

Trabajo de Fin de Grado

**Grado en Ingeniería en Tecnologías  
Industriales**

**Diseño de una estructura universal para el  
montaje de plataformas modulares en el  
ensamblaje de aeronaves.**

**MEMORIA**

**Autor:** Francesc González Rodríguez

**Director:** Emilio Angulo Navarro

**Convocatoria:** Cuatrimestre de Primavera 2015-2016



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



## Resumen

El siguiente proyecto consiste en el diseño de un prototipo de estructura universal y accesorios para su uso en el montaje de plataformas de trabajo que se utilizan en el ensamblaje y mantenimiento de aeronaves. Al tratar la estructura como un módulo se pretende abarcar el mayor tipo de configuraciones de montaje para formar plataformas que se sitúen alrededor de cualquier parte de la aeronave y sobre las que se debe ser capaz de realizar el mayor número de operaciones posibles. Para cumplir con estos requisitos generales, la estructura y los accesorios se adaptan al mercado y a los requisitos técnicos y funcionales como pueden ser la ergonomía, la seguridad, la facilidad en el montaje o la capacidad de carga de cada módulo.

El prototipo de módulo estructural consiste en una estructura base, que en su multiplicidad se une para formar la estructura de toda la plataforma; accesorio de movilidad, formado por ruedas y mecanismos de ensamblaje a la plataforma que facilitan el desplazamiento de toda la estructura en la nave; accesorio formado por escaleras, para el acceso entre pisos permitiendo el montaje en diferentes alturas; accesorio de suelo, que se ensambla sobre la estructura base; y accesorios o elementos de seguridad, formados por barandillas y rodapiés que se unen a la estructura con la finalidad de proteger de posibles accidentes al usuario.

Para definir el diseño de concepto se ha hecho un análisis exhaustivo de los conceptos implicados en los requerimientos o solicitudes. Por otro lado, el diseño de prototipo se ha realizado mediante el software CATIA V5, concretamente usando los módulos de diseño mecánico y análisis estructural, para implementar la geometría en 3D y un análisis estático mediante FEM que ha permitido validar el diseño en base a la normativa y solicitudes estructurales.



# Índice

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.</b>	<b>6</b>
1.1. Objetivo.	6
1.2. Alcance.	7
1.3. Justificación.	8
<b>2. ESTADO DEL ARTE.</b>	<b>10</b>
2.1. Uso, funcionalidad y partes de una plataforma genérica.	10
2.2. Operaciones y campo de actuación.	12
2.2.1. Plataformas para pre-ensamblaje.	12
2.2.2. Plataformas para Línea Final de Ensamblaje (FAL).	13
2.2.3. Plataformas para mantenimiento de aeronaves.	14
2.3. Análisis de las soluciones del mercado.	16
2.4. Soluciones de principales fabricantes.	18
2.4.1. Empresas dedicadas al diseño específico.	18
2.4.2. Plataformas de montaje mediante sistemas universales o modulares.	20
2.5. Planteamiento general para una solución viable.	20
<b>3. DISEÑO CONCEPTUAL.</b>	<b>22</b>
3.1. Requerimientos funcionales básicos.	22
3.1.1. Modularidad.	22
3.1.2. Adaptación de dimensiones a la aeronave.	23
3.1.3. Accesibilidad.	32
3.1.4. Transportabilidad en planta.	34
3.1.5. Ensamblabilidad.	36
3.1.6. Apilabilidad.	36
3.1.7. Transportabilidad en el subministro.	42
3.1.8. Seguridad.	44
3.2. Planteamiento de Prestaciones estructurales.	45
3.3. Normativa aplicable.	45
3.3.1. Normativa aplicable a seguridad, ergonomía y salud.	46
3.3.2. Normativa aplicable a elementos estructurales.	46
3.4. Implementación en 3D de un primer diseño conceptual.	47
3.4.1. Grupo I: Estructura base.	47
3.4.2. Grupo II: Accesorio de movilidad con ruedas.	49

