

ANEXOS

A. Características elementos	2
A.1 Cabina objeto de estudio	2
A.2 Carretilla manual utilizada	2
A.3 Pisaderas utilizadas.....	3
A.3.1 Pisadera aluminio estándar	5
A.3.2 Pisadera aluminio reforzada.....	6
A.4 Apoyo pisadera.....	7
A.5 Escuadras de fijación.....	8
B. Elección y optimización tamaño elemento mallado	11
B.1 Elección elemento mallado.....	11
B.2 Optimización tamaño elemento mallado.....	12
C. Estudio caso real en fábrica. Validación estudio en SolidWorks.....	15
D. Estudio Frecuencias naturales de vibración	32
E. Estudio a Fatiga	44
F. Índice Ilustraciones / tablas / gráficas	48
F.1 Índice Ilustraciones.....	48
F.2 Índice tablas.....	49
F.3 Índice gráficas	49

A. Características elementos

Las características de los distintos elementos y piezas que conforman el estudio, vienen especificadas en este anexo.

A.1 Cabina objeto de estudio

La cabina utilizada es la cabina del modelo de ascensor eléctrico MP Go!, de la empresa MP ascensores. Se trata de una cabina con capacidad para 6 pasajeros y una carga máxima de 480 kg (estimación de 80 kg / persona).

Las dimensiones de la cabina son las siguientes:

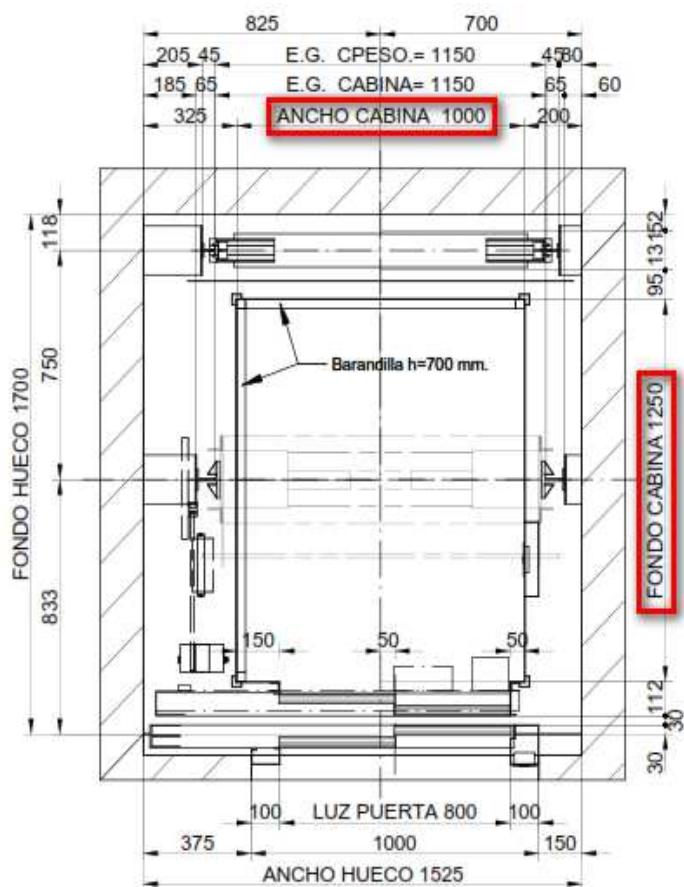


Ilustración 1. Dimensiones cabina ascensor.

A.2 Carretilla manual utilizada

La carretilla de mano escogida es de la empresa Disset Odiseo. Se trata de una carretilla de estructura tubular de acero, tiene una capacidad de carga de 500 kg y un peso propio de 18 kg. Las características propias de la carretilla son las siguientes:

Cap. Kgs	500
Ruedas	Caucho
Ø ruedas mm	250x60
Cojinetes	de rodillos
Alt. total mm	1320
Ancho total mm	560
Ancho pala mm	400
Profundidad pala mm	160
Peso Kgs	18



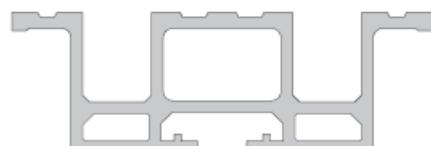
Ilustración 2. Dimensiones carretilla manual.

Hay una dimensión que no viene especificada en el manual de la carretilla escogida que es la distancia entre las ruedas. Esta distancia es de suma importancia puesto que, cuanto más juntas estén las ruedas, más centrado respecto al paso libre estará la carga al conjunto de la pisadera / apoyo pisadera y mayor será la flecha que pueda producir en las escuadras de apoyo del conjunto. Con ello, dicha cota se especificará de 400 mm (teniendo en cuenta que la pala donde se apoya la carga, también mide 400 mm).

A.3 Pisaderas utilizadas

Fermator, dispone de 4 modelos de pisadera: pisadera aluminio estándar, pisadera de aluminio reforzada, pisadera de chapa y pisadera maciza:

Pisadera aluminio estándar



Pisadera aluminio reforzada



Pisadera chapa



Pisadera maciza



Ilustración 3. Modelos de pisadera.

Desde la empresa, se pone en disposición del cliente, unos datos de resistencia de carga de cada una de ellas, **sin tener en cuenta los apoyos**. Se especifica la carga que puede soportar, sin sufrir deformación plástica, en una carga total repartida en cuatro puntos, aplicada en el centro del carril, según cada modelo, es:

• PISADERA DE ALUMINIO STANDARD STANDARD ALUMINIUM SILL	• PISADERA DE ALUMINIO REFORZADA REINFORCED ALUMINIUM SILL
Carga total: Total weight: 1.200 Kgs.	Carga total: Total weight: 4.800 Kgs.
Carga en punto de apoyo: Load in support point: 300 Kgs.	Carga en punto de apoyo: Load in support point: 1.200 Kgs.
• PISADERA DE CHAPA STEEL SILL	• PISADERA MACIZA MASSIVE SILL
Carga total: Total weight: 3.600 Kgs.	Carga total: Total weight: >4.800 Kgs.
Carga en punto de apoyo: Load in support point: 900 Kgs.	Carga en punto de apoyo: Load in support point: >1.200 Kgs.

Ilustración 4. Resistencia carga pisadera sin tener en cuenta apoyos.

El valor de carga total, es la carga máxima que podría soportar, repartida en 4 puntos, y el valor de carga en punto de apoyo, la carga en cada uno de esos puntos (carga total / 4).

En el presente proyecto, ha sido utilizada la pisadera de aluminio estándar, teniendo que cambiar el modelo por la de aluminio reforzada, por motivos de no cumplimiento de criterio de resistencia mecánica, ya que se deforma plásticamente.

El aluminio utilizado para ambos modelos de pisadera es el aluminio extrusionado, Al UNE-EN 573-3 AW-6063 (AlMgSi0.5) T5, las características del cual son:

NORMA E.N.	AW. 6063	
NORMA U.N.E.	L-3441	
PROPIEDADES GENERALES	Unidad	
Densidad	g/cm ³	
Estado de Tratamiento	T - 6	
Carga de Rotura	N/mm ²	
Límite Elástico	N/mm ²	
Modulo Elástico	N/mm ²	
Alargamiento A5,65%	14	
Dureza	Brinell	
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de fusión	[°] C	615-655
Conductividad Térmica	W/(K*m)	209
Coefic. Dilatación Térmica Lineal	m/(m*K)	23,5
Conductividad eléctrica	% LACS	55
CAPACIDADES TECNOLOGICAS		
Comportamiento natural		MB
- Ambiente industrial		MB
- Ambiente rural		B
- Ambiente marino		B
- En agua de mar		B
Mecanización		R
- Fragmentación viruta		MB
- Brillo superficial		
Saldadura		B
- A la llama		B
- Al arco bajo gas argón		MB
- Por resistencia eléctrica		MB
- Braseado		MB
ANODIZADO		MB
- De protección		MB
- Decorativo		MB
- Duro		MB

Ilustración 5. Características aluminio pisadera.

A.3.1 Pisadera aluminio estándar

La pisadera de aluminio estándar, es la que se utiliza para solicitudes menos estrictas, puesto que es la pisadera que soporta menor carga, como se ha visto anteriormente. Las dimensiones del perfil de la misma, son las siguientes:

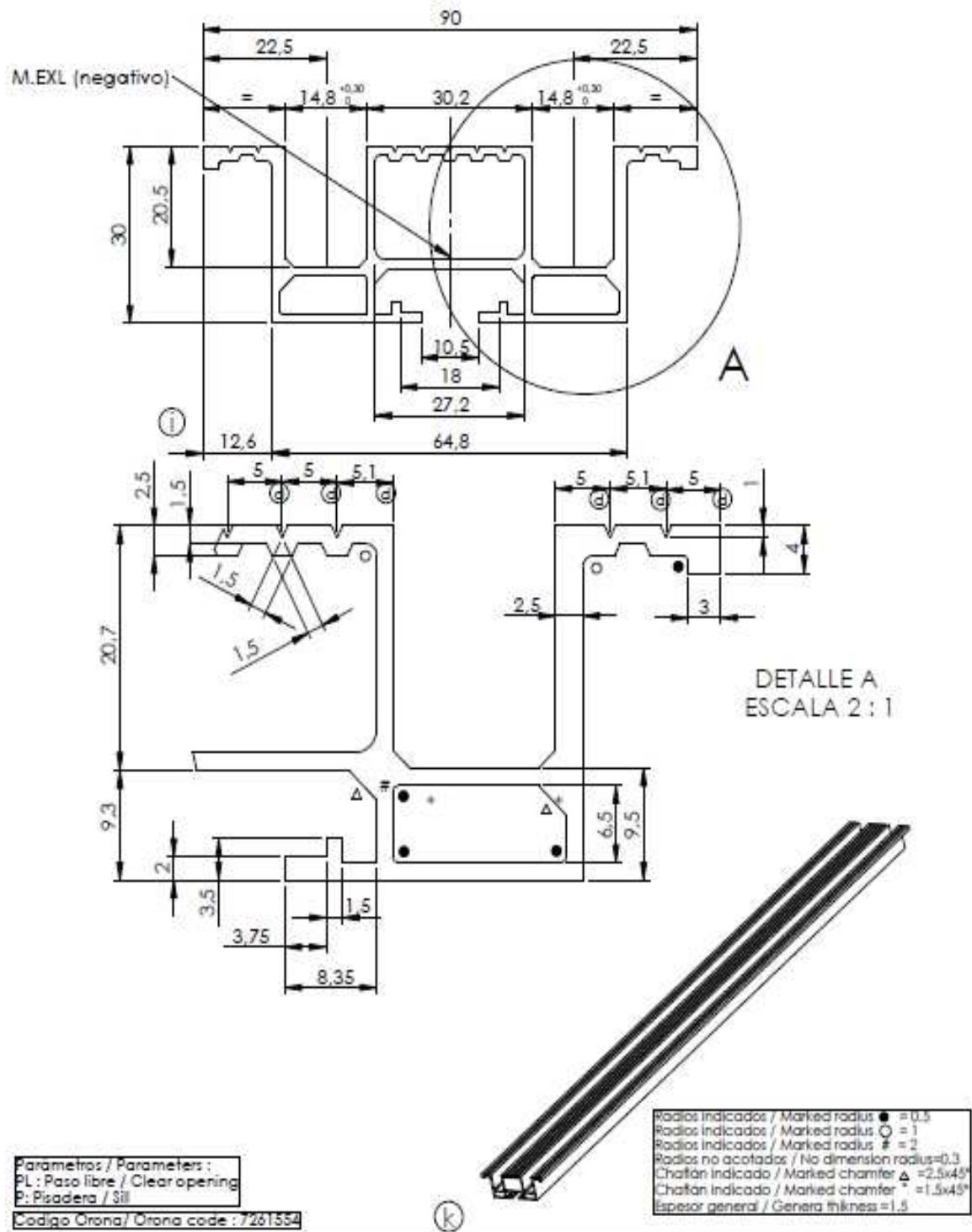


Ilustración 6. Dimensiones pisadera aluminio estándar.

A.3.2 Pisadera aluminio reforzada

La pisadera de aluminio reforzada, tiene un espesor mayor a la de aluminio estándar, si bien la forma dimensional es igual. Gracias al mayor espesor, como se ha especificado, tiene una mayor capacidad resistiva respecto a las cargas que en ella se aplican. Las dimensiones de esta pisadera, para el modelo telescopico de 2 hojas (o Central de 4) son las siguientes:

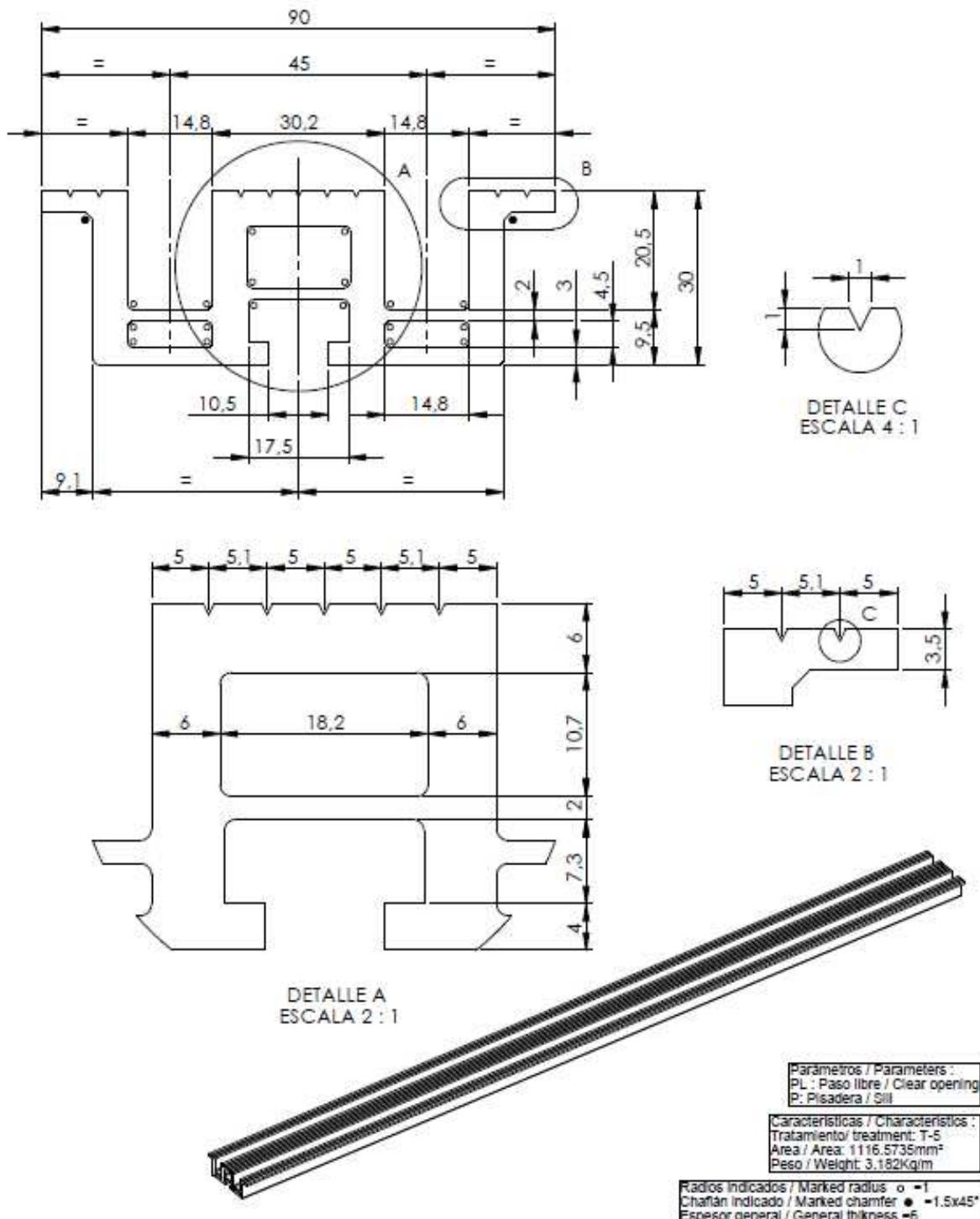


Ilustración 7. Dimensiones pisadera aluminio reforzado.

A.4 Apoyo pisadera

El apoyo pisadera utilizado (pieza que une pisadera con escuadras y donde se fijan los montantes) es el estándar para este tipos de pisadera y para el modelo de puerta estudiado. Las características del apoyo son las siguientes:

✓ Material

El material del apoyo pisadera es el acero Galvanizado Ac/St EN10327 DX51D+Z140-MA-C, de espesor 3 mm. Las características de cual son:

Composición química máxima (%)					
C	Si	Mn	P	S	Ti
0.12	0.50	0.60	0.10	0.045	0.30

Propiedades mecánicas				
Re (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)	A (%) mín.	r	n
--	270/500	22	--	--

Ilustración 8. Características acero galvanizado. Material apoyo pisadera y escuadras.

El límite elástico del acero en cuestión es de 250 MPa.

✓ Dimensiones

Las dimensiones de la pieza, para el modelo de puerta estudiado y de la apertura en cuestión, son las siguientes:

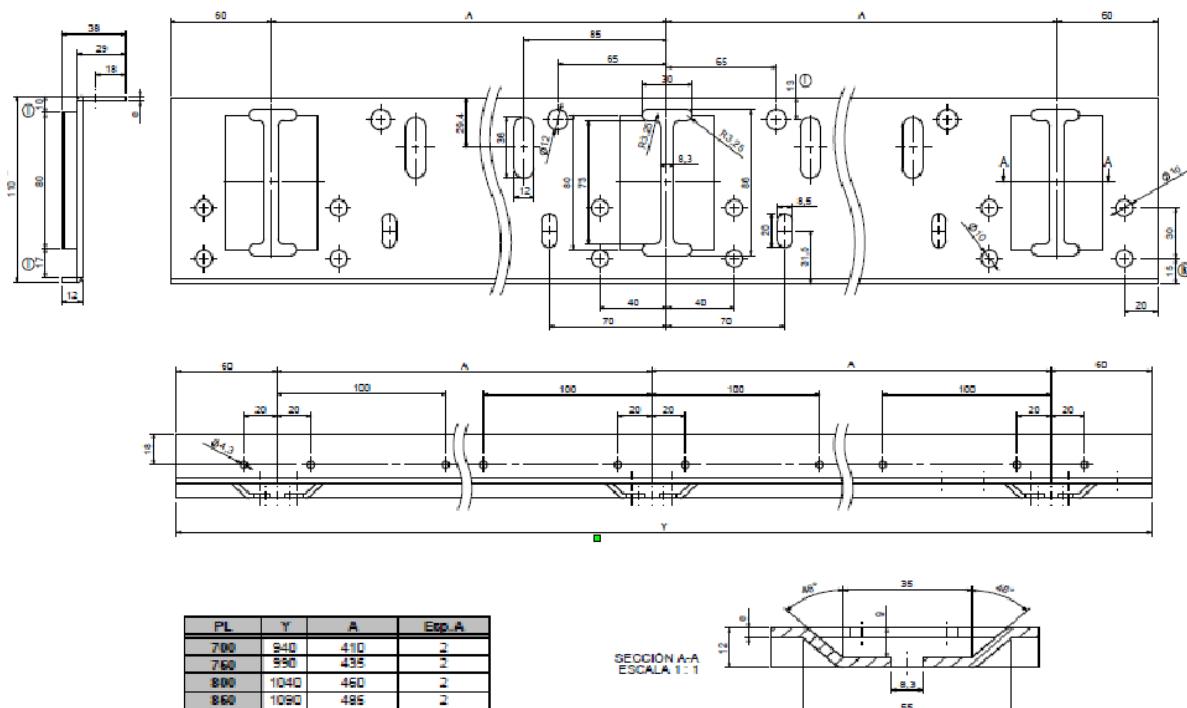


Ilustración 9. Dimensiones apoyo pisadera.

