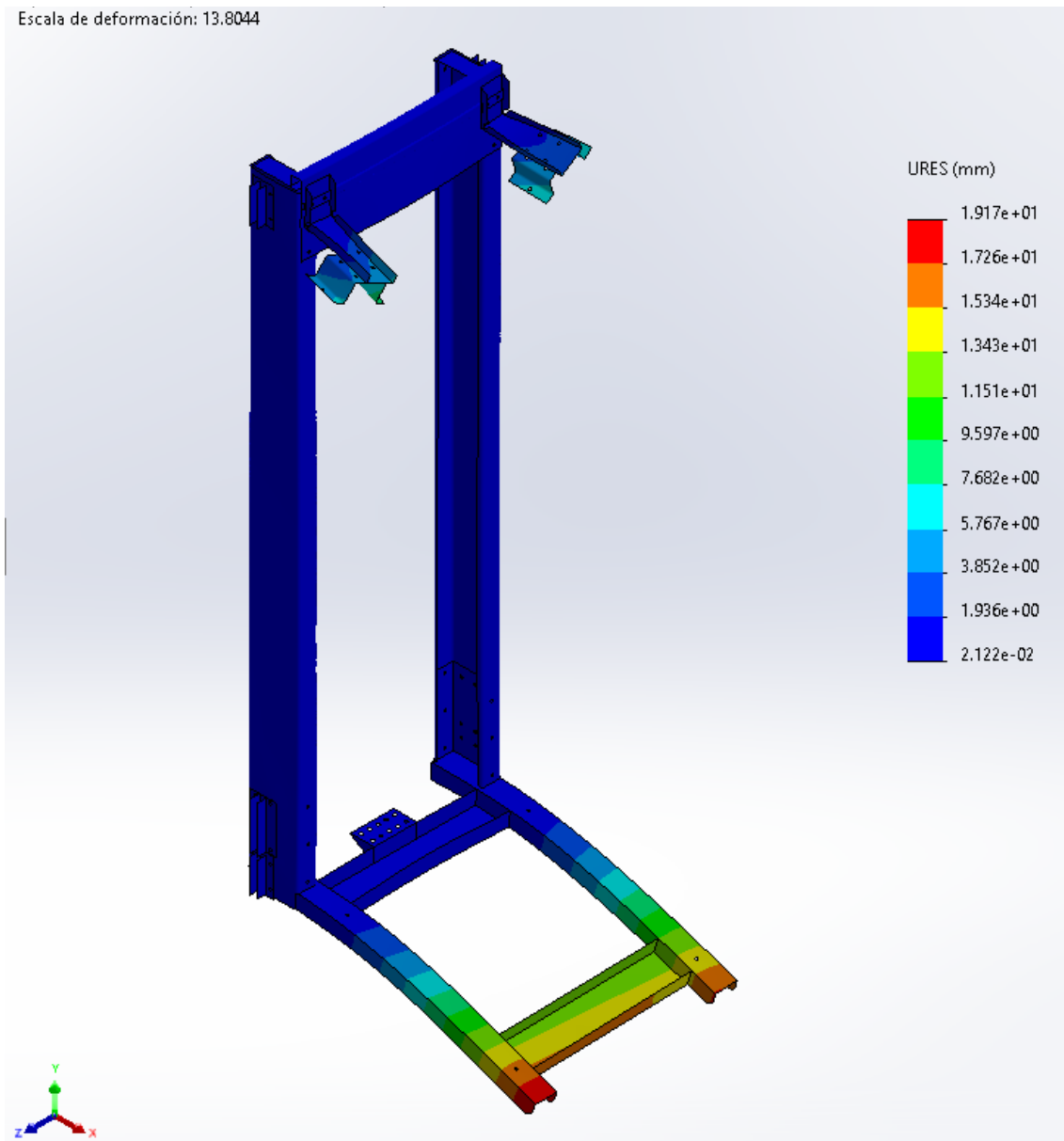


Ilustración 152 Desplazamientos URES (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 4

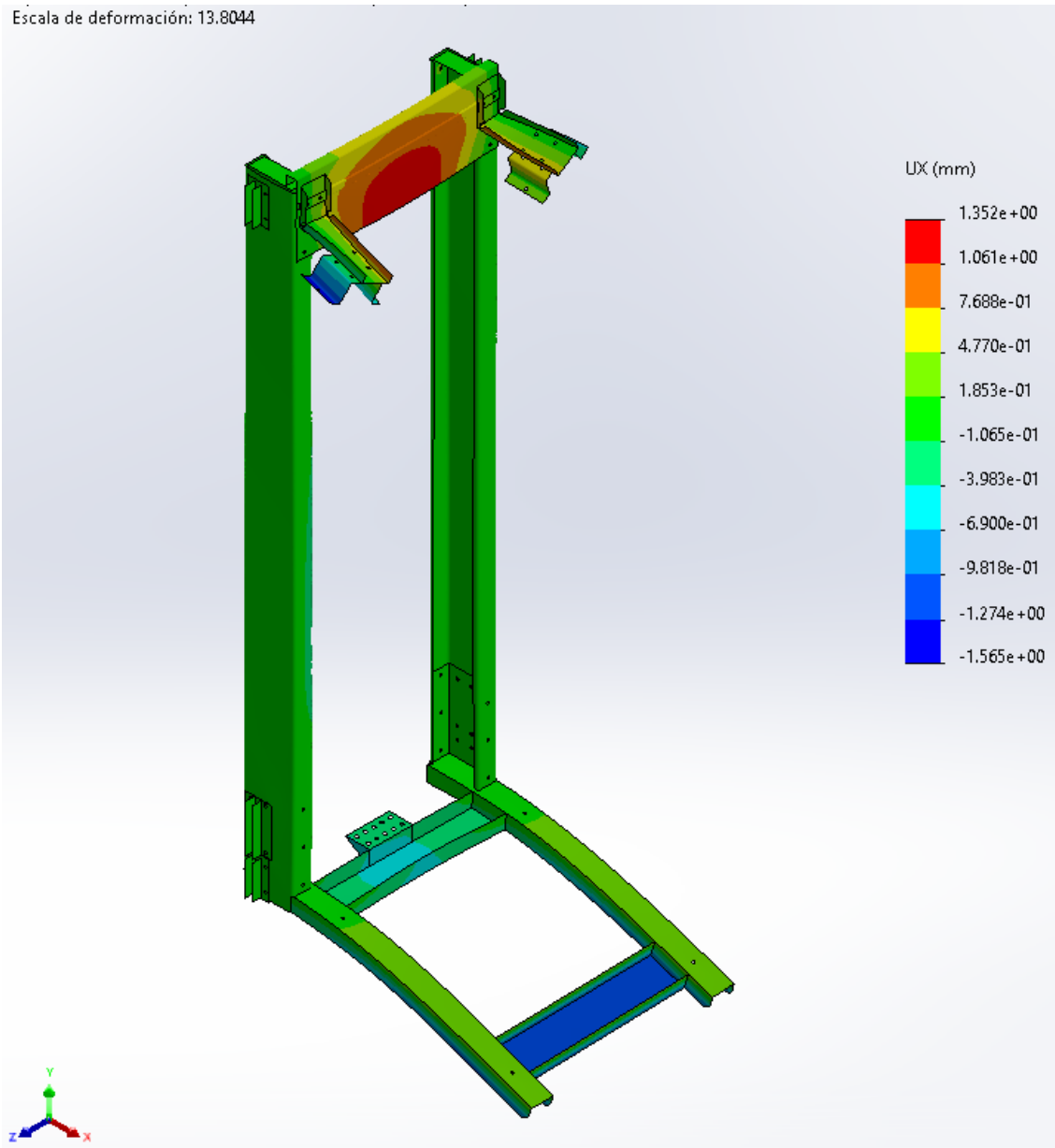


Ilustración 153 Desplazamientos U_x (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 4

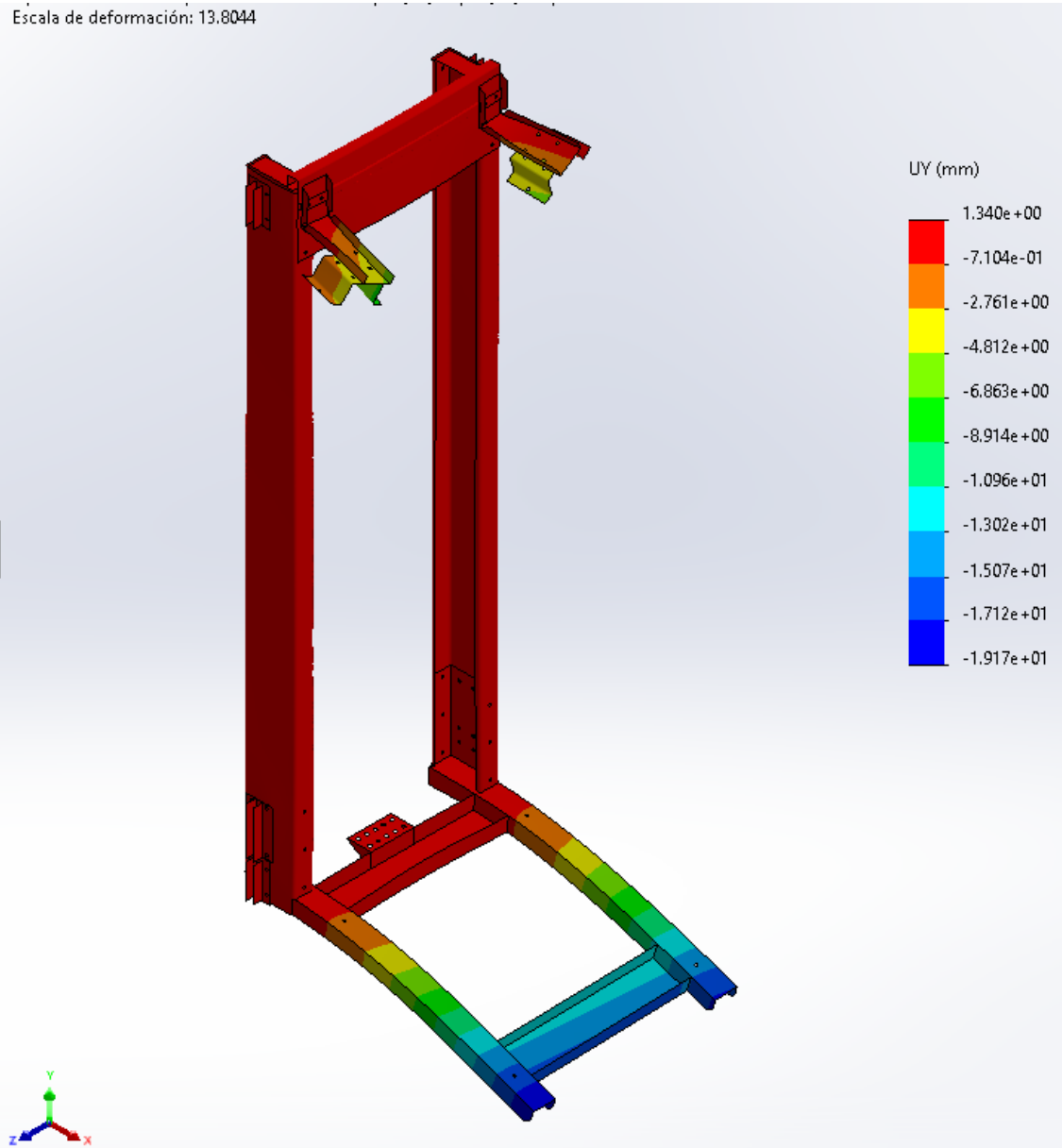


Ilustración 154 Desplazamientos Uy (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 4

Escala de deformación: 13.8044

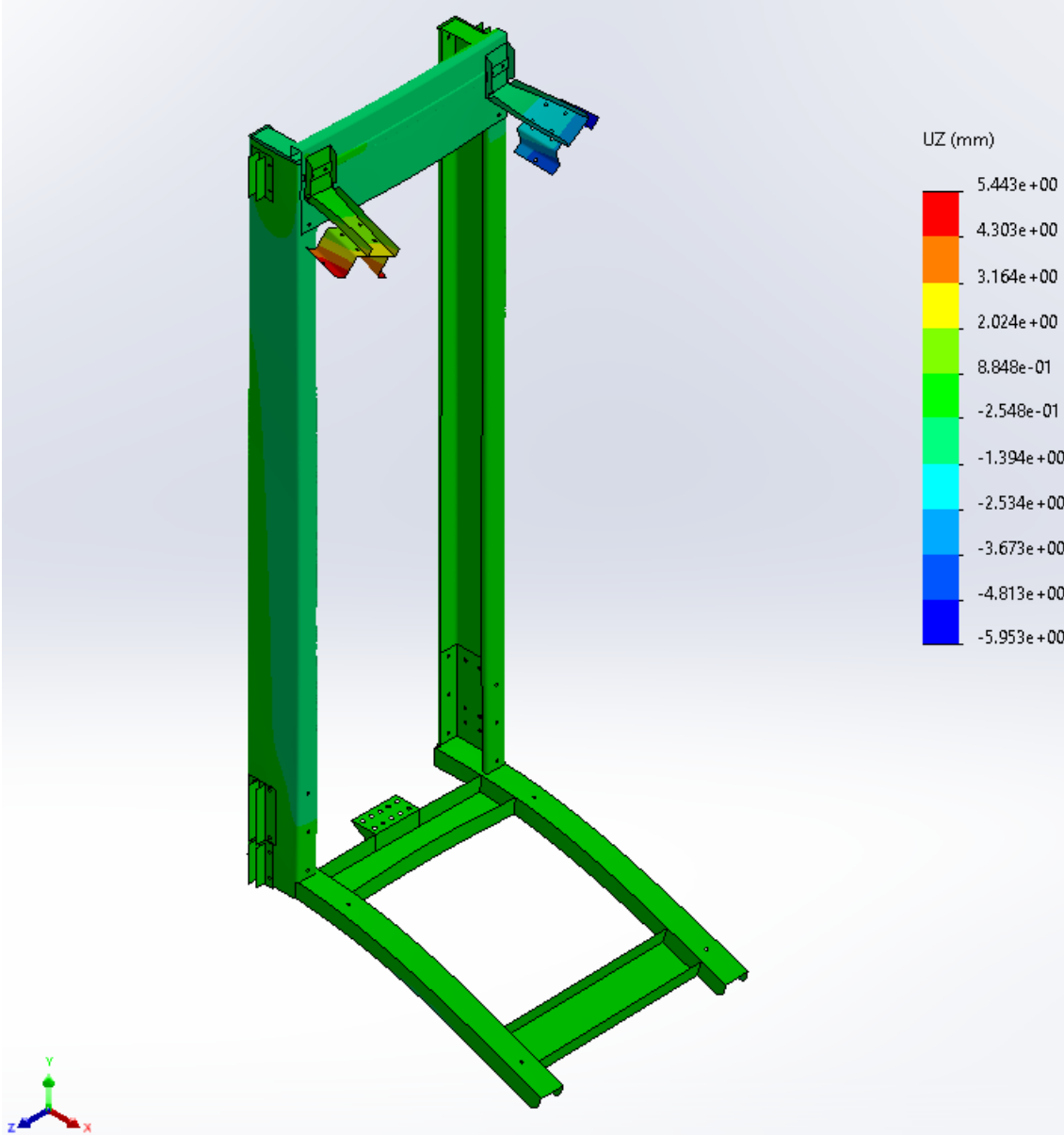


Ilustración 155 Desplazamientos U_z (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 4

5.7.1.8.2. Carga descentrada en el eje Z

Escala de deformación: 13.9869

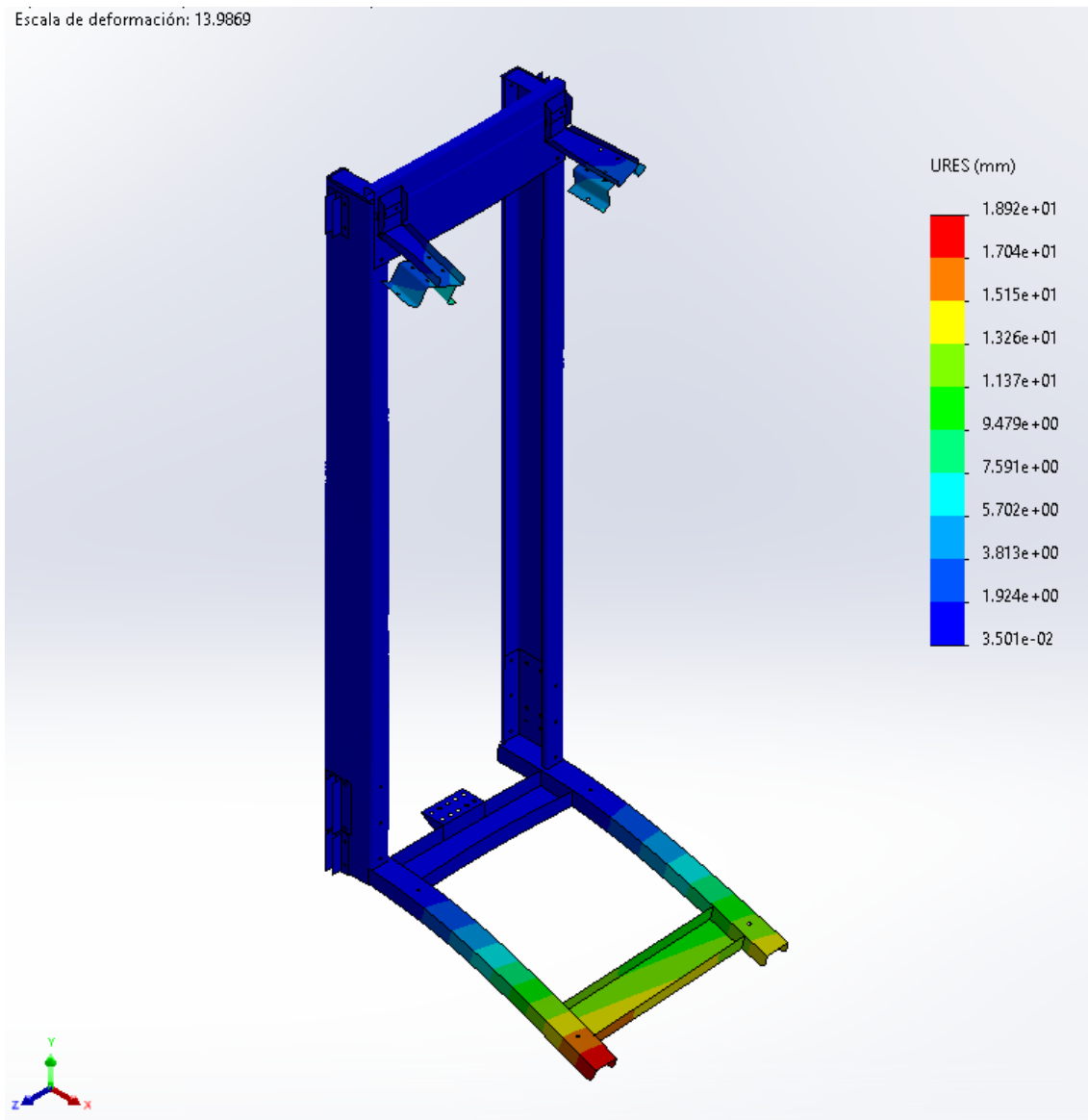


Ilustración 156 Desplazamientos URES (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 4

Escala de deformación: 13.9869

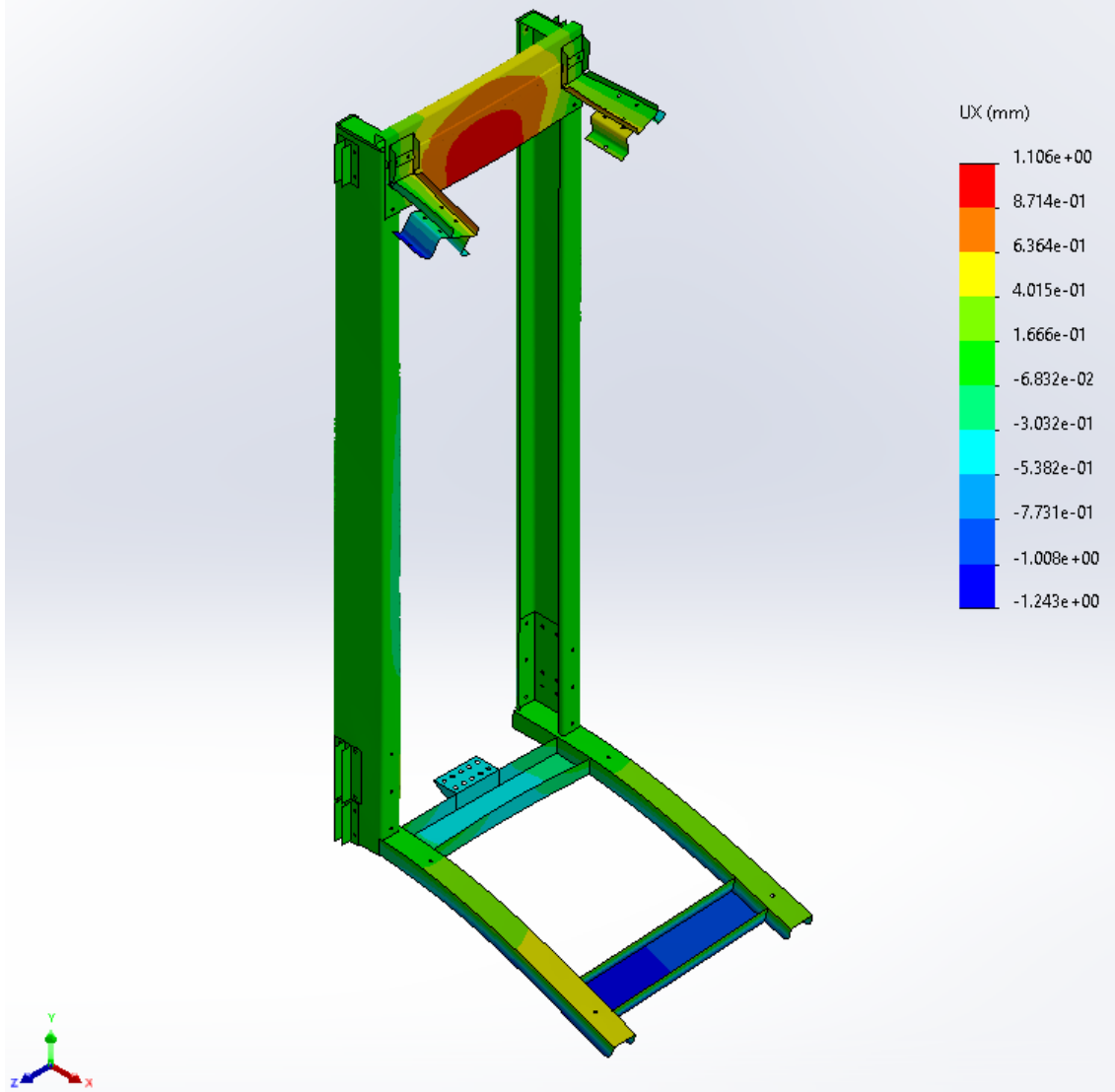


Ilustración 157 Desplazamientos U_x (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 4

Escala de deformación: 13.9869

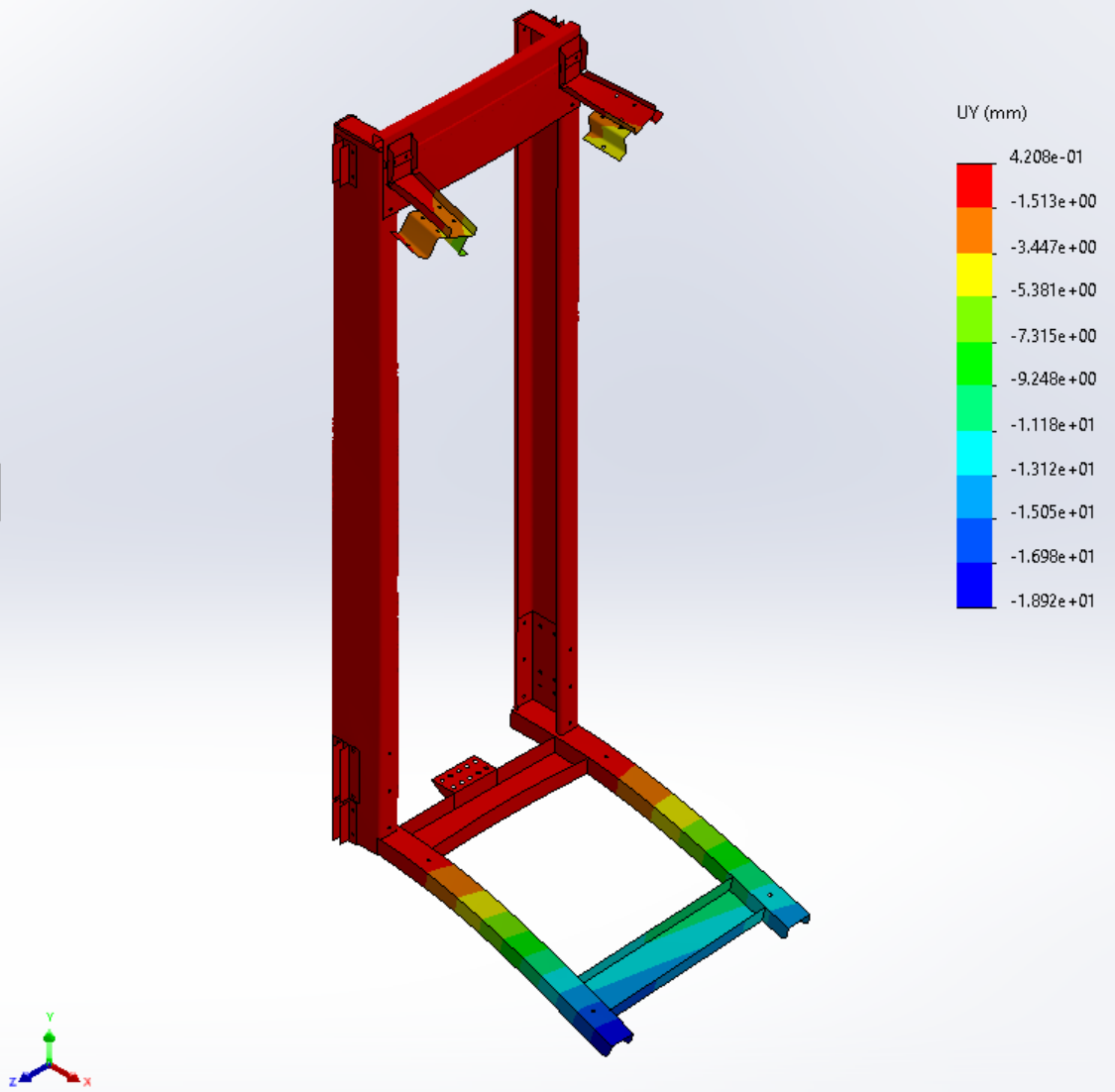


Ilustración 158 Desplazamientos Uy (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 4

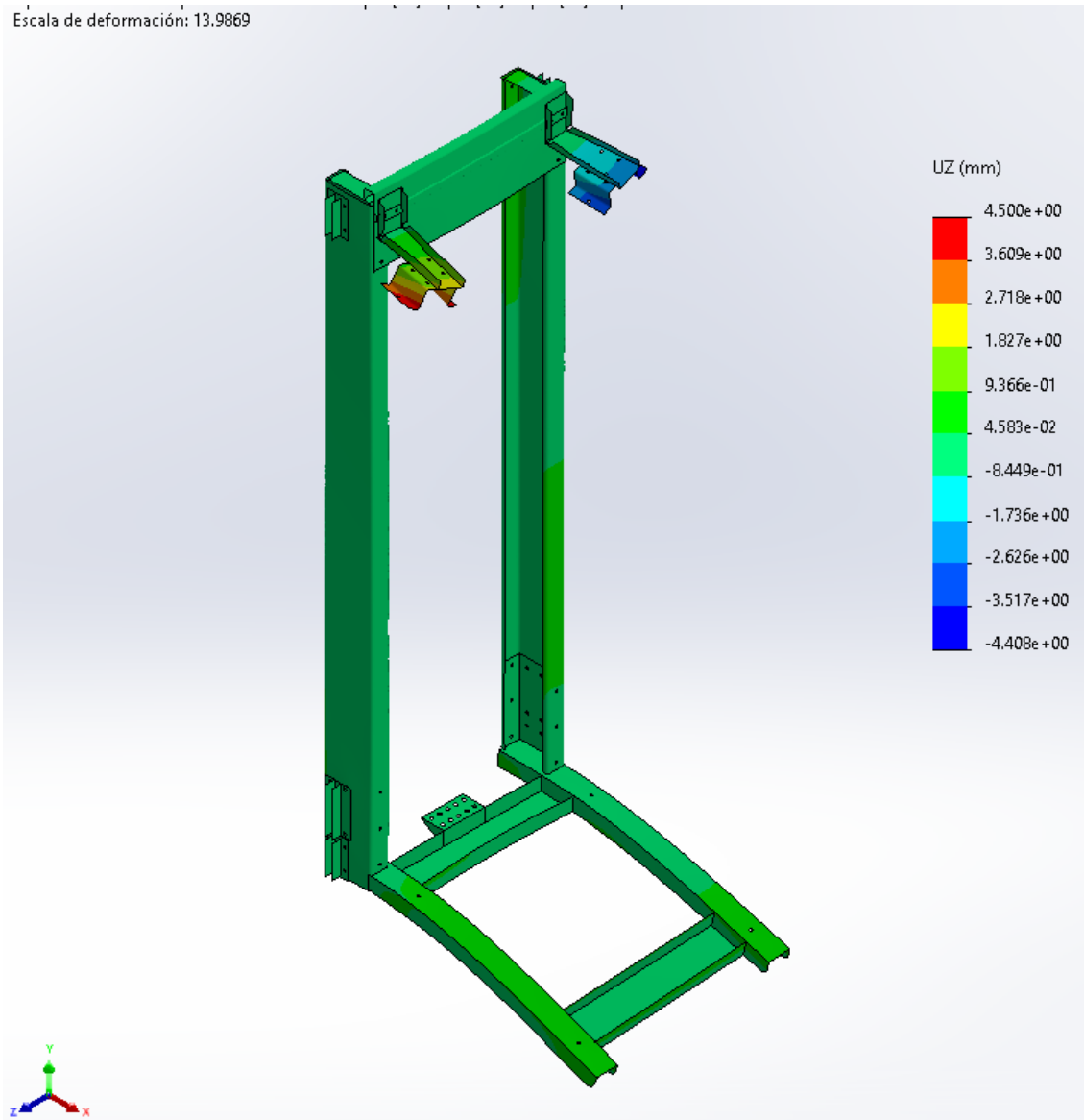


Ilustración 159 Desplazamientos U_z (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 4

5.8. PROPUESTA DE MEJORA

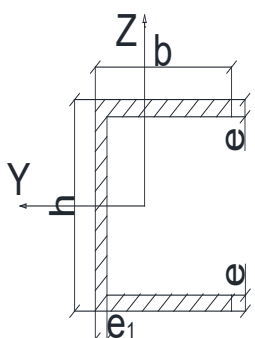
Se puede comprobar analíticamente las tensiones teóricas que aparecerían por ejemplo en el perfil de sección en C del soporte inferior, siendo que este elemento es uno de los más importantes y el cual sostiene las mayores cargas aplicadas.