3.4.3.	Grupo III: Escaleras de acceso entre pisos.....	50
3.4.4.	Grupo IV: Suelo. ....	51
3.4.5.	Grupo V: Elementos de seguridad. ....	51
<b>4.</b>	<b>DISEÑO DE PROTOTIPO. _____</b>	<b>52</b>
4.1.	Análisis de prestaciones del Grupo I: estructura base.....	52
4.1.1.	Materiales usados en estructuras de plataformas. ....	52
4.1.2.	Solicitaciones estructurales: condiciones de trabajo de la estructura.....	56
4.1.3.	Análisis estático de la estructura mediante CATIA V5. ....	62
4.1.4.	Análisis de pandeo de las columnas. ....	70
4.1.5.	Selección del material de la estructura.....	71
4.2.	Diseño y validación de prototipos de accesorios. ....	72
4.2.1.	Grupo II: Accesorio de Movilidad. ....	72
4.2.2.	Grupo III: Escaleras de acceso entre pisos.....	78
4.2.3.	Grupo IV: Suelo. ....	86
4.2.4.	Grupo V: Elementos de seguridad. ....	90
4.3.	Elementos secundarios del diseño. ....	96
4.3.1.	Sistemas de transporte del módulo.....	96
4.3.2.	Sistema de unión de módulos. ....	97
<b>5.</b>	<b>IMPLEMENTACIONES PARA UNA FUTURA AMPLIACIÓN DE PROYECTO. _____</b>	<b>98</b>
5.1.	Transporte mediante motor reductor. ....	98
5.2.	Distribución de aire comprimido.....	98
<b>6.</b>	<b>MUESTRARIO DE CONFIGURACIONES DE PLATAFORMAS. ____</b>	<b>99</b>
<b>7.</b>	<b>PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO. _____</b>	<b>101</b>
<b>8.</b>	<b>PRESUPUESTO DEL PROYECTO. _____</b>	<b>103</b>
8.1.	Costes de Fabricación. ....	103
<b>9.</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL. _____</b>	<b>105</b>
9.1.	Fase anterior al uso del módulo.....	105
9.2.	Fase de uso del módulo.....	106
9.3.	Fase de obsolescencia del módulo.....	106
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONES. _____</b>	<b>107</b>
10.1.	Conclusiones analíticas sobre el proyecto.....	107
10.2.	Conclusiones personales sobre el proyecto. ....	107
<b>BIBLIOGRAFÍA. _____</b>		<b>109</b>



# 1. Introducción.

## 1.1. Objetivo.

El proyecto tiene por objetivo el diseño y desarrollo de una estructura modular y accesorios que al combinarse forman plataformas de trabajo, que en este caso concreto son plataformas usadas en la línea final de ensamblaje (FAL) de aeronaves y durante la concepción o montaje de sus partes. La finalidad de esta estructura modular es poder realizar diferentes montajes o configuraciones de plataformas para adaptarse a diferentes zonas del contorno de la aeronave e incluso adaptarse a diferentes tamaños de aeronaves.

Para el diseño de la estructura y los accesorios, obviando el criterio geométrico, también se tienen en cuenta factores a satisfacer como son la capacidad de apilamiento o almacenaje, la capacidad de transporte, la ergonomía y la seguridad. De esta manera se pretende asegurar que cualquier configuración que se haga cumpla con los requisitos de sus solicitudes.

Al mismo tiempo que se tienen en cuenta los factores anteriormente dichos, para asegurar las solicitudes estructurales y mecánicas se procede a un análisis estático mediante FEM para determinar el correcto dimensionamiento de la estructura y determinados accesorios sometidos a situaciones críticas. De esta forma se busca reducir los costes materiales, favorecer a una fabricación sencilla y obviamente, asegurar la rigidez y estabilidad de la estructura.

Mediante la estructura diseñada, se ofrece a las compañías aeronáuticas la posibilidad de personalizar el montaje de sus gradas, andamios o plataformas usados en el ensamblaje sin tener que recurrir a diseños específicos que implican un mayor coste de ingeniería, fabricación y transporte.