A.5 Escuadras de fijación

Existen distintas escuadras de fijación ya diseñadas. Para la puerta telescópica de 2 hojas del modelo estudiado, son 4 escuadras las que cubren todo la longitud de volado posible, y que son estudiadas en el presente proyecto: escuadra tipo A, escuadra tipo W, escuadra tipo D y escuadra tipo V2.

✓ Material

El material de todas ellas, es el mismo acero galvanizado que en el apoyo pisadera (ver características en página anterior).

✓ Dimensiones

Las dimensiones de cada una de las escuadras, son las siguientes:

Escuadra Tipo A (volado ≤ 37.5 mm):

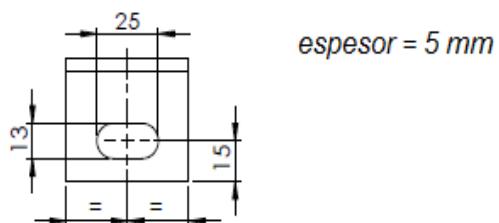
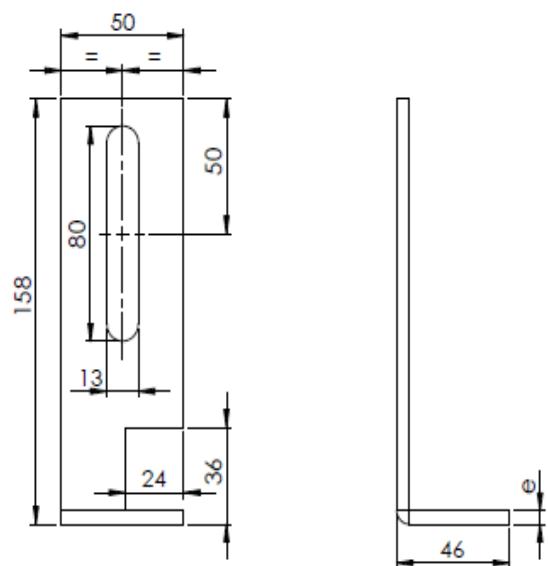


Ilustración 10. Dimensiones escuadra tipo A.

Escuadra Tipo W ($37.5 < \text{volado} \leq 90 \text{ mm}$)

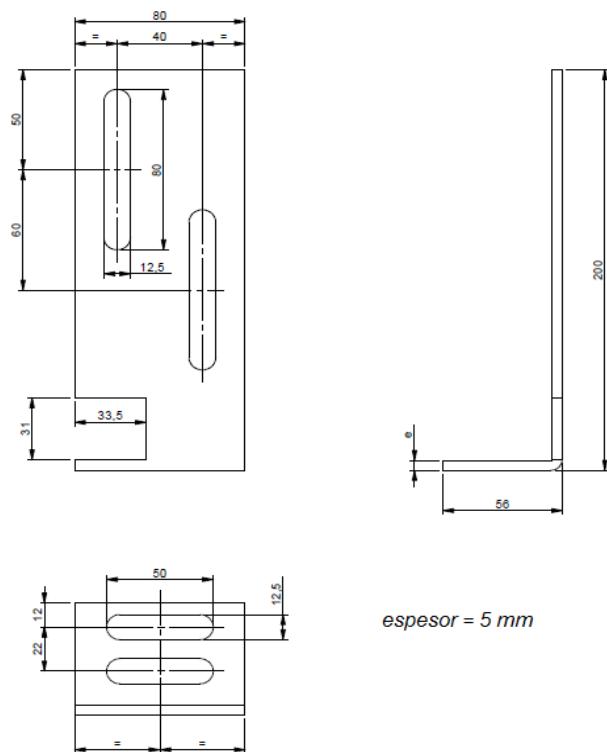


Ilustración 11. Dimensiones escuadra tipo W.

Escuadra Tipo D ($90 < \text{volado} \leq 140 \text{ mm}$):

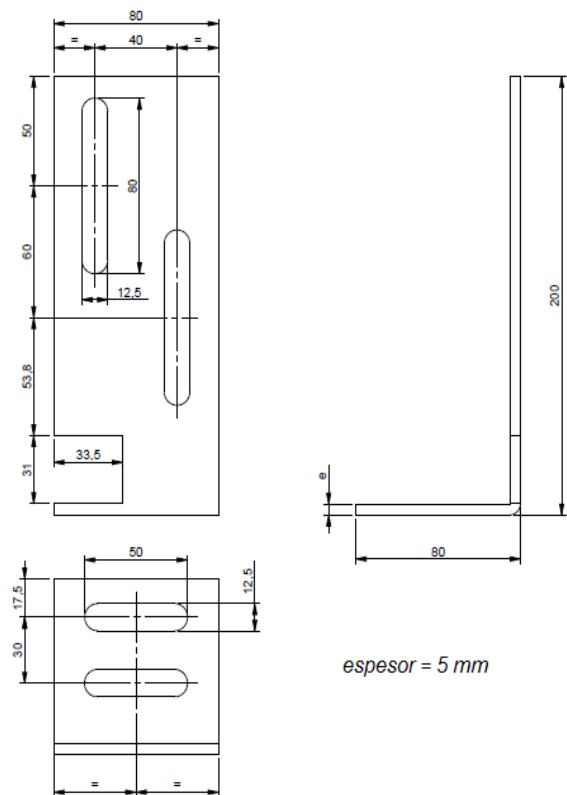


Ilustración 12. Dimensiones escuadra tipo D.

Escuadra Tipo V2 ($140 < \text{volado} \leq 150 \text{ mm}$):

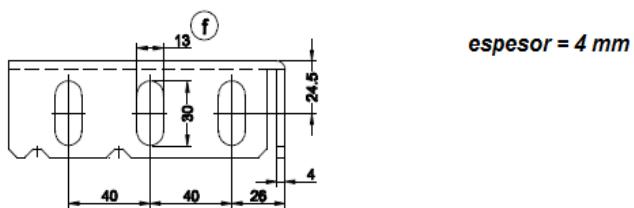
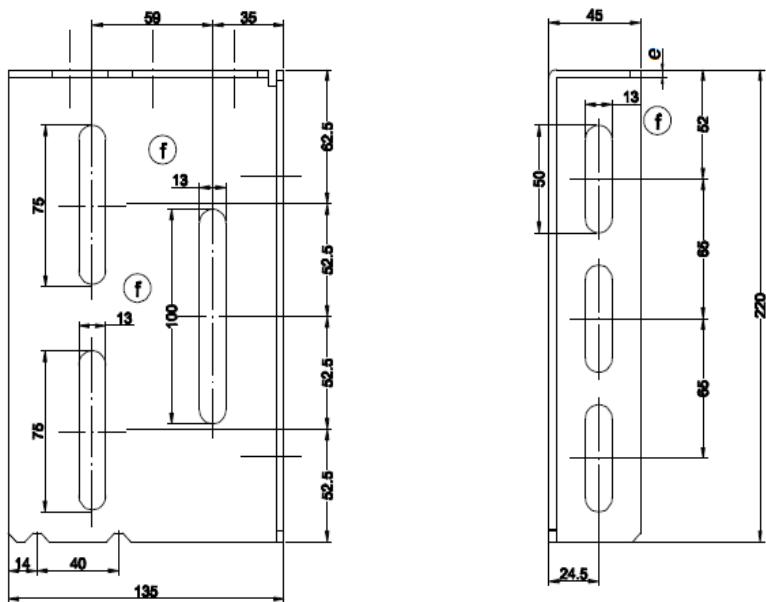


Ilustración 13. Dimensiones escuadra tipo V2.

B. Elección y optimización tamaño elemento mallado

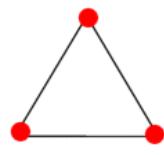
B.1 Elección elemento mallado

El programa dispone de distintos tipos de elemento a la hora de mallar el conjunto: elementos sólidos tetraédricos, de primer y segundo orden y elementos planos triangulares, de primer y segundo orden.

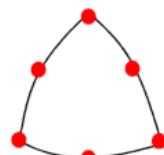
- *Elementos planos triangulares de primer y segundo orden:* Se utilizan para estudios con chapas metálicas, para elementos de muy poco espesor.

> Los de primer orden (elemento triangular lineal), se generan al mallar en *calidad de borrador* y sirve para obtener un estudio preliminar, con el fin de sacar conclusiones específicas generales: direcciones de cargas, restricciones, etc., si bien no sirven para sacar valores concluyentes, debido a su baja calidad.

> Los de segundo orden (elemento triangular parabólico), sirven para un mallado de *alta calidad* del conjunto, puesto que aproximan mejor debido a su mayor número de nodos: mientras los elementos de primer orden están formados por 3 nodos angulares, los de segundo orden están formados, además, por 3 nodos en cada una de las aristas.



Elemento triangular lineal



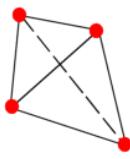
Elemento triangular parabólico

Ilustración 14. Elementos planos triangulares de primer y segundo orden.

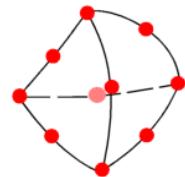
- *Elementos sólidos tetraédricos de primer y segundo orden:* Se utilizan para estudios formados por elementos sólidos.

> Los de primer orden (elemento sólido lineal), se generan al mallar en *calidad de borrador* y sirve, igual que en el caso de mallado con elementos triangulares, para estudios preliminares con objetivos específicos.

> Los de segundo orden (elemento sólido parabólico), también en la misma línea que lo comentado anteriormente, son los empleados para un mallado de alta calidad, que aproxima mucho más a la realidad.



Elemento sólido lineal



Elemento sólido parabólico

Ilustración 15. Elementos sólidos tetraédricos de primer y segundo orden.

Para los estudios del presente proyecto, se utilizará la **malla sólida con elementos de segundo orden**, puesto que los elementos estudiados, no tienen un espesor que se pueda considerar como una chapa metálica y, también, debido a la geometría de las propias piezas. Por otro lado, también debido a la geometría, se malla con elementos de segundo orden, debido a que éste último tipo de elemento, se adapta a elementos curvilíneos con una mayor precisión.

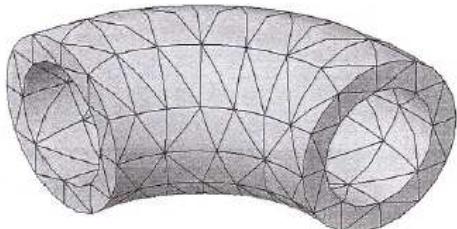
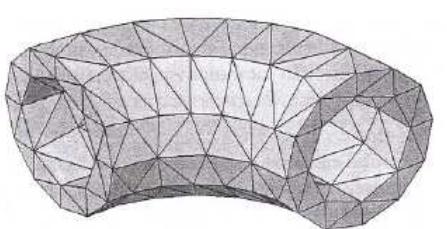


Ilustración 16. Diferencia entre malla de primer y segundo orden.

B.2 Optimización tamaño elemento mallado

Con el fin de mallar los conjuntos con un tamaño de elemento óptimo, se realiza un pequeño estudio, con un conjunto concreto. Se estudia la flecha máxima para el caso de PL 800 mm y de volado 140 mm. Se realizan distintos estudios, cambiando el tamaño del elemento:

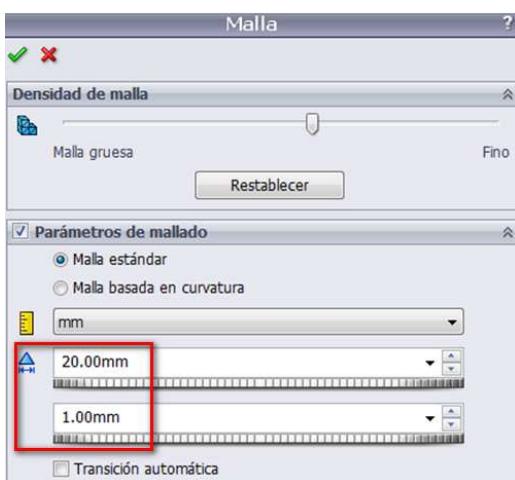


Ilustración 17. Elección tamaño elemento malla.

Empezando con un tamaño de elemento de 20 mm, se procede al mallado y al posterior cálculo de la flecha máxima del conjunto (estimando este valor como el más significativo y definitivo).

Los valores obtenidos son los siguientes:

Tamaño elemento (mm)	Flecha (mm)
20	1,2
18	1,31
16	1,38
14	1,46
12	1,52
10	1,56
8	1,56
6	1,57

Tabla 1. Relación tamaño elemento / flecha obtenida.

La apariencia de alguno de los mallados es la siguiente:

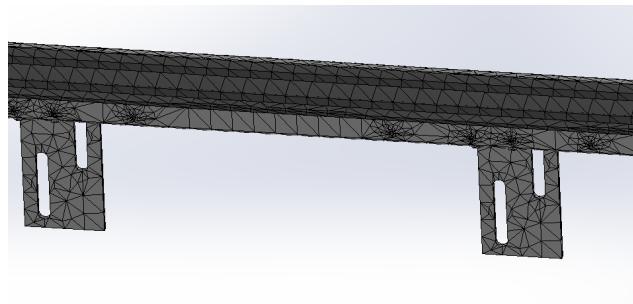


Ilustración 18. Tamaño elemento 20 mm.

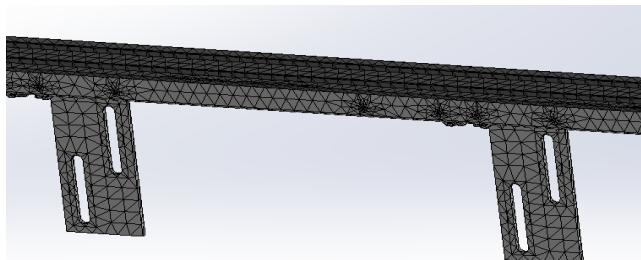


Ilustración 19. Tamaño elemento 14 mm.

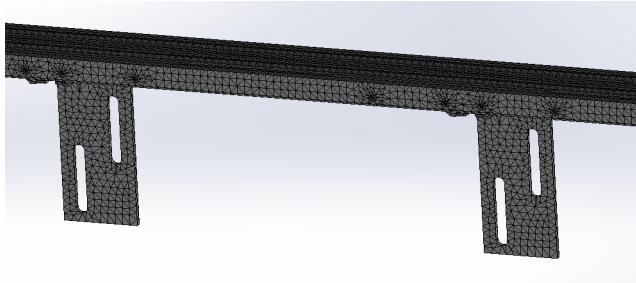
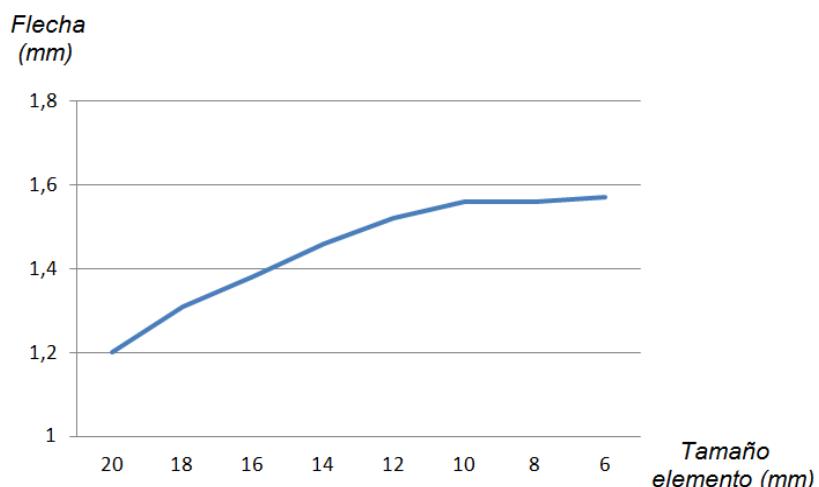


Ilustración 20. Tamaño elemento 8 mm.

Teniendo en cuenta, que a mayor número de elementos al discretizar el conjunto, mayor tiempo de resolución del sistema, se estima oportuno llegar a un compromiso, con el fin de mallar el conjunto con un tamaño de mallado, dónde se establece la solución obtenida, no mallando con un tamaño más pequeño si no es necesario.



Gráfica 1. Relación flecha según tamaño elemento.

Para un caso de prueba, vemos que a partir de un tamaño de elemento de 10 mm, la flecha obtenida, se estabiliza, con lo que se determina como *tamaño óptimo* a la hora de mallar el resto de conjuntos objeto de estudio.

C. Estudio caso real en fábrica. Validación estudio en Solidworks

Antes de realizar el análisis estático y dinámico de cada uno de los modelos a estudiar, se ejecuta un caso práctico real, con el fin de dar validez a los resultados obtenidos con el programa Solidworks, con el paquete de simulación con elementos finitos de Cosmos. Una vez hecho el caso práctico y simulado en el programa, se comprobará que se puede minimizar el conjunto, aplicando unas condiciones de contorno, comprobando así, que el resultado siga siendo aceptable dentro de una tolerancia estimada.