Ejemplo analítico hipótesis 1: Uso normal – En movimiento:

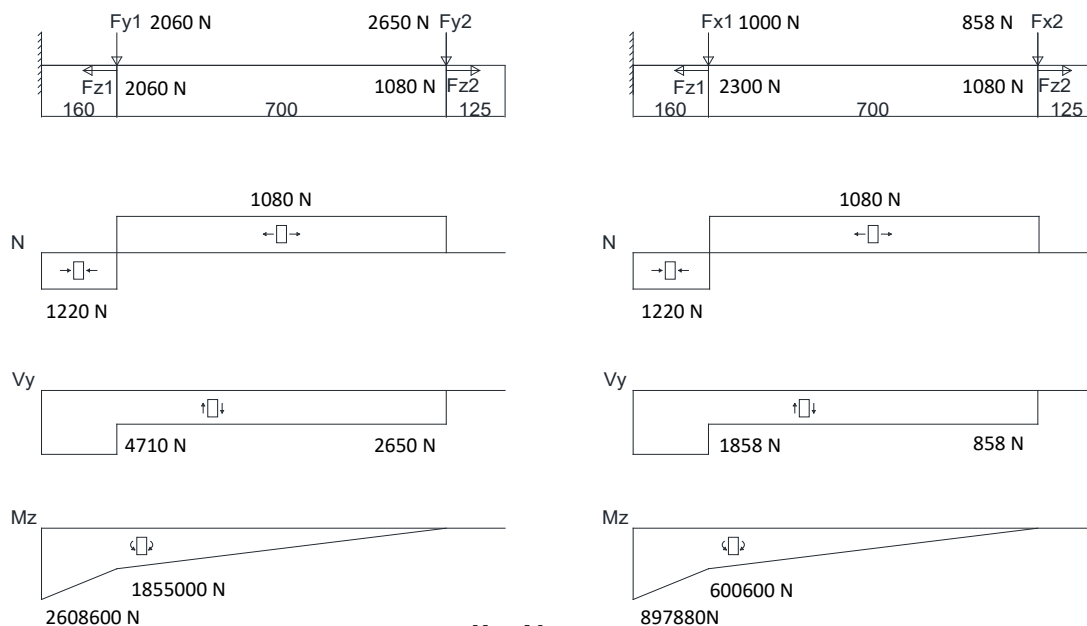
$$I_z = \left(\frac{1}{12} h \cdot b^3 + h \cdot b \cdot \left(y_G - \frac{b}{2} \right)^2 \right) - \left(\frac{1}{12} (h - 2e) \cdot (b - e_1)^3 + (h - 2e) \cdot (b - e_1) \cdot \left(y_G - \frac{b - e_1}{2} \right)^2 \right)$$

Con:

- $y_G = \frac{h \cdot b \cdot \frac{b}{2} - (h - 2e) \cdot (b - e_1) \cdot \frac{(b - e_1)}{2}}{h \cdot b - (h - 2e) \cdot (b - e_1)} = 40,634 \text{ mm}$
- $h = 90 \text{ mm}$
- $b = 60 \text{ mm}$
- $e_1 = 6 \text{ mm}$
- $e = 6 \text{ mm}$

$$I_z = 423715,6 \text{ mm}^4 \quad W_z = \frac{423715,6 \text{ mm}^4}{40,634 \text{ mm}} = 10427,6 \text{ mm}^3$$


Siendo los diagramas de esfuerzos los siguientes:



$$\sigma = \frac{N}{A} - \frac{M_z}{W} = 250 \text{ MPa}$$

Se puede observar rápidamente que al aumentar el espesor se aumenta el momento de inercia y con ello el modulo resistente a flexión lo cual hace que se disminuyan las tensiones producidas.

Aumentando el espesor "e" y "e₁" de 6 mm a 10 mm $I_z = 645999 \text{ mm}^4 \rightarrow \sigma = \frac{N}{A} - \frac{M_z}{W} = 164 \text{ MPa}$

Aplicando el mismo concepto a los elementos cuyas zonas se ven más afectadas tensionalmente se pueden obtener los resultados que se mostraran a continuación.

Cabe añadir que al aumentar el espesor de algunos componentes también se aumentará el peso total, el cual podrá ser rebajado eliminando material en aquellas zonas poco cargadas tensionalmente.

También nombrar que el redondeo o alisamiento de algunas geometrías así como la mejora de los materiales conseguirá eliminar concentradores de tensiones y con ello favorecer la resistencia total.

5.10. RESULTADOS GRAFICOS PROPUESTA DE MEJORA

MATERIALES Y ESPESORES DE LOS ELEMENTOS DEL CHASIS				
CONJUNTO	ELEMENTO	MATERIAL	ESPESOR ORIGINAL (mm)	ESPESOR NUEVO
TRAVESAÑO SUPERIOR	PANEL SUPERIOR	ACERO 275	4	4
	FIJACIONES SUPERIORES	ACERO 275	6	8
	RAIL FIJACION	ACERO 275	2	2
	REFUERZOS LATERALES	ACERO 275	4	4
LATERALES	LARGUEROS	ACERO 275	5	5
	ROZADERAS	ALUMINIO	10	10
	PARACAIDAS	FUNDICION	10	10
SOPORTE INFERIOR	PERFIL UPN 140	ACERO 275	6	10
	PERFILES LATERALES	ACERO 275	6	10
	TIRO DE CABLES	ACERO 275	10	10
	CELULAS DE CARGA	ACERO 275	45	45

5.9.1. Hipótesis 1: Uso normal – En movimiento

5.9.1.1. Tensiones

5.9.1.1.1. Carga descentrada en el eje X

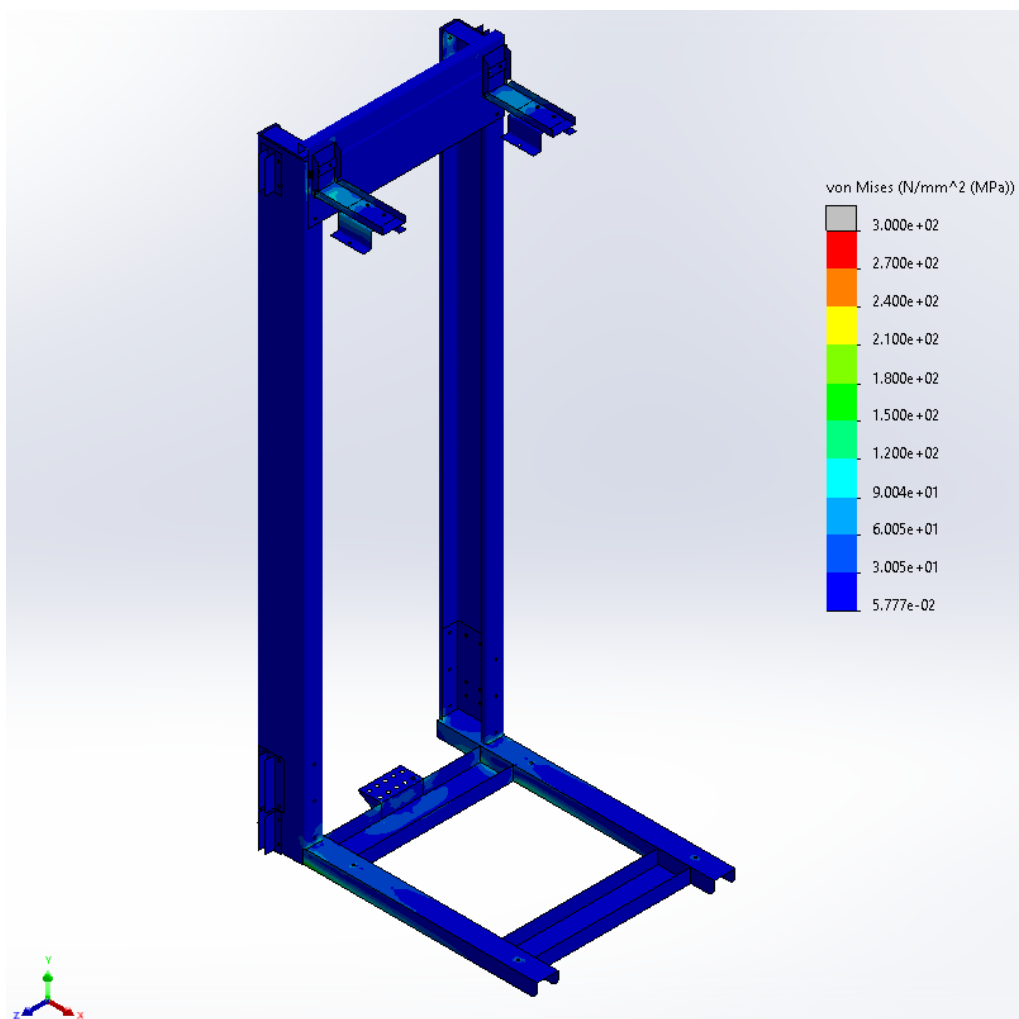


Ilustración 160 Tensiones (MPa) Conjunto total Q descentrada eje X Hipótesis 1

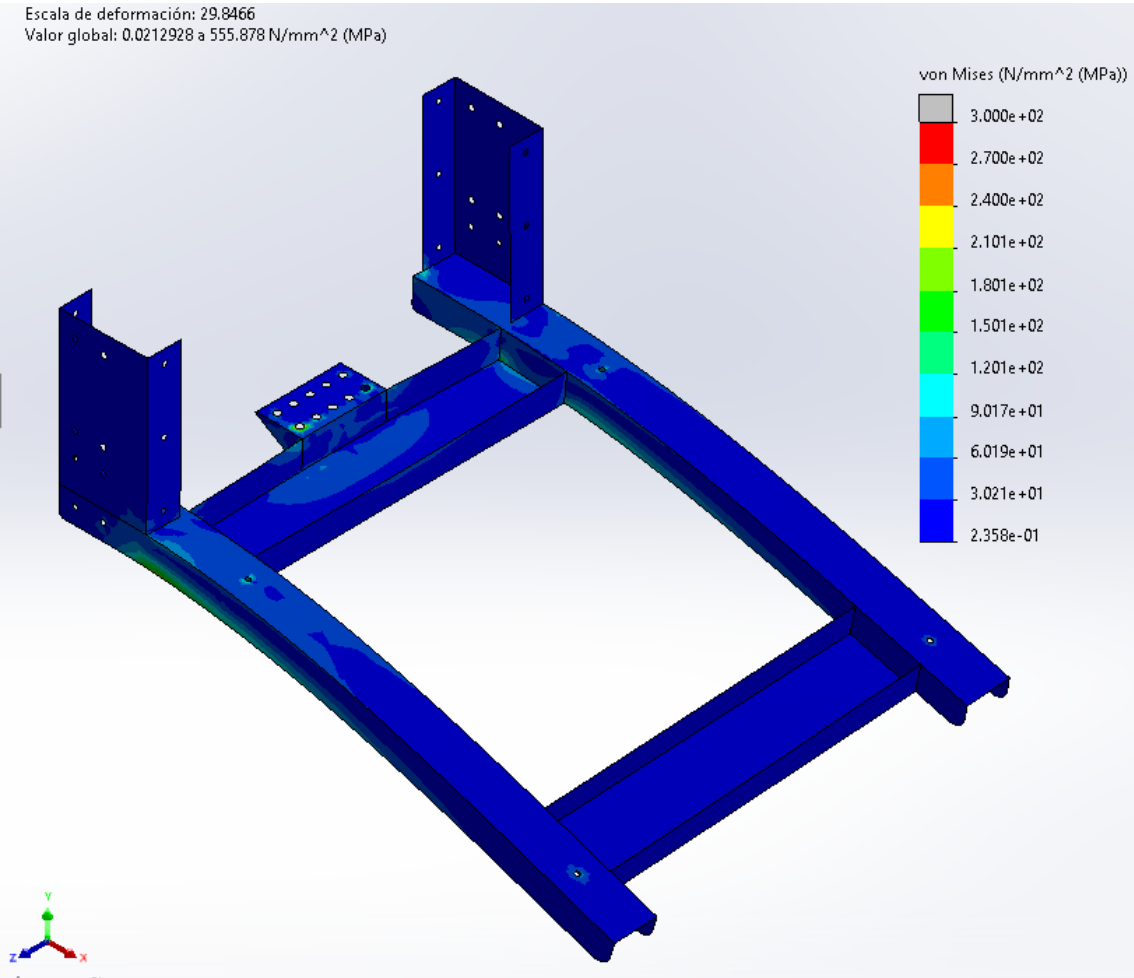


Ilustración 161 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje X Hipótesis 1

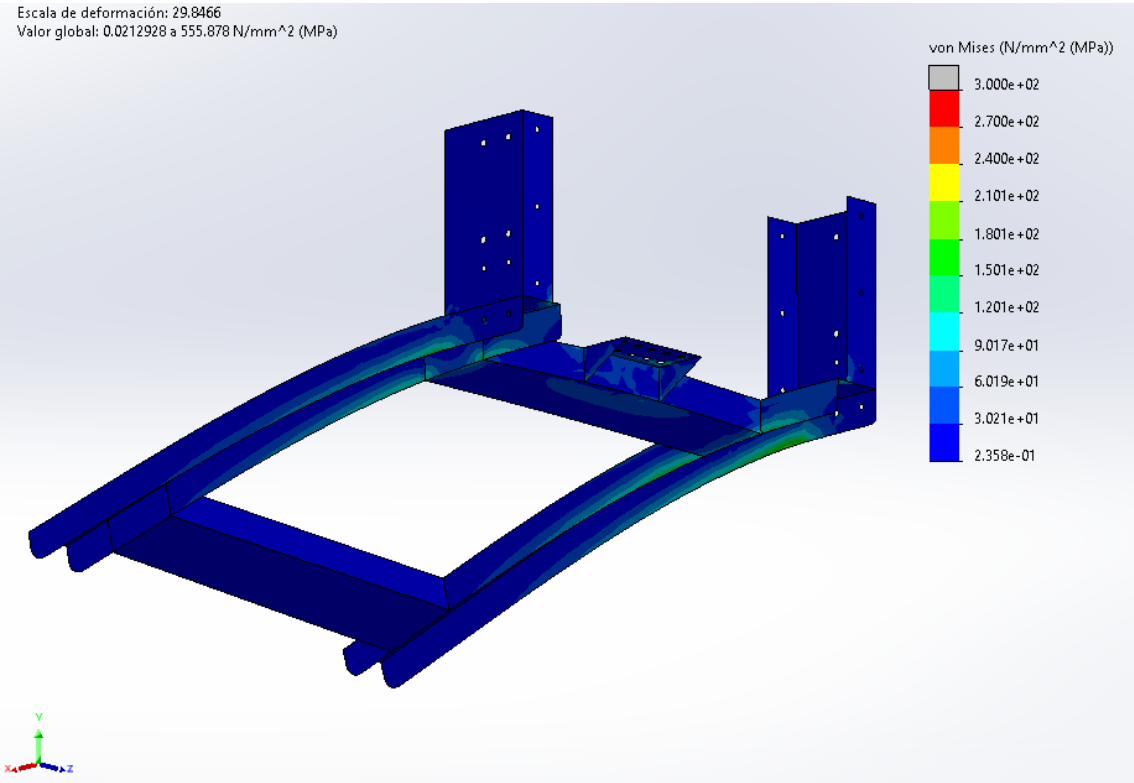


Ilustración 162 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje X Hipótesis 1

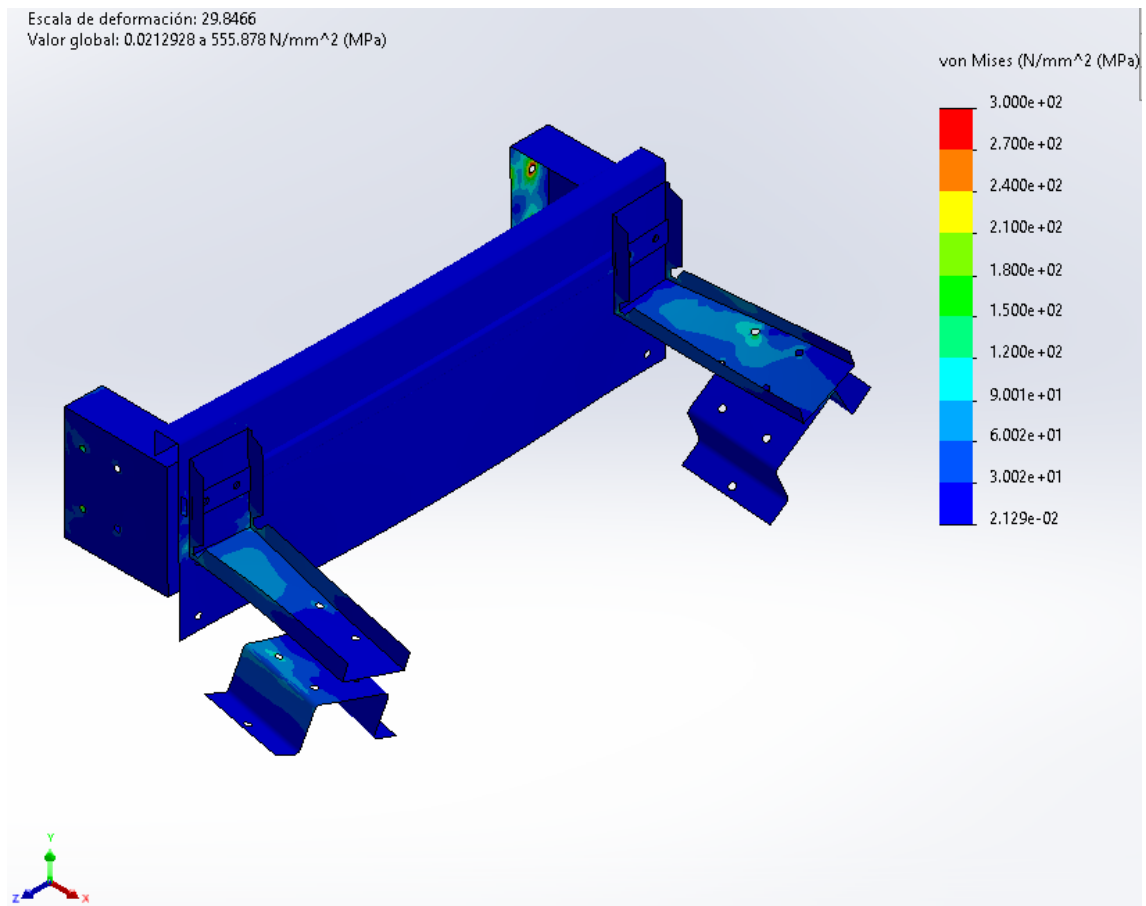


Ilustración 163 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje X Hipótesis 1

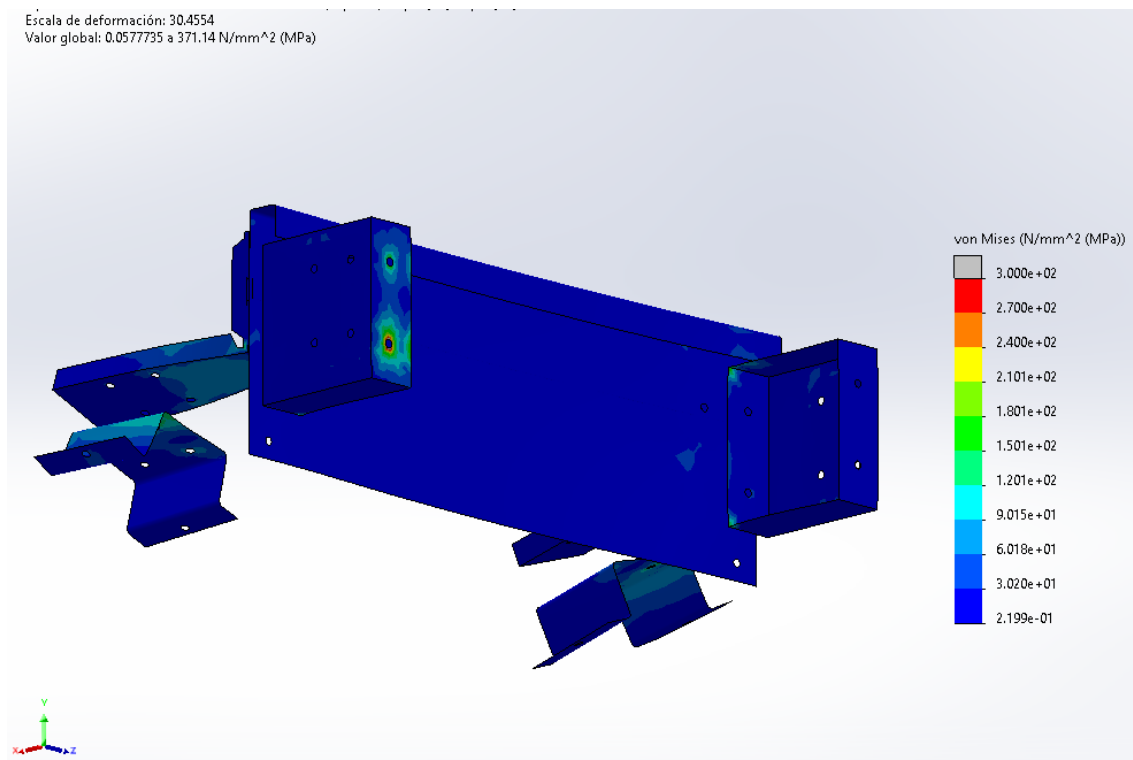


Ilustración 164 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje X Hipótesis 1

5.9.1.1.2. Carga descentrada en el eje Z

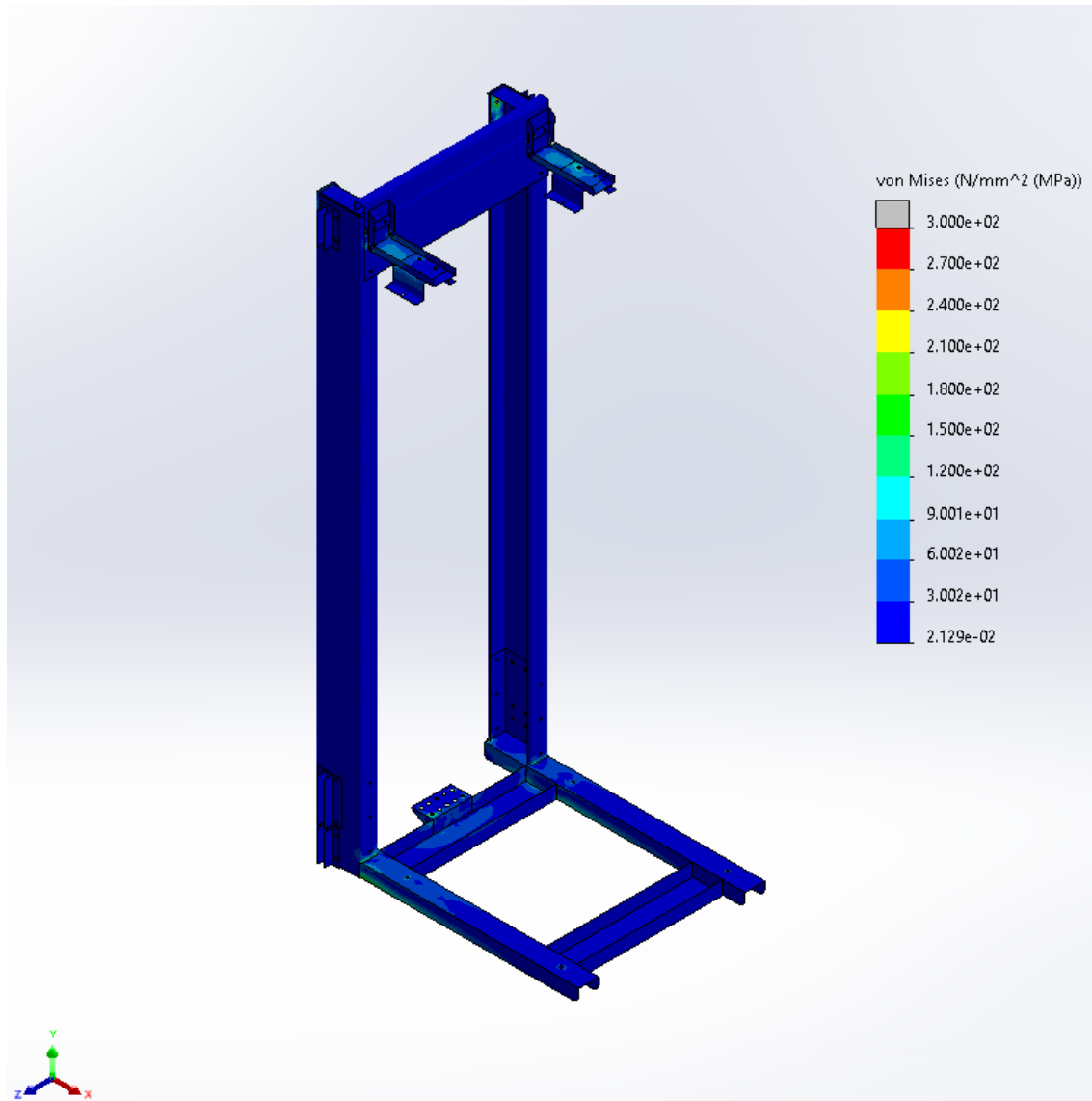


Ilustración 165 Tensiones (MPa) Conjunto total Q descentrada eje Z Hipótesis 1

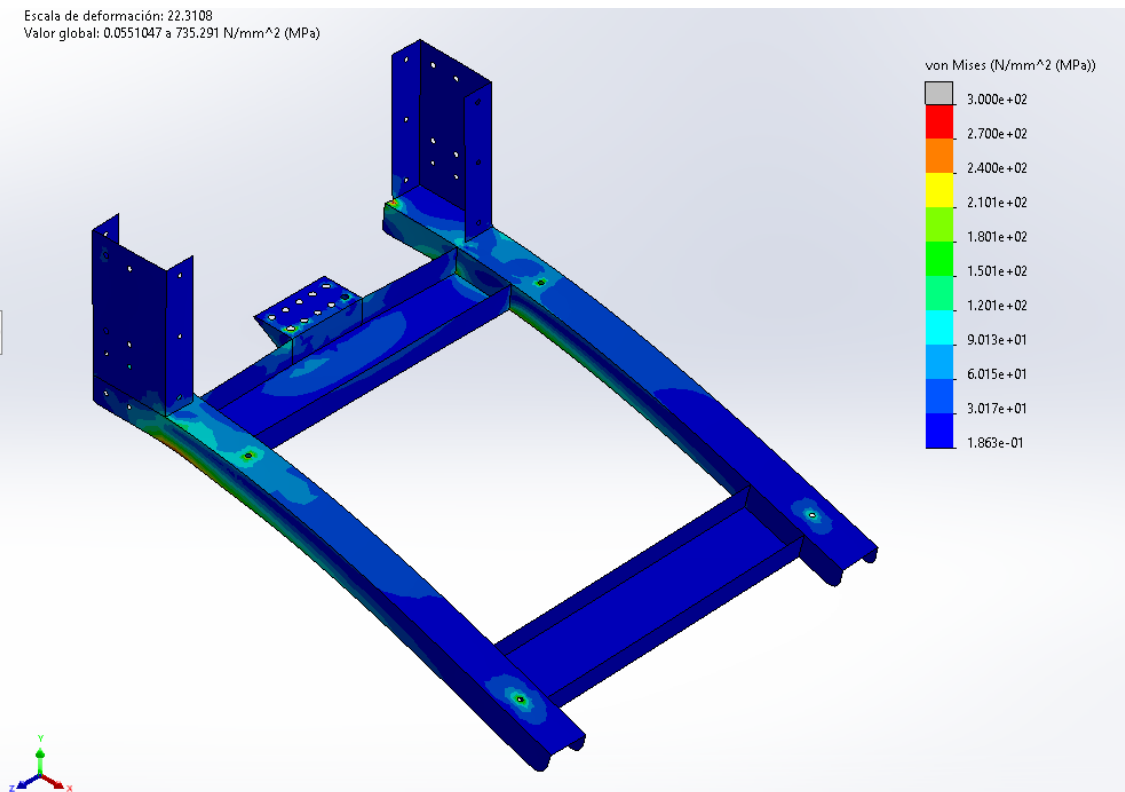


Ilustración 166 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje Z Hipótesis 1

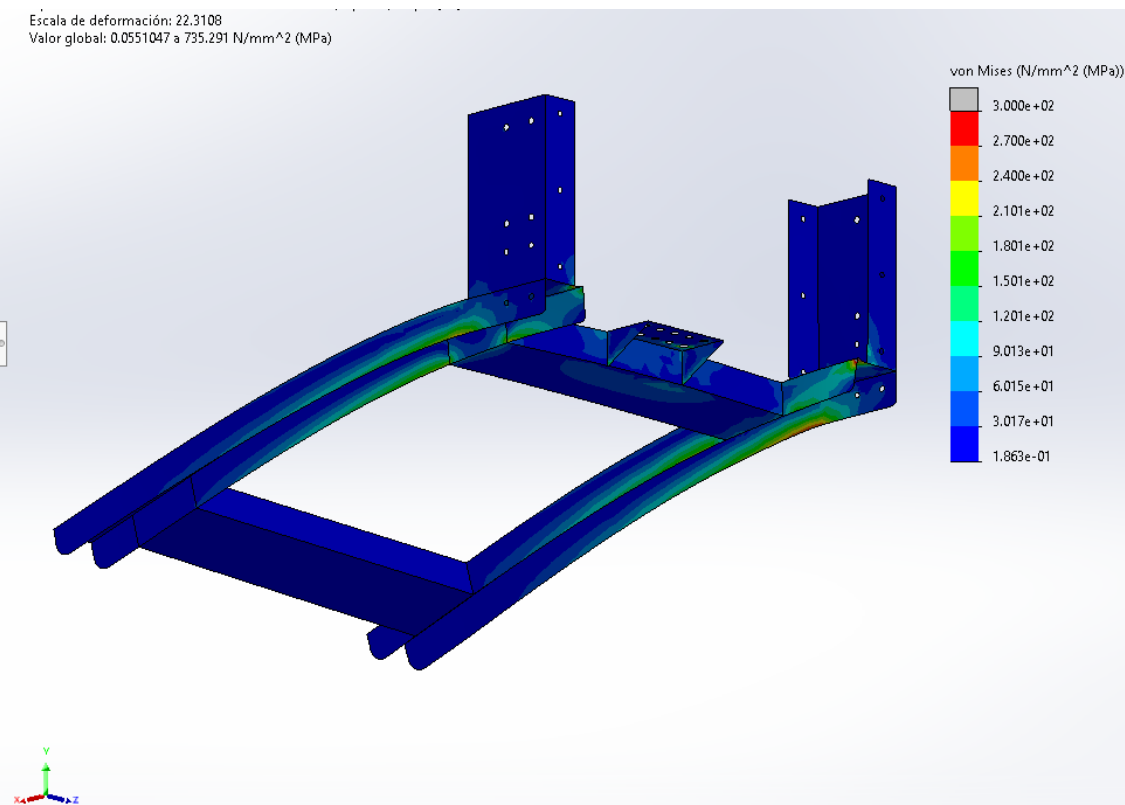


Ilustración 167 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje Z Hipótesis 1