## 1.2. Alcance.

En el transcurso del proyecto se han realizado las siguientes operaciones:

- **Introducción al uso y funcionalidad** de plataformas y descripción de partes.
- **Estudio del campo de actuación y operaciones** realizables mediante plataformas.
- **Análisis global de las soluciones** que se ofrecen en el mercado y revisión de las soluciones que aportan los principales fabricantes del sector.
- **Planteamiento general para el diseño viable** de la estructura y su introducción al mercado.
- **En el diseño conceptual:**
  - o **Análisis de requerimientos** funcionales básicos de la estructura. Se analizan cualidades que debería tener la estructura ideal, mediante el análisis de conceptos como modularidad, apilabilidad, seguridad e incluso un estudio dimensional en base al mercado.
  - o **Planteamiento general de las prestaciones estructurales** a las que está sometida la estructura y sus accesorios mediante la visión global de qué se montará en la plataforma.
  - o **Revisión de la normativa aplicable** al diseño estructural, a la seguridad y salud en trabajo sobre plataformas.
  - o **Implementación en 3D del concepto** de la estructura y los principales accesorios que forman la plataforma.
- **En el diseño de prototipo:**
  - o **Análisis detallado de prestaciones de la estructura**, mediante la introducción a los materiales más usados para su construcción y el análisis de las solicitaciones a las que se somete la estructura en base a las condiciones críticas de trabajo.
  - o **Cálculos** en base a la aplicación de condiciones críticas de contorno: cálculos de **estado tensional de la estructura mediante el análisis estático con FEM** y de **pandeo de forma analítica**. Seguido se hace una selección del material adecuado y se valida el diseño.
  - o **Diseño y validación de los accesorios de la plataforma**, se diseñan accesorios de movilidad, de seguridad y de acceso entre pisos, realizando un **análisis estático mediante cálculo con FEM para la validación de cada diseño**.



- **Revisión de los elementos secundarios del prototipo**, como son sistemas de transporte o de unión entre módulos.
- **Revisión de posibles implementaciones** en futuras ampliaciones de proyecto.
- **Un muestrario con configuraciones** de plataformas en diferentes partes de la aeronave.
- **Planificación del proyecto**, detallando la planificación inicial y la real.
- **Un presupuesto del proyecto**, que incluye el coste de gestión y de ingeniería.
- **Un análisis de impacto ambiental**, detallando las fases de desarrollo, vida y obsolescencia del producto.
- **Conclusiones técnicas y personales** del proyecto realizado.

En este proyecto no se han llevado a cabo las siguientes operaciones:

- Análisis estructural de fatiga mediante FEM.
- Análisis específico de soldadura en uniones.
- Generación de documentos 2D del diseño.
- Obtención de costes de fabricación.

Es necesario especificar que las tres primeras operaciones no se han llevado a cabo a causa de la extensión del proyecto y la falta de tiempo para una ejecución correcta. La no obtención de costes de fabricación se debe a diversas razones que se especifican en el apartado 8.1.

### 1.3. Justificación.

El proyecto se ha realizado partiendo de una motivación personal surgida durante una estancia de prácticas en una empresa del sector aeronáutico, en la que se diseñan utillajes y plataformas para el ensamblaje y mantenimiento de aeronaves.

Dicha motivación nace tras observarse que se dedica gran cantidad de tiempo para diseñar y fabricar plataformas con formas y solicitaciones específicas que se adaptan a las diferentes zonas de la línea de ensamblaje en la que se quiere trabajar; todo ello implica un largo tiempo y un gran coste de ingeniería. Por otro lado, que las plataformas tengan unas formas específicas implica que no se puedan realizar montajes para aeronaves de diferente tamaño.

Por esta razón, se decide encontrar una manera de universalizar el montaje de plataformas haciendo que las estructuras sean modulares, que sus accesorios siempre sean los mismos y por lo tanto reutilizables en muchas configuraciones, al mismo tiempo que se cumplen las pautas de montaje de la estructura. De esta manera se ahorra a posteriori tiempo y coste de ingeniería, a la vez que se realiza una fabricación en serie.

## 2. Estado del Arte.

### 2.1. Uso, funcionalidad y partes de una plataforma genérica.

A diferencia del sector de la automoción, en el que gran parte de los procesos se encuentran automatizados y optimizados desde el último cuarto de siglo XX, en el sector aeronáutico se precisa mayormente de la labor que hace el operario en combinación con herramientas que ayudan a la automatización. Para el posicionamiento de las partes de la aeronave en la línea de ensamblaje, las herramientas más comúnmente utilizadas son el control y posicionamiento por láser mediante grúas y palpadores, convirtiendo el proceso más costoso y lento en simple gracias a la automatización.