A la hora de dar como válido el este primer estudio, se deben tener en cuenta distintos puntos determinantes:

- Comprobar que los resultados obtenidos en fábrica (caso práctico real) y los resultados obtenidos mediante la simulación en el programa, tengan una diferencia aceptable, con una desviación dentro de una tolerancia que especificamos como máxima. Hay que tener en cuenta que, entre el resultado práctico y el teórico, siempre hay factores influyentes y determinantes, que hacen variar los resultados y, a la hora de plasmarlo en el programa no se pueden tener en cuenta: condiciones atmosféricas, estructura interna y calidad del material que conforma cada una de las piezas, exactitud en los instrumentos de medida, etc). Con ello, se da como válido el estudio si la desviación entre los resultados de flecha obtenidos en cada una de las escuadras es, como máximo, de un 30% entre resultados teóricos y prácticos. Este valor es una estimación que se considera máxima, teniendo en cuenta los factores anteriormente especificados.
- Una vez simulado el conjunto completo, demostrar que, simplificándolo y aplicando las nuevas condiciones de contorno (que simulan la acción de las piezas "eliminadas" para el estudio en el conjunto reducido), el resultado obtenido, es lo más próximo al resultado obtenido con la simulación del conjunto completo. Para ello, se realizarán varias simulaciones, aplicando distintas condiciones de contorno, con el fin de ver cuál de ellas reproduce mejor la realidad ya que, en cierto aspecto, en algunas uniones es difícil especificar la condición de contorno exacta. En este caso, la variación entre los resultados obtenidos con el programa en el caso del conjunto completo y en el del modelo reducido, no deberá superar el 15%. Se entiende que un valor por encima de 15-20% no estaría reproduciendo debidamente el caso del conjunto completo, no siendo válida su aceptación.

- Caso práctico fábrica

Introducción:

El origen de la prueba realizada en fábrica, es un estudio que ha sido solicitado a Fermator, por parte de un cliente, para su simulación real, con el fin de extraer datos significativos en el caso en particular.

Las características del estudio real son:

Modelo utilizado: El conjunto estudiado ha sido el modelo de puerta de rellano 40/10 de apertura telescópica de 2 hojas de paso libre 850 mm, con pisadera de aluminio estándar, de ancho 90 mm (mismo modelo que el objeto de estudio del presente estudio). Como se muestra a continuación, las piezas utilizadas han sido las estándares: dimensiones del marco, apoyo pisadera, escuadras.

Piezas utilizadas: Las piezas utilizadas para el caso real simulado en fábrica (ver apartado 4.2 "Puerta de rellano automática"), han sido :

➤ Pisadera:

La pisadera utilizada es de aluminio estándar, para una puerta Telescópica de 2 hojas, de Paso Libre 850 mm. (Ver anexo A1. Características elementos)

➤ Apoyo pisadera:

El apoyo pisadera utilizado, es el correspondiente a dicho modelo de puerta y apertura (T2 Hojas y Paso Libre 850 mm). (Ver características en Apartado 11.1.3 "Pisaderas utilizadas" dentro del Anejo 11.1 "Características elementos").

➤ Escuadras:

Las escuadras utilizadas, como se ha comentado anteriormente, son las escuadras denominadas 'tipo V2'. Se colocan 3 escuadras (correspondientes al PL 850) en la parte inferior de la puerta (en apoyo pisadera) y, en este caso, sólo se fija el marco por la parte superior con dos escuadras del mismo tipo (se hizo en fábrica pero en obra, se fija el marco por el dintel (parte superior) y por ambos montantes (lateralmente); (ver página 10 en apartado 4.2 "Puerta de rellano automática"), tal y como se ha comentado con anterioridad. (Ver características en Apartado 11.1.5 "Escuadras de fijación" dentro del Anejo 11.1 "Características elementos").

➤ Conjunto marco:

El marco o cerco se compone por dos montantes y un dintel. Los utilizados para el estudio han sido:

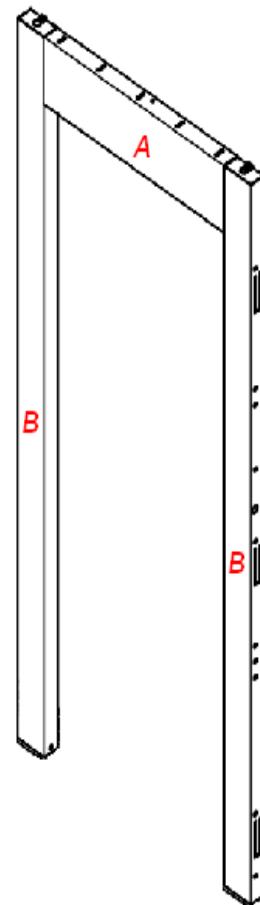
A: El dintel del marco utilizado es el estándar, las dimensiones del cual son:

- ✓ Altura: 210 mm
- ✓ Largo: PL puerta (850 mm en este caso)
- ✓ Profundidad: 60 mm

B: El marco está formado por dos piezas verticales, llamadas montantes (Ver apartado 4.2 “Puerta rellano automática”). Al tratarse de una puerta telescópica, uno de ellos es el de apertura y otro de cierre. Las dimensiones son:

- ✓ Altura: Altura libre de la puerta (HL) más altura dintel (en el caso estudiado $2000 + 210 = 2210$ mm)
- ✓ Ancho: 120 mm
- ✓ Profundidad: 60 mm

(Son las dimensiones de montantes estándar).



El montante de cierre, tiene una ‘chapa’ plegada que conforma un laberinto, a lo largo de la altura libre, donde se ‘esconde’ la hoja rápida, una vez la puerta está cerrada completamente.



Ilustración 21. Detalle montante cierre. Vista diseño Solidworks.

El material utilizado en todo el cerco (montantes y dintel) es el acero laminado en frío: Ac/St EN10130 DC01-AM-0 de espesor 1,2 mm, con acabado en pintura epoxi. Las características del acero son:

Composición química máxima (%)			
C	P	S	Mn
0.12	0.045	0.045	0.60
0.08	0.030	0.030	0.40

Propiedades mecánicas				
Re (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)	A (%) mín.	r	n
140	270/410	28	--	--
140	270/350	38	1.6	0.180

Ilustración 22. Características Acero laminado del cerco.

Introducción

Se ha fijado todo el conjunto a una estructura de fábrica, con el fin de simular un volado de 160 mm (ver apartado 4.3 “Necesidad de volado. Tramos”), tal y como especificaba el cliente en cuestión. Las escuadras utilizadas, son las específicas que dispone el Grupo Fermator, para este tipo de volado: tipo V2 como se ha especificado anteriormente. Si bien es cierto que está fuera del rango de la escuadra (de 140 a 150 mm), el cliente quiere el estudio con esa escuadra. En cuanto al número de escuadras, viene definido también, según el paso libre de la puerta. Para el estudio, la forma de fijarlo ha sido la siguiente:

* Se han colocado 2 escuadras del modelo V2 (Ver apartado 11.1.5 “Escuadras de fijación” del Anejo 11.1 “Características de los elementos”) en la parte superior del dintel.

* Se han colocado 3 escuadras más en el conjunto apoyo pisadera / pisadera del mismo modelo.

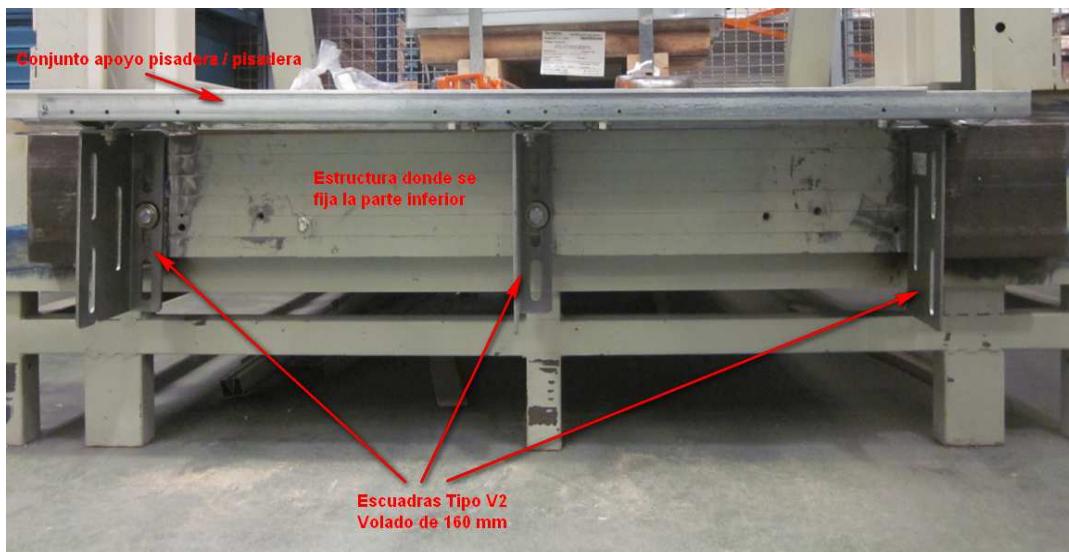
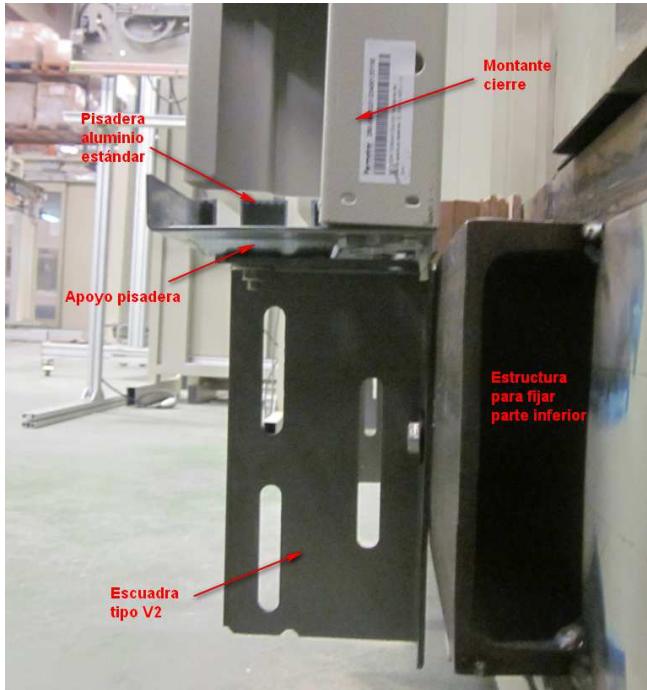


Ilustración 23. Detalle montaje de la parte inferior del conjunto.

La posición del tornillo que fija la escuadra a la pared (se ha realizado con un único tornillo), a una distancia también de 160 mm respecto a la parte superior de la pisadera:



$$DHP = y = 160\text{mm}$$

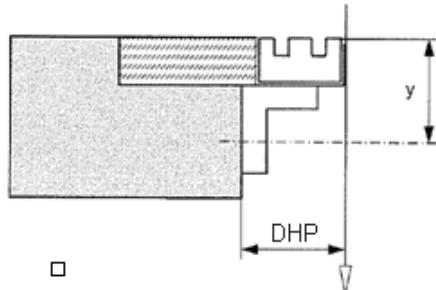


Ilustración 24. Detalle montaje escuadras inferiores.

Nota: Esta configuración, en lo que respecta a la fijación de los tornillos, será usada para los casos estudiados.

Carga utilizada

Una vez se tiene el conjunto fijado, se ha aplicado la carga. La carga ha consistido en utilizar una transpaleta cargada (caso especificado por el cliente), fijando las dos ruedas delanteras en el centro del paso libre de la puerta y colocando las ruedas en la parte más volada de la pisadera, con el fin de simular la condición más crítica. Una vez aplicada la carga, se estudia la deformación que sufre cada una de las 3 escuadras de fijación inferiores: montante cierre (Esc.1), centro del paso libre (Esc. 2) y montante apertura (Esc. 3):

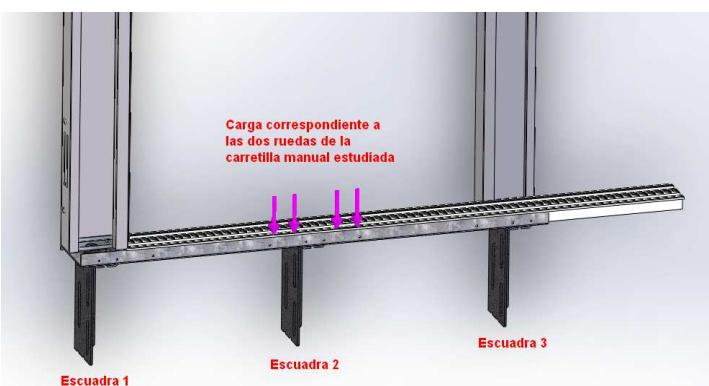


Ilustración 25. Detalle distribución escuadras. Vista diseño Solidworks.

Se ha cargado la transpaleta, mediante chapas de acero, hasta llegar a 800 kg (peso total con transpaleta incluida). Con ello, se ha centrado la carga de tal forma que se transmita un 60% de dicha carga a las ruedas delanteras (por expresa indicación del cliente). La carga en la parte delantera y, por consiguiente, la que sufrirá el conjunto a estudiar es de:

$$F = 0.6 \cdot 800 = 480 \text{ kg} = 4708,8$$

Por lo tanto, la carga en cada una de las ruedas es de:

$$F_{\text{rueda}} = F/2 = 2354,4 \text{ [N]}$$

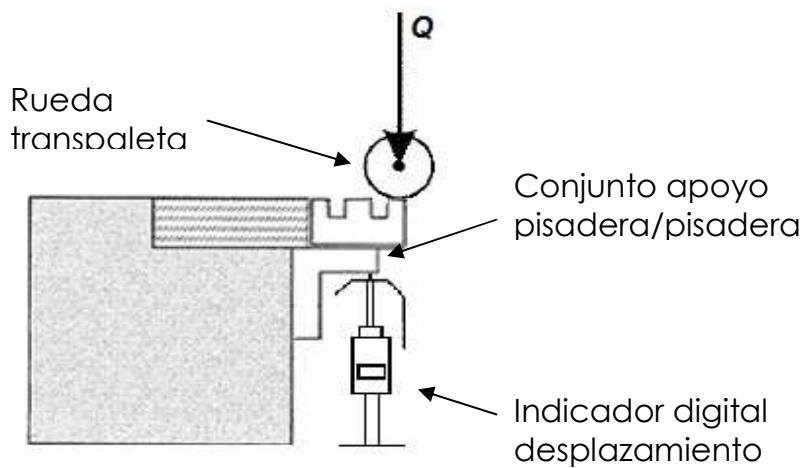


Ilustración 26. Esquema aplicación carga.

Dimensiones transpaleta utilizada

Las dimensiones de las ruedas delanteras son:

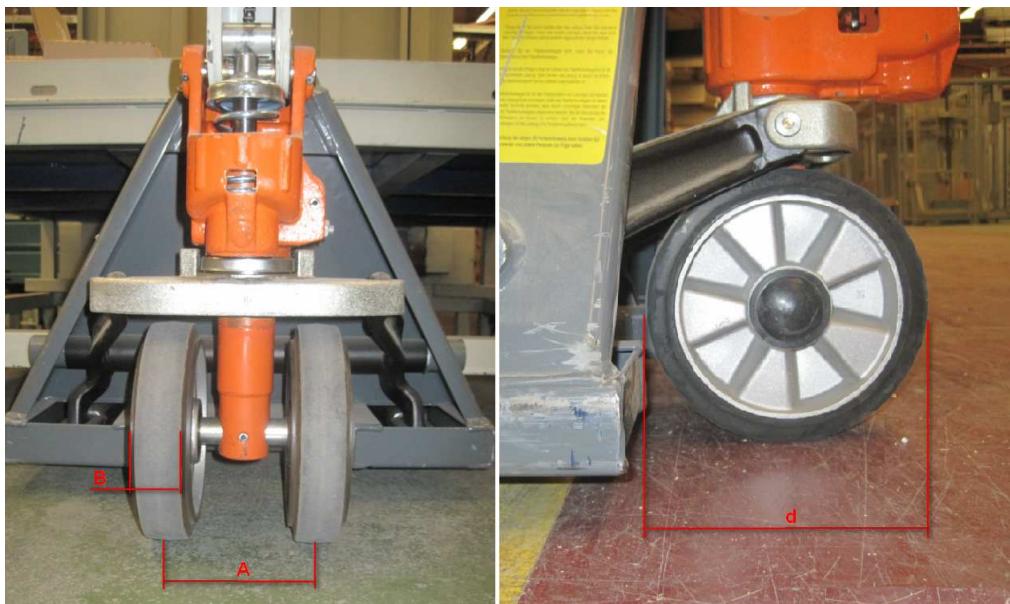


Ilustración 27. Dimensiones rueda transpaleta utilizada.

- Diámetro rueda; $d=170 \text{ mm}$
- Distancia entre ruedas; $A=100 \text{ mm}$
- Ancho rueda; $B= 50 \text{ mm}$

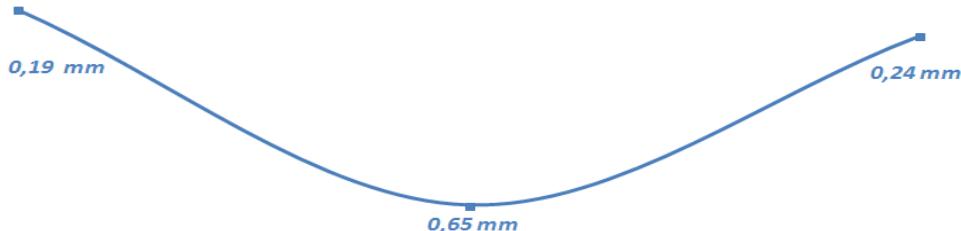
Resultados obtenidos en fábrica:

La deformación elástica obtenida en cada uno de los puntos arriba comentados (ver esquema anterior), medido con un indicador digital, corresponde a los siguientes valores:

	Escuadra 1	Escuadra 2	Escuadra 3
Flecha obtenida	0.19 mm	0.65 mm	0.24 mm

Tabla 2. Flecha obtenida en escuadras. Resultados fábrica.

Gráfica deformada:



Gráfica 2. Flecha en escuadras. Caso real.

Simulación caso práctico en SolidWorks Simulation:

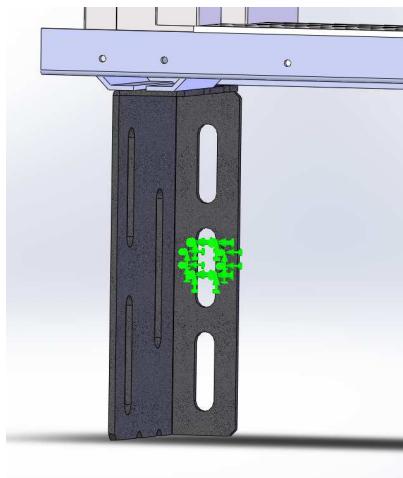
1. Ensamblaje de las distintas piezas que conforman el conjunto: Primero, se ha simulado, ensamblando cada una de las piezas en su ubicación y colocando las escuadras, determinando el volado de 160 mm. Se han especificado, para cada una de las piezas, las características propias de cada uno de los materiales (módulo elasticidad, límite elástico, densidad del material, etc.).