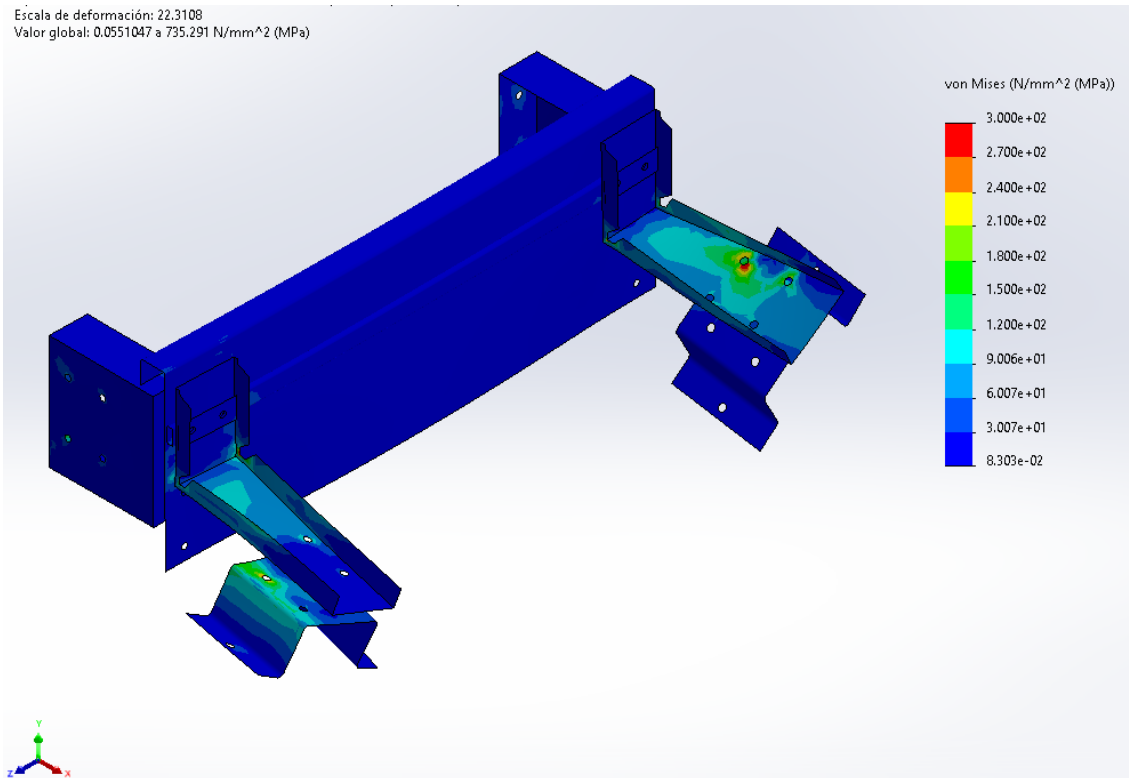


Ilustración 168 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje Z Hipótesis 1

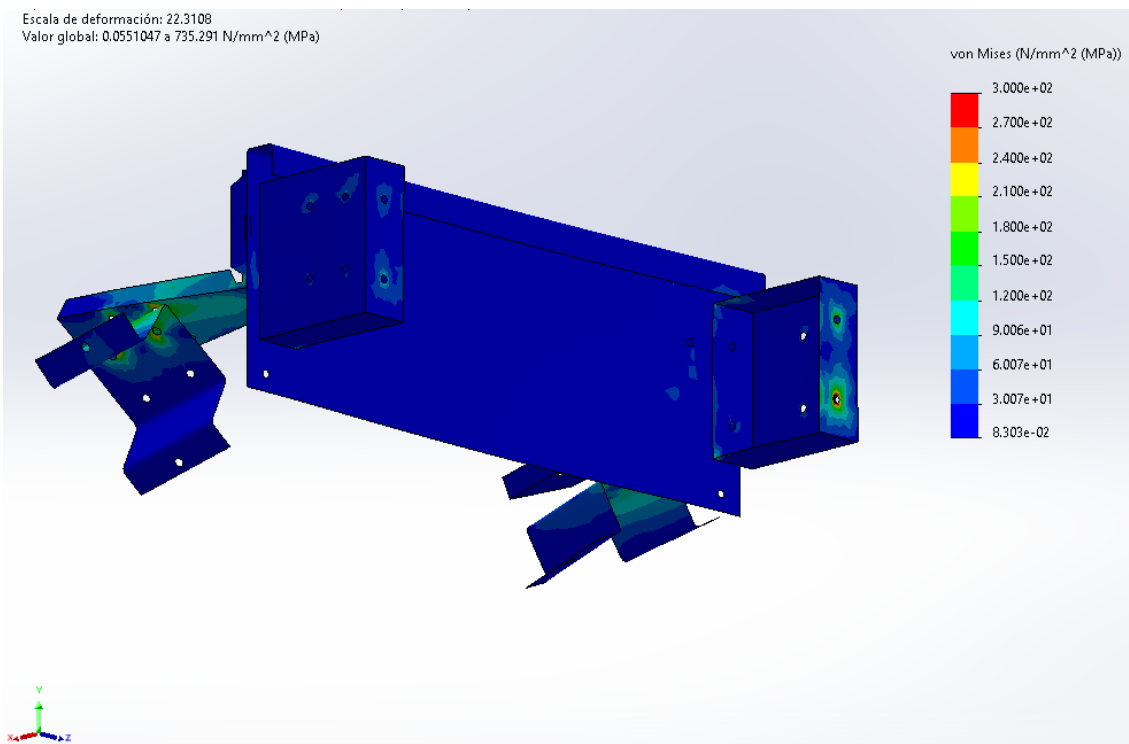


Ilustración 169 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje Z Hipótesis 1

5.9.1.2. Desplazamientos

5.9.1.2.1. Carga descentrada en el eje X

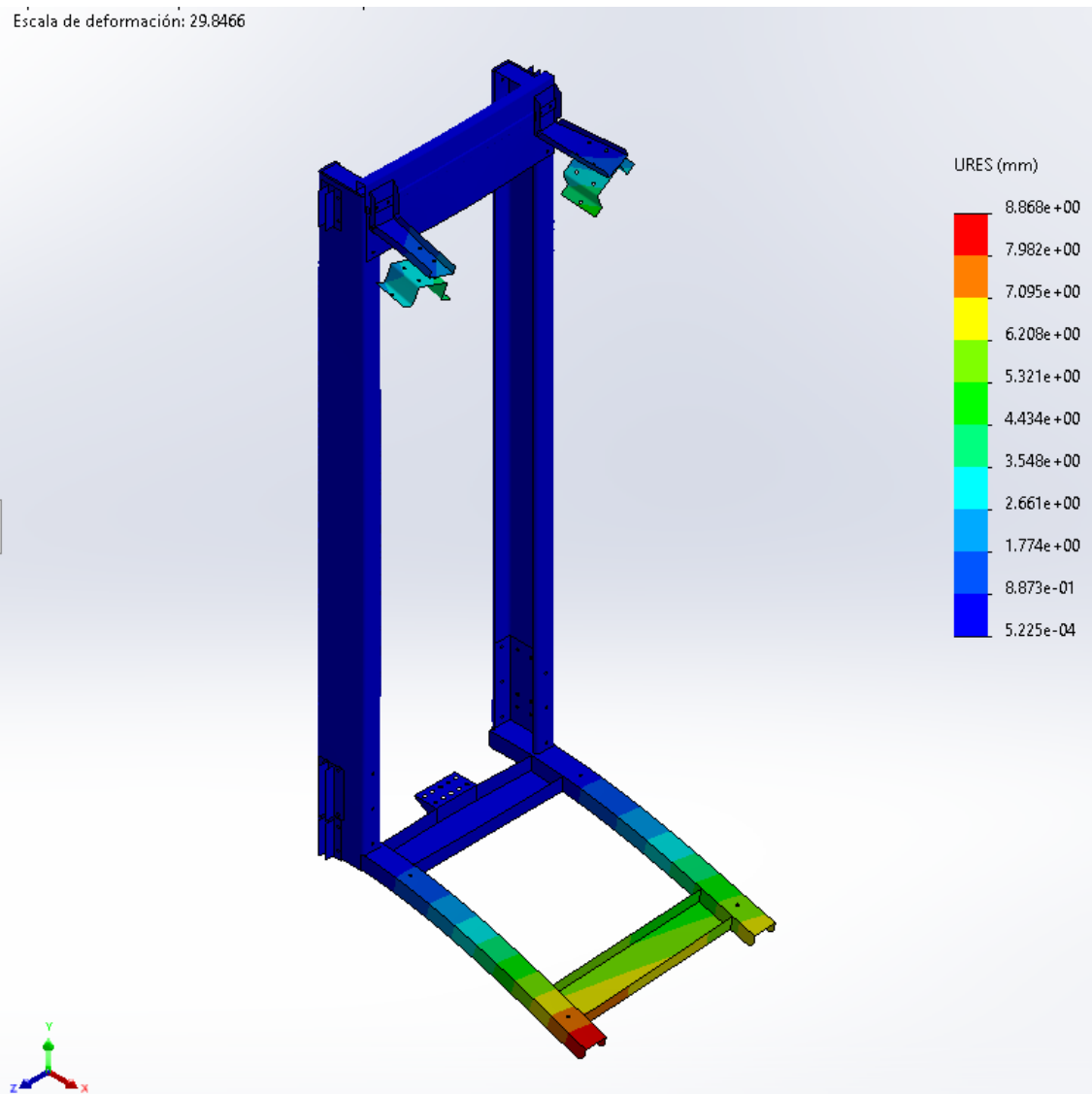


Ilustración 170 Desplazamientos URES (mm) Q descentrada eje X Hipótesis I

Escala de deformación: 29,8466

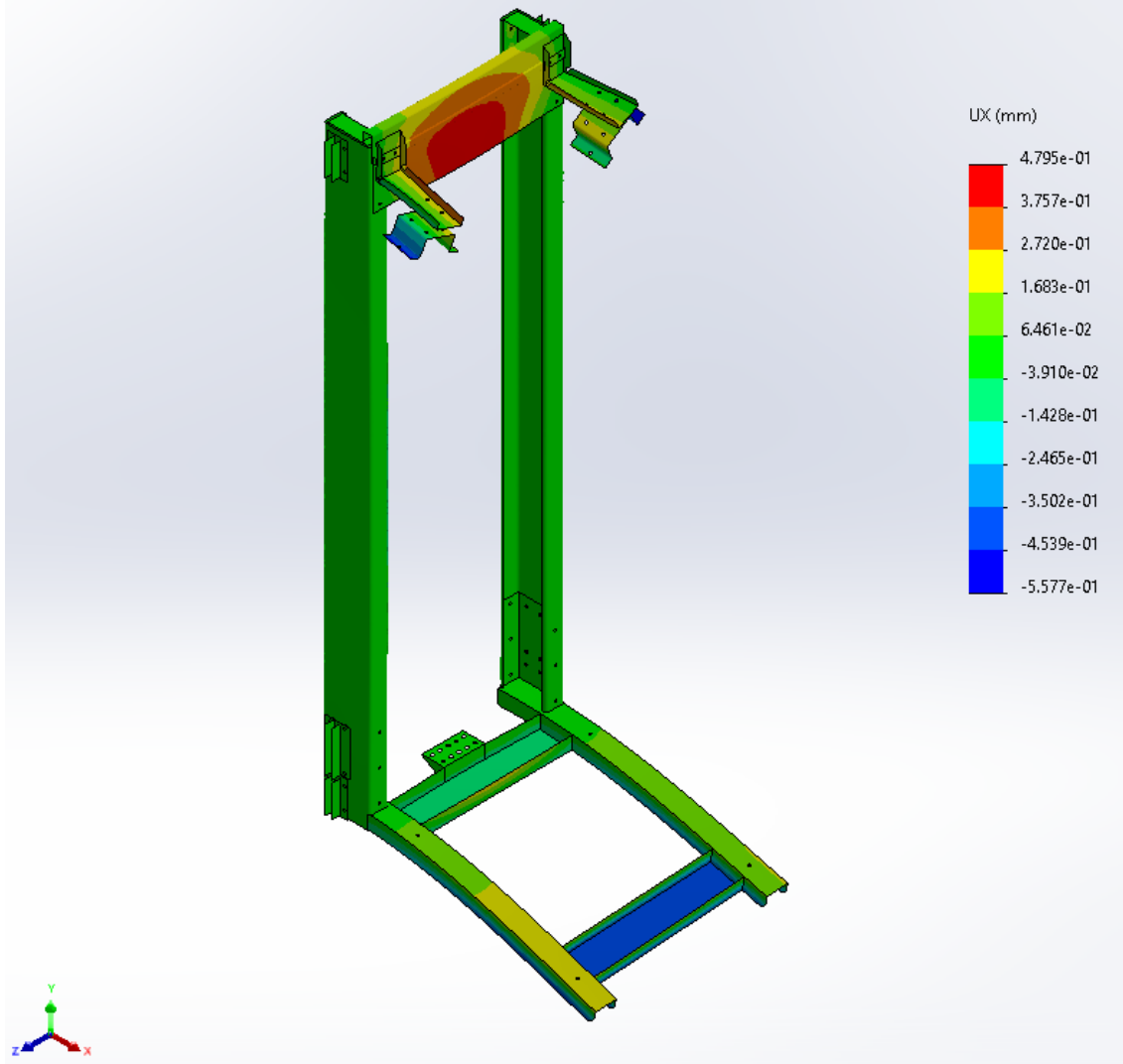


Ilustración 171 Desplazamientos U_x (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 1

Escala de deformación: 29.8466

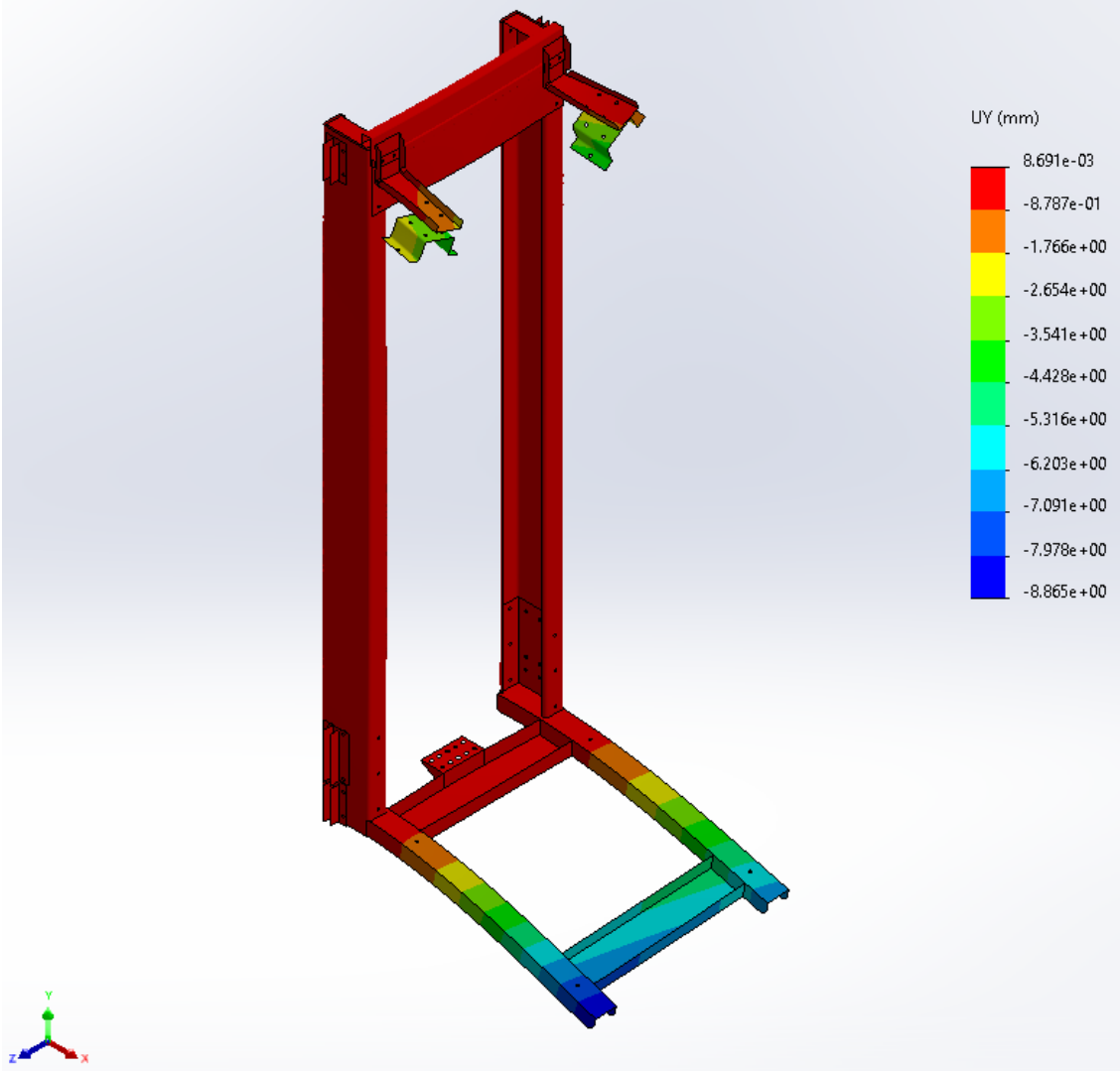


Ilustración 172 Desplazamientos Uy (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 1

Escala de deformación: 29.8466

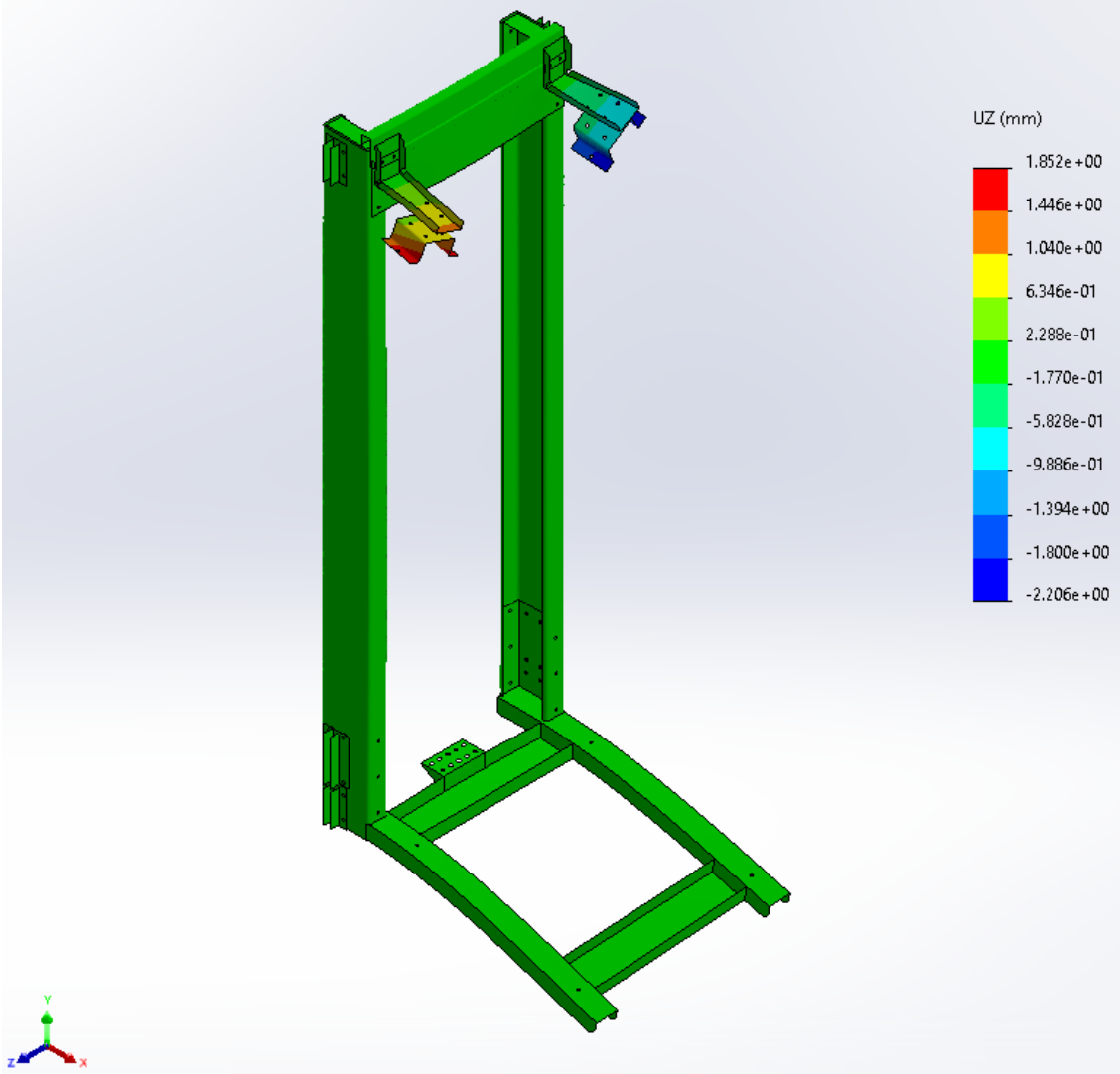


Ilustración 173 Desplazamientos U_z (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 1

5.9.1.2.2. Carga descentrada en el eje Z

Escala de deformación: 22.3108

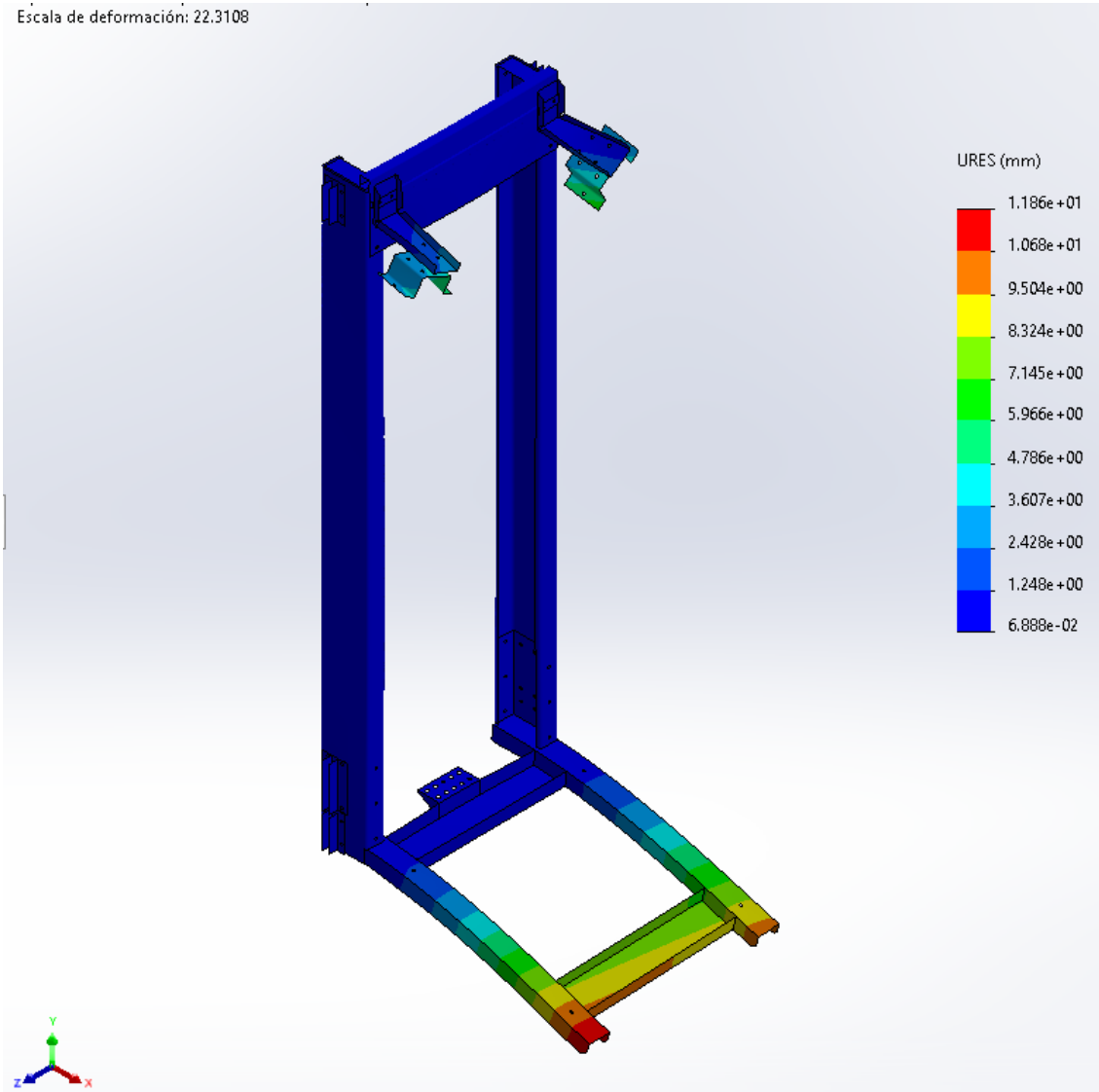


Ilustración 174 Desplazamientos URES (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 1

Escala de deformación: 22.3108

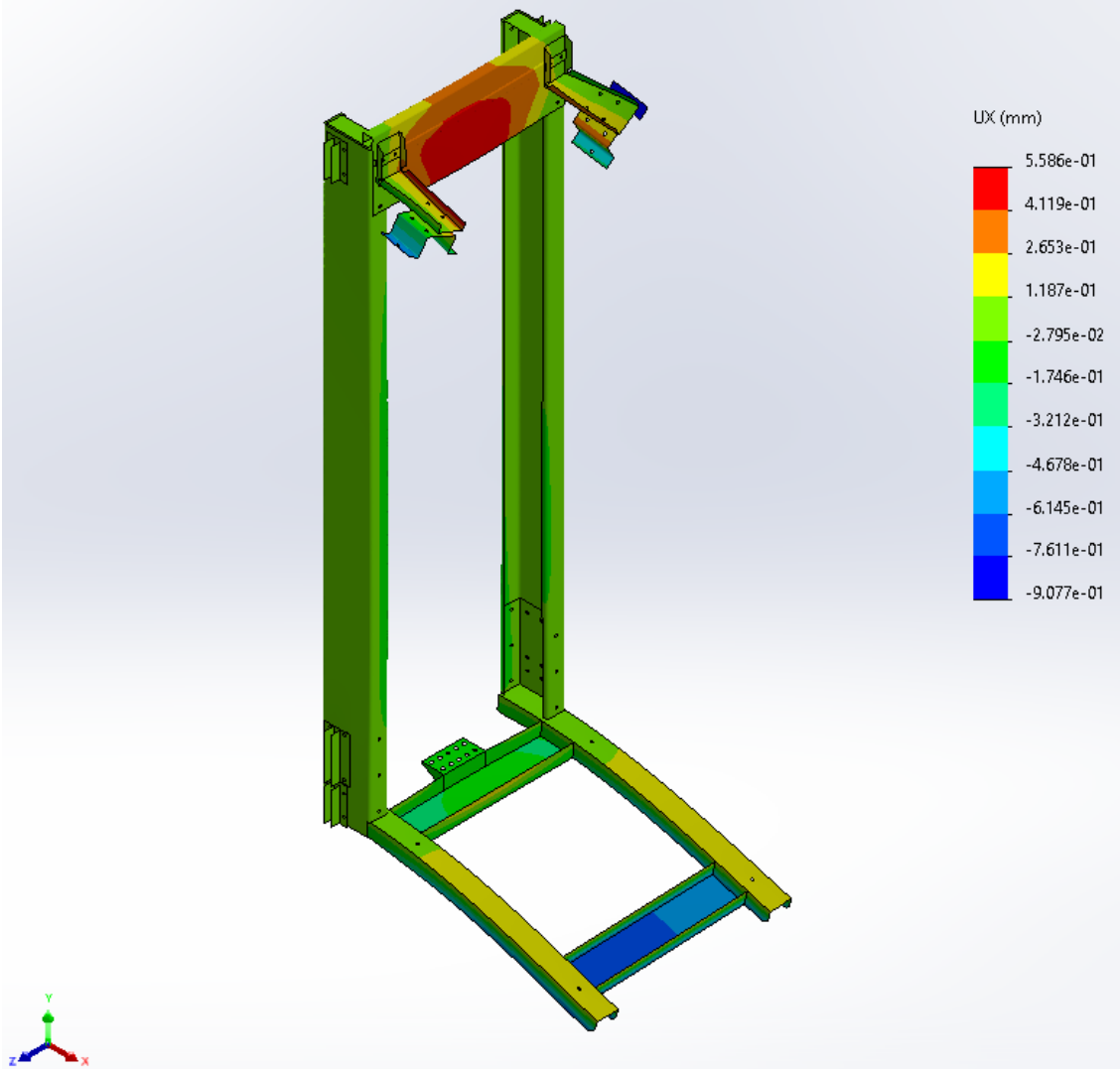


Ilustración 175 Desplazamientos U_x (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 1

Escala de deformación: 22.3108

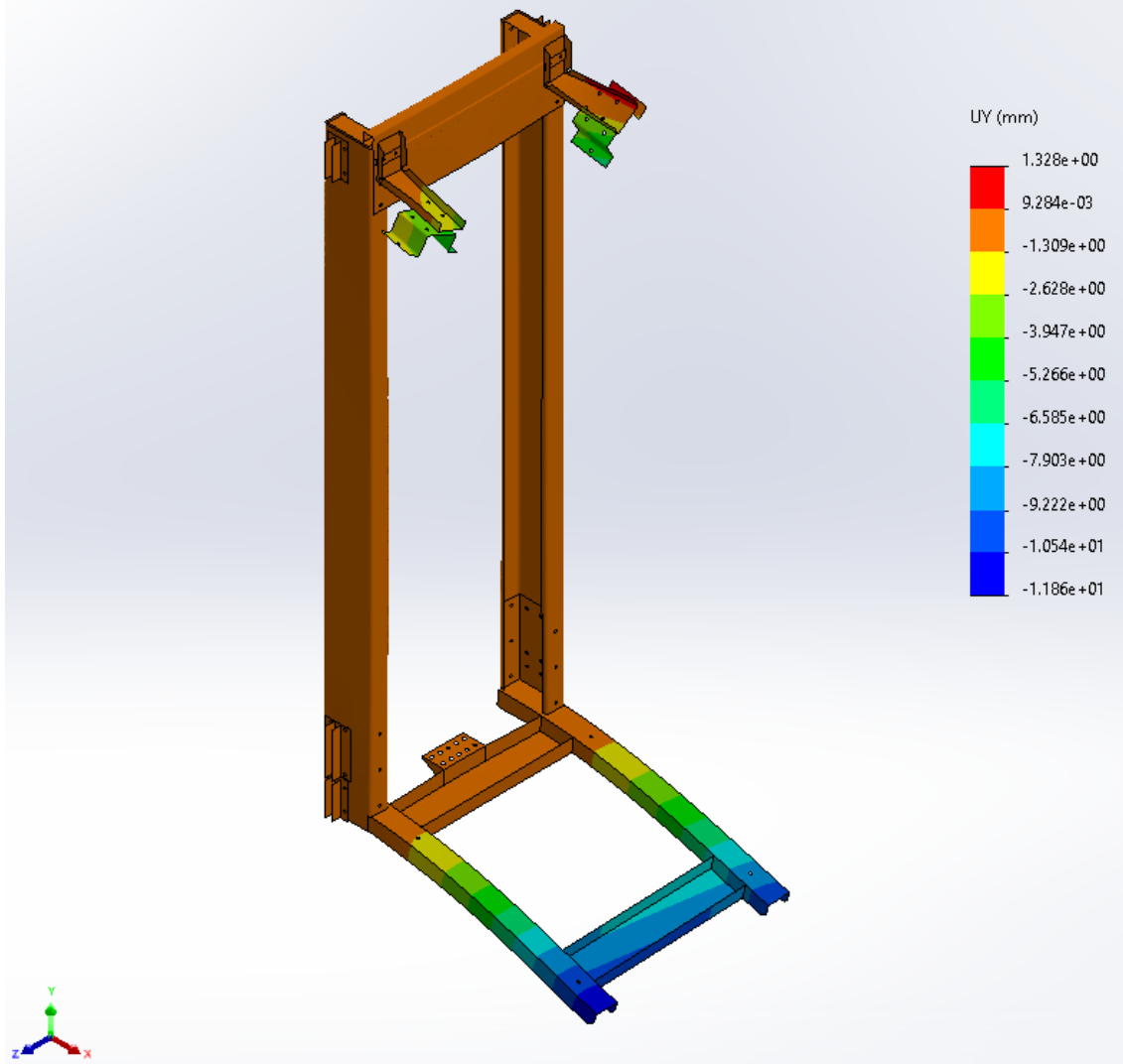


Ilustración 176 Desplazamientos Uy (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 1