2. Simulación de las condiciones de contorno y cargas: Para realizar la simulación, mediante elementos finitos, es sumamente importante que las condiciones de contorno sean las que simulen, lo más aproximadamente posible, la realidad testada en fábrica: grados de libertad del sistema, de cada uno de los elementos, deformaciones, fijaciones, uniones entre elementos, cargas, etc. Para ello, se han determinado las condiciones de contorno y de carga de la siguiente forma:

2.1 Condiciones de contorno:

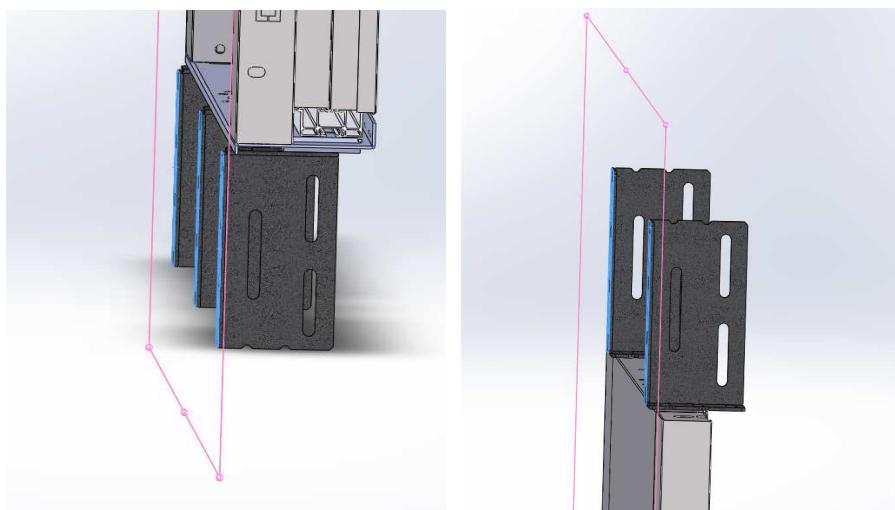
- **Geometría fija:** Se han especificado las superficies fijas, que no sufren ninguna traslación ni giro en ninguno de los 3 ejes. Estos puntos son los que

van fijados a obra: puntos de las escuadras, tanto inferiores como superiores. A efectos reales, no se puede permitir que exista desplazamiento de ninguna de las maneras, pues ello implicaría un ‘desplome’ del conjunto apoyo pisadera / pisadera. Con ello, se ha especificado la zona de la arandela en la propia escuadra, como superficie fija.



**Ilustración 28. Geometría fija.
Tornillo fijación escuadra.**

- **Pared Virtual:** En cada una de las escuadras, se ha definido una pared virtual, simulando el efecto de la propia estructura de fábrica (o pared en caso real). El fin de dicha condición de contorno, es evitar el desplazamiento en el sentido de la pared, puesto que no representamos dicha pared en el conjunto (implicaría un mayor tiempo de cálculo):



**Ilustración 29. Detalle pared virtua en escuadras inferiores y superiores,
simulando pared real.**

- **Uniones atornilladas:** Se especifican las uniones que van atornilladas, según métrica, y se establece unas condiciones de apriete (par torsor). Si bien es cierto que es sumamente difícil poner los valores correctos de pares de apriete de cada uno de los tornillos, se establecen unos valores estándares.

Las partes que van atornilladas en el conjunto son las siguientes uniones:

- > Montantes con dintel
- > Refuerzo inferior de los montantes con el apoyo pisadera
- > Escuadras inferiores con apoyo pisadera
- > Pisadera con apoyo pisadera

Apunte: Si bien es cierto que la unión de las escuadras con la pared es atornillada, como se ha comentado anteriormente, se ha considerado como una unión fija.

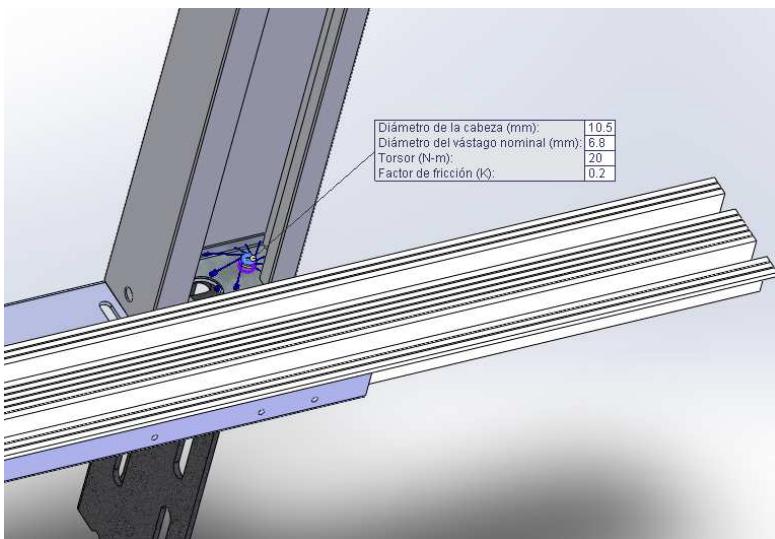


Ilustración 30. Detalle unión atornillada. Refuerzo inferior montante con apoyo pisadera.

- **Unión global soldada:** Si bien la mayoría de las uniones son atornilladas, hay otras que son soldadas: los refuerzos superior e inferior de los montantes al propio montante. Para ello, determinamos unión global soldada y, el programa, considera todas las uniones que no se hayan especificado anteriormente como atornilladas, con dicha consideración.

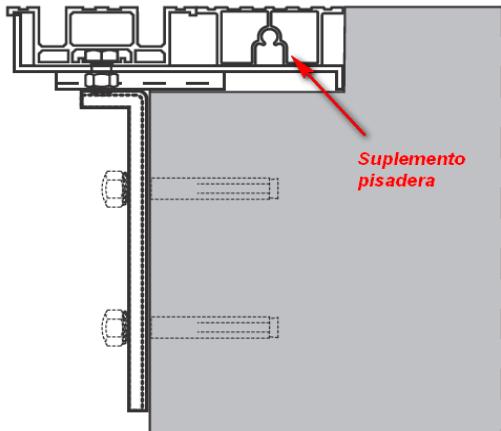
Punto importante: En el ensayo de fábrica, correspondiente al test comentado, en la zona del apoyo pisadera que no está ocupada por la pisadera, no se ha colocado un suplemento pisadera ni se ha fijado como si fuera obra (ver esquema página siguiente), sino que se ha dejado libre. Cabe destacar que esa zona será considerada como fija, ya que en las dos situaciones, se puede considerar que no debe sufrir desplazamiento.

Las dos posibles configuraciones comentadas son:

> Con suplemento pisadera: Se coloca una pieza, del mismo ancho que el de los montantes, con el fin de cubrir la zona interior del paso libre, entre el cerco, con una pieza del mismo acabado que la propia pisadera. Esta pieza va atornillada al apoyo pisadera.

> Fijado al forjado de rellano: Se cubre la zona anteriormente comentada, con el propio forjado del suelo del rellano.

1- Solución con suplemento pisadera



2- Solución con el forjado del rellano

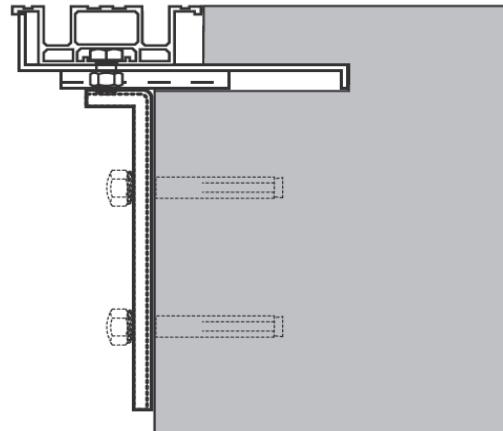


Ilustración 31. Configuraciones posibles respecto al espacio entre montantes.
1. colocación suplemento pisadera 2. fijado al forjado de rellano.

2.2 Fuerza aplicada

En el caso que concierne, tanto al caso práctico como al estudio que representará la carga del proyecto, la carga se aplica repartida en dos ruedas (en el caso práctico, las dos delanteras de la transpaleta y en el estudio del Proyecto, las dos ruedas de una carretilla manual). En el programa, con el fin de no representar tanto la transpaleta como la carretilla, se representa, en la zona de la pisadera donde se apoya, la proyección de cada una de las ruedas. Se ha determinado que, en el caso de práctica, el ancho sea el ancho de la rueda y, para el caso del perfil de rodadura (la zona que apoya), éste sea de 4,5 mm (Ver apartado 7.3.2 “Carga repartida en pisadera”). La carga, se ha aplicado en el extremo de la pisadera, ya que se considera el caso más crítico (más alejado del punto de apoyo del conjunto apoyo pisadera / pisadera), tal y como se ha comentado:

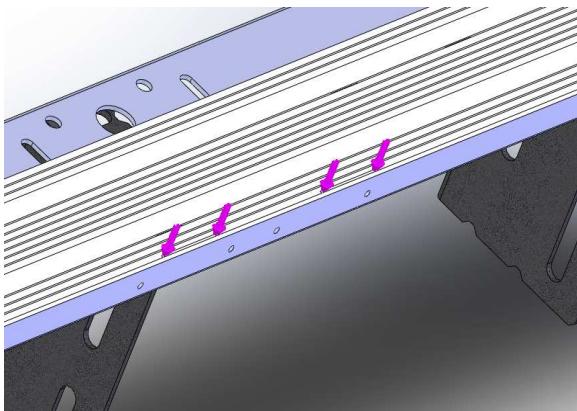


Ilustración 32. Carga aplicada, correspondiente a las dos ruedas transpaleta.

3.- Mallado y obtención de resultados

Una vez aplicadas las condiciones de contorno y las cargas, se ha procedido a mallar el conjunto y a realizar el cálculo de tensiones y deformaciones, solucionando el estudio por el método de elementos finitos. En lo que respecta al mallado del conjunto, éste se ha realizado con valores estándar para el conjunto completo a excepción de las propias escuadras. Se ha considerado oportuno, dado que es la pieza con mayor índice de concentración de tensiones y objeto de estudio, dotar a las escuadras con un mallado con mayor número de elementos que el resto, con el fin de extraer soluciones más veraces del estudio. Se ha mallado con elementos sólidos de segundo orden (Ver apartado consideraciones programa).

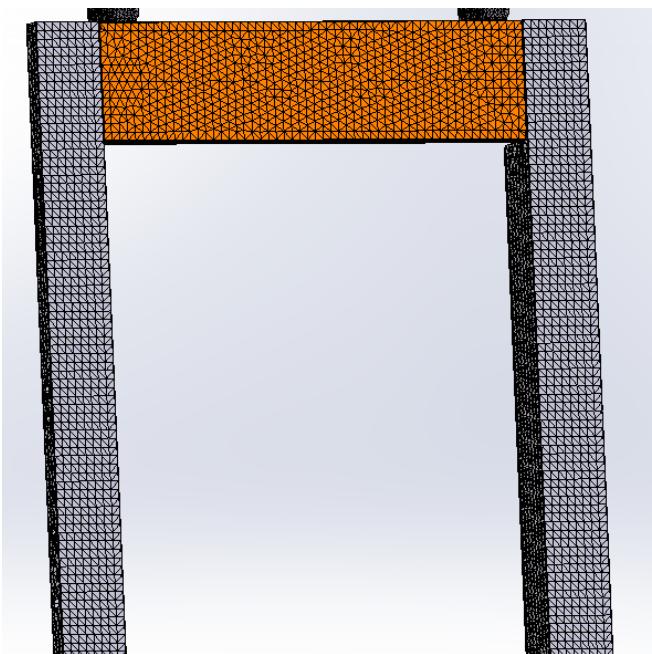


Ilustración 33. Detalle mayor tamaño de elementos.

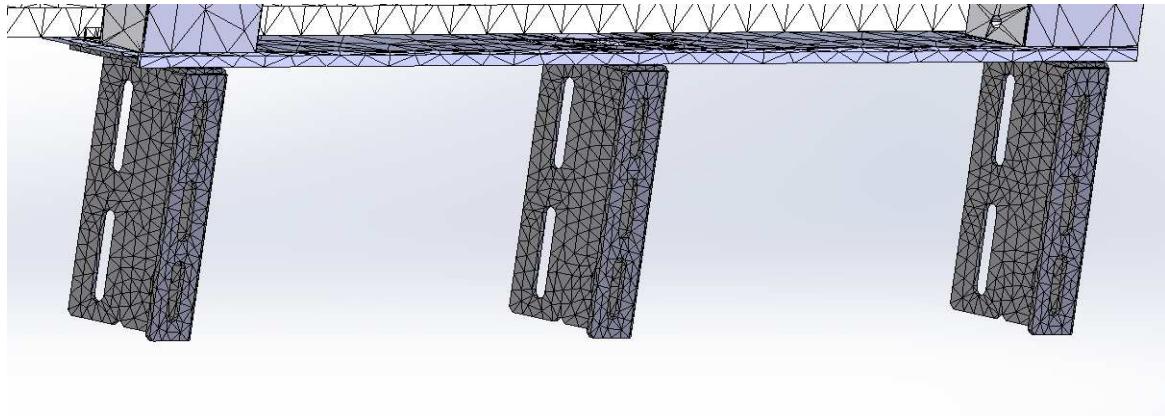


Ilustración 34. Mallado específico escuadras fijación. Detalle menor tamaño elemento.

Los resultados teóricos, obtenidos con la simulación del caso real, en cuanto al desplazamiento de cada una de las escuadras, han sido los siguientes:

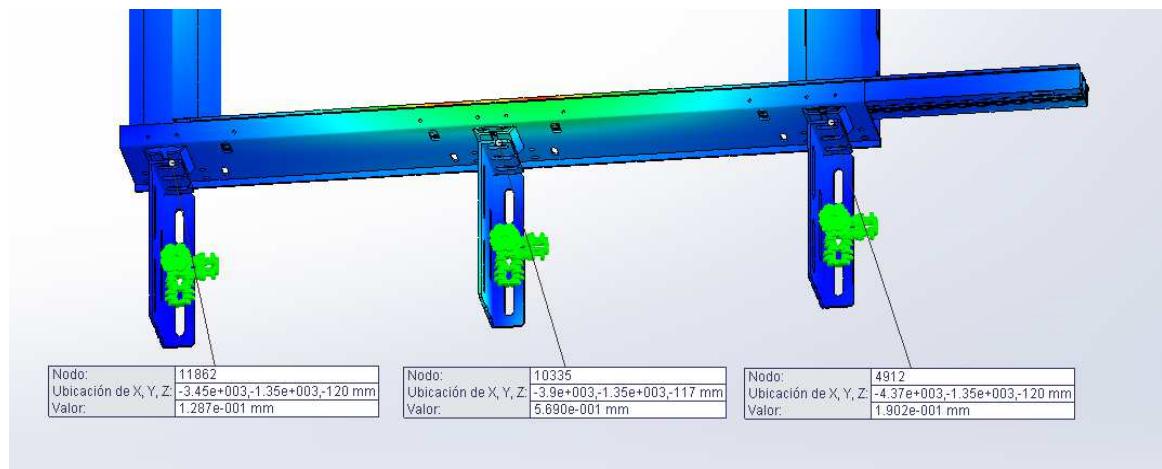


Ilustración 35. Resultado con programa. Flechas obtenidas en cada escuadra.

	Escuadra 1	Escuadra 2	Escuadra 3
Flecha obtenida	0.13 mm	0.57 mm	0.19 mm

Tabla 3. Resultados flecha en escuadras, obtenidos en el programa.

Comparación de resultados. Veracidad del estudio:

Una vez obtenidos los resultados prácticos (en fábrica) y los teóricos (con el programa), se comprueba la proximidad en las soluciones para dar como buenas las condiciones aplicadas y la simulación planteada, teniendo en cuenta, que la condición inicial estimada como válida para dar la simulación (con las condiciones especificadas) como válida es que la variación sea, como máximo, del 30%. Como podemos extraer de los resultados, en el estudio teórico se han obtenido menores deformaciones (posiblemente debido a factores ya

comentados anteriormente) y la variación, en cada una de las escuadras, es de:

Escuadra 1:

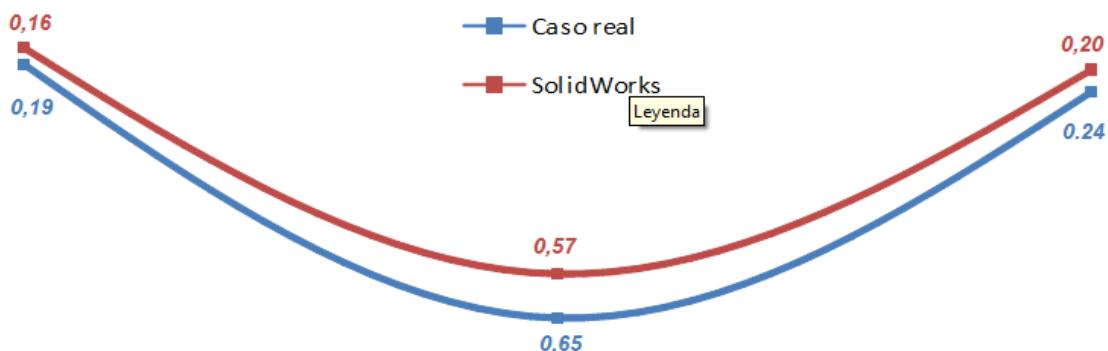
- Resultado caso real: 0,19 mm
 - Resultado estudio SolidWorks: 0,16 mm
- > Total desviación: 18,8%

Escuadra 2:

- Resultado caso real: 0,65 mm
 - Resultado estudio SolidWorks: 0,57 mm
- > Total desviación: 14%

Escuadra 3:

- Resultado caso real: 0,24 mm
 - Resultado estudio SolidWorks: 0,20 mm
- > Total desviación: 20%



Gráfica 3. Diferencia flechas en escuadras entre resultados prácticos y obtenidos en programa.

Como en cada una de las escuadras, estamos por debajo del 30% de desviación entre resultados, se da la simulación y el uso del programa como válido, con el fin de utilizarlo para simular los estudios objeto del presente Proyecto.

✓ **CONJUNTO REDUCIDO. VERIFICACIÓN**

El siguiente paso, antes de iniciar los estudios es comprobar que, reduciendo el conjunto, minimizándolo, se obtienen valores aceptables para trabajar con ese número de piezas y con las condiciones especificadas en relación al estudio simulado con todas las pieza, dando como válida una variación máxima del 15-20%, tal y como se ha comentado anteriormente.

Para ello, se ha eliminado del conjunto el marco completo de la puerta: dintel, montantes con sus refuerzos y escuadras superiores.

Una vez minimizado el conjunto, se deben encontrar las condiciones de

contorno que más acerquen el resultado obtenido al resultado resultante de hacer la simulación con todas las piezas ensambladas.

En cuanto a las relaciones de contorno existentes en las escuadras de fijación inferiores (geometría fija para la arandela de fijación de la escuadra y pared virtual, anteriormente explicadas) éstas se mantienen y, en cambio, aparecen unas nuevas condiciones, a aplicar en el apoyo pisadera. Esas son debidas a la acción del conjunto del marco. Por ello, antes de realizar ningún tipo de suposiciones, se debe observar en el estudio completo, la zona de contacto entre montantes y apoyo pisadera, los desplazamientos que ha sufrido una vez aplicada la carga, con el fin de sacar conclusiones para los estudios reducidos. Nos fijamos en los desplazamientos en la superficie que ocupa el refuerzo del montante en el apoyo de pisadera. Para ello, hemos realizado una partición en el apoyo que representa el contorno/proyección del montante en la misma, con el fin de estudiar los desplazamientos que sufre:

➤ **Partición apoyo pisadera. Montante de apertura:**

- Desplazamiento en horizontal (plano XY): El desplazamiento mayor, se produce en la esquina marcada, y el valor es de 0,093 mm.

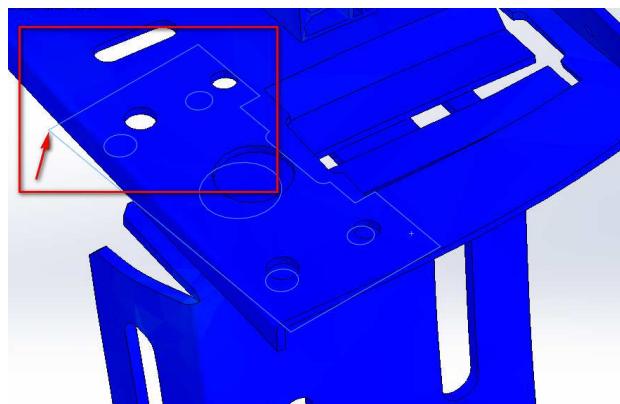


Ilustración 36. Desplazamiento horizontal en partición apoyo pisadera. Montante apertura.

- Desplazamiento en vertical (Plano XZ y YZ): El desplazamiento mayor, se produce en el mismo punto, con un valor de 0,02 mm.

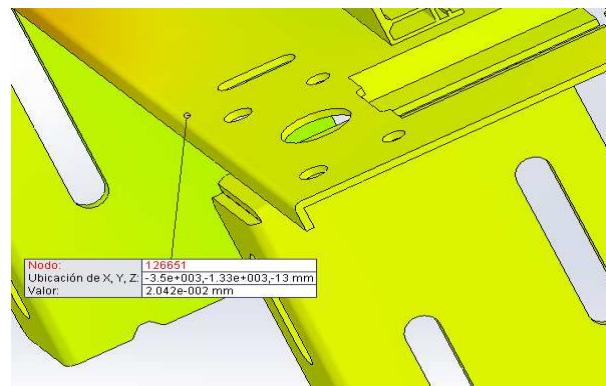


Ilustración 37. Desplazamiento vertical en partición apoyo pisadera. Montante apertura.

➤ **Partición apoyo pisadera. Montante de cierre:**

- Desplazamiento en horizontal (plano XY): El desplazamiento mayor, se produce en la zona final del apoyo pisadera, en el punto más alejado del centro del paso libre y su valor es de aproximadamente 0,13 mm.

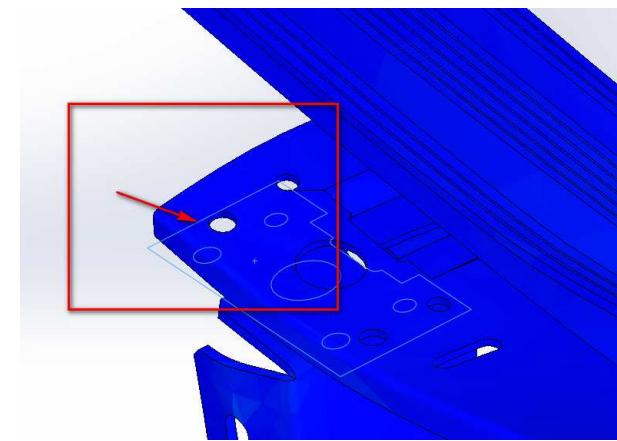


Ilustración 38. Desplazamiento horizontal en partición apoyo pisadera. Montante cierre.

- Desplazamiento en vertical (Plano XZ y YZ): El desplazamiento mayor, se produce en la misma zona que en el plano horizontal, con un valor de 0,12 mm.

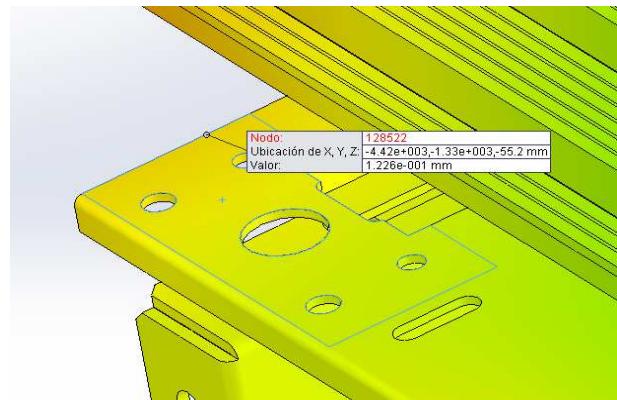


Ilustración 39. Desplazamiento vertical en partición apoyo pisadera. Montante cierre.

Conclusión:

Se observa que los desplazamientos en el apoyo pisadera, en la superficie de partición que hace referencia al montante de cierre, los valores son más elevados que en el montante de apertura, si bien es cierto, que los valores son cercanos a la decima de mm, con lo que los desplazamientos producidos se pueden considerar nulos.

Estudios reducidos. Resultados obtenidos

Teniendo en cuenta que los desplazamientos son despreciables en ese punto, en los estudios reducidos que se plantean, las condiciones de contorno a aplicar en cada uno de ellos, tienen como objetivo, representar con la mayor exactitud posible, el estudio del conjunto completo. El objetivo es reducir el número de piezas, con ello el proceso iterativo y, en conclusión, extraer un estudio más eficaz y eficiente.

Los distintos estudios reducidos estudiados han sido los siguientes:

Estudio Reducido 1:

En primer lugar, se simula el apoyo pisadera sin ninguna condición de contorno, considerando que la acción de la propia escuadra a la pared, es condición suficiente.

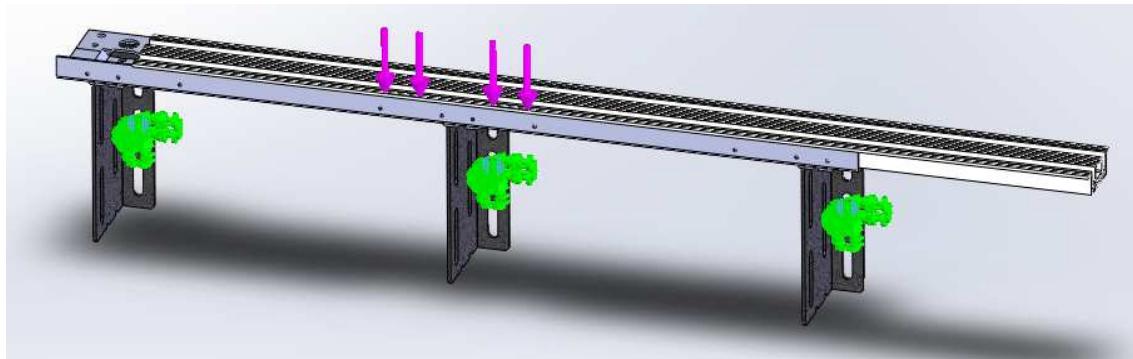


Ilustración 40. Condiciones contorno/carga aplicadas en Estudio reducido 1.

- Escuadras con punto de fijación determinado como superficie fija, en la partición que hace referencia a la arandela.
- Pared virtual en la superficie de la escuadra, en contacto con la pared.
- Fuerza aplicada en las dos particiones, que simulan el perfil de cada una de las ruedas de la transpaleta.

Los resultados obtenidos, del estudio reducido, son los siguientes:

Escuadra 1:

- Resultado estudio completo SolidWorks: 0,16 mm
- Resultado estudio reducido_1 SolidWorks: 0,18 mm
 > Total desviación: 12,5%

Escuadra 2:

- Resultado estudio completo SolidWorks: 0,57 mm
- Resultado estudio reducido_1 SolidWorks: 0,59 mm
 > Total desviación: 3,5%

Escuadra 3:

- Resultado estudio completo SolidWorks: 0,19 mm
- Resultado estudio reducido_1 SolidWorks: 0,22 mm
 > Total desviación: 15,8%

Estudio Reducido 2:

Se simula que, en la superficie delimitada por la zona que ocupa el refuerzo inferior del apoyo pisadera (contorno del propio montante) es una superficie fija, manteniendo el resto de restricciones del conjunto.

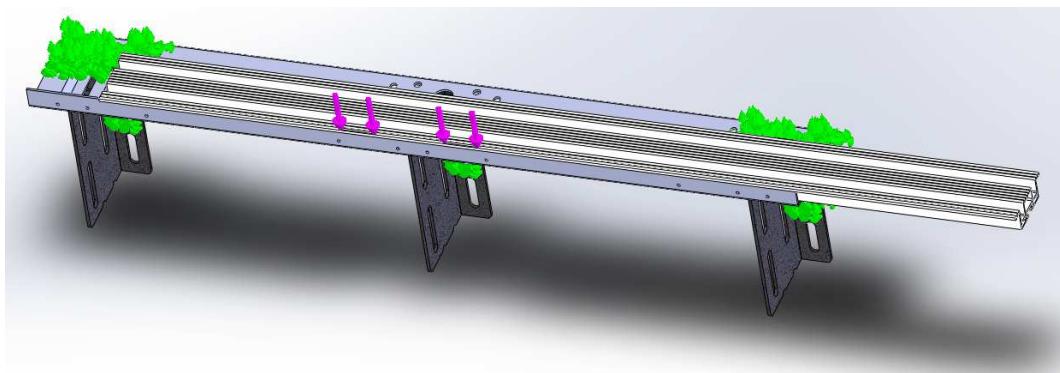


Ilustración 41. Condiciones contorno/carga aplicadas en Estudio reducido 1.

- Escuadras con punto de fijación determinado como superficie fija, en la partición que hace referencia a la arandela.
- Pared virtual en la superficie de la escuadra, en contacto con la pared.
- Fuerza aplicada en las dos particiones, que simulan el perfil de cada una de las ruedas de la transpaleta.
- **Geometría fija en las particiones del apoyo pisadera que simulan la zona que ocupa el refuerzo inferior de los montantes.**

Los resultados obtenidos, del estudio reducido, son los siguientes:

Escuadra 1:

- Resultado estudio completo SolidWorks: 0,16 mm
- Resultado estudio reducido_1 SolidWorks: 0,05 mm
 - > Total desviación: 320%

Escuadra 2:

- Resultado estudio completo SolidWorks: 0,57 mm
- Resultado estudio reducido_1 SolidWorks: 0,37 mm
 - > Total desviación: 54,1%

Escuadra 3:

- Resultado estudio completo SolidWorks: 0,19 mm
- Resultado estudio reducido_1 SolidWorks: 0,05 mm
 - > Total desviación: 380%

CONCLUSIÓN:

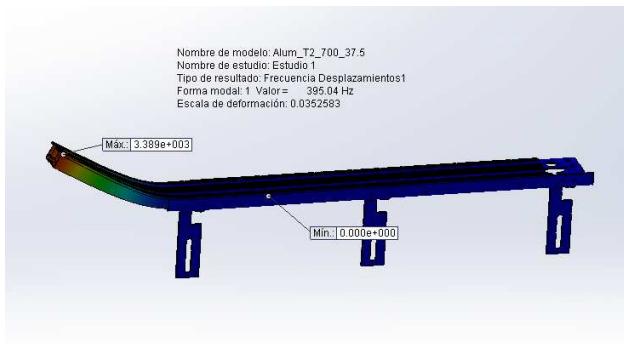
Se observa claramente que, no aplicando ninguna restricción en la superficie comentada, el resultado de las deformaciones en las escuadras es muy cercano al obtenido en el conjunto completo, con lo que, a excepción de algunas variaciones que se verán más adelante, se realizarán los estudios objetivo del Proyecto como el estudio Reducido 1.

D. Estudio Frecuencias naturales de vibración

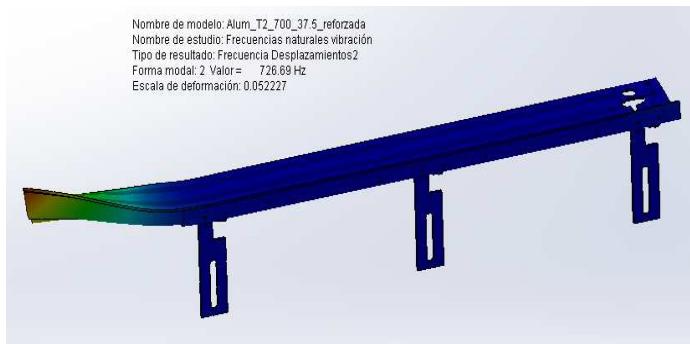
Los distintos resultados, obtenidos con el programa una vez ensamblados todos los conjuntos y aplicadas las condiciones comentadas son los siguientes:

PL 700. Volado = 37.5 mm

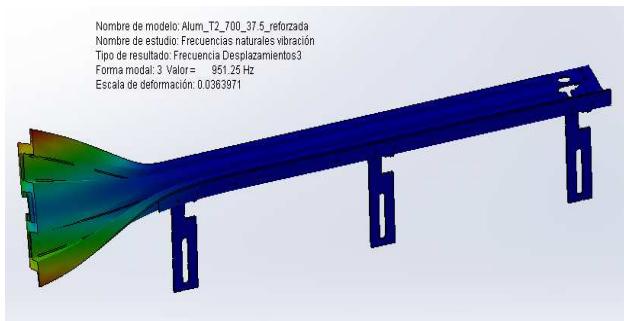
Frec 1



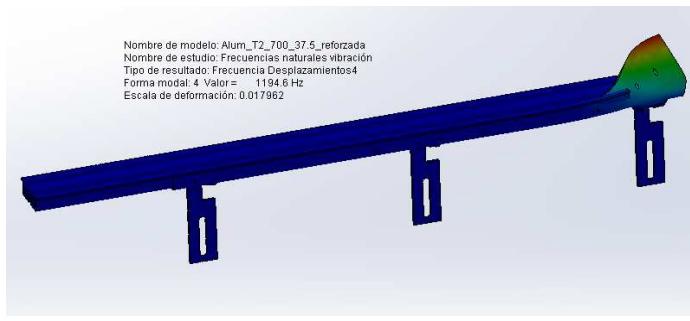
Frec 2



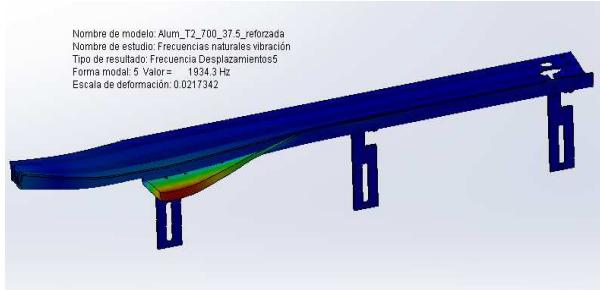
Frec 3



Frec 4

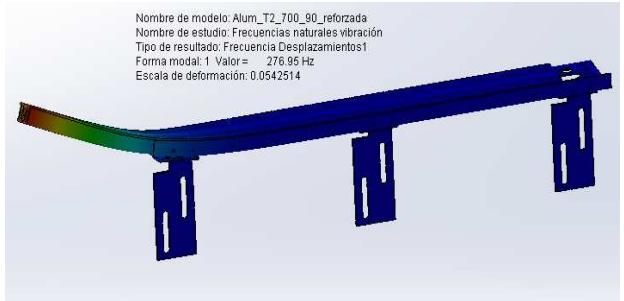


Frec 5

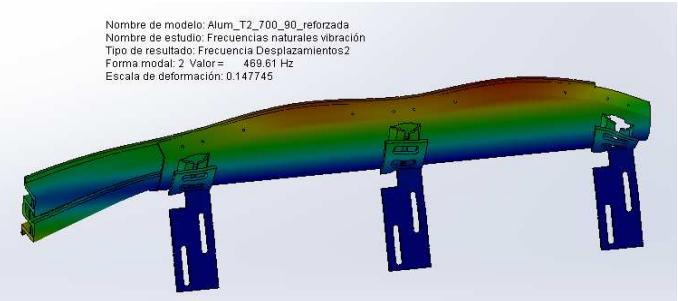


PL 700. Volado = 90 mm

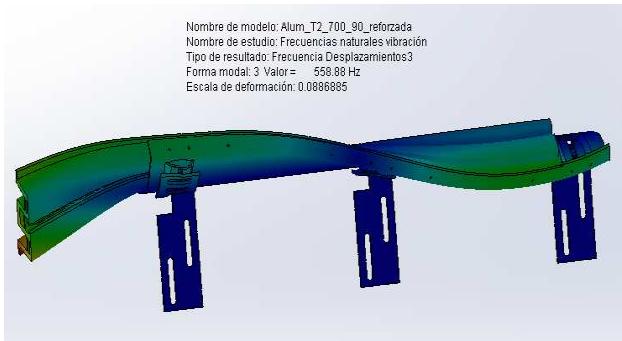
Frec 1



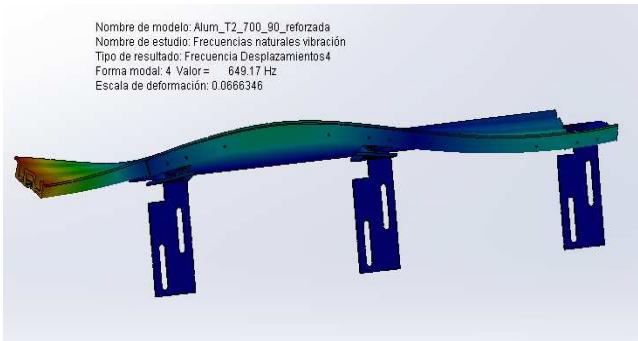
Frec 2



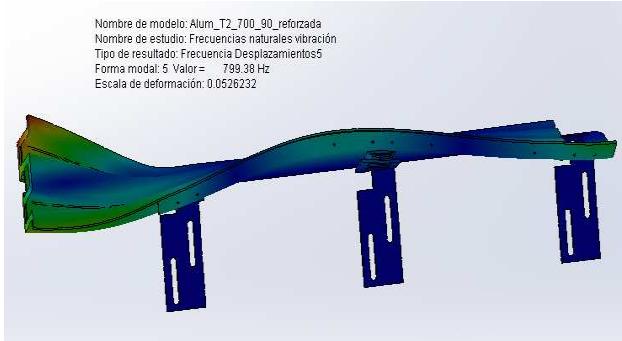
Frec 3



Frec 4

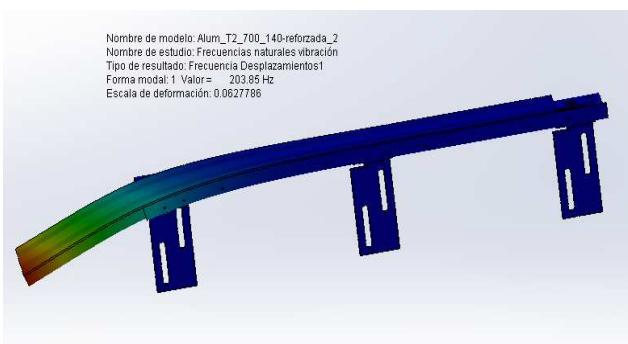


Frec 5

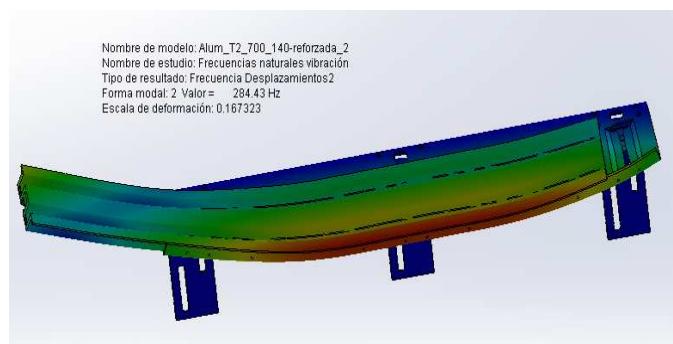


PL 700. Volado = 140 mm

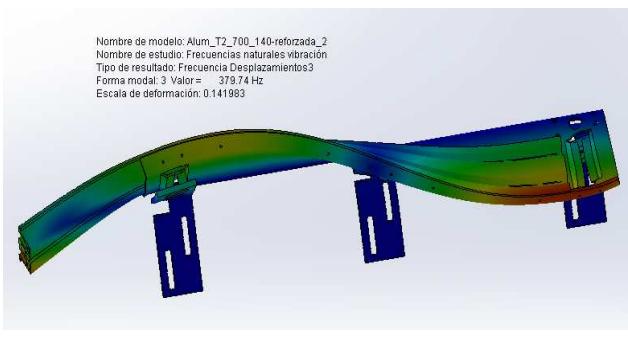
Frec 1



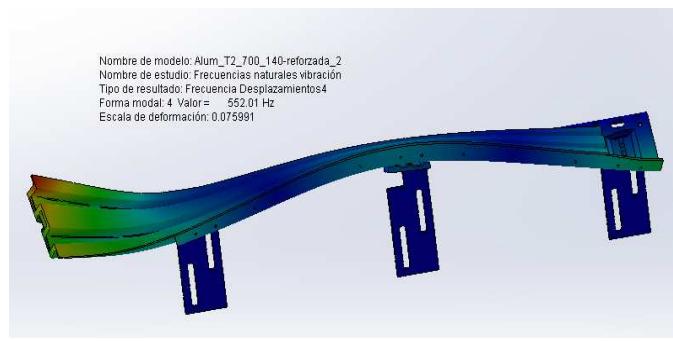
Frec 2



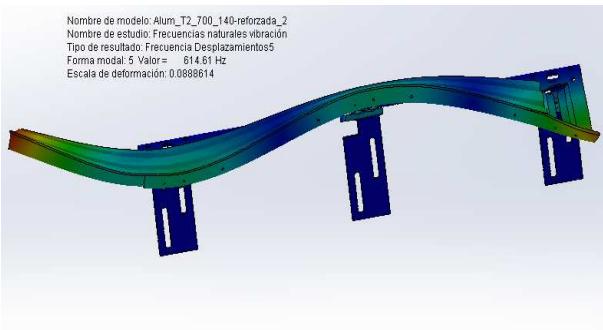
Frec 3



Frec 4

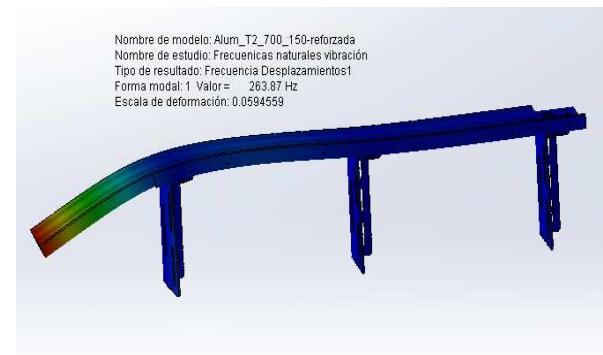


Frec 5



PL 700. Volado = 150 mm

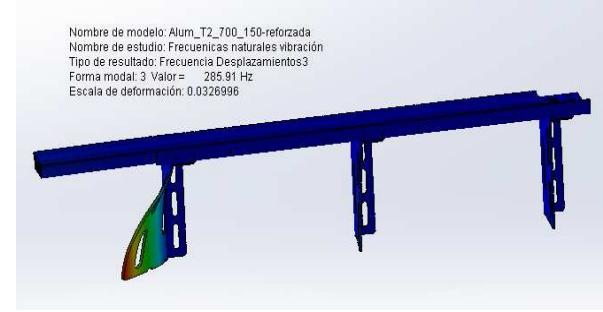
Frec 1



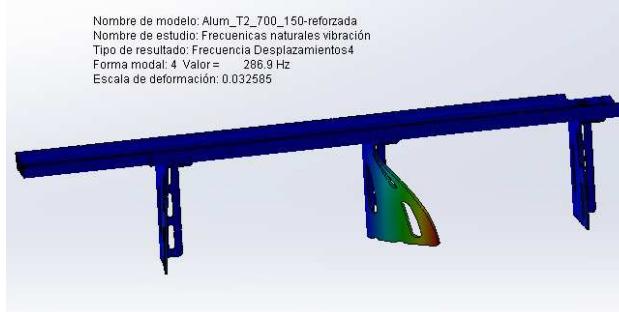
Frec 2



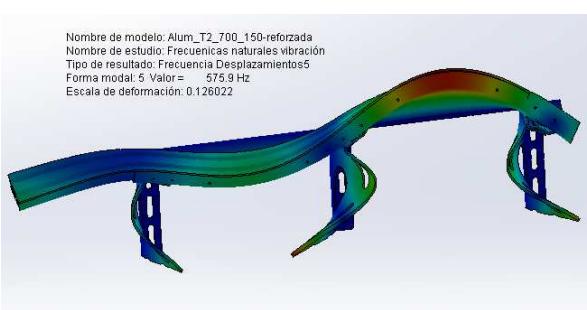
Frec 3



Frec 4



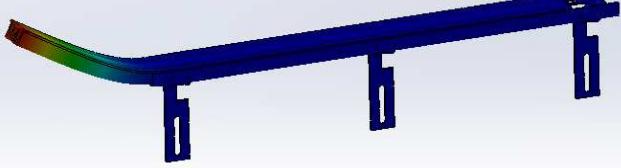
Frec 5



PL 750. Volado = 37.5 mm

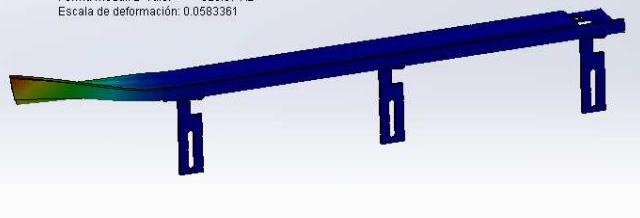
Frec 1

Nombre de modelo: Alum_T2_750_37.5-reforzada
Nombre de estudio: Frecuencias naturales vibración
Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos1
Forma modal: 1 Valor = 314.1 Hz
Escala de deformación: 0.058463



Frec 2

Nombre de modelo: Alum_T2_750_37.5-reforzada
Nombre de estudio: Frecuencias naturales vibración
Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos2
Forma modal: 2 Valor = 625.97 Hz
Escala de deformación: 0.0583361



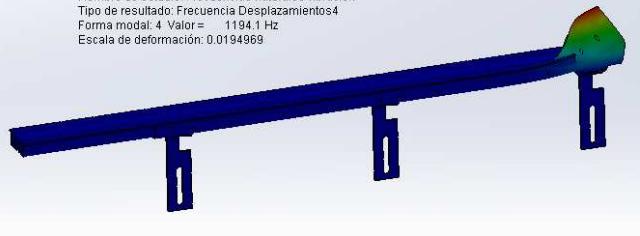
Frec 3

Nombre de modelo: Alum_T2_750_37.5-reforzada
Nombre de estudio: Frecuencias naturales vibración
Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos3
Forma modal: 3 Valor = 852.84 Hz
Escala de deformación: 0.0406362



Frec 4

Nombre de modelo: Alum_T2_750_37.5-reforzada
Nombre de estudio: Frecuencias naturales vibración
Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos4
Forma modal: 4 Valor = 1194.1 Hz
Escala de deformación: 0.0194969



Frec 5

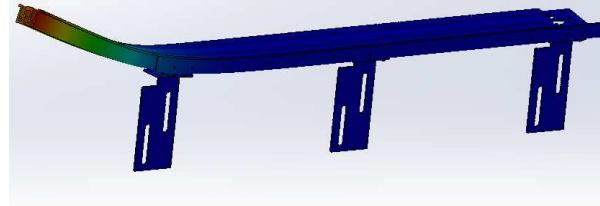
Nombre de modelo: Alum_T2_750_37.5-reforzada
Nombre de estudio: Frecuencias naturales vibración
Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos5
Forma modal: 5 Valor = 1789.9 Hz
Escala de deformación: 0.048793



PL 750. Volado = 90 mm

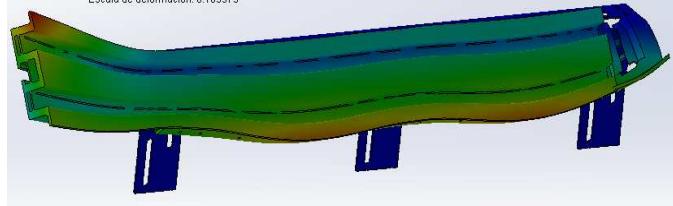
Frec 1

Nombre de modelo: Alum_T2_750_90-reforzada
Nombre de estudio: Frecuencias naturales vibración
Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos1
Forma modal: 1 Valor = 240.42 Hz
Escala de deformación: 0.0003922

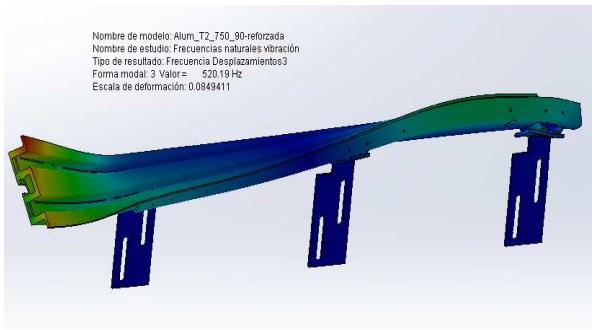


Frec 2

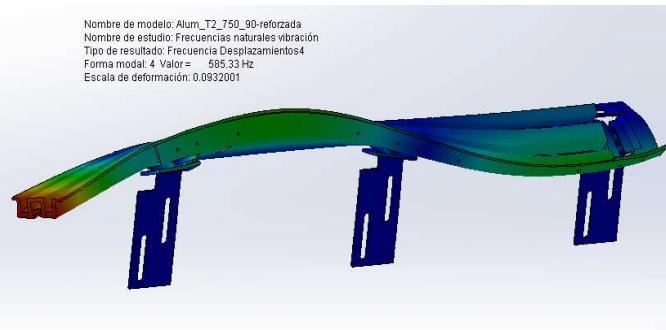
Nombre de modelo: Alum_T2_750_90-reforzada
Nombre de estudio: Frecuencias naturales vibración
Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos2
Forma modal: 2 Valor = 454.08 Hz
Escala de deformación: 0.169573