Escala de deformación: 22.3108

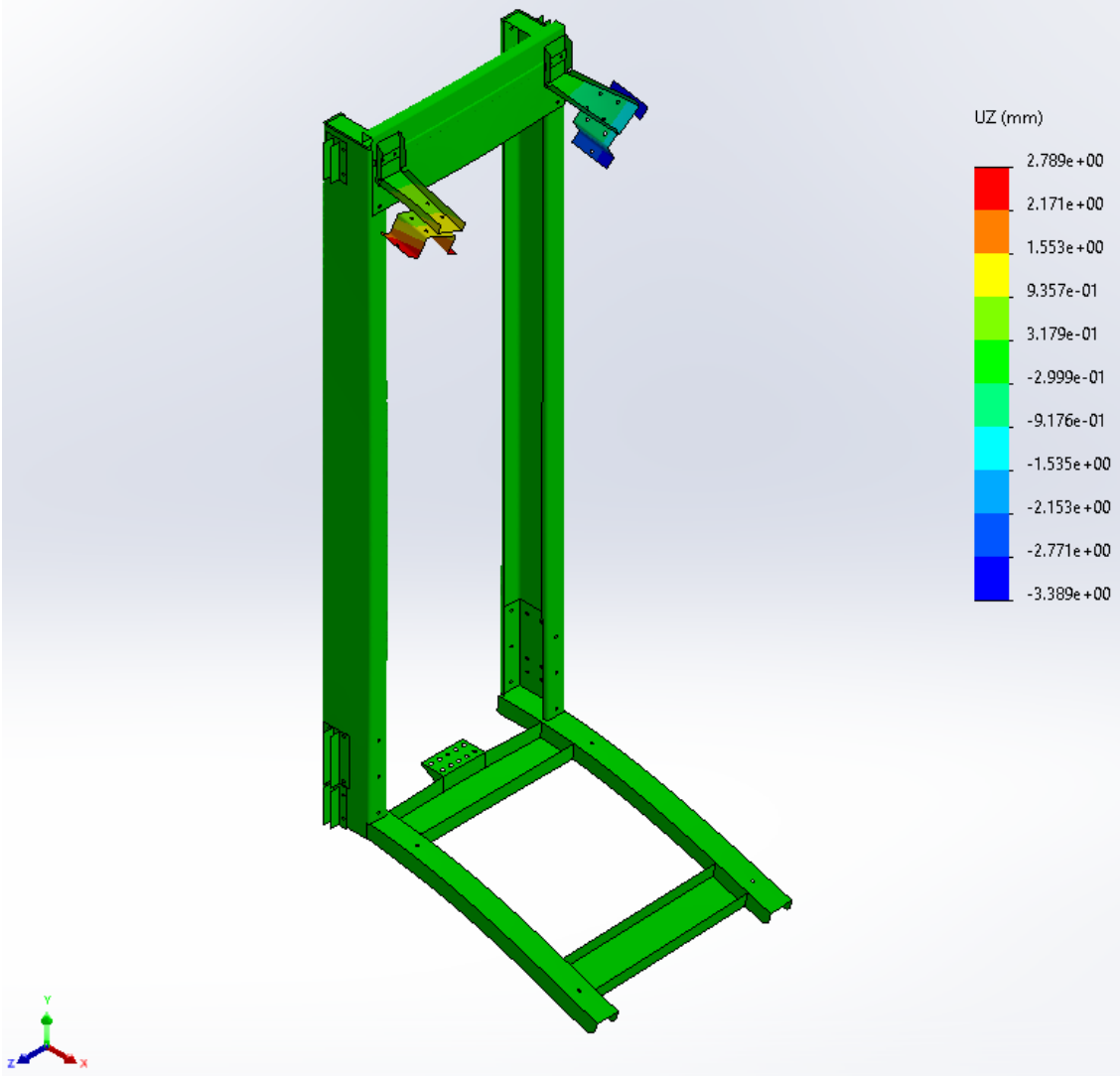


Ilustración 177 Desplazamientos U_z (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 1