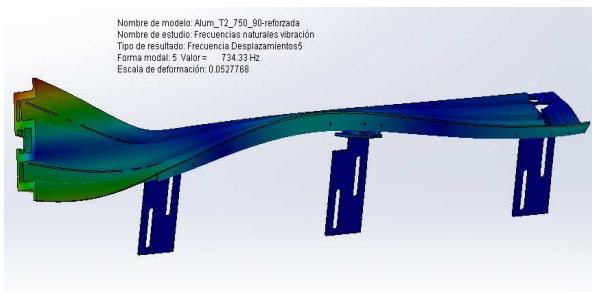
Frec 3



Frec 4

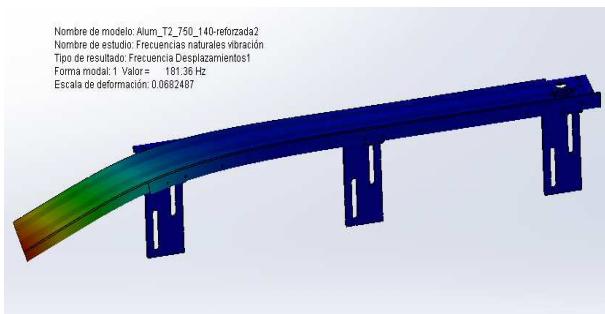


Frec 5

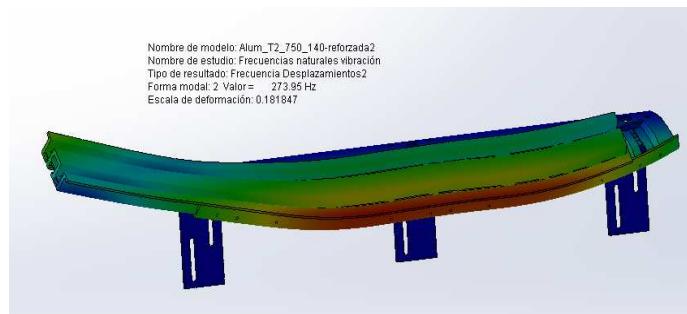


PL 750. Volado = 140 mm

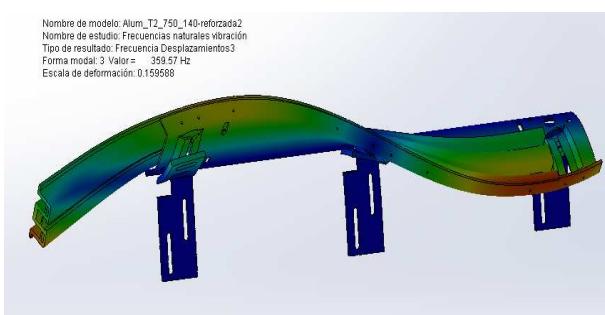
Frec 1



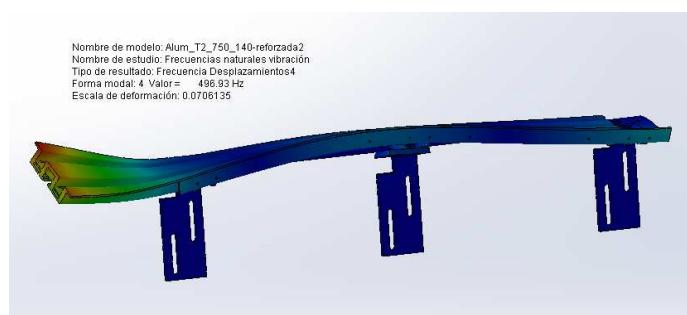
Frec 2



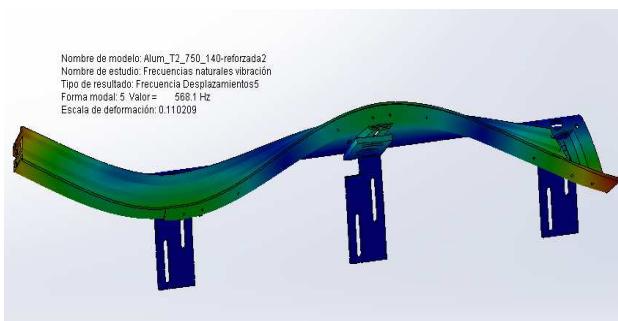
Frec 3



Frec 4



Frec 5

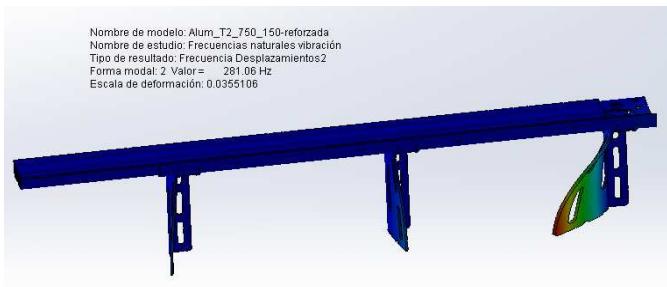


PL 750. Volado = 150 mm

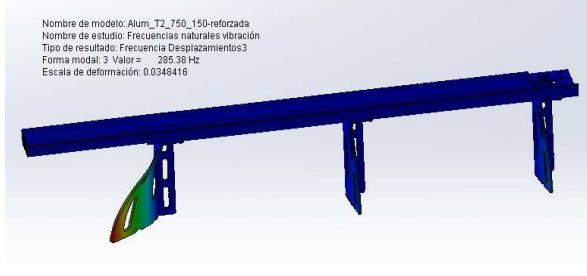
Frec 1



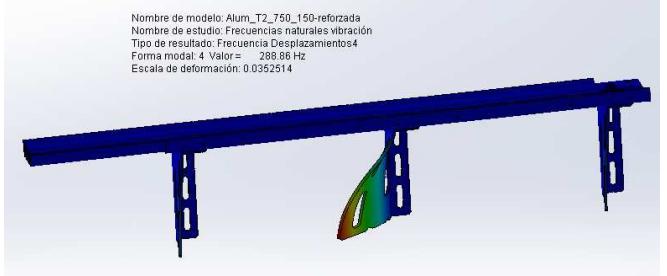
Frec 2



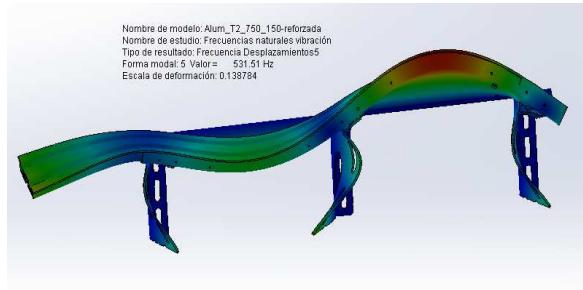
Frec 3



Frec 4

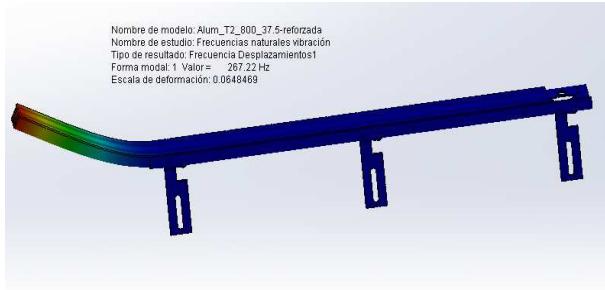


Frec 5

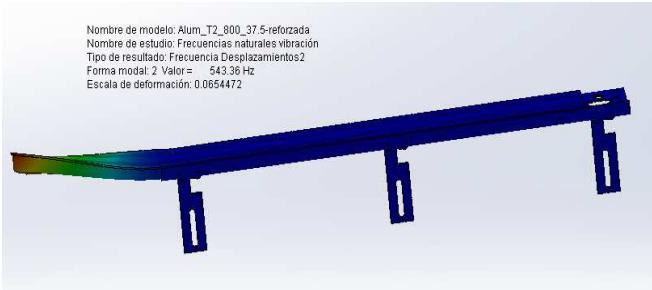


PL 800. Volado = 37.5 mm

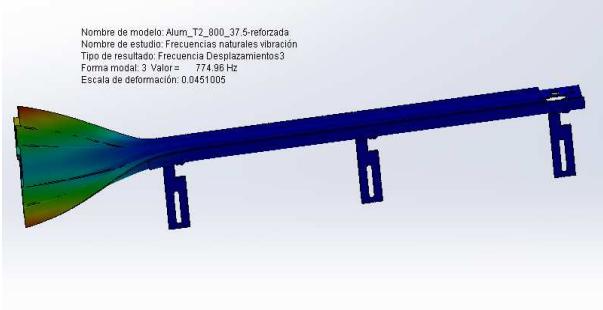
Frec 1



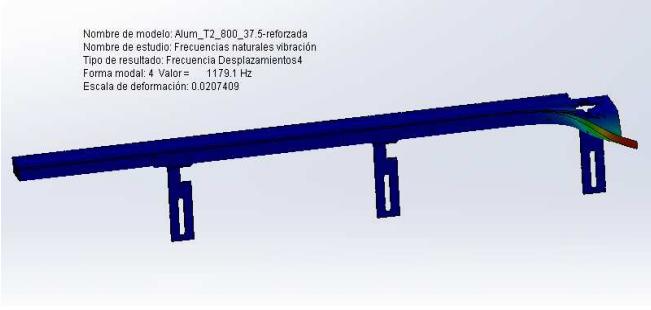
Frec 2



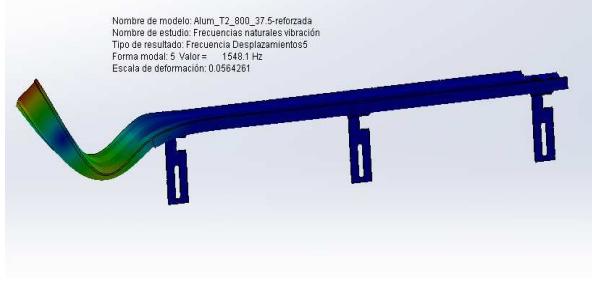
Frec 3



Frec 4

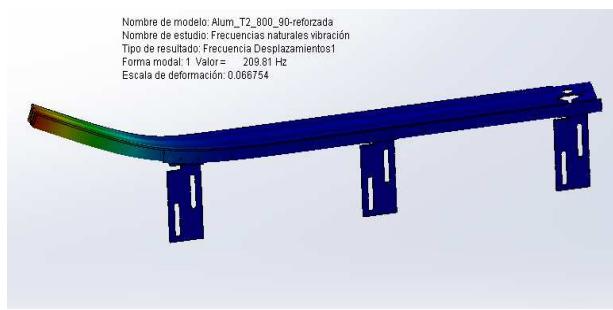


Frec 5

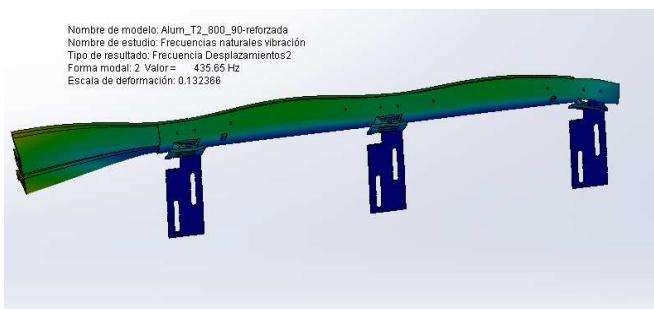


PL 800. Volado = 90 mm

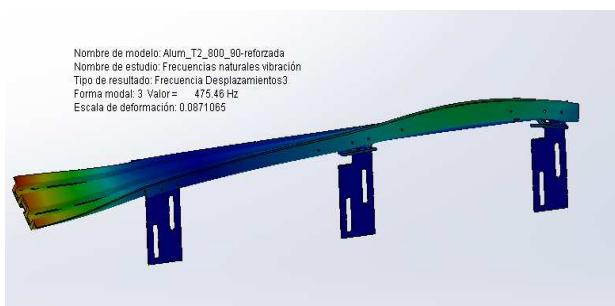
Frec 1



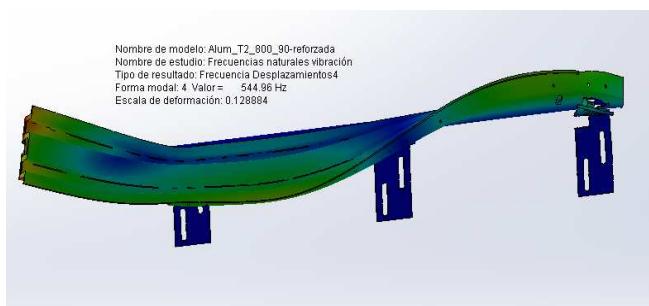
Frec 2



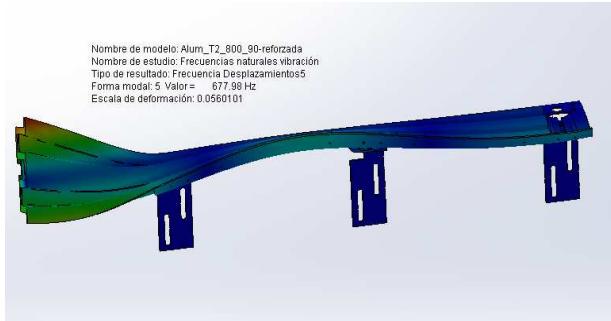
Frec 3



Frec 4

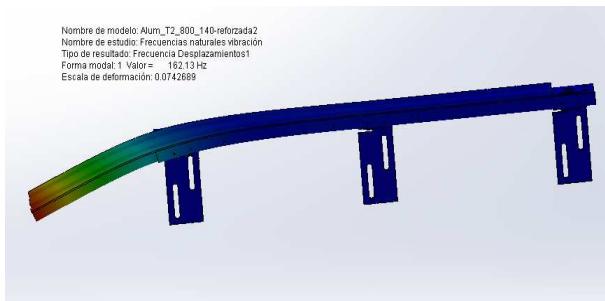


Frec 5

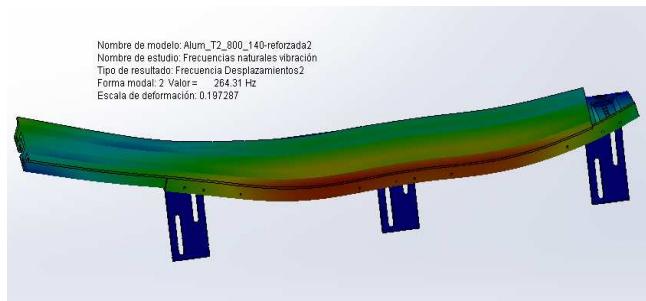


PL 800. Volado = 140 mm

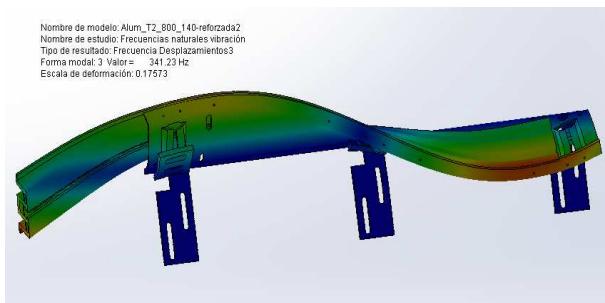
Frec 1



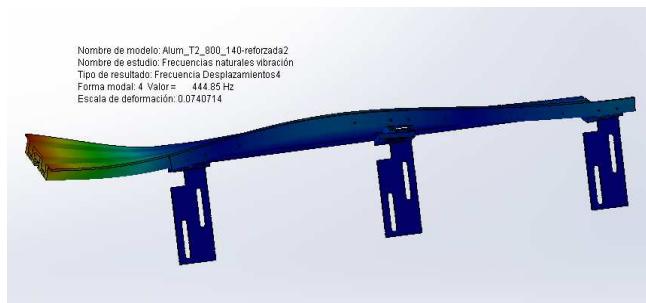
Frec 2



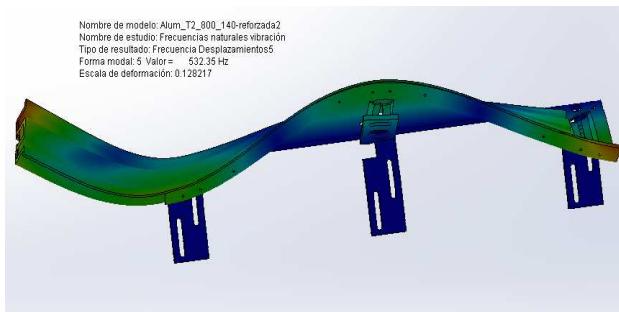
Frec 3



Frec 4



Frec 5

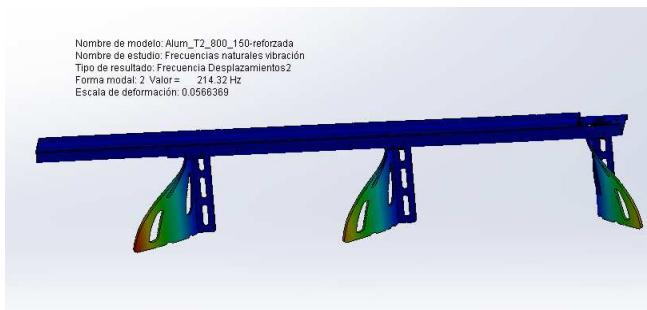


PL 800. Volado = 150 mm

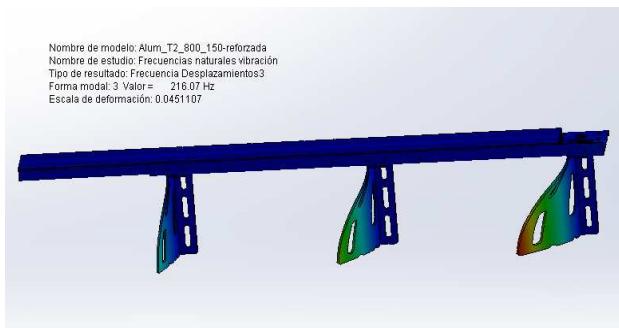
Frec 1



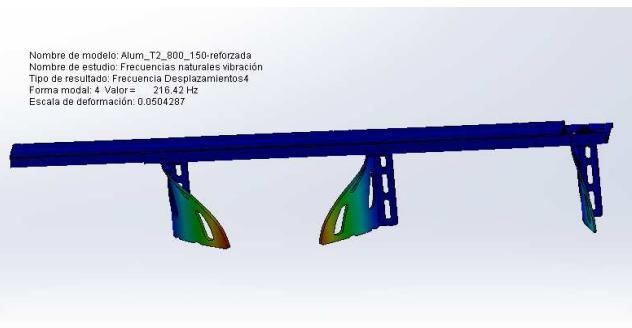
Frec 2



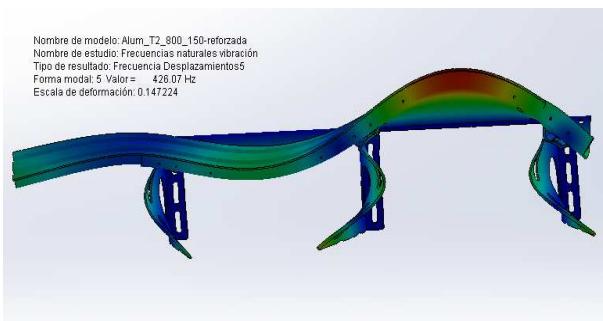
Frec 3



Frec 4

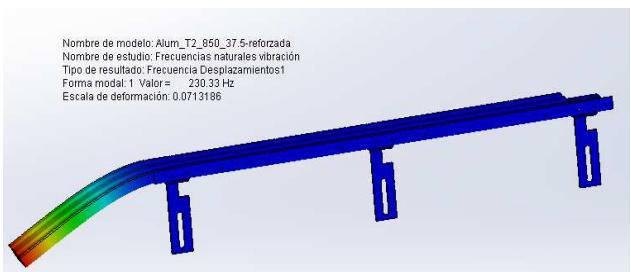


Frec 5

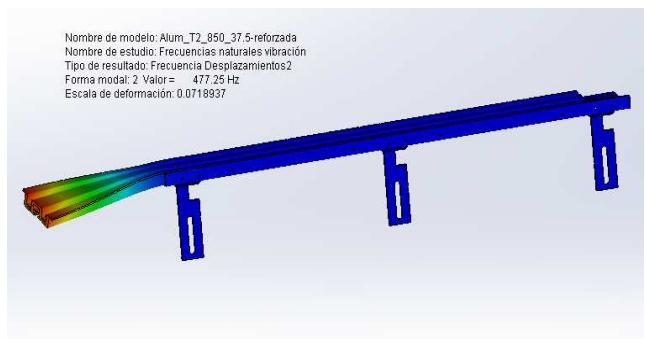


PL 850. Volado = 37.5 mm

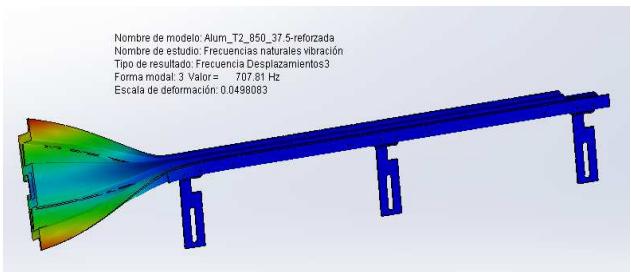
Frec 1



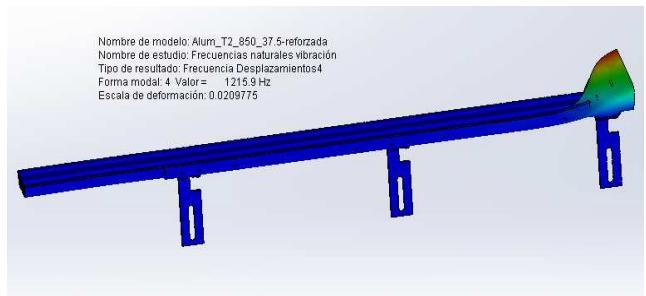
Frec 2



Frec 3



Frec 4

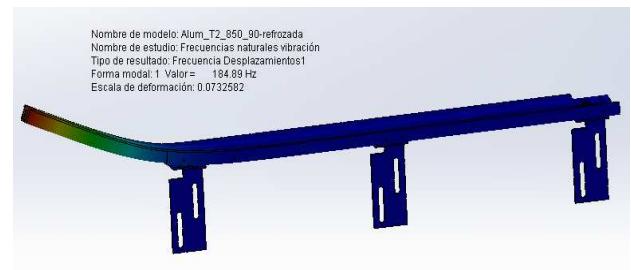


Frec 5



PL 850. Volado = 90 mm

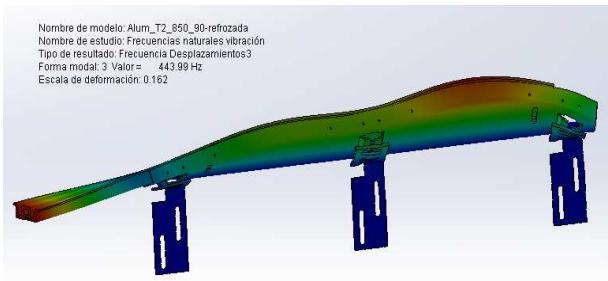
Frec 1



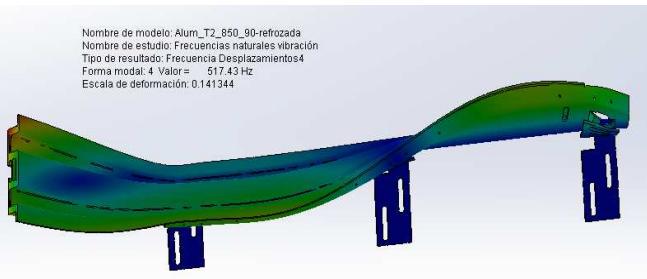
Frec 2



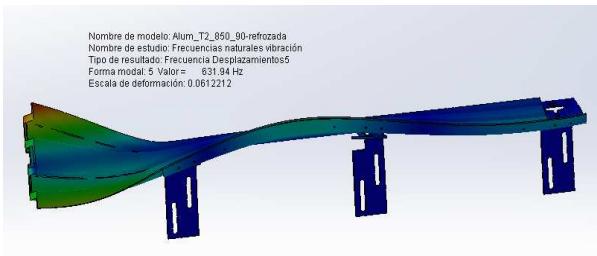
Frec 3



Frec 4

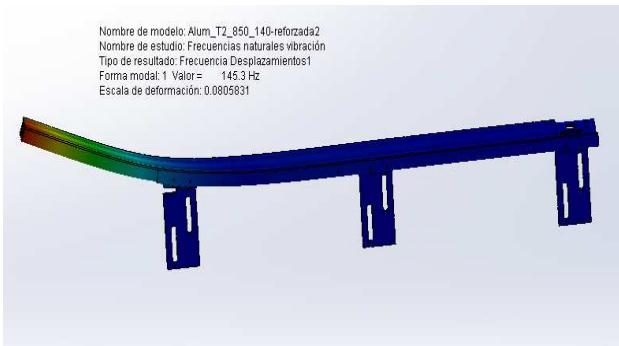


Frec 5

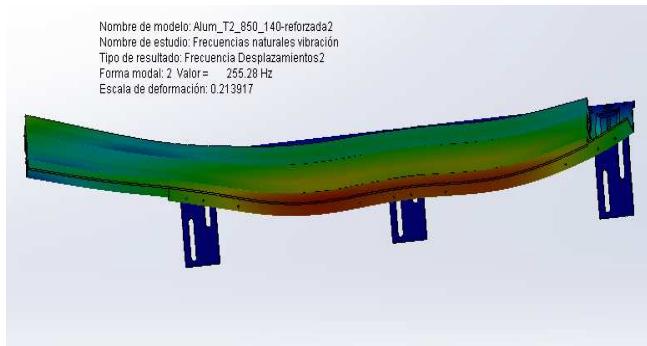


PL 850. Volado = 140 mm

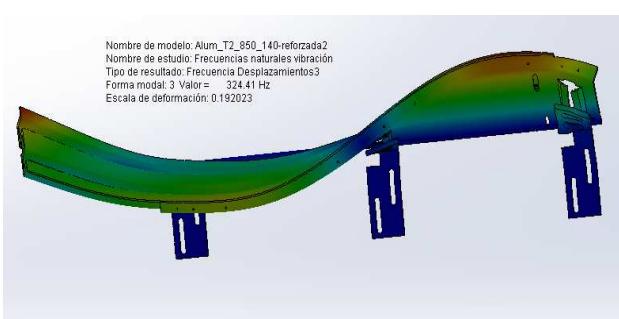
Frec 1



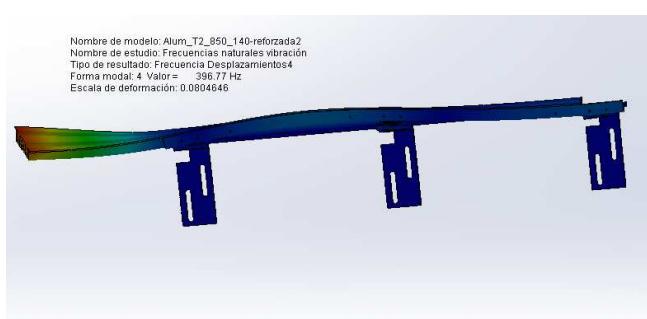
Frec 2



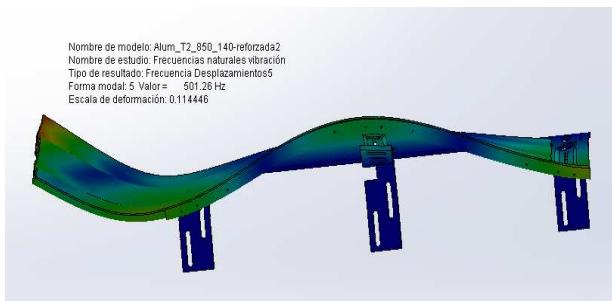
Frec 3



Frec 4

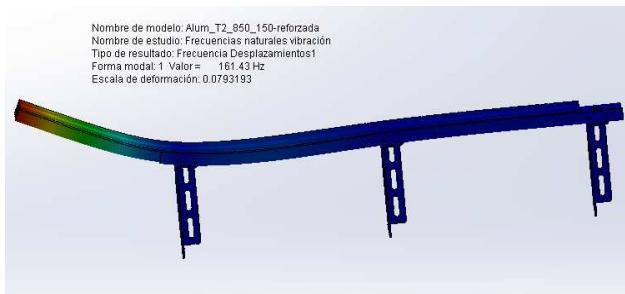


Frec 5

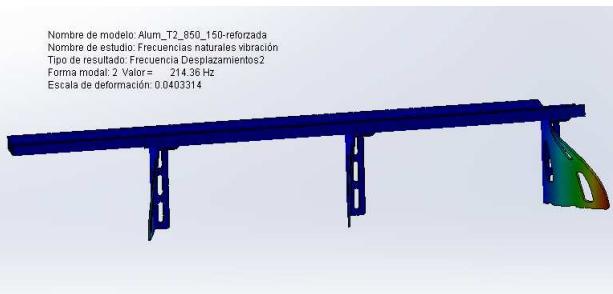


PL 850. Volado = 150 mm

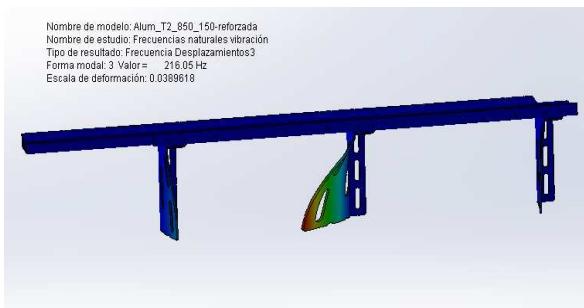
Frec 1



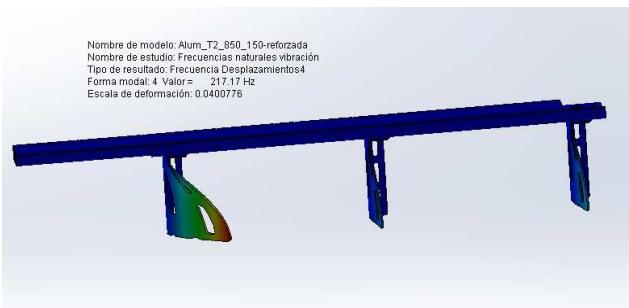
Frec 2



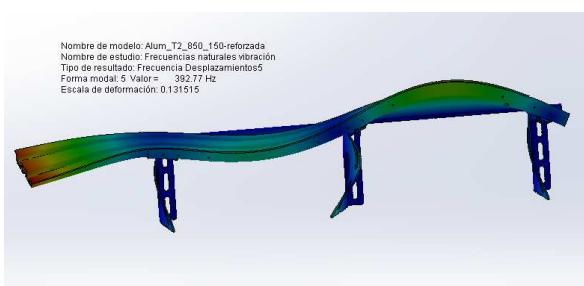
Frec 3



Frec 4



Frec 5



E. Estudio a Fatiga

Conceptos de fatiga

- **Fases del fallo por fatiga**

Se puede definir que el fallo por fatiga se presenta en tres fases claramente diferenciadas:

- Iniciación: Aparecen una o más grietas. Hay distintos motivos que pueden provocar la aparición de dichas grietas, si bien la concentración de tensiones es el motivo principal. Otros motivos son imperfecciones en el material tales como poros, imperfecciones creadas en el proceso de fabricación, etc.
- Propagación: Debido a la sucesión de cargas, una o más grietas crecen. Normalmente, aún estando cerca de la rotura, las grietas son finas y delgadas con lo que no se suelen apreciar.
- Rotura: Sigue deteriorándose la pieza hasta sufrir una rotura. Esto es debido a que la sección transversal del plano donde se ha producido la fisura, se ha adelgazado tanto que no puede soportar la carga, produciéndose la rotura por fatiga.

- **Curvas S-N**

El sistema de análisis de la vida de un material a fatiga mediante las curvas S-N, es el más utilizado y el que se toma como referencia en el presente estudio.

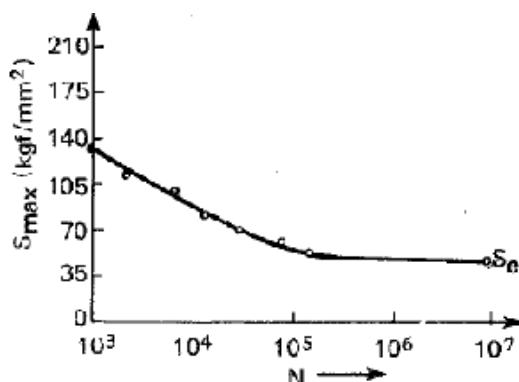


Ilustración 42. Curva S-N típica de un acero aleado.

Se trata de la curva propia de cada material, que define valores de tensiones alternas (ver siguiente punto) respecto al número de ciclos requeridos para causar el fallo por fatiga. Los valores propios de dicha curva, son obtenidos de unos estudios realizados en unas probetas estandarizadas, sometidas a cargas cíclicas de tracción-compresión.

- **Tensión alterna**

La tensión alterna es el parámetro principal del estudio de la vida a fatiga y se define como la tensión media entre la tensión máxima y la tensión mínima aplicada durante un ciclo, es decir:

$$\text{Tensión alterna} = (\text{Tensión máxima} - \text{Tensión mínima}) / 2$$

Cogiendo como base en 0, el programa determina la tensión alterna en cada uno de los nodos como la mitad del valor de tensión correspondiente en el estudio estático al que hace referencia, multiplicado por el factor de escala, que es donde se determina el porcentaje de carga (en nuestro caso, se aplicarán unos porcentajes del 70, 80 y 90%, respectivamente). El programa obtiene uno de los picos del estudio estático de referencia y establece el otro pico en 0.

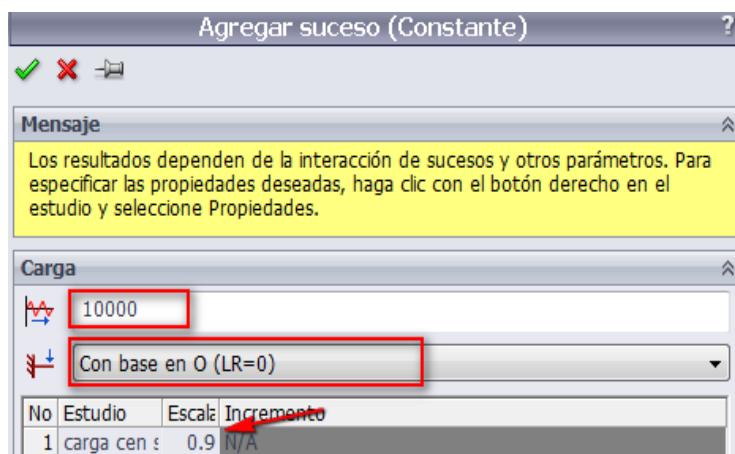


Ilustración 43. Factor de escala aplicado en el programa.

- **Regla de Miner**

También llamada regla del daño acumulado, es la regla en la que se basa el estudio a fatiga. En ella se estima la vida a fatiga del material, a partir de las tensiones y deformaciones calculadas.

La regla se basa en el daño acumulado por cada ciclo de tensión o deformación, que se combina para calcular el daño acumulado para todos los ciclos de carga. El daño causado por una cantidad de ciclos de tensión es igual a la suma de los daños individuales de cada uno de los ciclos de tensión estudiados:

Con ello, se aplica la siguiente estimación:

$$D_i = n_i/N_i$$

Donde:

- D_i = Factor daño del ciclo de tensión
- n_i = Número de ciclos para una cierta tensión alterna Si
- N_i = Vida que el material tendría, hasta causar el fallo, a dicha tensión Si

La regla de daño lineal, determina que el factor de daño del ciclo de tensión, representa la vida útil del material que se ha consumido. Con ello, un valor de $D_i = 0,2$ implica que se ha consumido un 20% de la vida útil del material/estructura.

→ El fallo por fatiga se produce cuando la suma de los daños acumulados por cada ciclo D_i , alcanza el valor de 1 (100% daño).

- **Límite a fatiga**

Es el mayor esfuerzo alterante que no causa fallo a fatiga. Cualquier valor de esfuerzo / tensión que se encuentre por debajo del límite a fatiga de la pieza, se estima que la vida útil de dicha pieza será infinito.

- **Métodos de corrección del esfuerzo medio**

Cuando se definen sucesos en los que no existe una tensión media a cero (suceso totalmente reversible), el programa puede analizar el caso, mediante 3 métodos de corrección (en caso de esfuerzo medio nulo, el resultado no variaría). En el caso de que se estime oportuno, se puede no aplicar ningún método.

Los métodos disponibles son:

- ✓ Sodeberg: Es el más conservador de los 3.

$$S_{ca} = \frac{S_y S_a}{S_y - S_{mean}} = \frac{S_a}{1 - \left(\frac{S_{mean}}{S_y} \right)}$$

- ✓ Goodman: Es el más adecuado para materiales frágiles.

$$S_{ca} = \frac{S_u S_a}{S_u - S_{mean}} = \frac{S_a}{1 - \left(\frac{S_{mean}}{S_u} \right)}$$

- ✓ Gerber: Se considera el más adecuado para materiales dúctiles.

$$S_{ca} = \frac{S_a}{1 - \left(\frac{S_{mean}}{S_u} \right)^2}$$

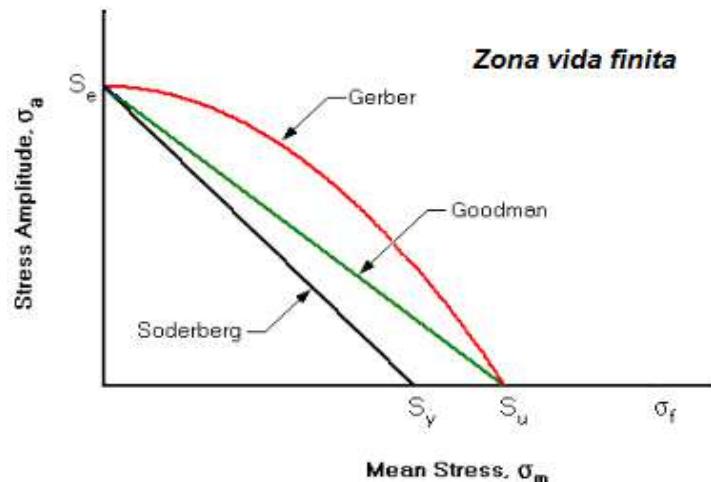


Ilustración 44. Curvas representativas de los 3 métodos de corrección esfuerzo medio.

F. Índice Ilustraciones / tablas / gráficas

F.1 Índice Ilustraciones

Ilustración 1. Dimensiones cabina ascensor.	2
Ilustración 2. Dimensiones carretilla manual.	3
Ilustración 3. Modelos de pisadera.	3
Ilustración 4. Resistencia carga pisadera sin tener en cuenta apoyos.	4
Ilustración 5. Características aluminio pisadera.	4
Ilustración 6. Dimensiones pisadera aluminio estándar.	5
Ilustración 7. Dimensiones pisadera aluminio reforzado.	6
Ilustración 8. Características acero galvanizado. Material apoyo pisadera y escuadras.	7
Ilustración 9. Dimensiones apoyo pisadera.	7
Ilustración 10. Dimensiones escuadra tipo A.	8
Ilustración 11. Dimensiones escuadra tipo W.	9
Ilustración 12. Dimensiones escuadra tipo D.	9
Ilustración 13. Dimensiones escuadra tipo V2.	10
Ilustración 14. Elementos planos triangulares de primer y segundo orden.	11
Ilustración 15. Elementos sólidos tetraédricos de primer y segundo orden.	12
Ilustración 16. Diferencia entre malla de primer y segundo orden.	12
Ilustración 17. Elección tamaño elemento malla.	12
Ilustración 18. Tamaño elemento 20 mm.	13
Ilustración 19. Tamaño elemento 14 mm.	13
Ilustración 20. Tamaño elemento 8 mm.	14
Ilustración 21. Detalle montante cierre. Vista diseño Solidworks.	17
Ilustración 22. Características Acero laminado del cerco.	18
Ilustración 23. Detalle montaje de la parte inferior del conjunto.	18
Ilustración 24. Detalle montaje escuadras inferiores.	19
Ilustración 25. Detalle distribución escuadras. Vista diseño Solidworks.	19
Ilustración 26. Esquema aplicación carga.	20
Ilustración 27. Dimensiones rueda transpaleta utilizada.	20
Ilustración 28. Geometría fija.	22
Ilustración 29. Detalle pared virtual en escuadras inferiores y superiores.	22
Ilustración 30. Detalle unión atornillada. Refuerzo inferior.	23
Ilustración 31. Configuraciones posibles respecto al espacio entre montantes.	24
Ilustración 32. Carga aplicada, correspondiente a	25
Ilustración 33. Detalle mayor tamaño de elementos.	25
Ilustración 34. Mallado específico escuadras fijación. Detalle menor tamaño elemento.....	26
Ilustración 35. Resultado con programa. Flechas obtenidas en cada escuadra..	26
Ilustración 36. Desplazamiento horizontal en partición apoyo pisadera. Montante	

apertura.....	28
Ilustración 37. Desplazamiento vertical en.....	28
Ilustración 38. Desplazamiento horizontal en partición apoyo pisadera. Montante cierre.....	29
Ilustración 39. Desplazamiento vertical en.....	29
Ilustración 40. Condiciones contorno/carga aplicadas en Estudio reducido 1....	30
Ilustración 41. Condiciones contorno/carga aplicadas en Estudio reducido 1....	31
Ilustración 42. Curva S-N típica de un acero aleado.	44
Ilustración 43. Factor de escala aplicado, en el programa.....	45
Ilustración 44. Curvas representativas de los 3 métodos de	47

F.2 Índice tablas

Tabla 1. Relación tamaño elemento / flecha obtenida.	13
Tabla 2. Flecha obtenida en escuadras. Resultados fábrica.	21
Tabla 3. Resultados flecha en escuadras, obtenidos en el programa.....	26

F.3 Índice gráficas

Gráfica 1. Relación flecha según tamaño elemento.....	14
Gráfica 2. Flecha en escuadras. Caso real.	21
Gráfica 3. Diferencia flechas en escuadras entre resultados prácticos y obtenidos en programa.	27