8.9.1. Hipótesis 2: Uso normal – Carga y descarga

5.9.1.3. Tensiones

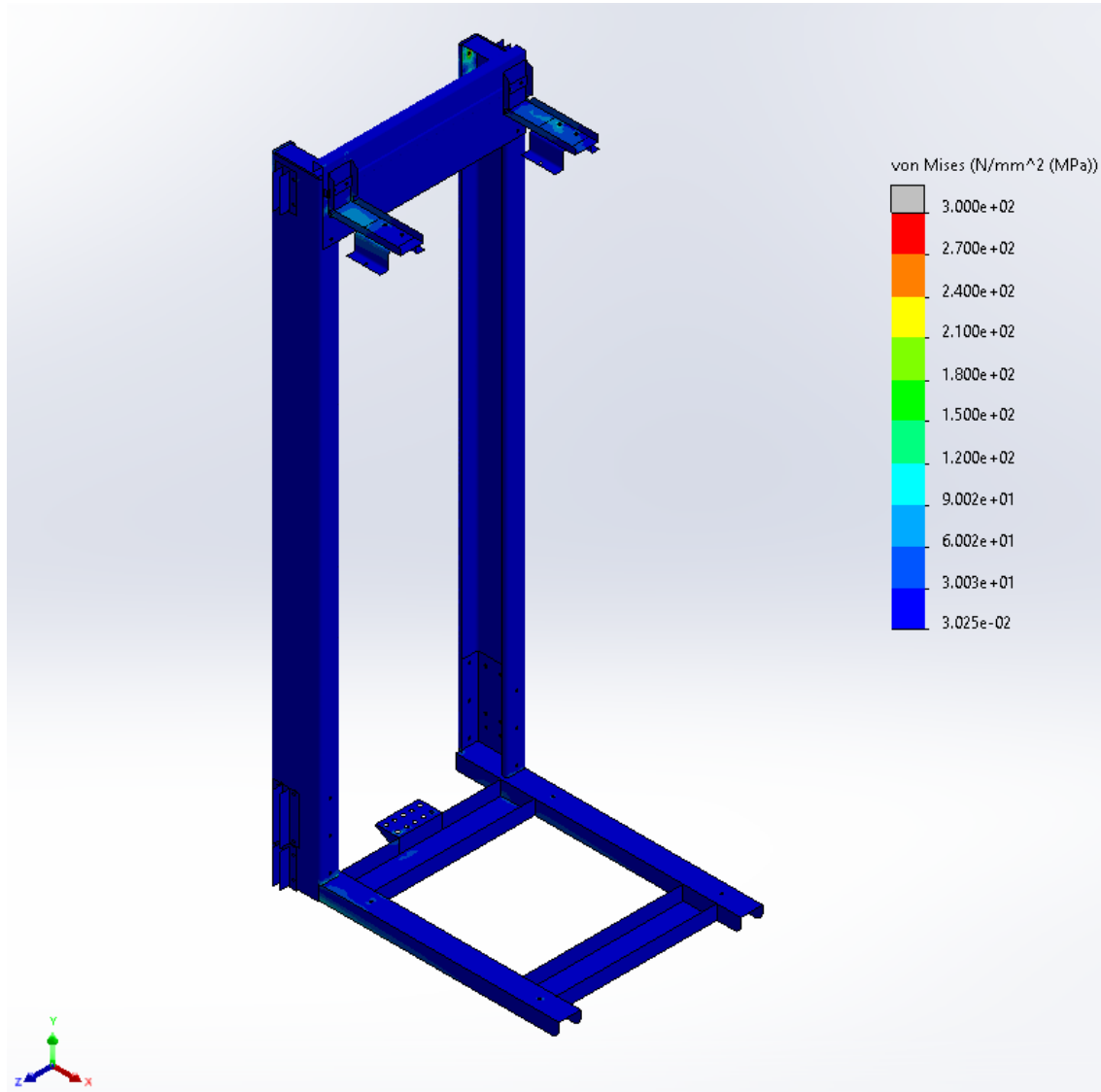


Ilustración 178 Tensiones (MPa) Hipótesis 2

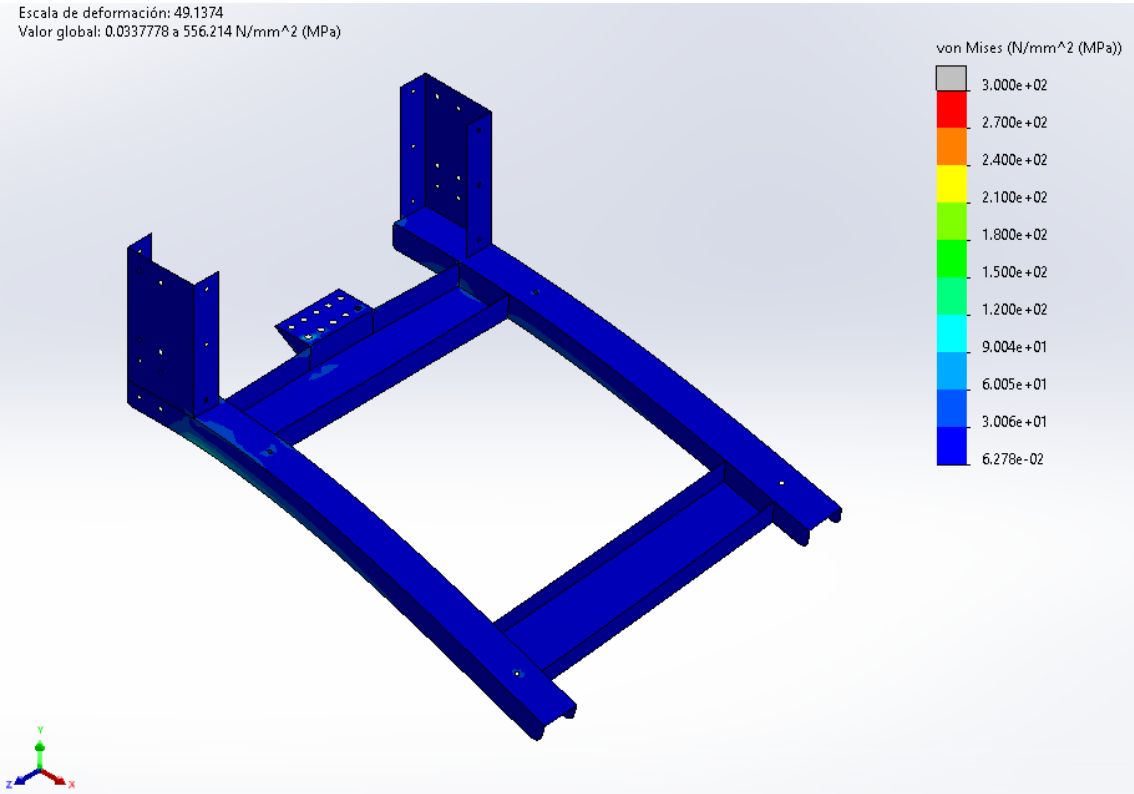


Ilustración 179 Tensiones (MPa) Hipótesis 2

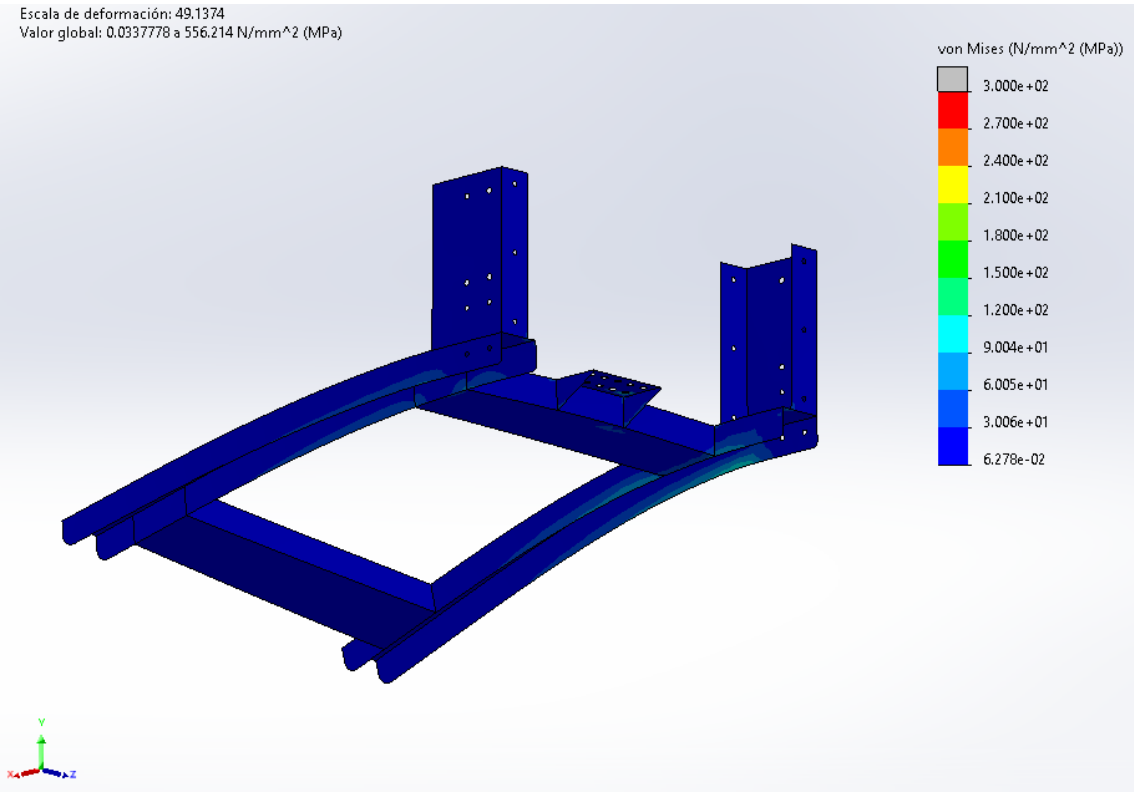


Ilustración 180 Tensiones (MPa) Hipótesis 2

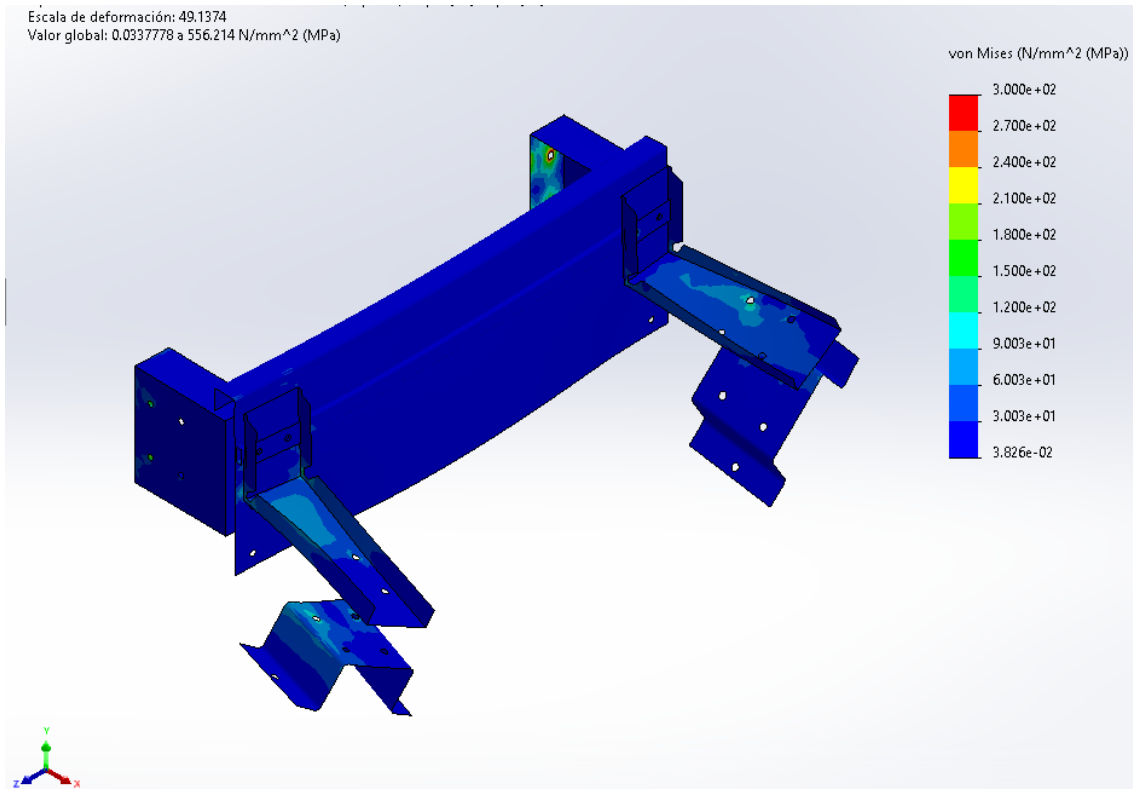


Ilustración 181 Tensiones (MPa) Hipótesis 2

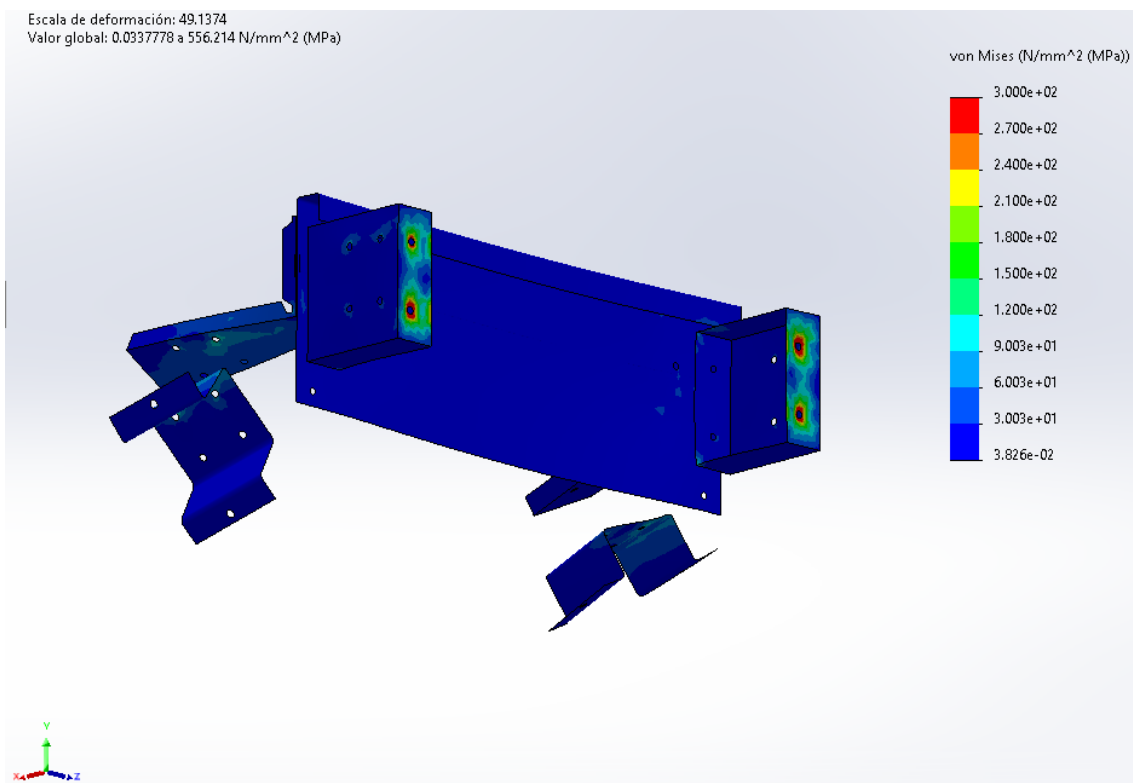


Ilustración 182 Tensiones (MPa) Hipótesis 2

5.9.1.4. Desplazamientos

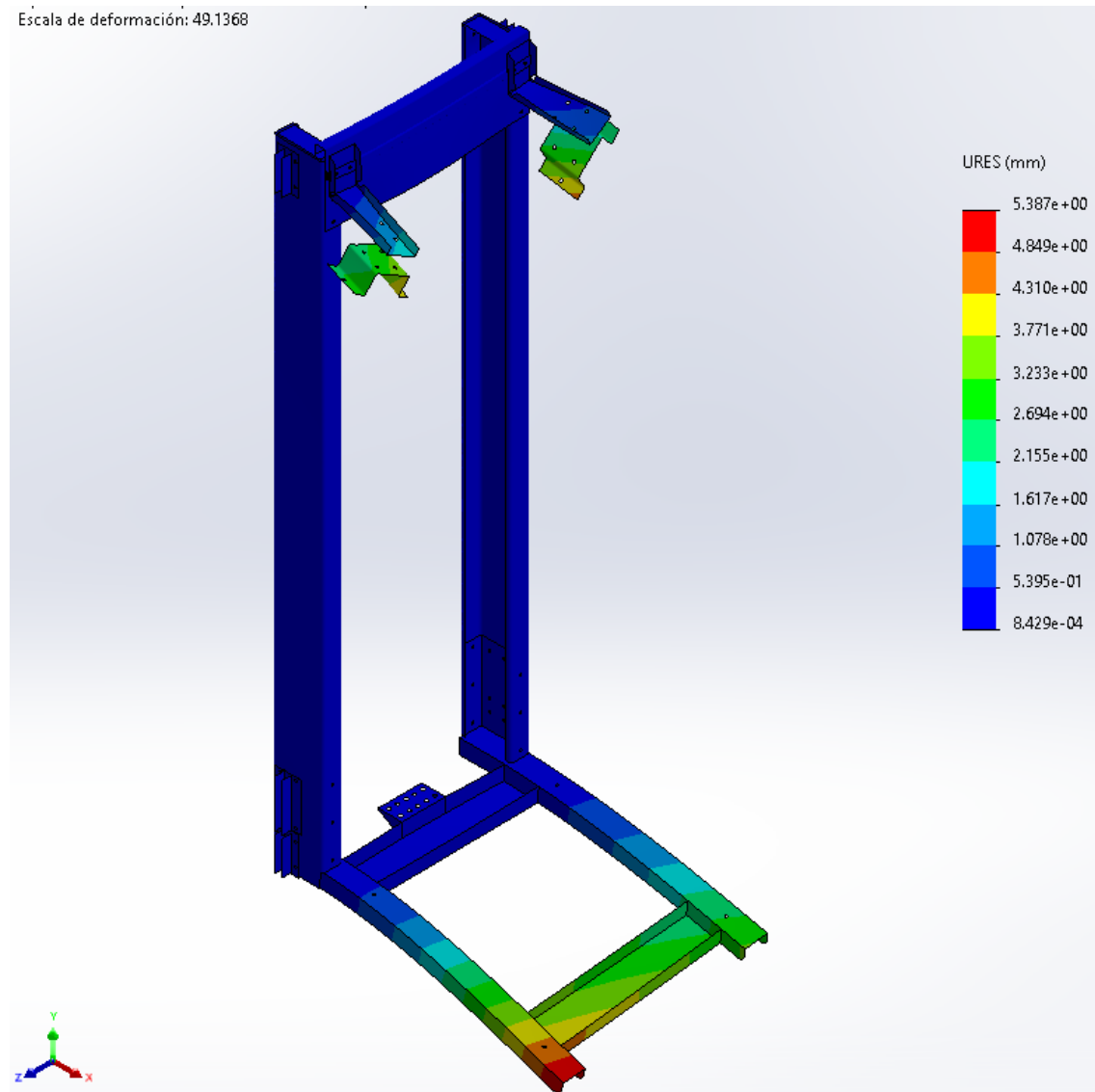


Ilustración 183 Desplazamientos URES (mm) Hipótesis 2

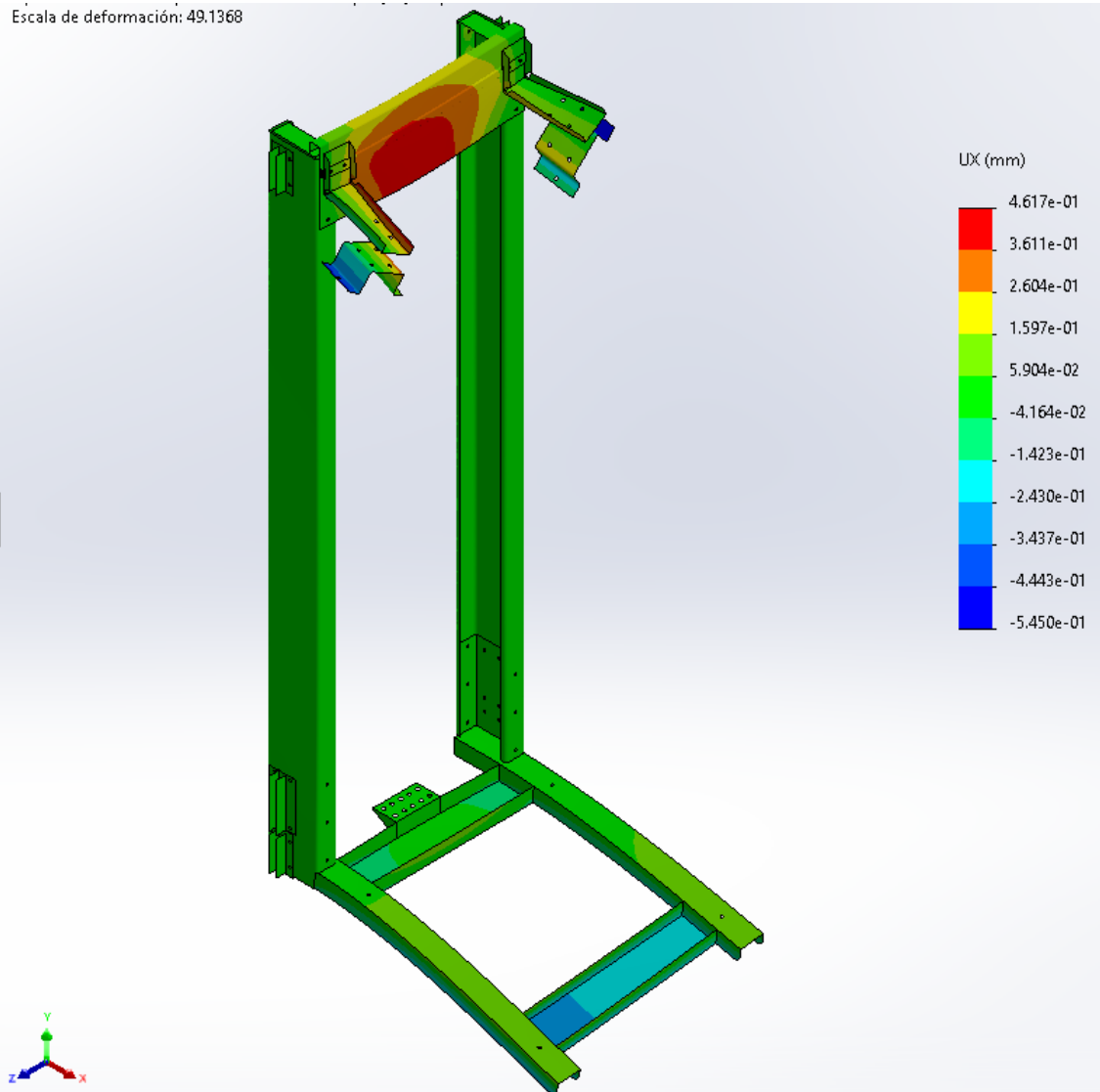


Ilustración 184 Desplazamientos Ux (mm) Hipótesis 2

Escala de deformación: 49.1368

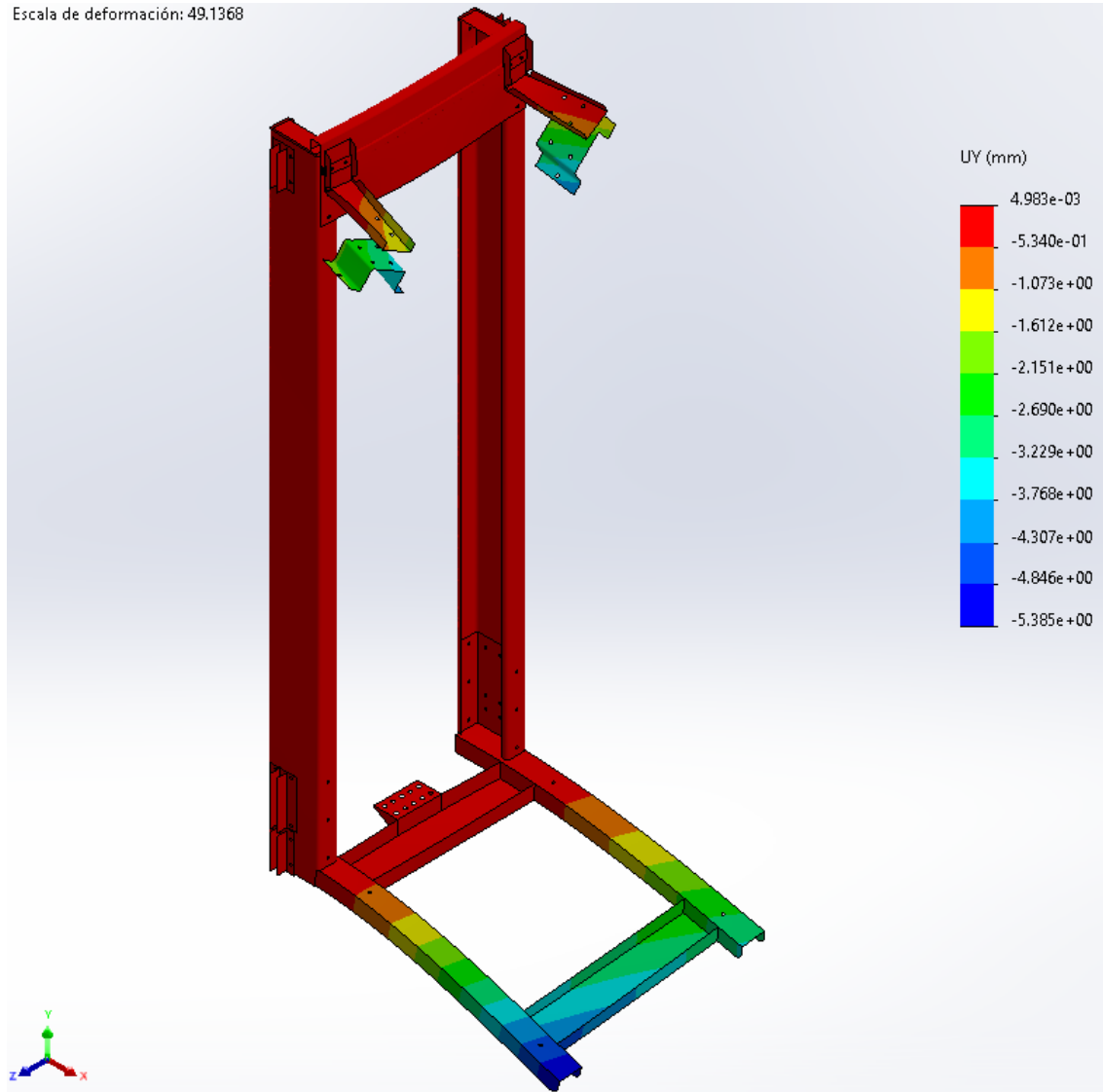


Ilustración 185 Desplazamientos Uy (mm) Hipótesis 2

Escala de deformación: 49,1368

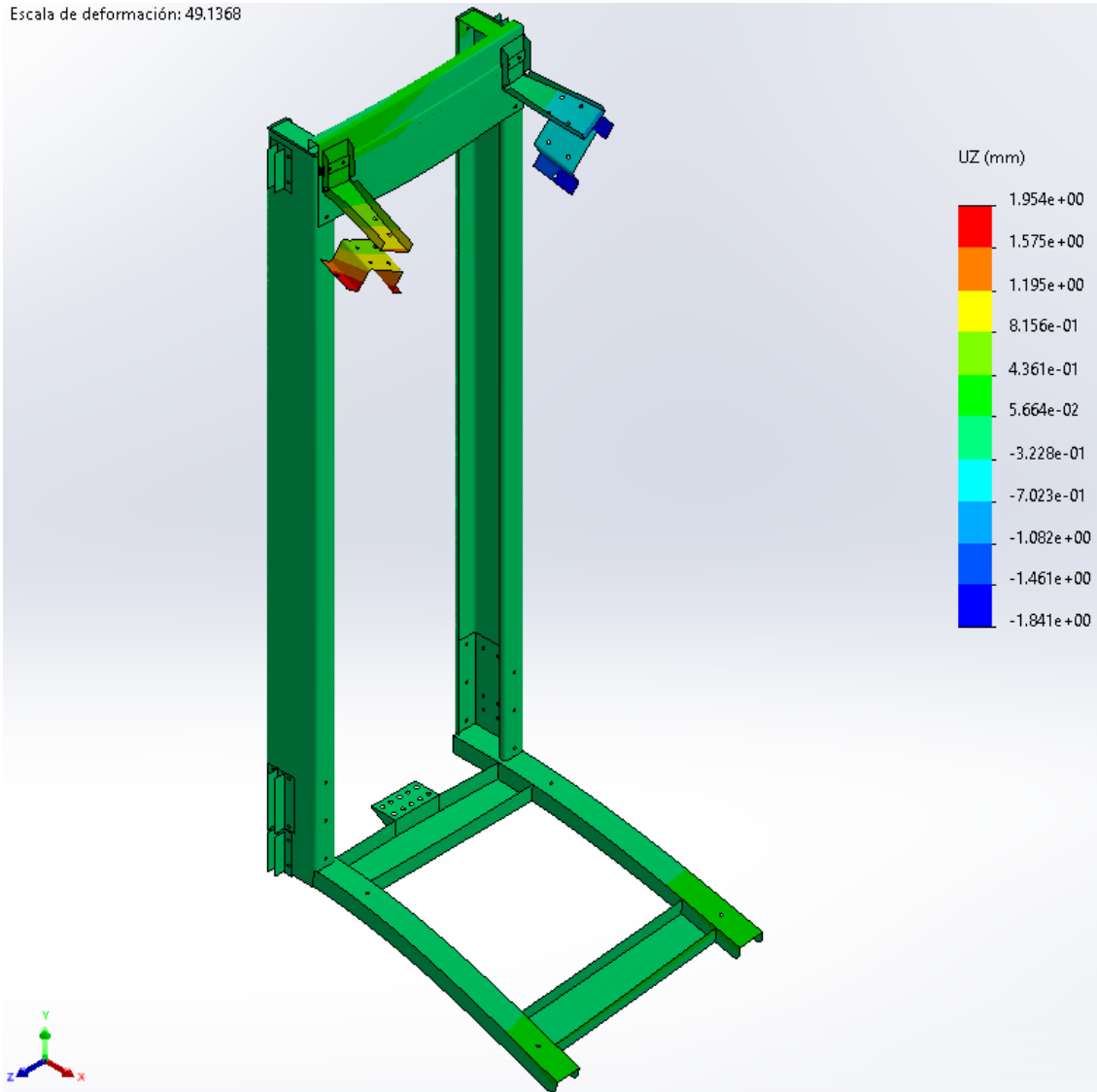


Ilustración 186 Desplazamientos Uz (mm) Hipótesis 2

5.9.3. Hipótesis 3: Actuación del dispositivo de seguridad

5.9.4.1. Tensiones

5.9.4.1.1. Carga descentrada en el eje X

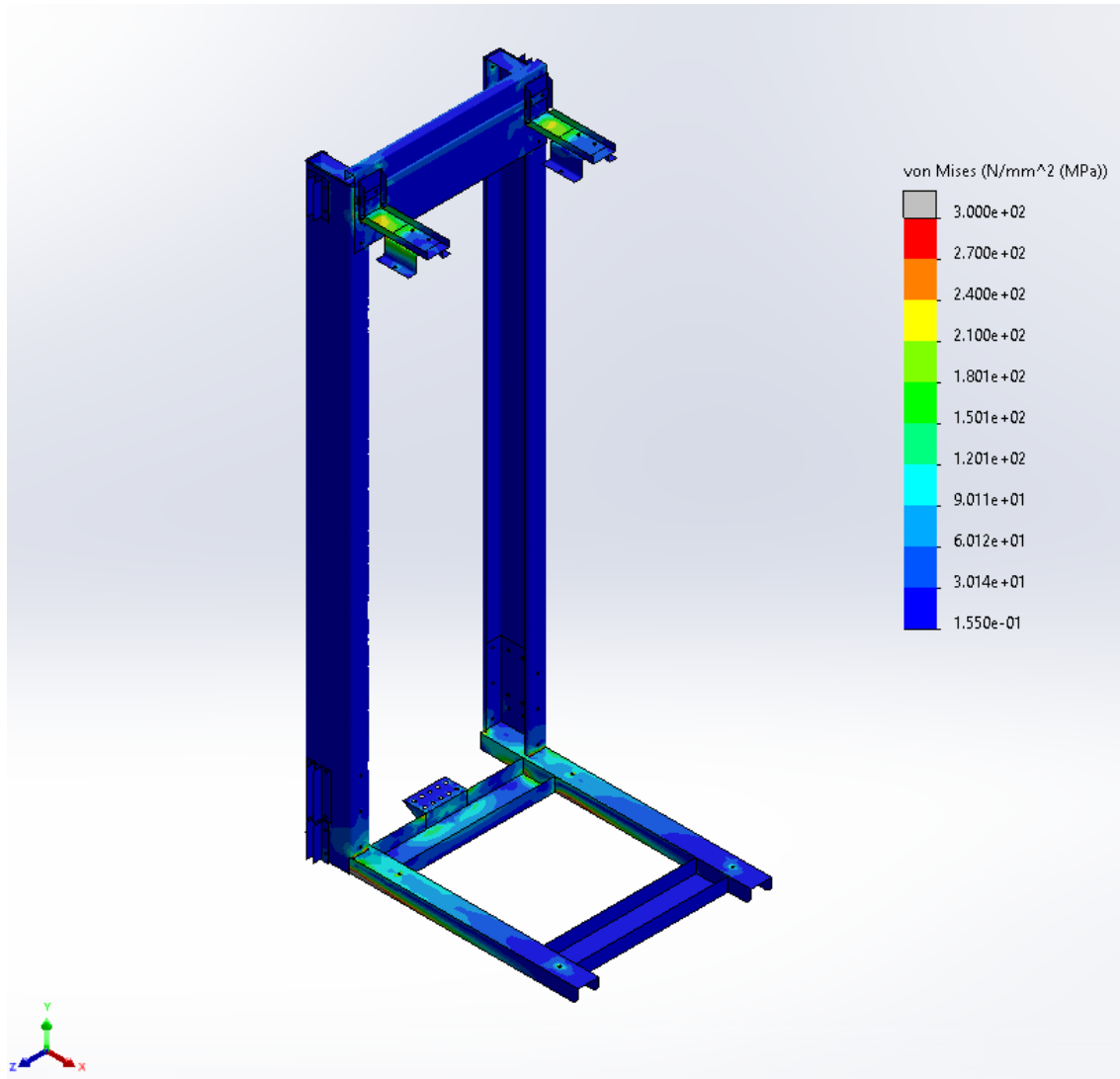


Ilustración 187 Tensiones (MPa) Conjunto total Q descentrada eje X Hipótesis 3

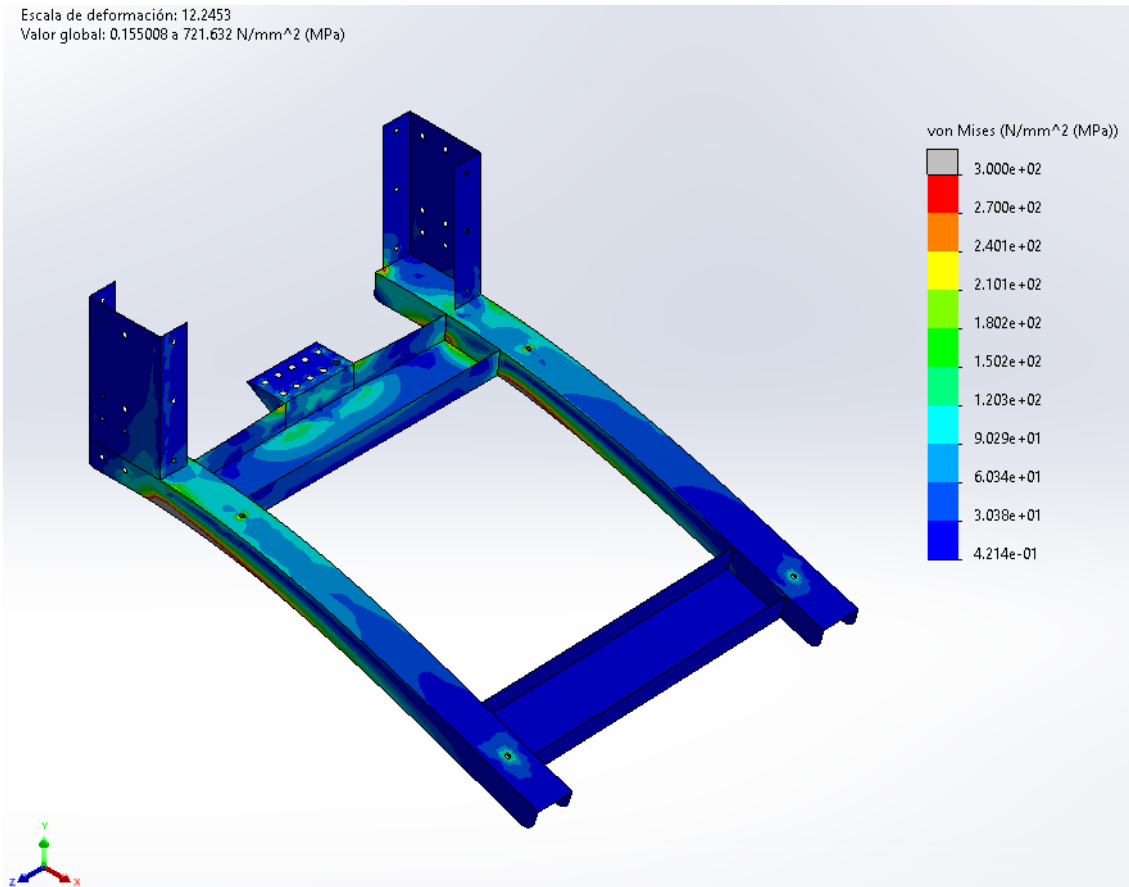


Ilustración 188 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje X Hipótesis 3

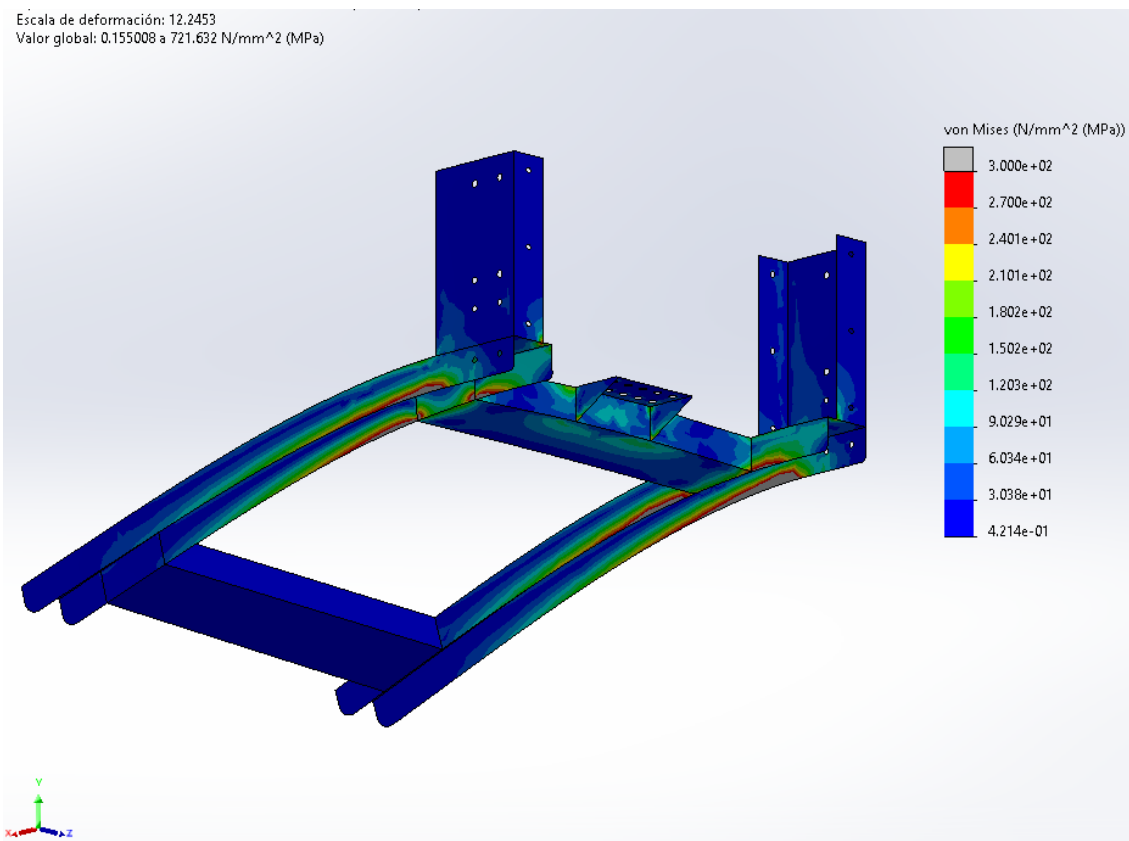


Ilustración 189 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje X Hipótesis 3

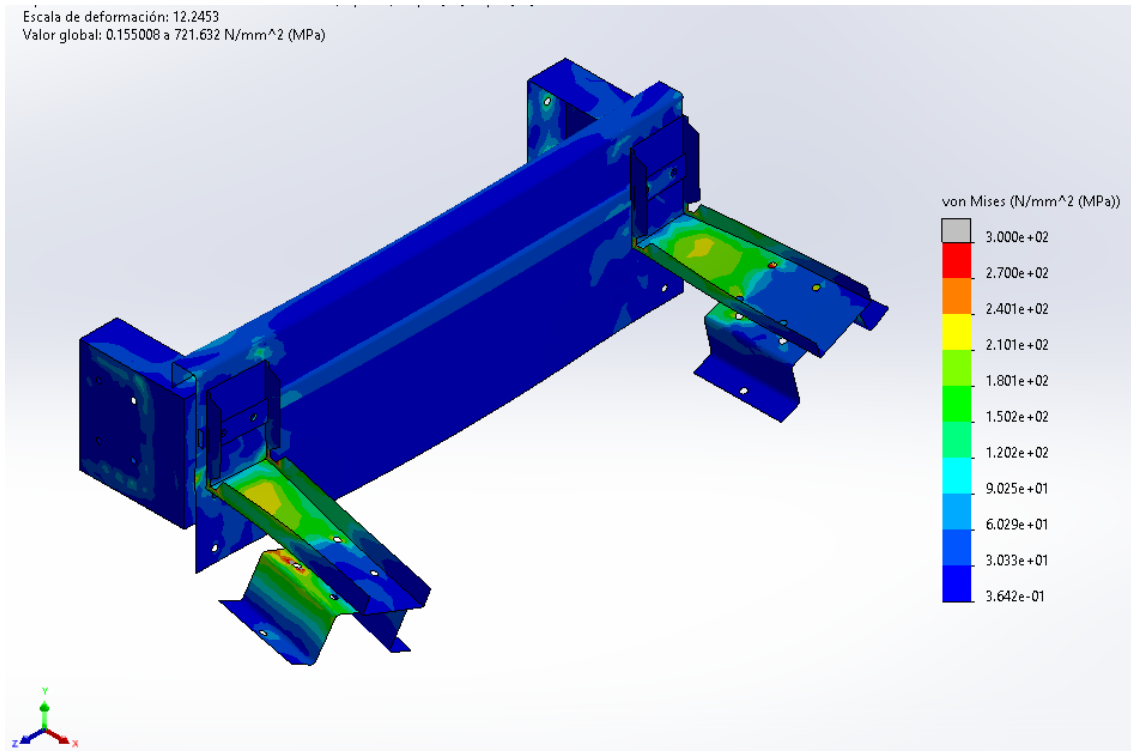


Ilustración 190 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje X Hipótesis 3

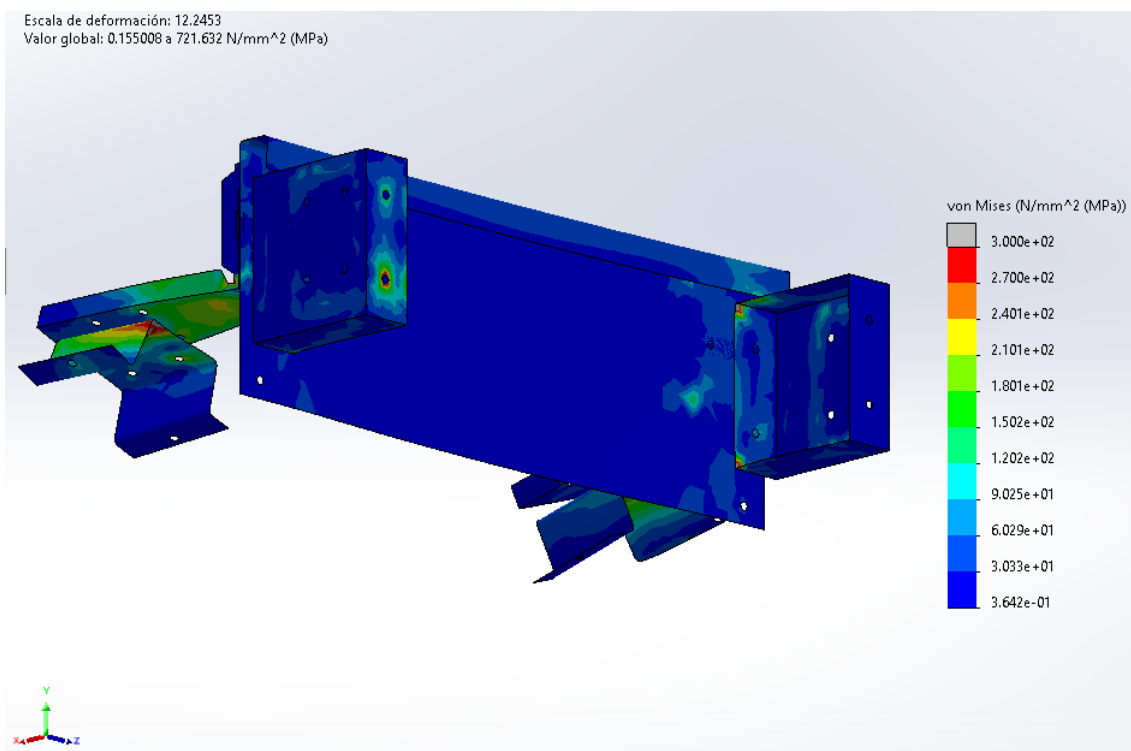


Ilustración 191 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje X Hipótesis 3

5.9.4.1.2. Carga descentrada en el eje Z

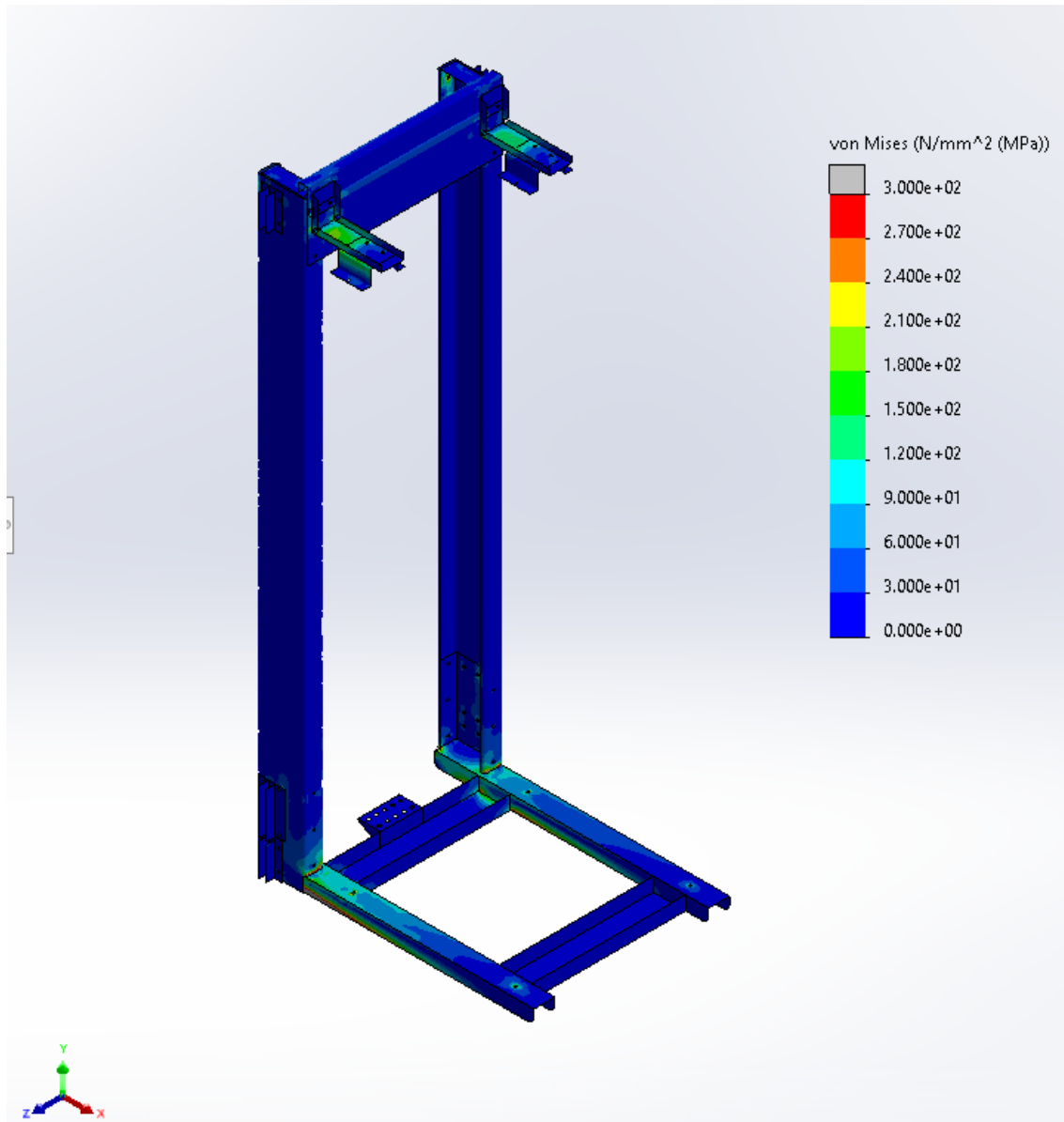


Ilustración 192 Tensiones (MPa) Conjunto total Q descentrada eje Z Hipótesis 3

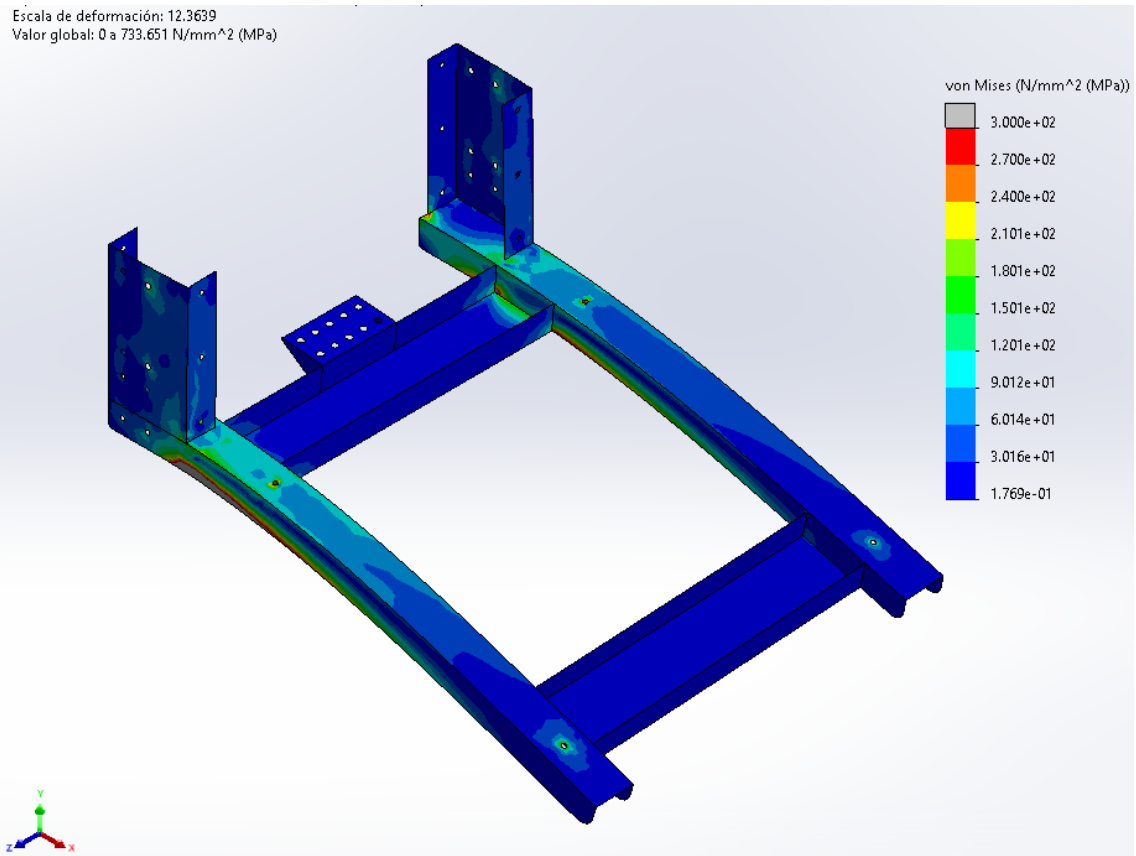


Ilustración 193 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje Z Hipótesis 3

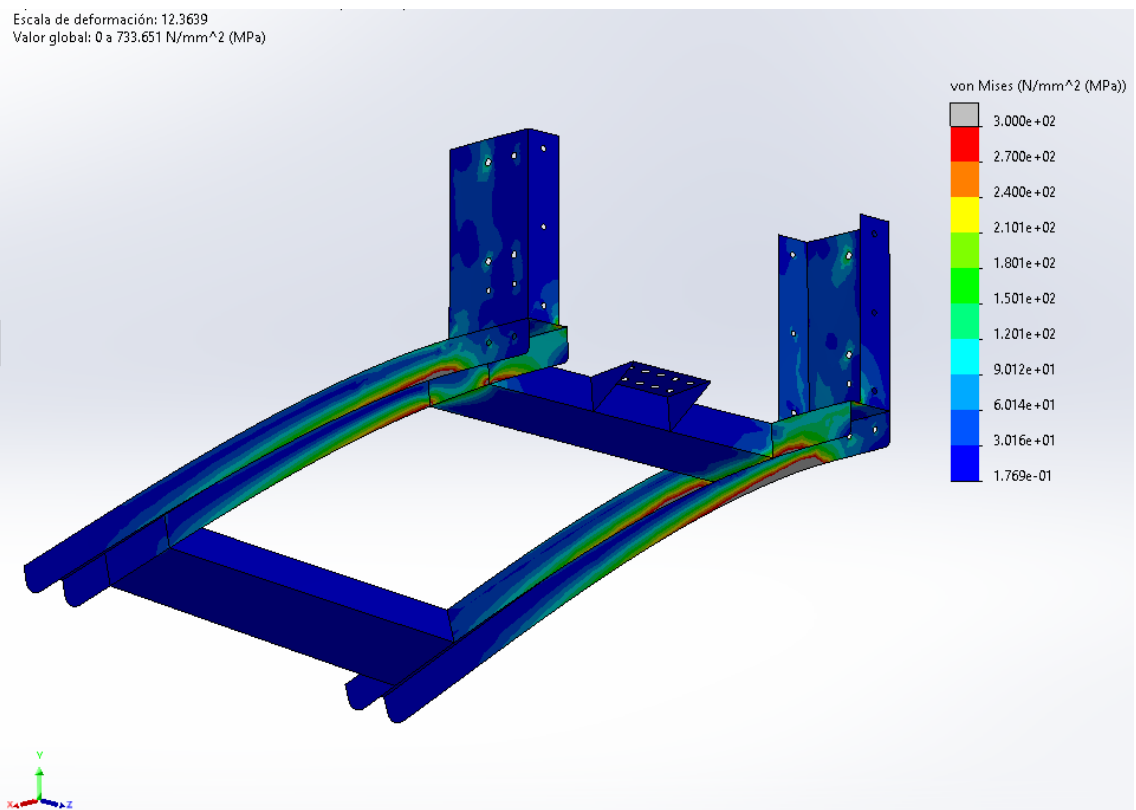


Ilustración 194 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje Z Hipótesis 3

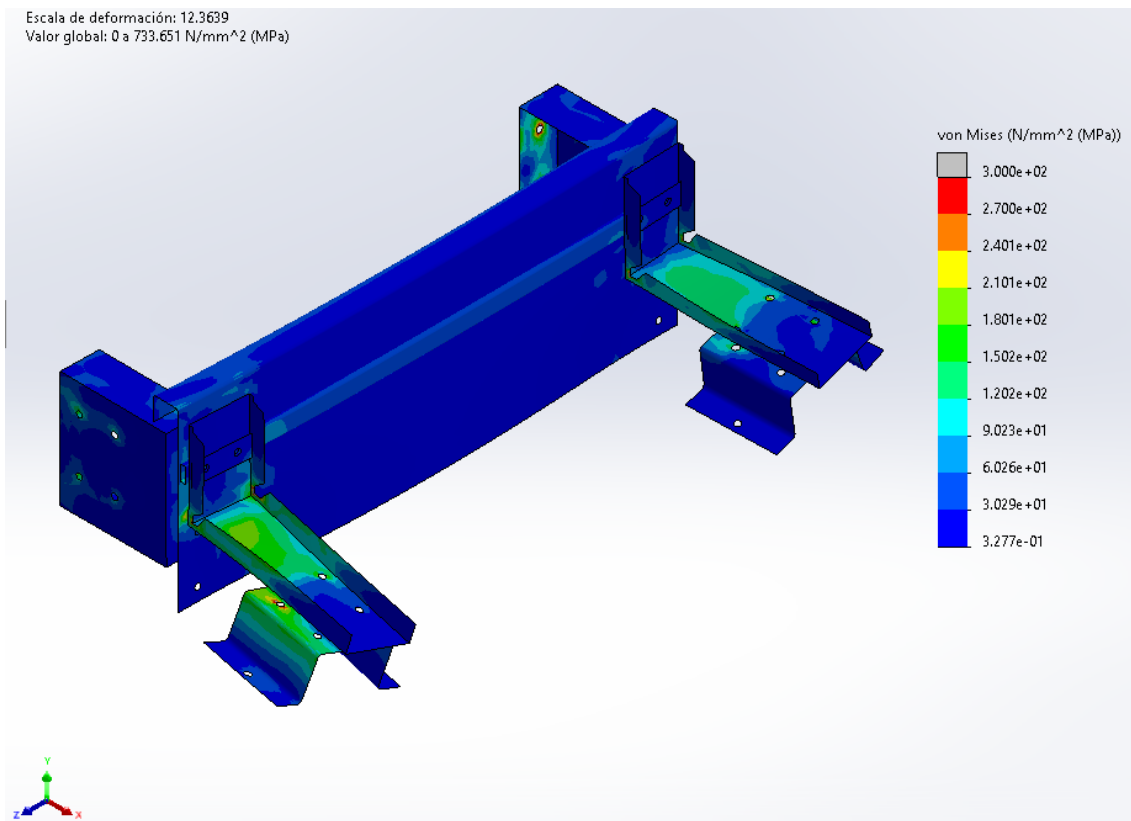


Ilustración 195 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje Z Hipótesis 3

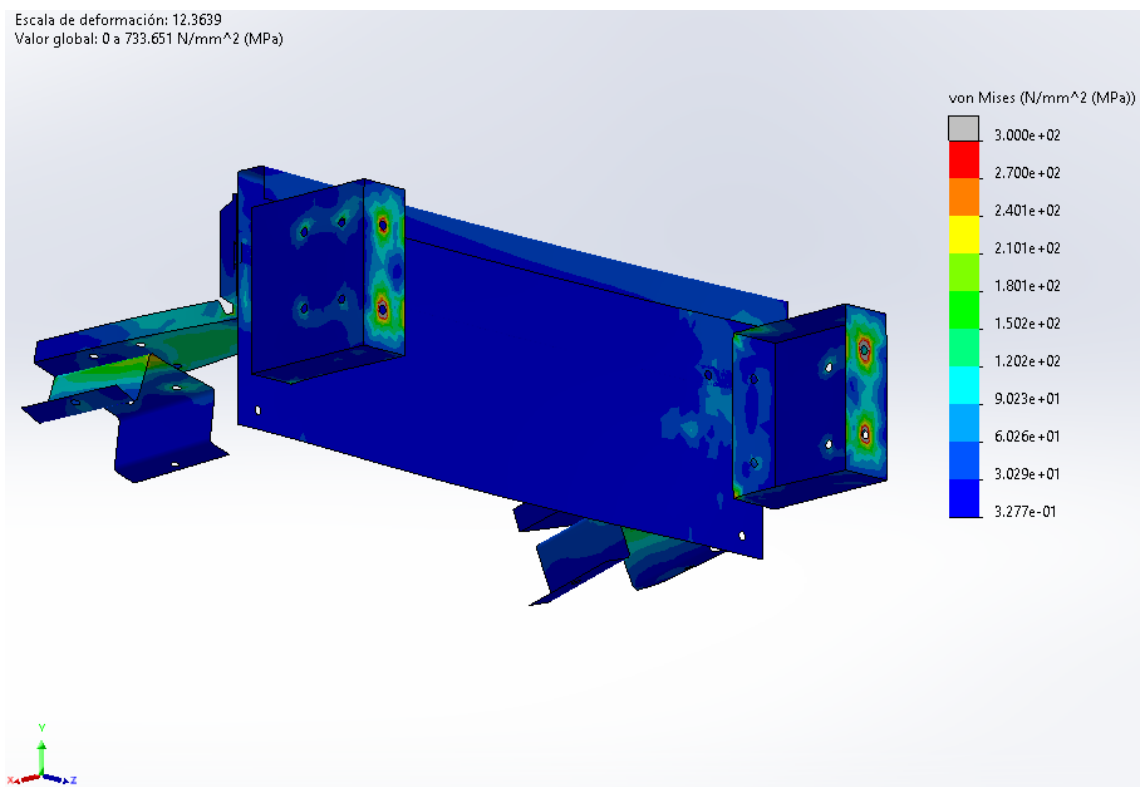


Ilustración 196 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje Z Hipótesis 3

5.9.4.2. Desplazamientos

5.9.4.2.1. Carga descentrada en el eje X

Escala de deformación: 12.2453

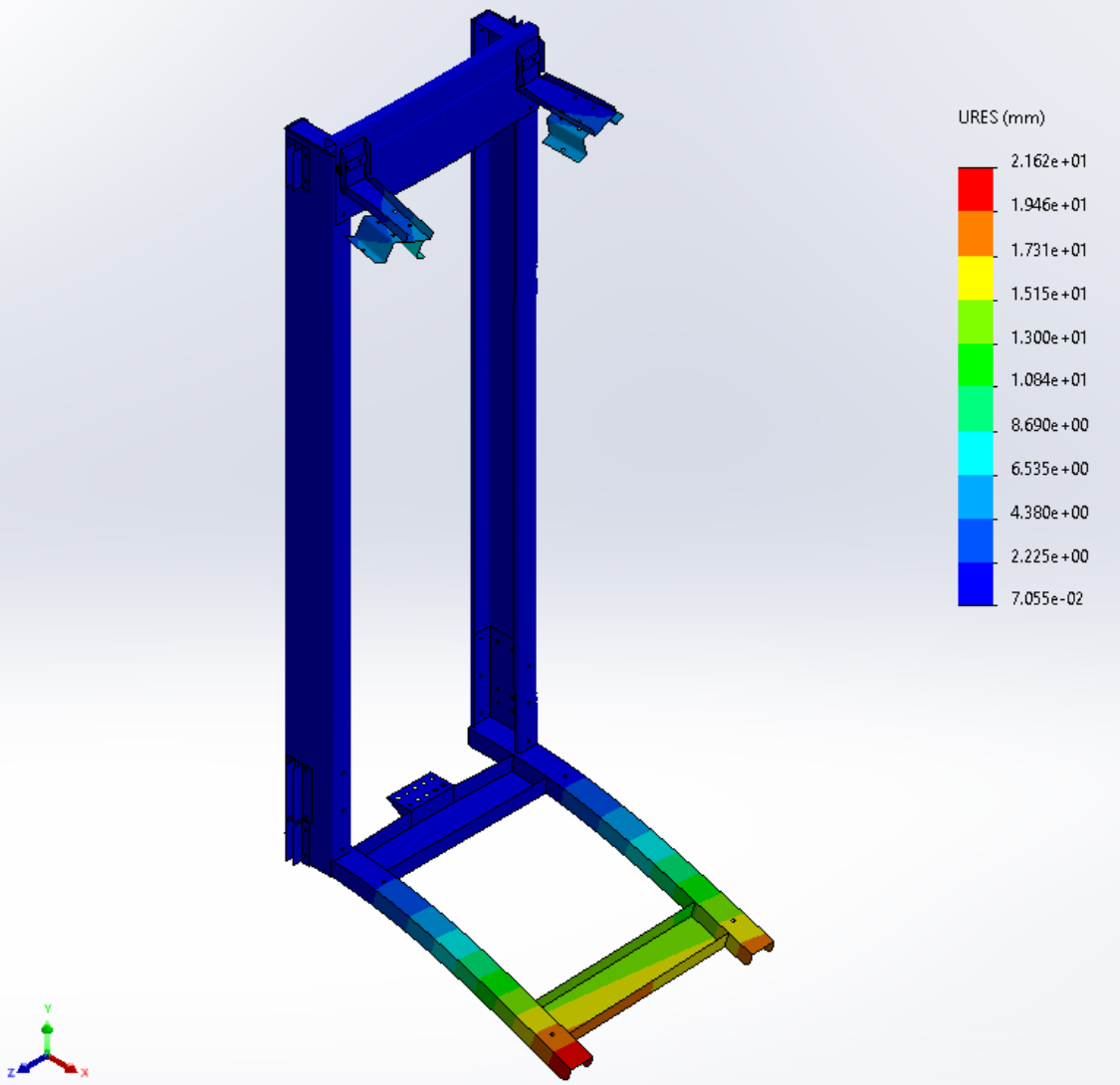


Ilustración 197 Desplazamientos URES (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 3

Escala de deformación: 12,2453

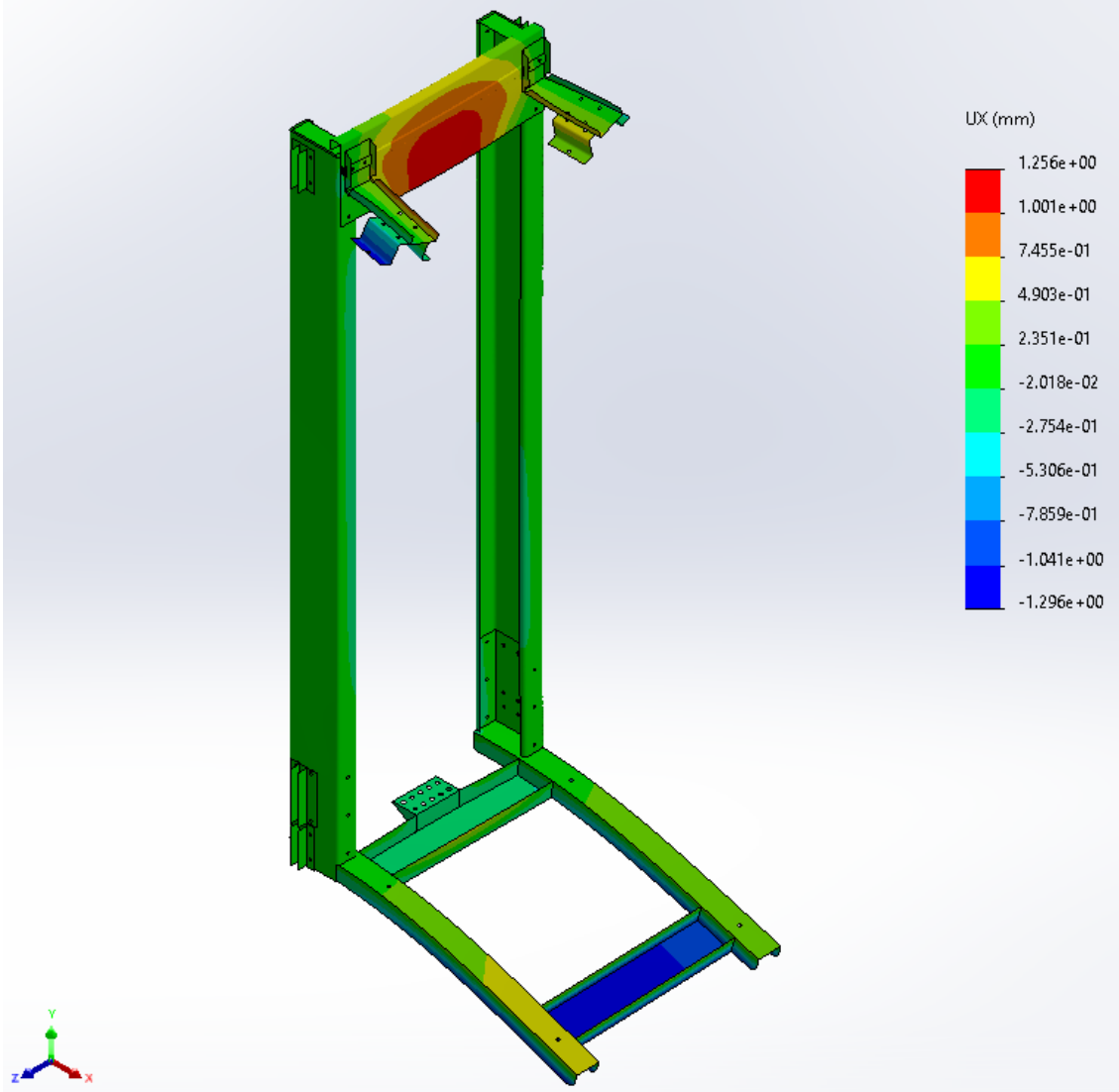


Ilustración 198 Desplazamientos U_x (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 3

Escala de deformación: 12.2453

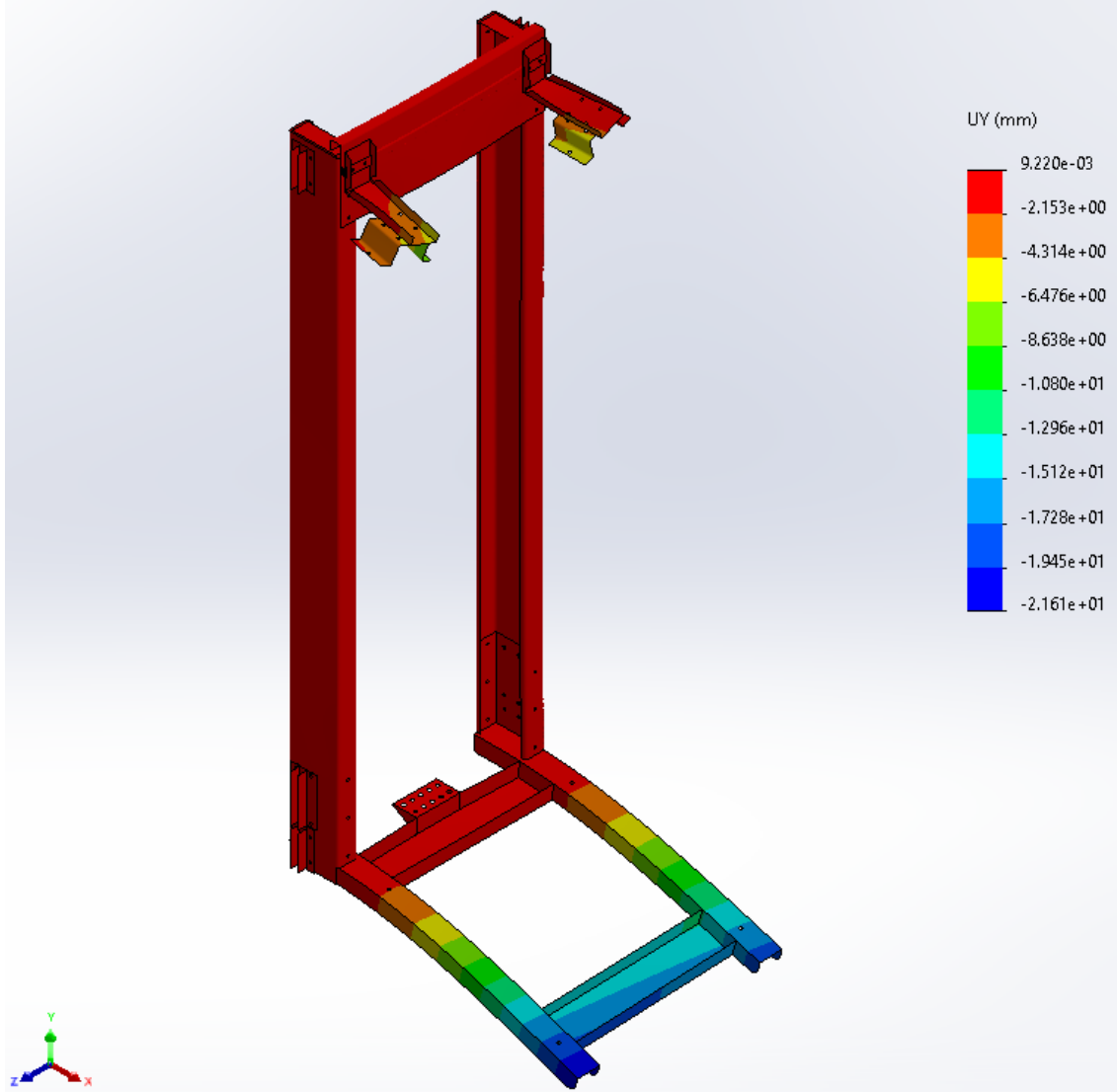


Ilustración 199 Desplazamientos Uy (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 3

Escala de deformación: 12,2453

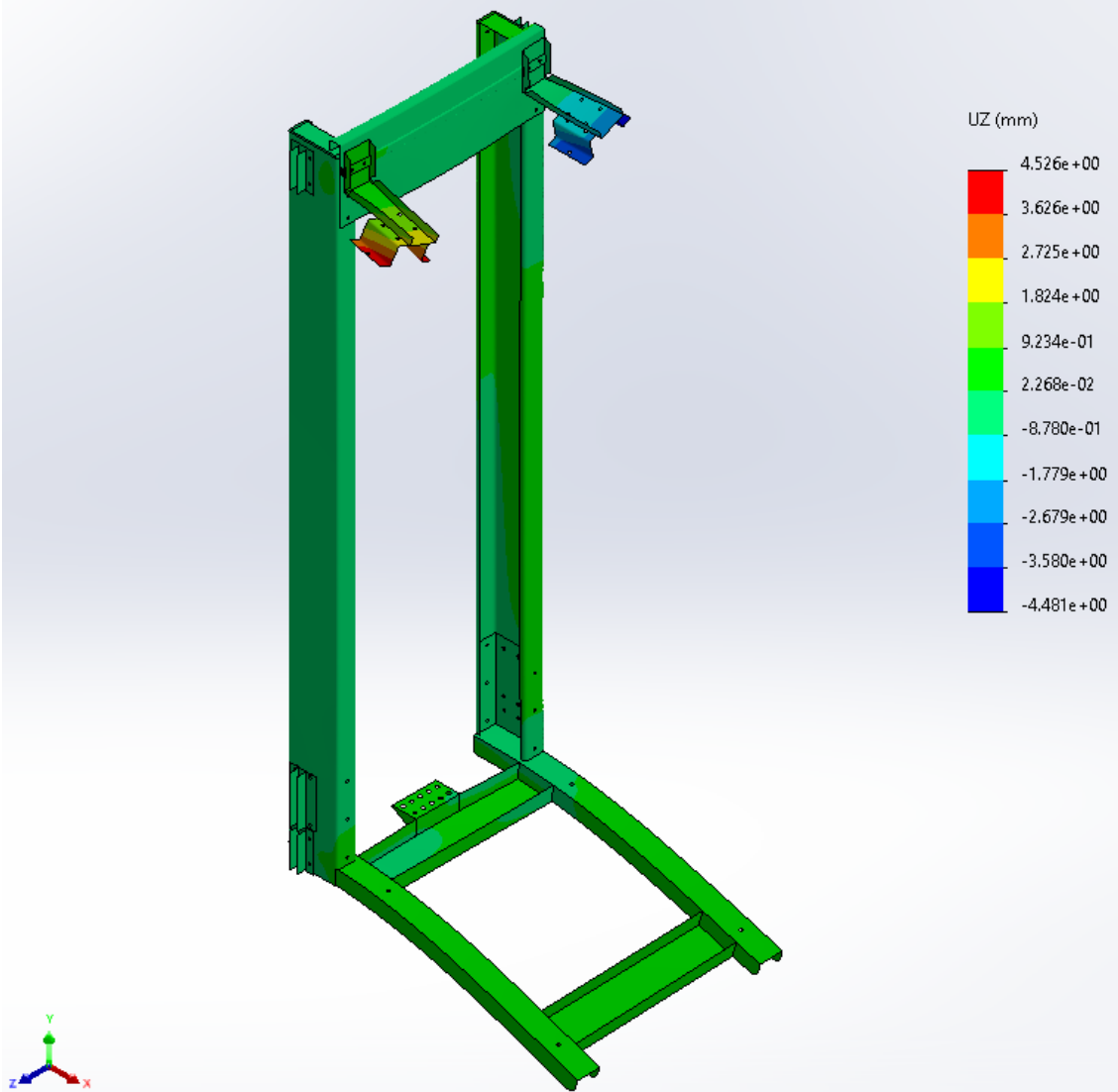


Ilustración 200 Desplazamientos U_z (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 3

5.9.4.2.2. Carga descentrada en el eje Z

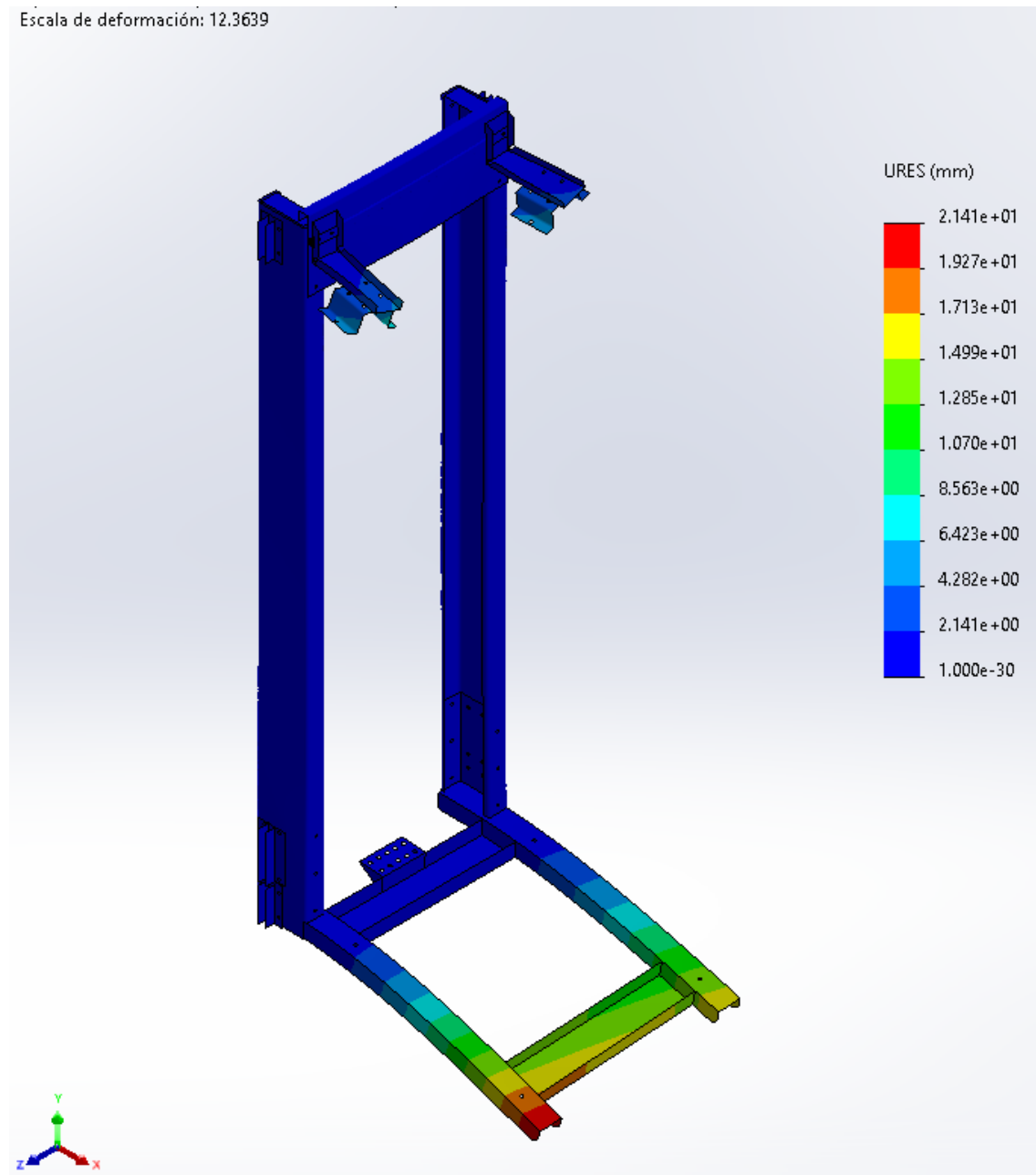


Ilustración 201 Desplazamientos URES (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 3

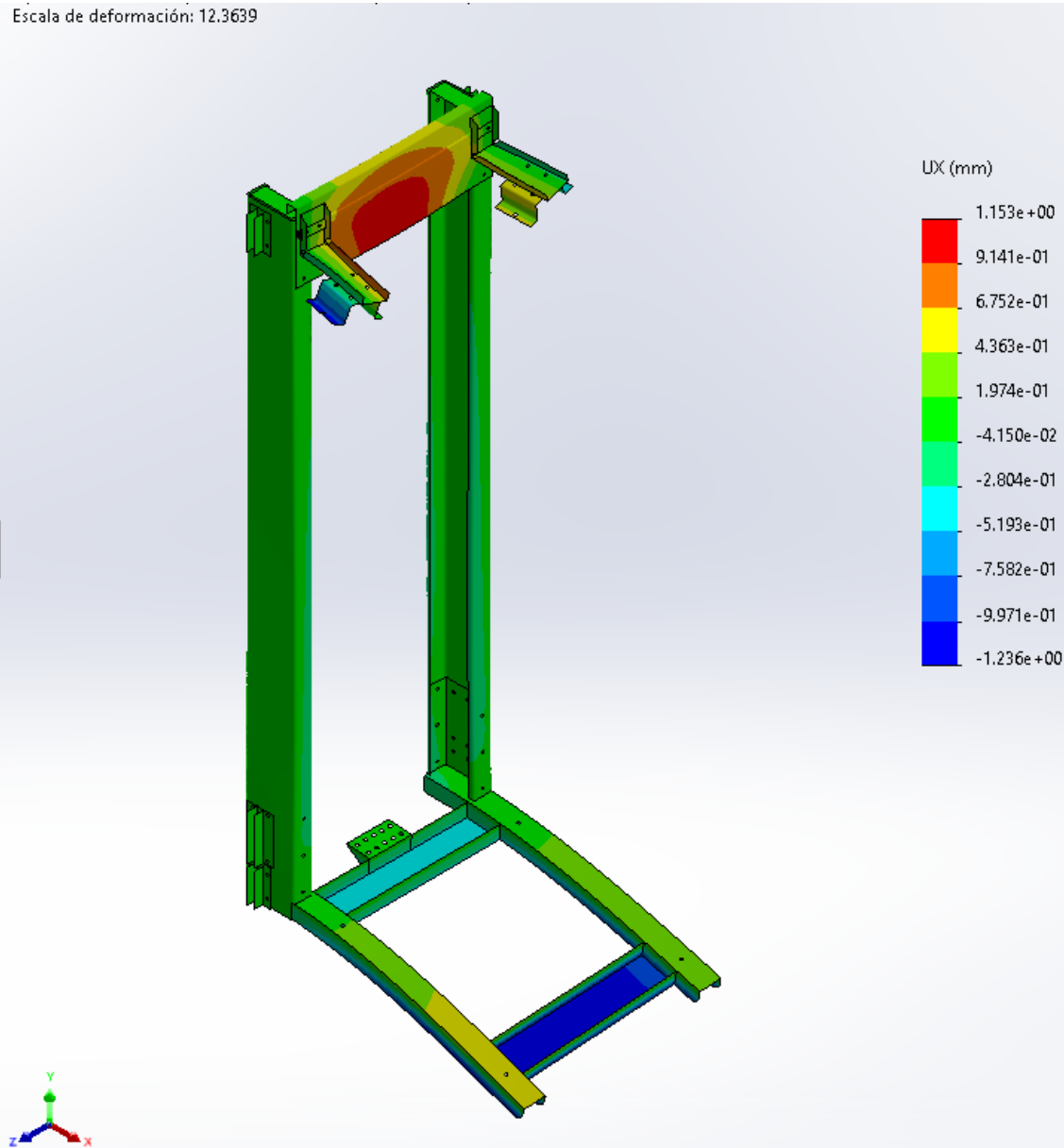


Ilustración 202 Desplazamientos U_x (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 3

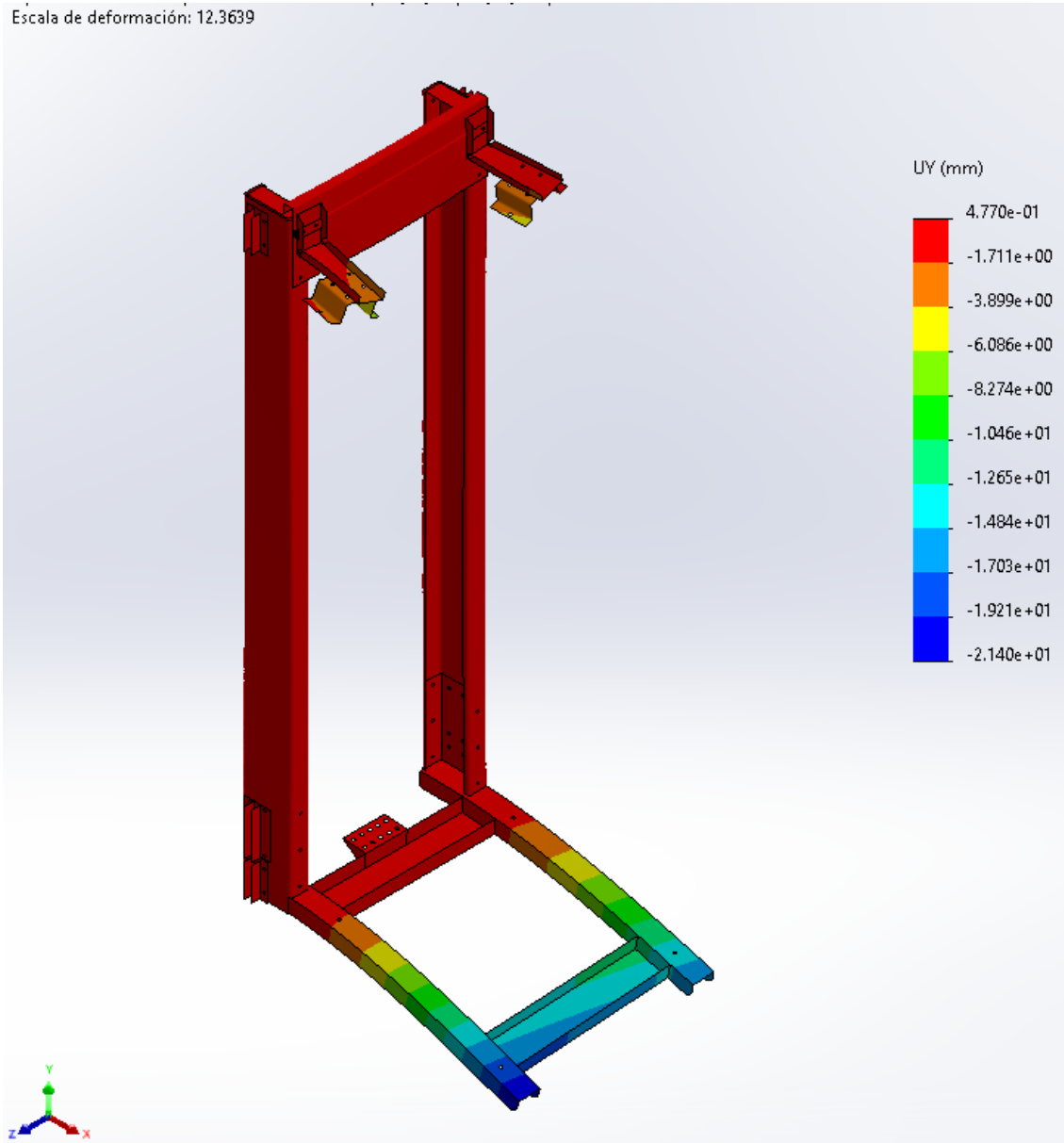


Ilustración 203 Desplazamientos Uy (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 3

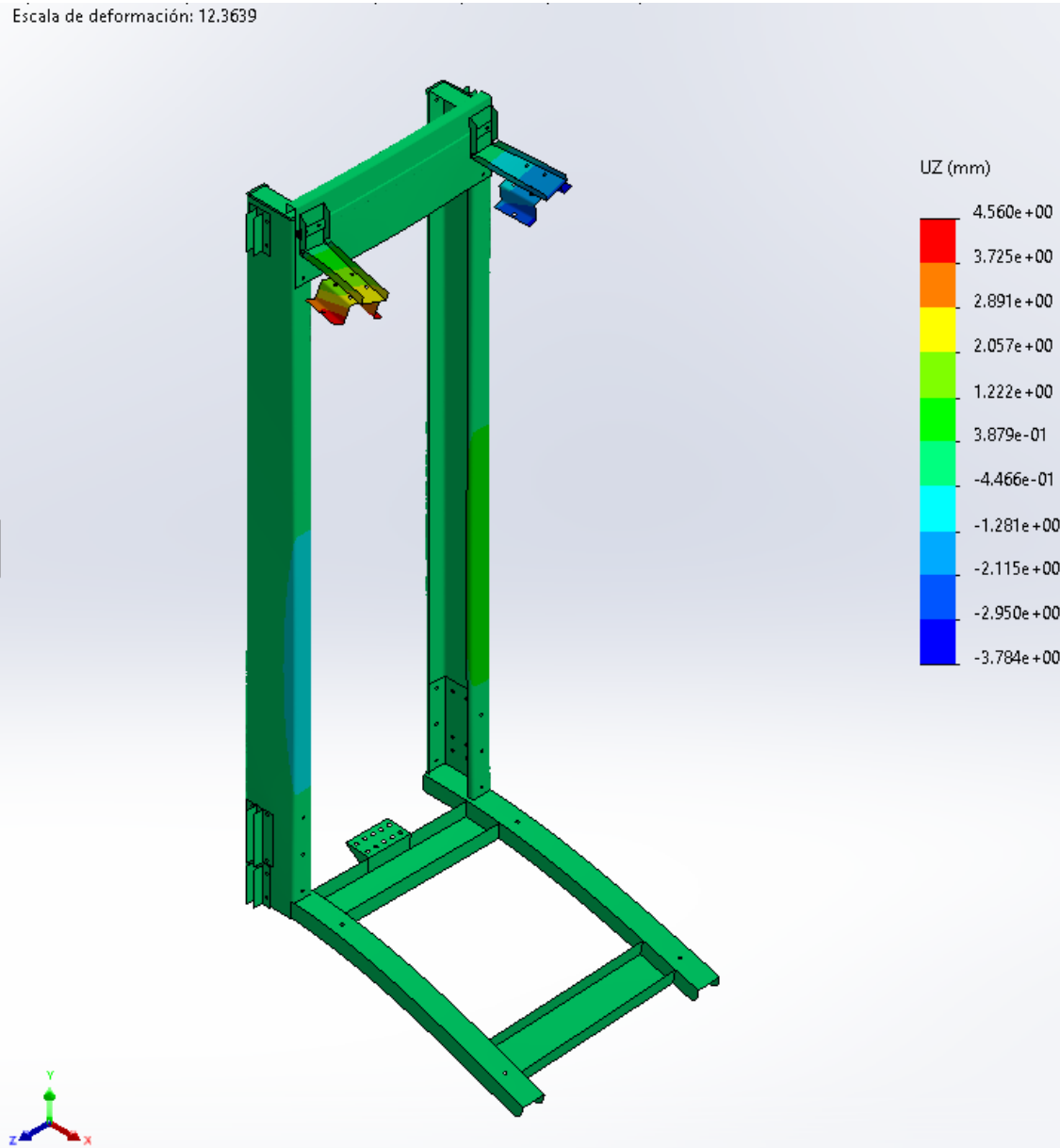


Ilustración 204 Desplazamientos U_z (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 3

5.9.4. Hipótesis 4: Impacto contra buffer

5.9.4.3. Tensiones

5.9.4.3.1. Carga descentrada en el eje X

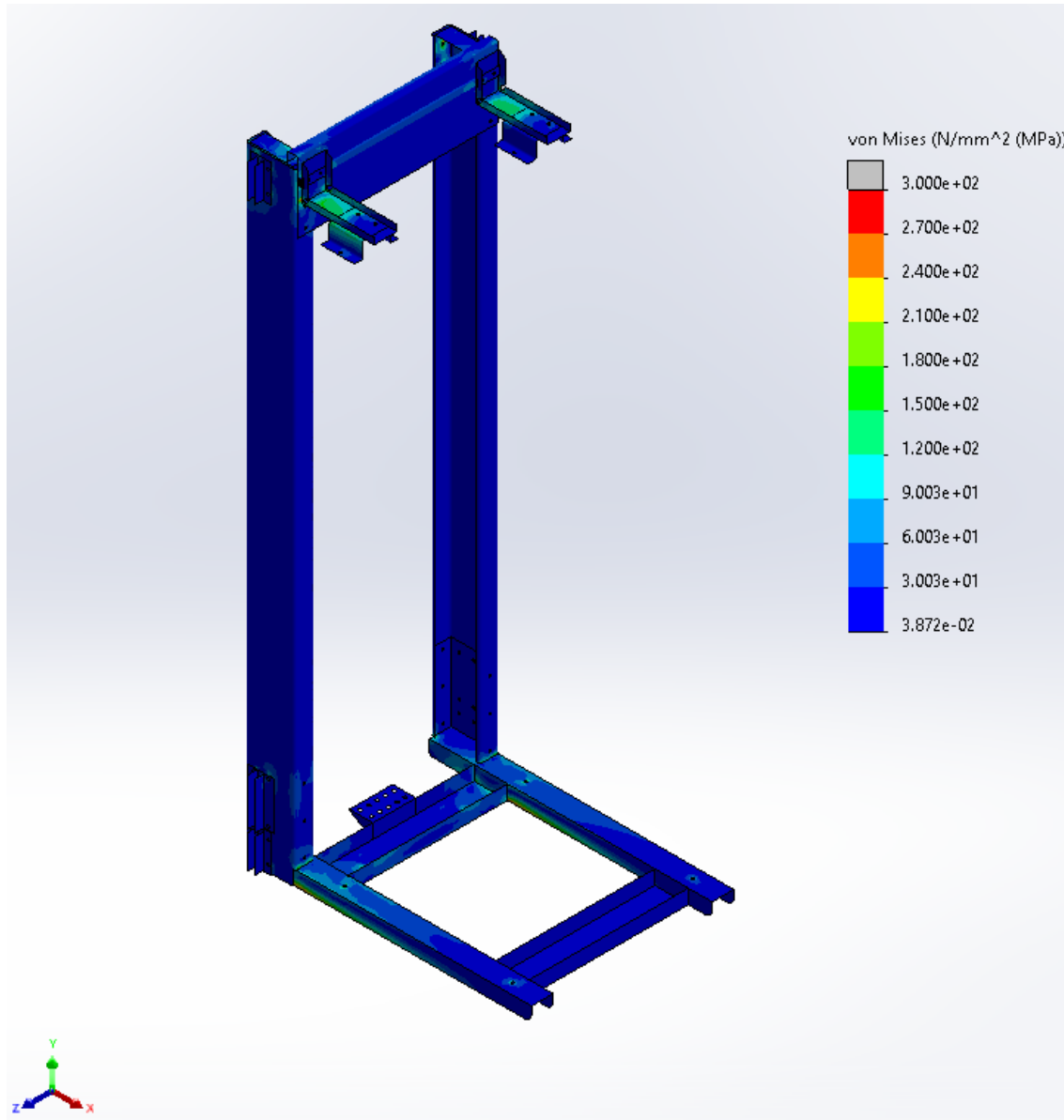


Ilustración 205 Tensiones (MPa) Conjunto total Q descentrada eje X Hipótesis 4

Escala de deformación: 20.9081
Valor global: 0.0387178 a 1,007.76 N/mm² (MPa)

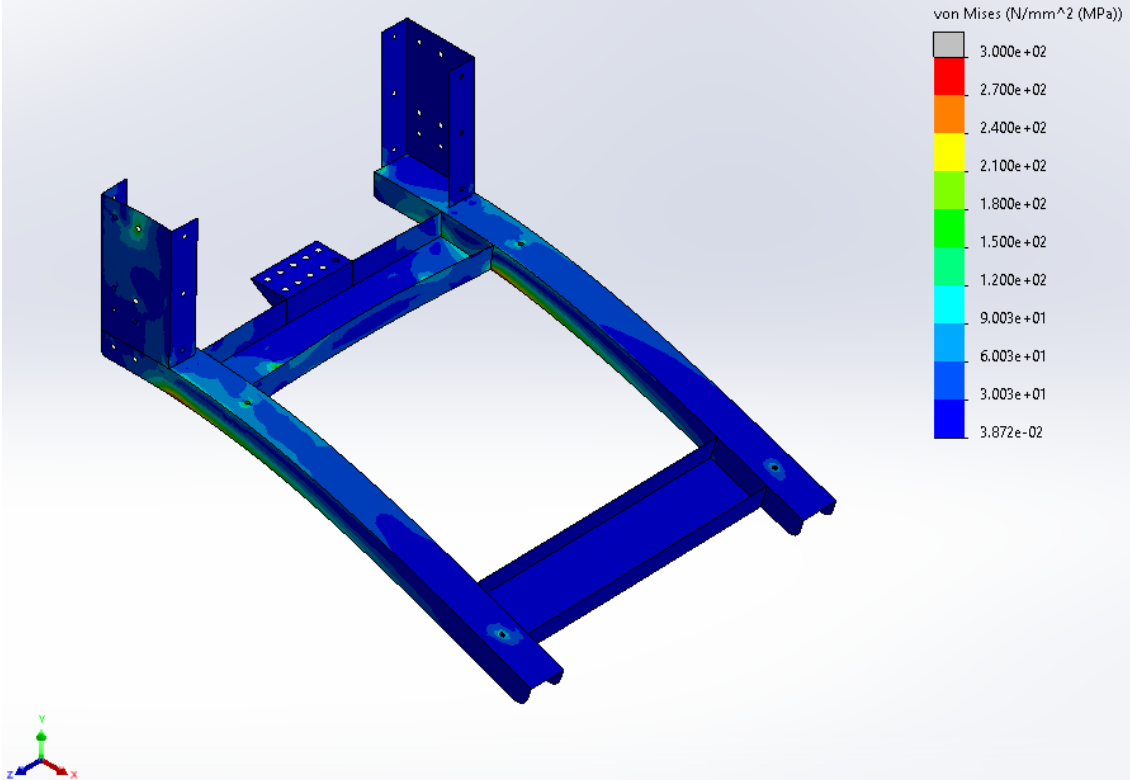


Ilustración 206 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje X Hipótesis 4

Escala de deformación: 20.9081
Valor global: 0.0387178 a 1,007.76 N/mm² (MPa)

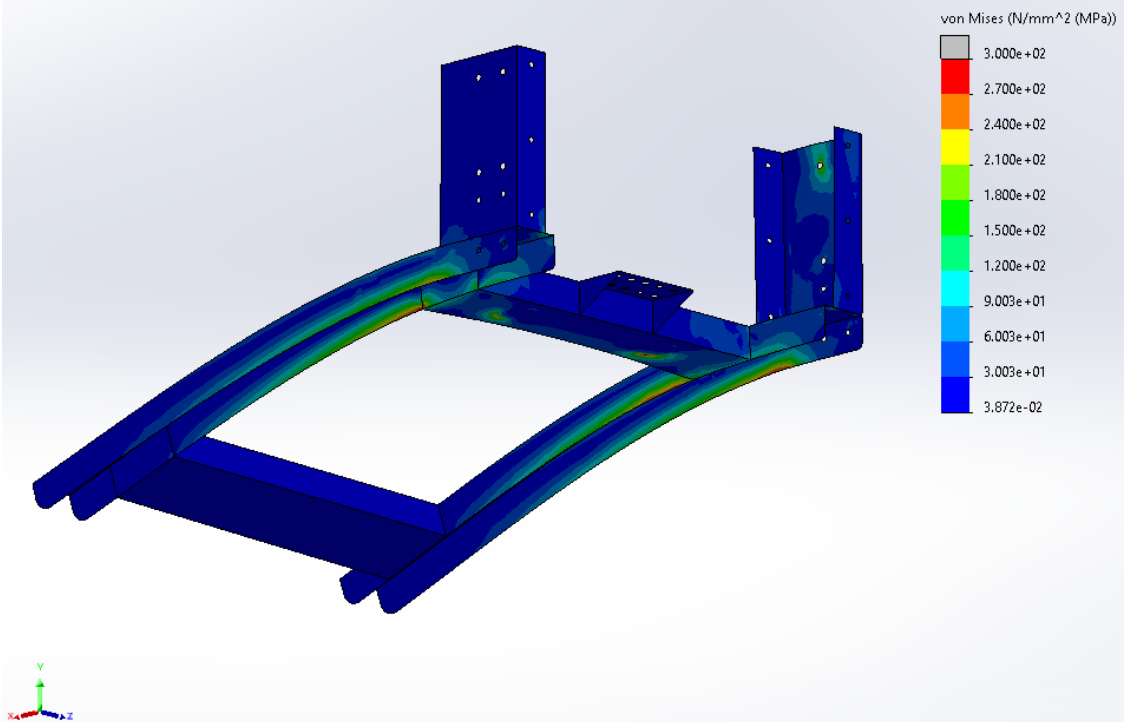


Ilustración 207 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje X Hipótesis 4

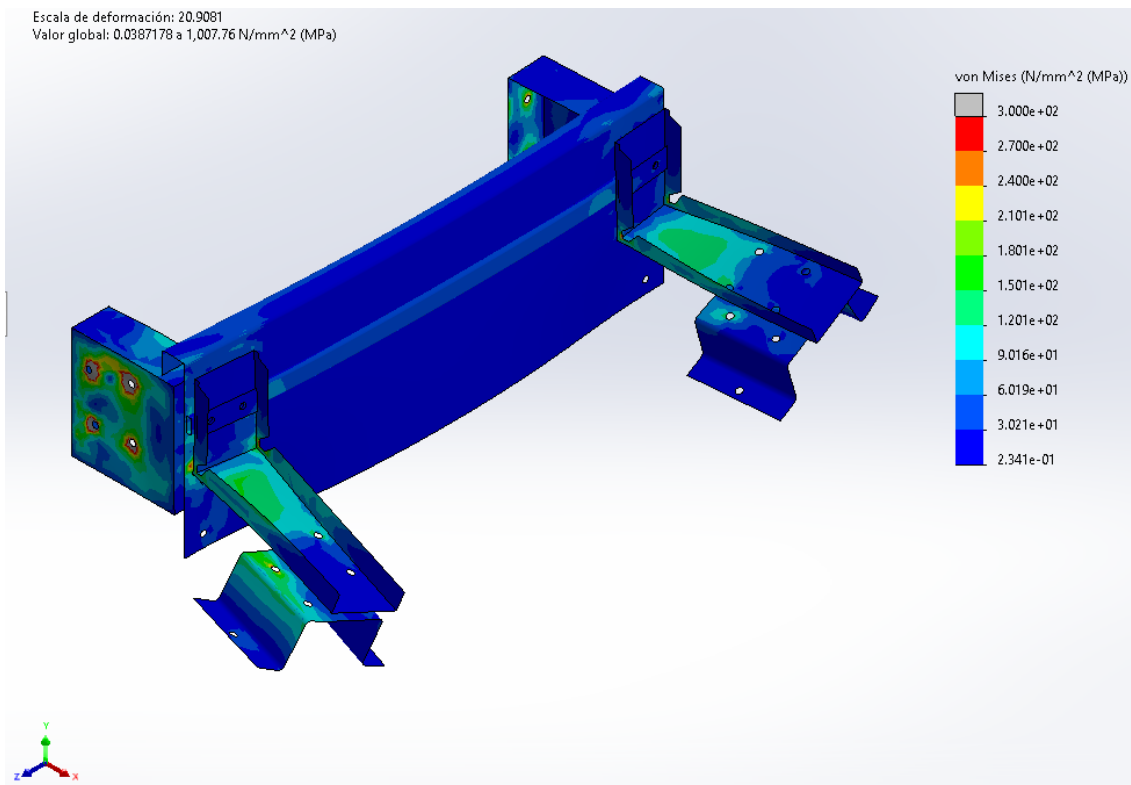


Ilustración 208 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje X Hipótesis 4

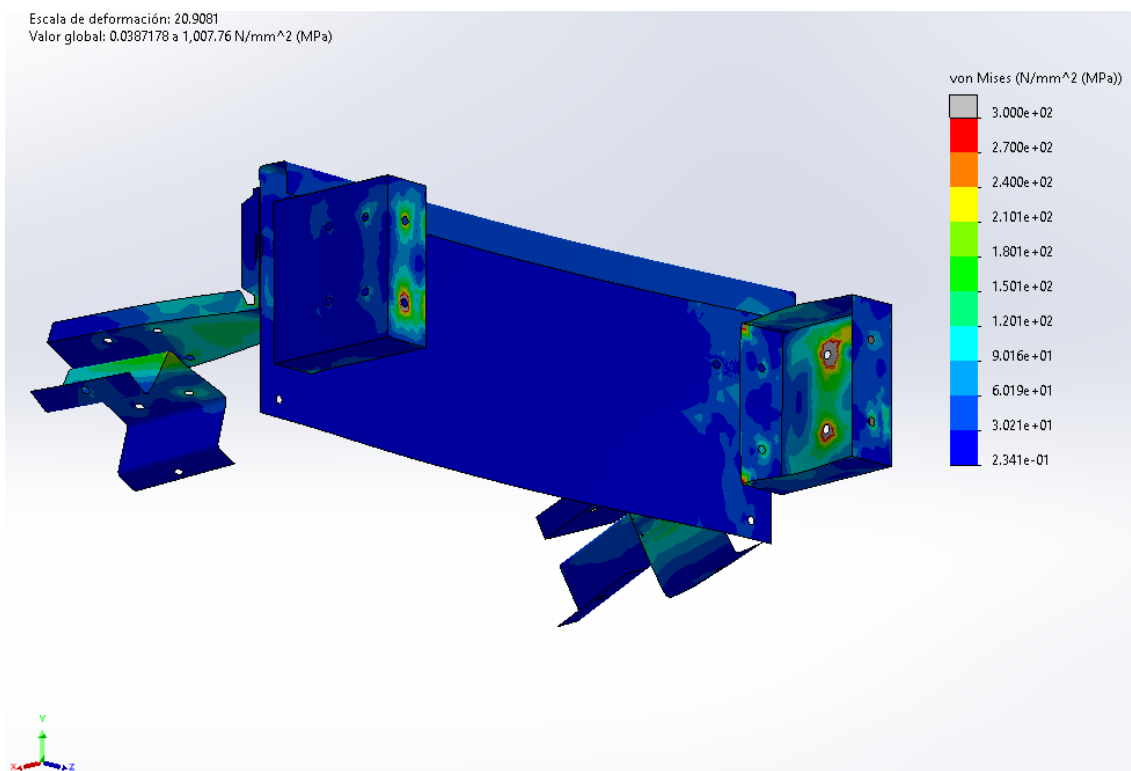


Ilustración 209 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje X Hipótesis 4

5.9.4.3.2. Carga descentrada en el eje Z

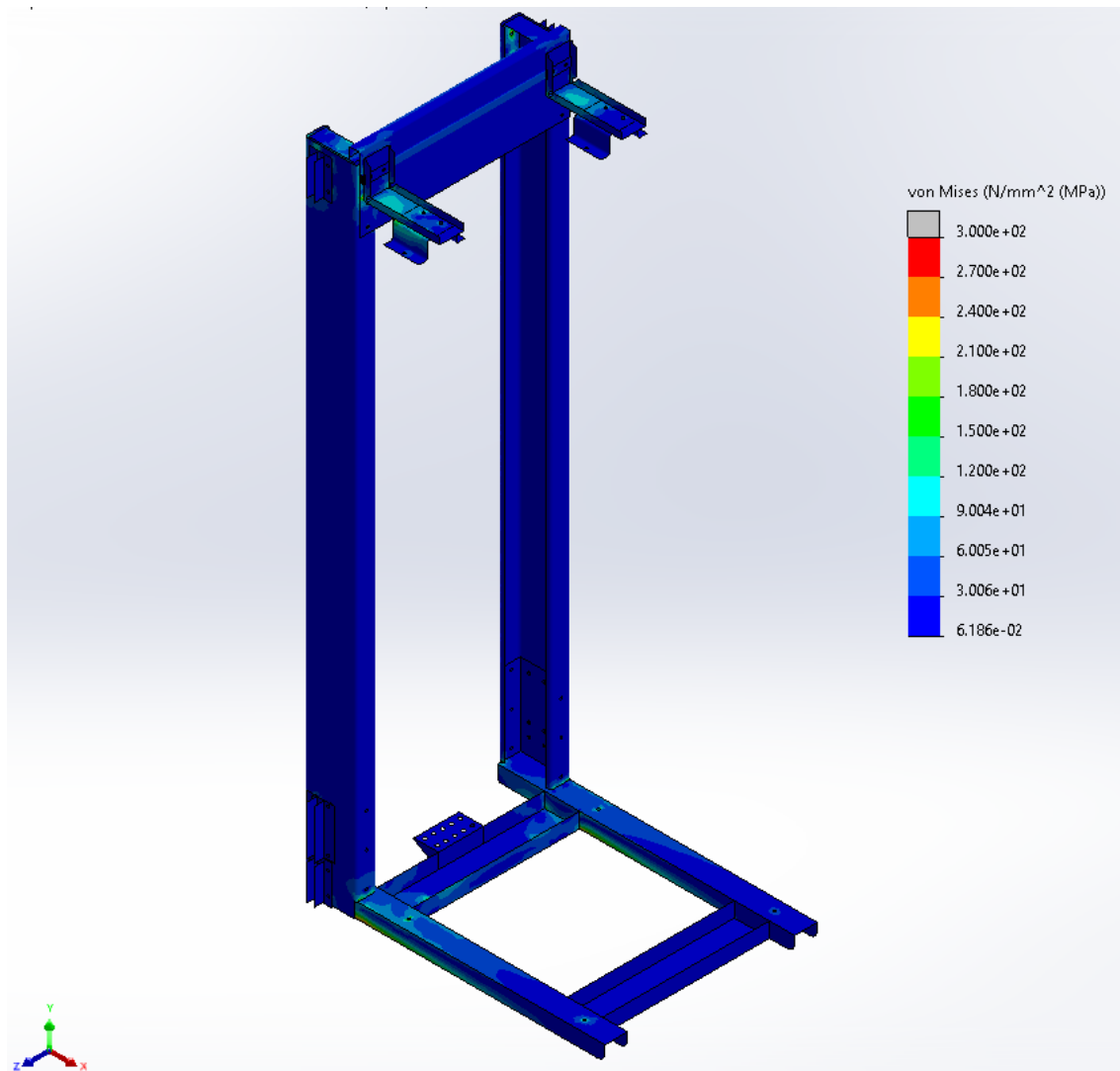


Ilustración 210 Tensiones (MPa) Conjunto total Q descentrada eje Z Hipótesis 4

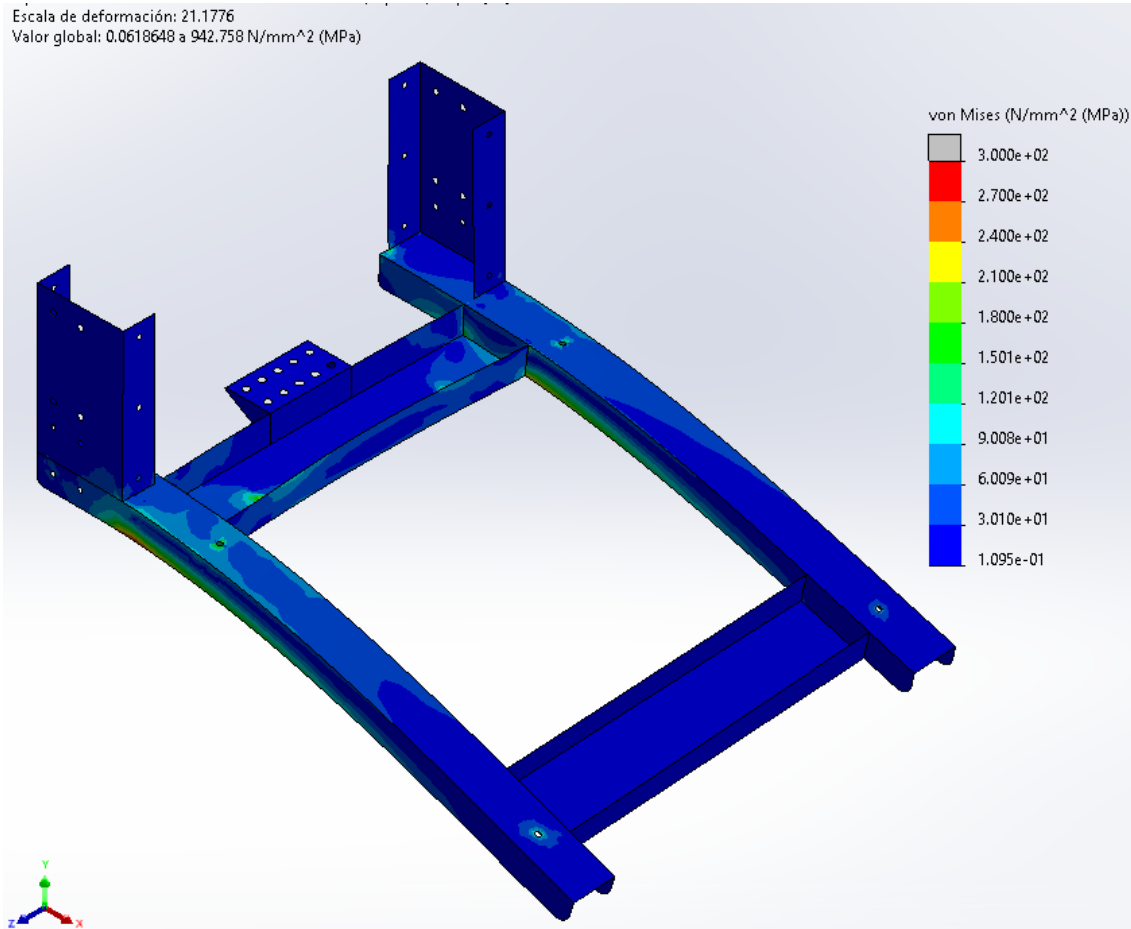


Ilustración 211 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje Z Hipótesis 4

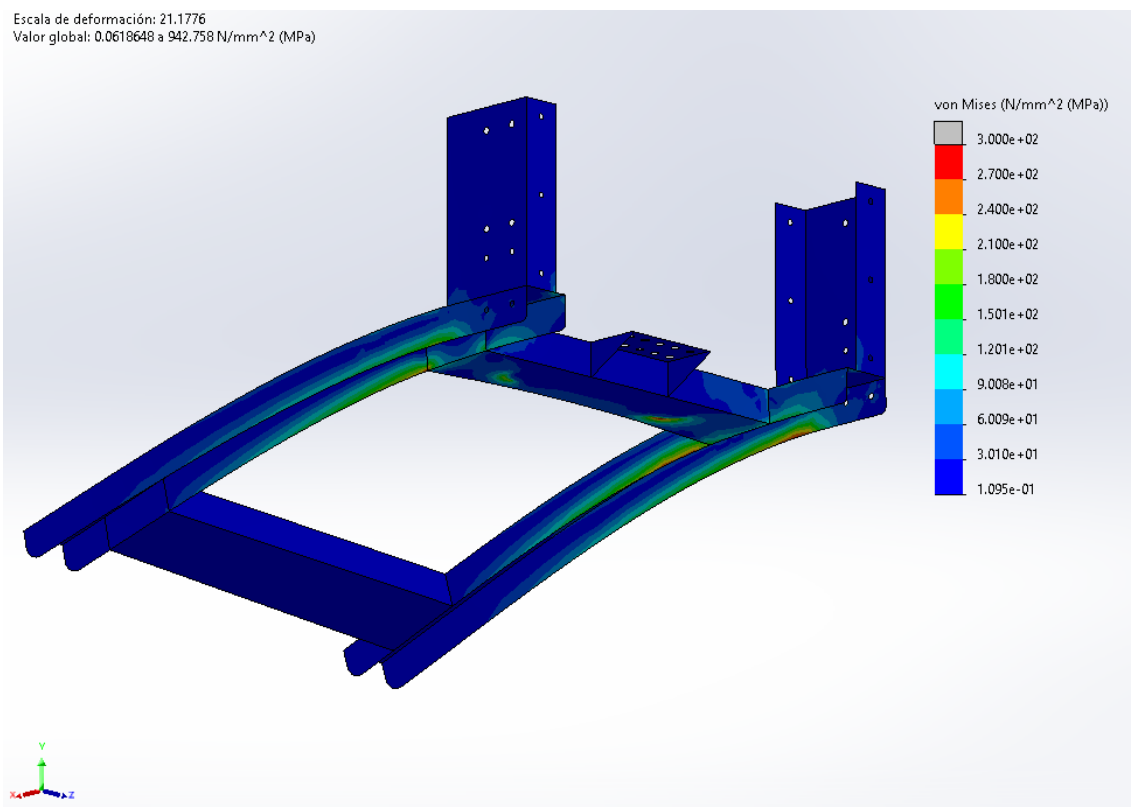


Ilustración 212 Tensiones (MPa) Conjunto inferior Q descentrada eje Z Hipótesis 4

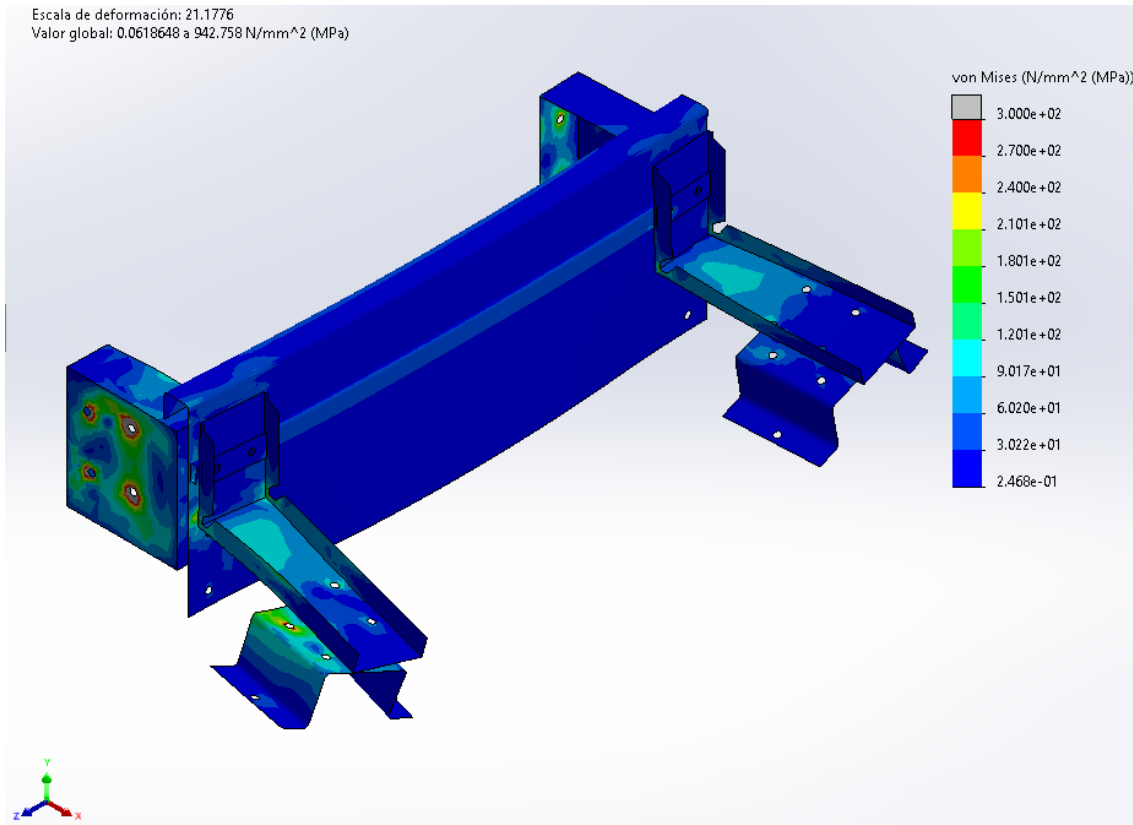


Ilustración 213 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje Z Hipótesis 4

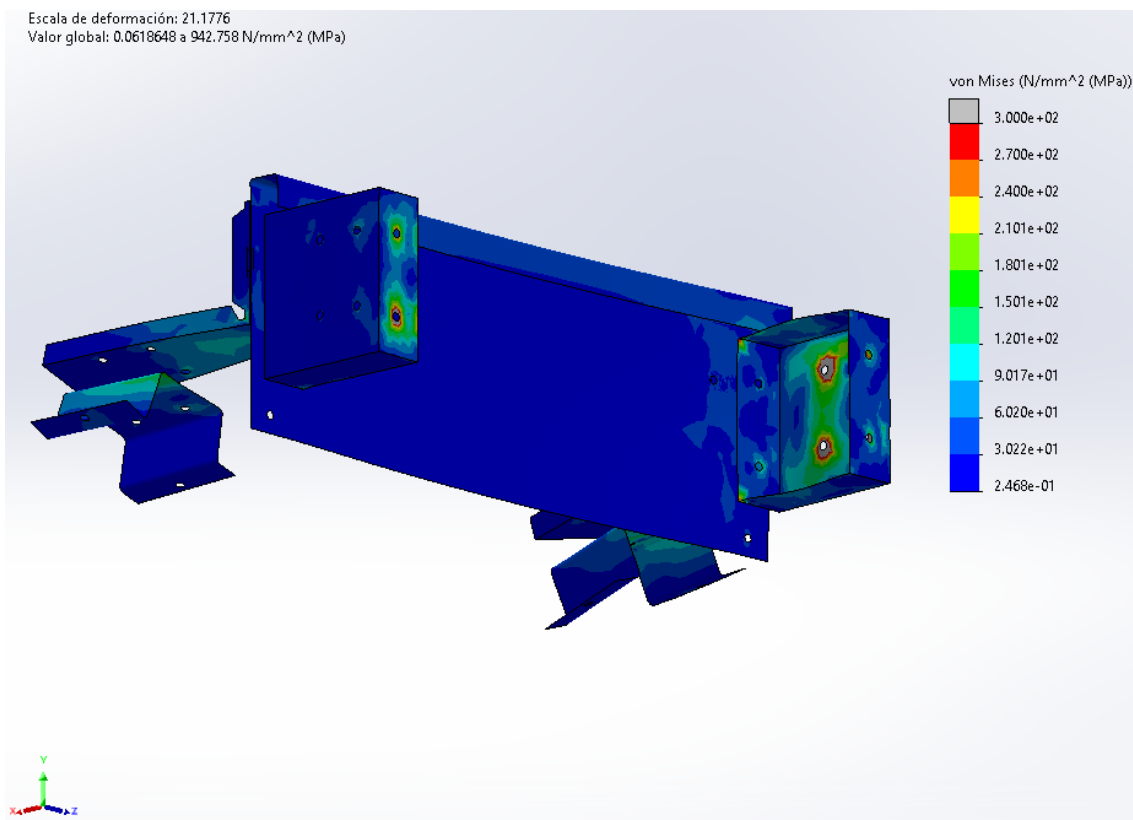


Ilustración 214 Tensiones (MPa) Conjunto superior Q descentrada eje Z Hipótesis 4

5.9.4.4. Desplazamientos

5.9.4.4.1. Carga descentrada en el eje X

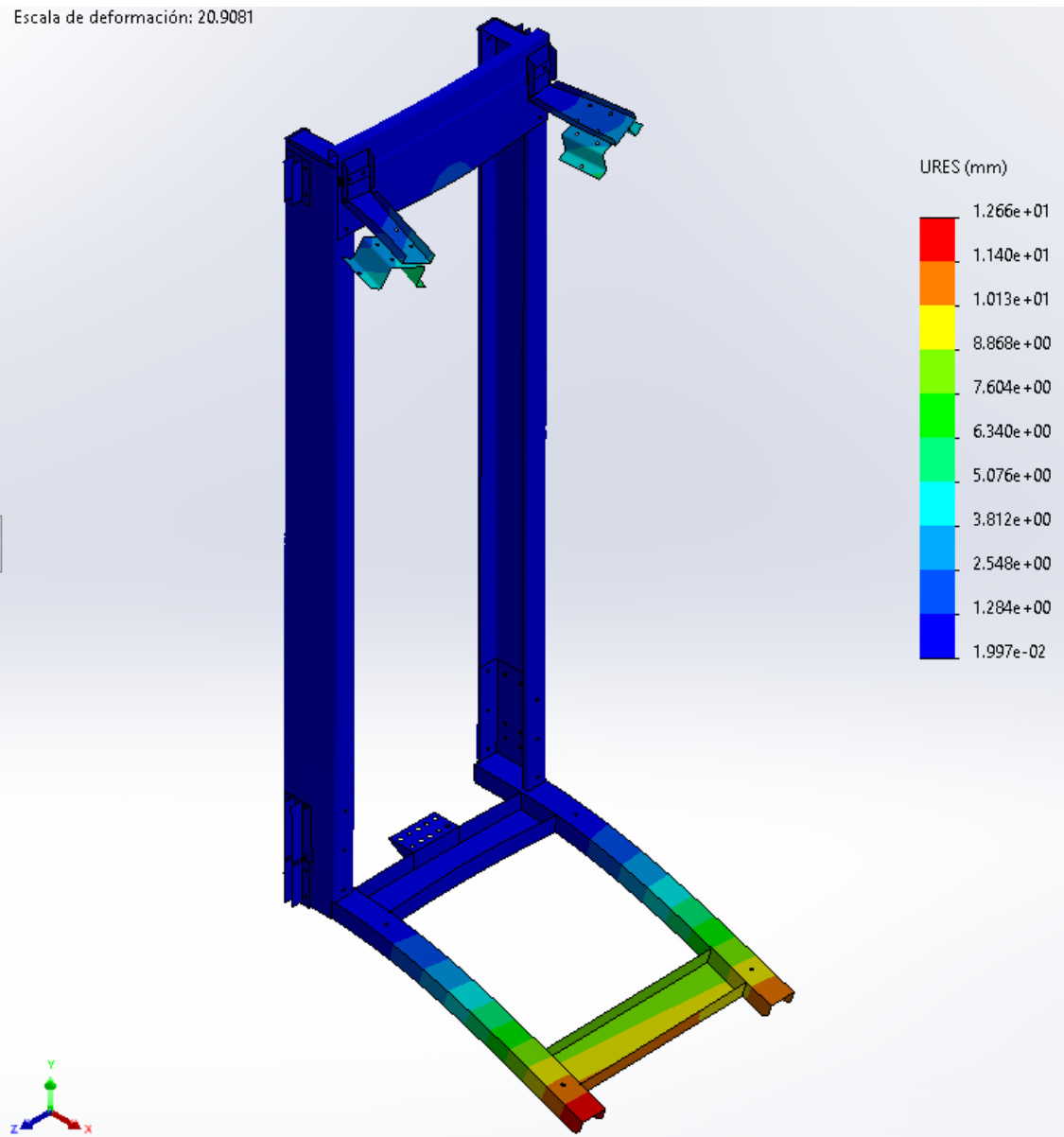


Ilustración 215 Desplazamientos URES (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 4

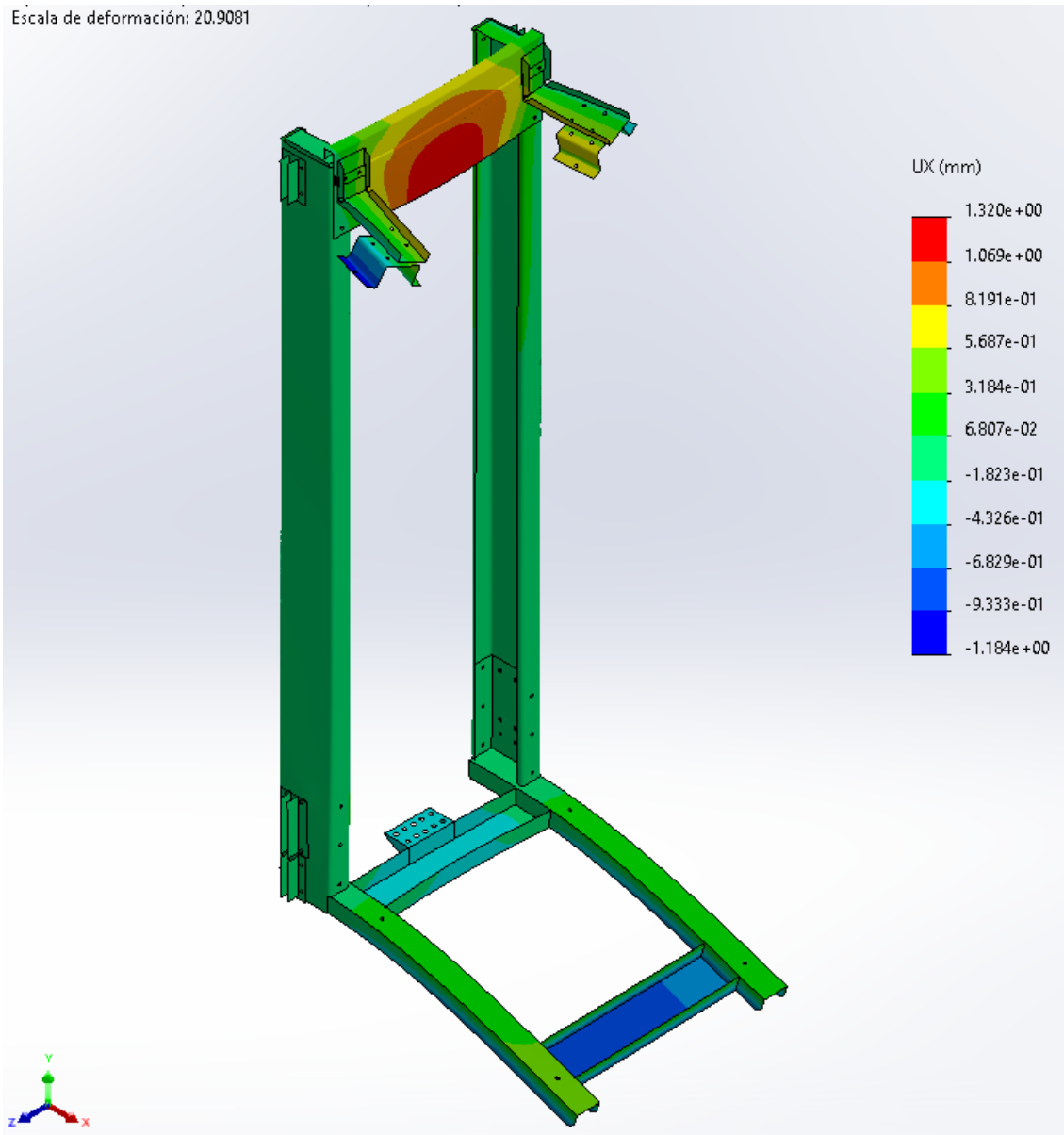


Ilustración 216 Desplazamientos U_x (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 4

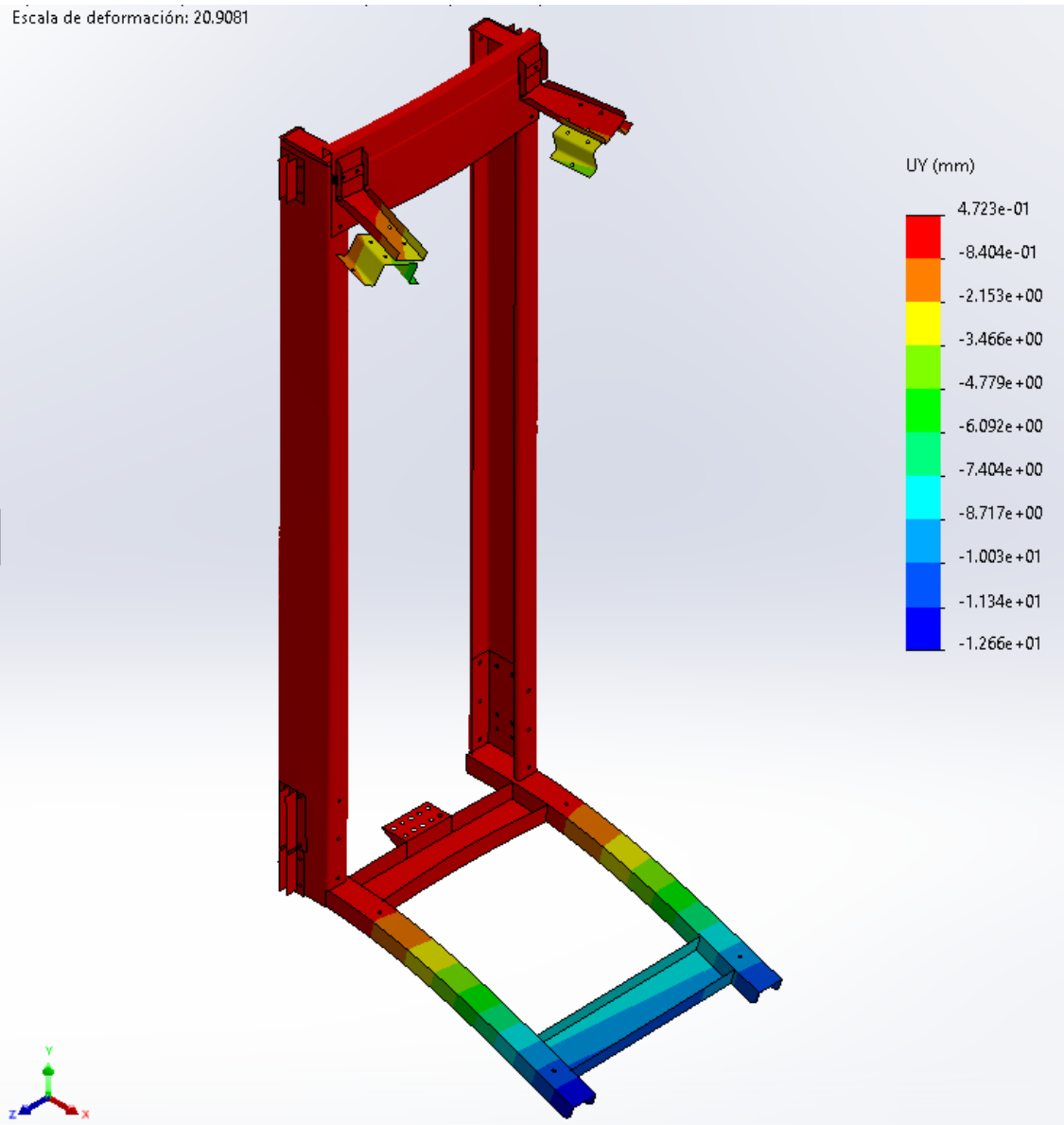


Ilustración 217 Desplazamientos U_y (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 4

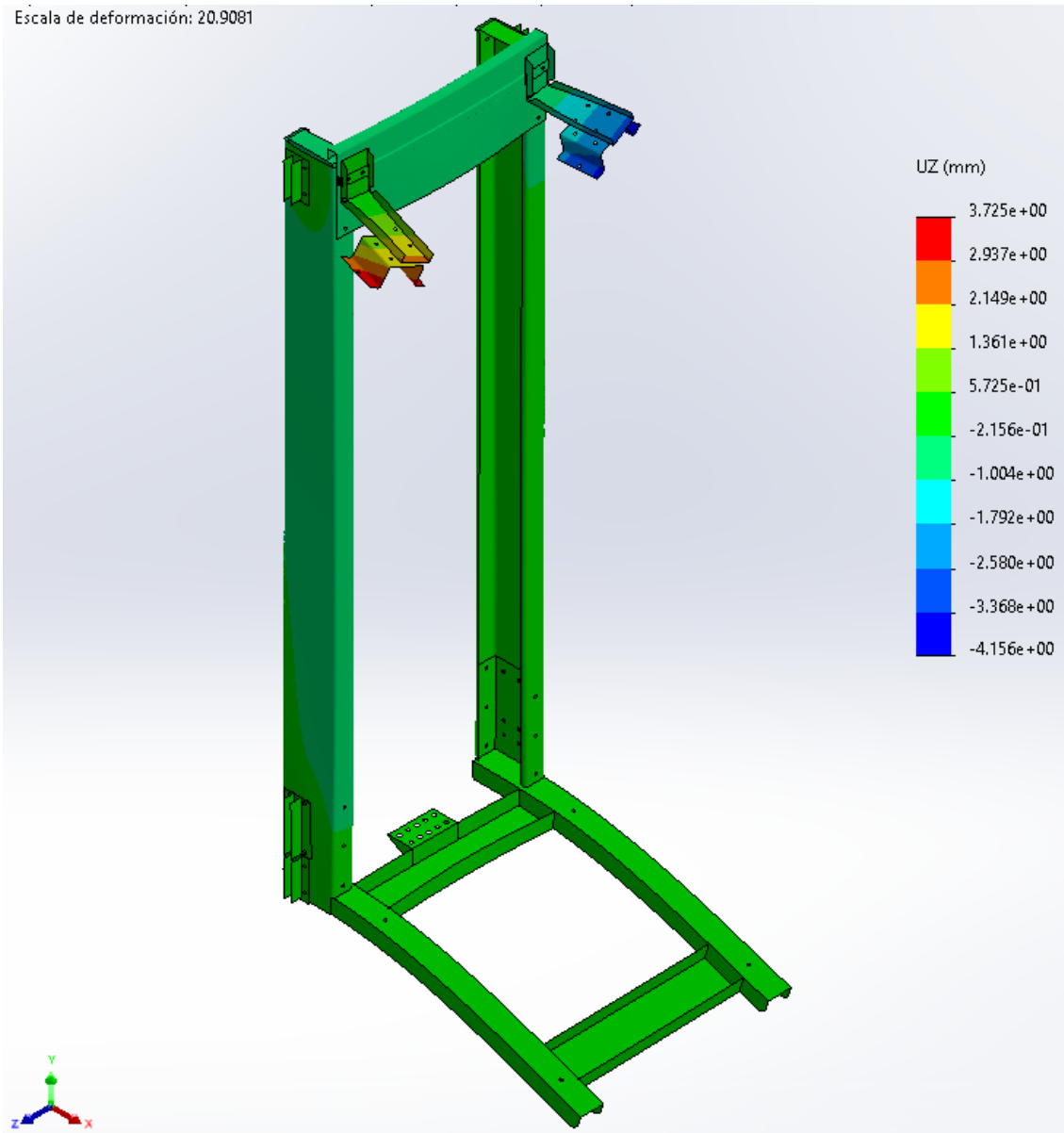


Ilustración 218 Desplazamientos U_z (mm) Q descentrada eje X Hipótesis 4

5.9.4.4.2. Carga descentrada en el eje Z

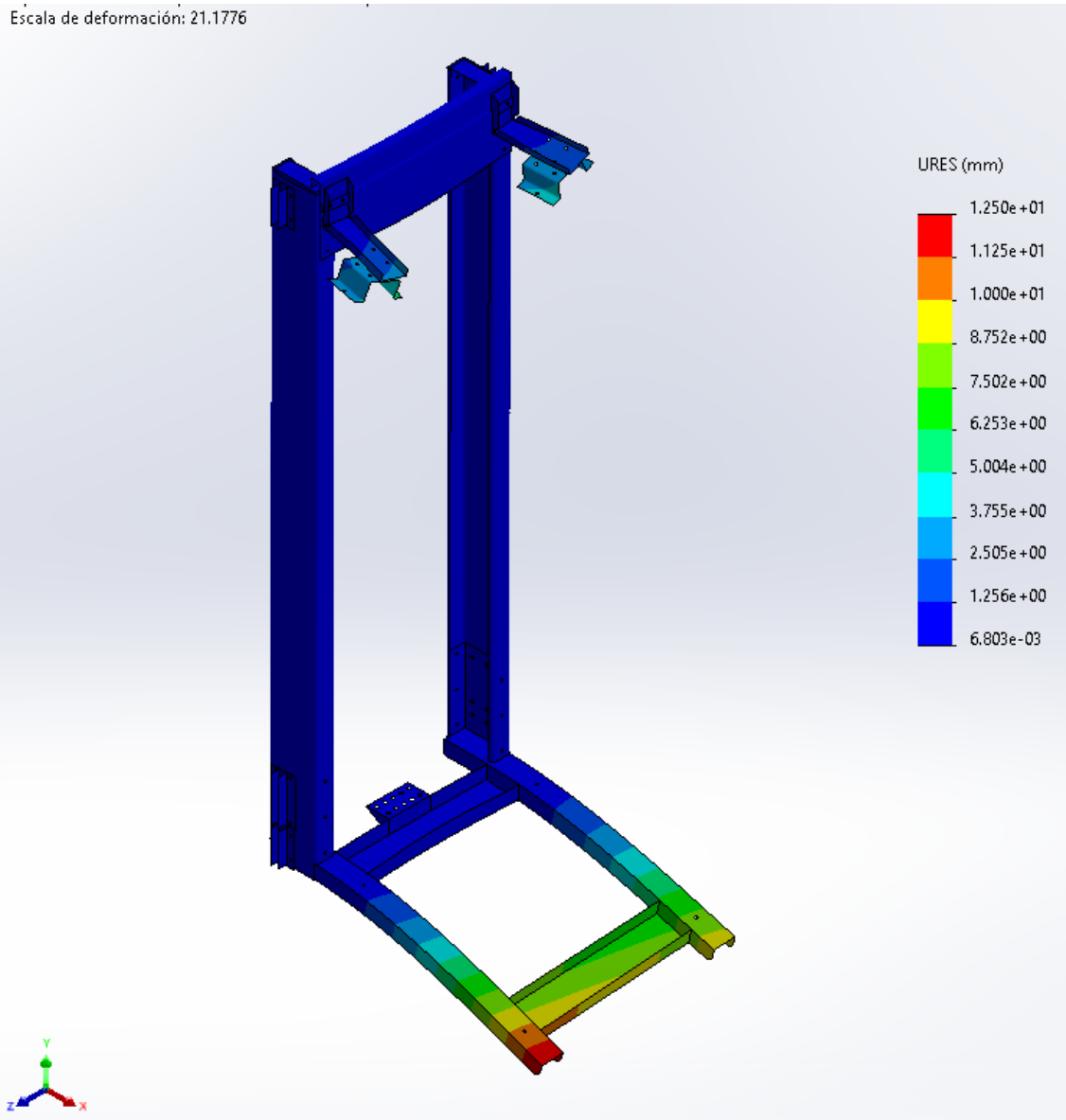


Ilustración 219 Desplazamientos URES (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 4

Escala de deformación: 21.1776

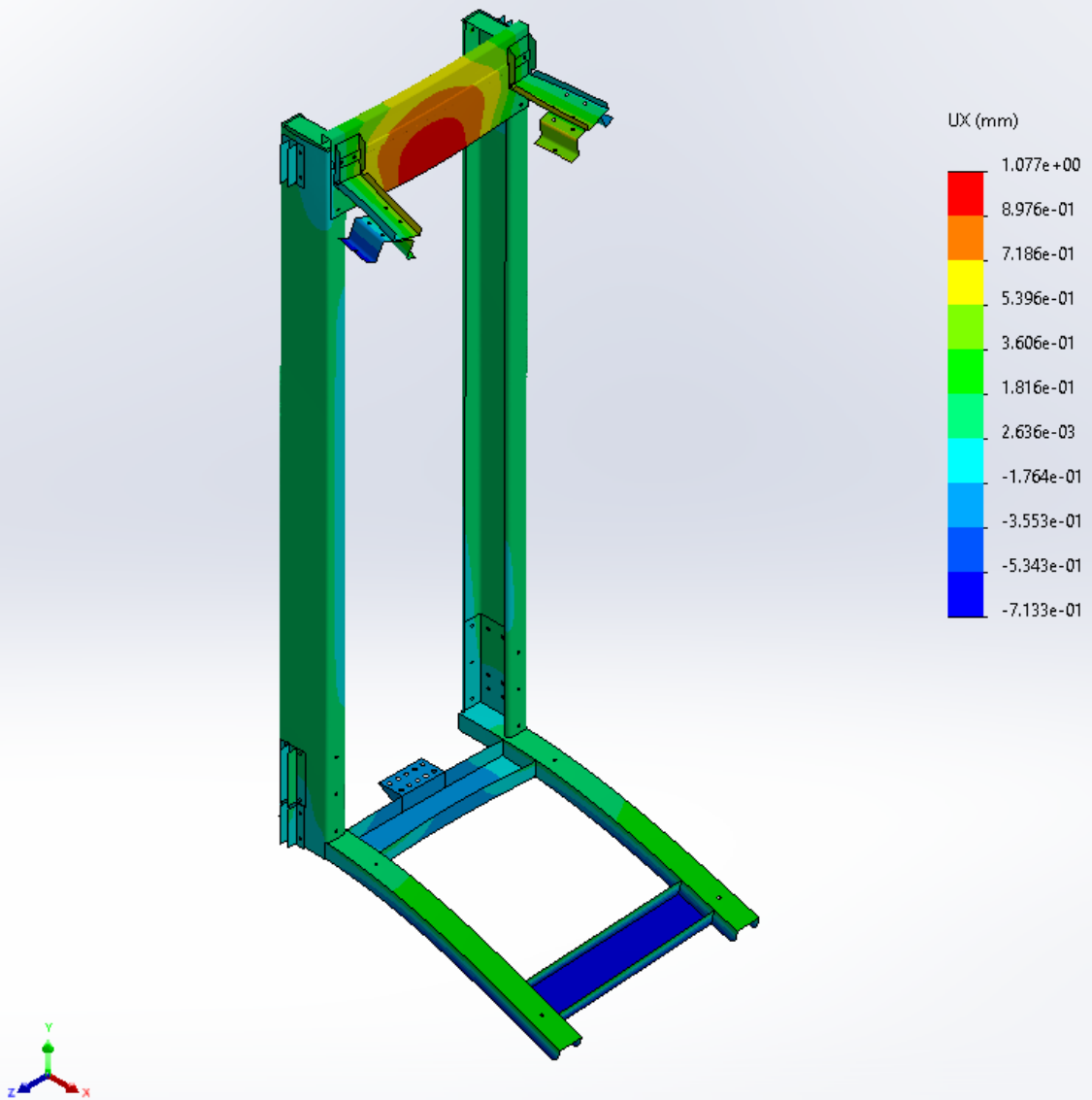


Ilustración 220 Desplazamientos U_x (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 4

Escala de deformación: 21.1776

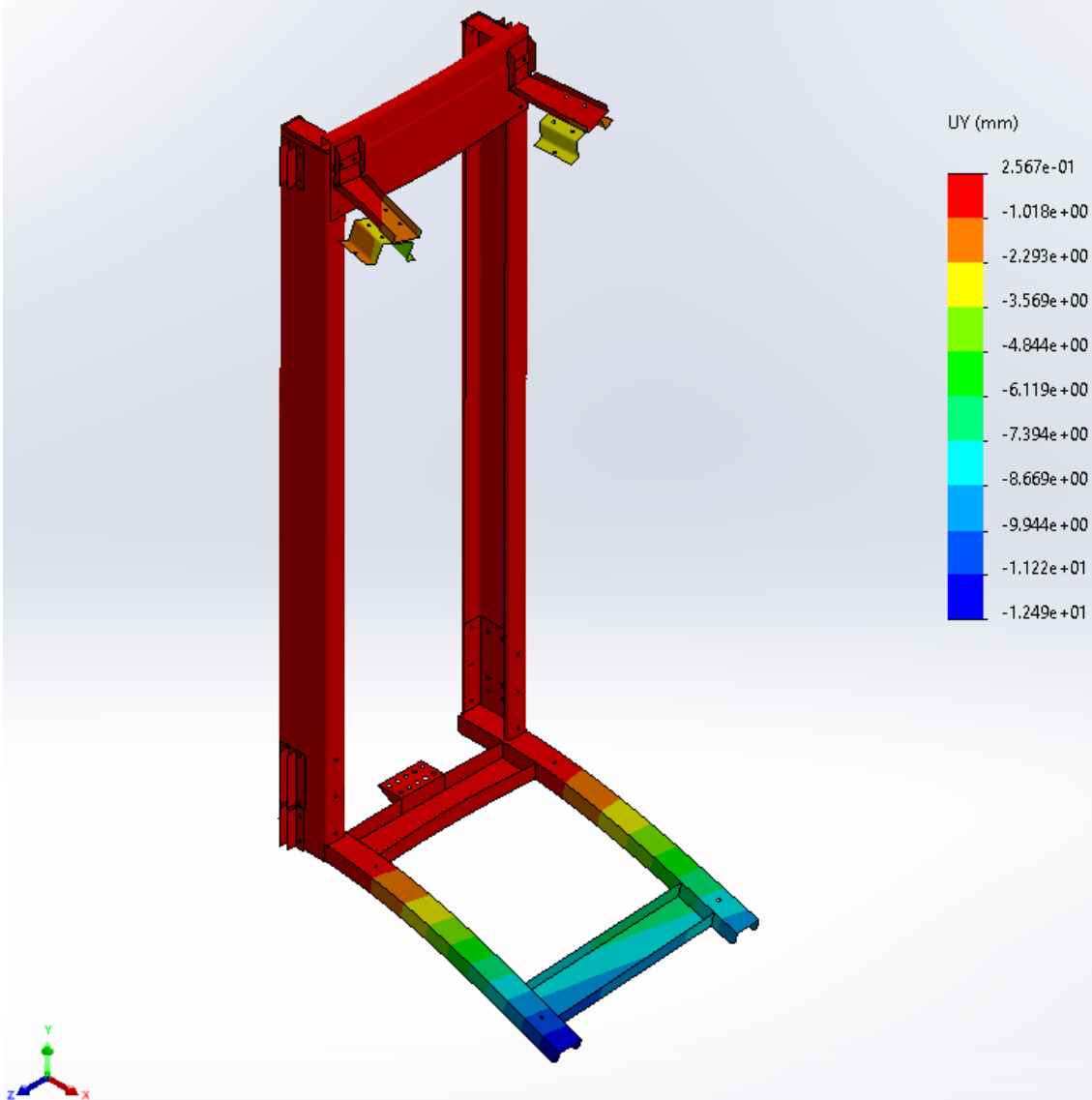


Ilustración 221 Desplazamientos Uy (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 4

Escala de deformación: 21.1776

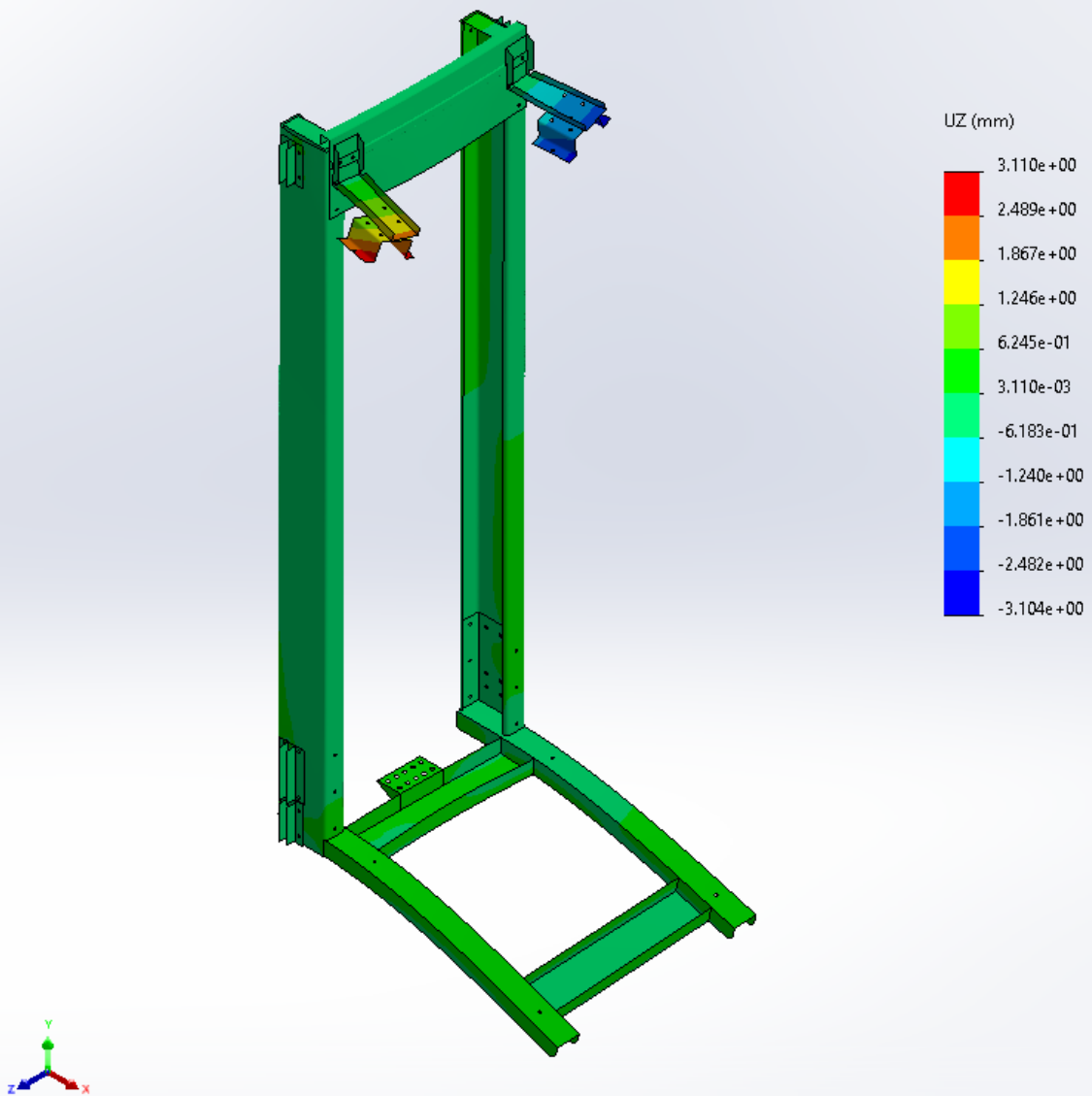


Ilustración 222 Desplazamientos U_z (mm) Q descentrada eje Z Hipótesis 4