Por otro lado, existen operaciones que se deben de hacer durante el ensamblaje en las que no se puede precisar de medios de automatización. Entre ellas se encuentran el taladrado, el remachado, la limpieza o la soldadura de partes específicas del avión, y todas ellas las debe realizar un operario. Para ello, se habilitan plataformas con diferentes formas, especificaciones y funciones que se adaptan a las operaciones que debe realizar el operario en una zona concreta del avión.

Tal y como se ha dicho, cada plataforma puede tener una función y forma diferente pero factores como la seguridad, la ergonomía y el transporte hacen que todas las plataformas se puedan describir a partir de una estructura y unos accesorios que todas tienen en común. Así se asegura que la tarea se realice de forma segura, pulcra y cómoda, lo que implica un menor riesgo y tiempo de producción.

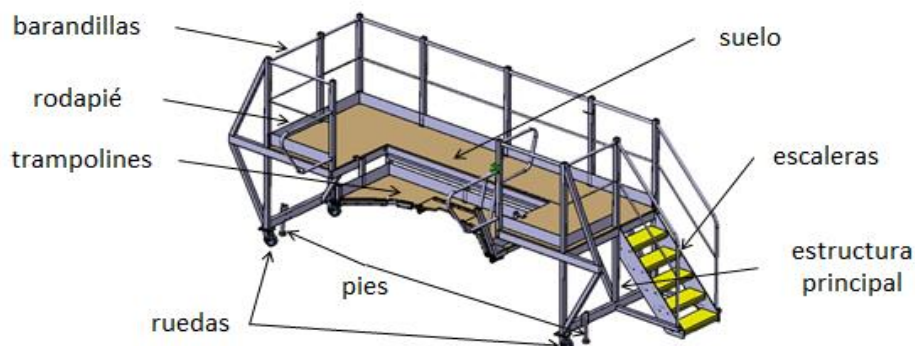


Figura 1. Partes de una plataforma genérica.

A partir de esta configuración y según las normativas de plataformas de trabajo en altura, (Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, Directiva 98/37/CE) se puede clasificar las plataformas mediante el tipo de elementos que la forman:

- **Plataformas móviles:** son aquellas estructuras que constan de un mecanismo y/o un accionamiento para su elevación o posicionamiento, y son **consideradas una máquina**. Cualquier accesorio que se acople a esta plataforma y modifique la funcionalidad de ella será considerado parte de la máquina.



Figura 2. Una plataforma elevable mediante tijeras, se considera una plataforma móvil.

- **Plataformas rígidas:** son estructuras que no constan de ningún mecanismo y/o accionamiento que haga variar su posición espacial y que precisan de una máquina para su transporte mediante eslingas, cáncamos o guías.



Figura 3. Plataforma rígida de aluminio.

## 2.2. Operaciones y campo de actuación.

Tal y como se ha comentado anteriormente, el sector de la aeronáutica consta de líneas de ensamblaje complejas. El proceso es tan complejo en sí que con gran frecuencia, sobre todo para aeronaves de uso comercial, se realizan pre-ensamblajes antes de realizar un ensamblaje final. Por otro lado, aparte del complejo ensamblaje también cabe destacar el complejo mantenimiento de la aeronave durante sus años de uso. Al tener sensores, compuertas, motores, sondas y todo tipo de artilugios a lo largo y alto de la aeronave, se necesitan complejos sistemas con los que acceder a todas estas zonas en operaciones realizadas fuera de la línea de ensamblaje.

De esta manera, se pueden dividir las operaciones y campos de actuación de las plataformas en tres grupos: plataformas para pre-ensamblaje, plataformas para línea final d ensamblaje, y plataformas para el mantenimiento.

### 2.2.1. Plataformas para pre-ensamblaje.

Se entiende por fase de pre-ensamblaje aquella en la que se fabrica las piezas y se ensamblan para formar las diferentes partes de un avión, que después serán enviadas a la línea final de ensamblaje (FAL). En esta fase se realizan la mayoría de operaciones de taladrado, soldadura, y remachado, con lo que las plataformas tienen un peso importante en la labor que ejerce el operario. Se puede tomar como ejemplo la fábrica de Airbus de Getafe, donde se fabrican los materiales compuestos, resinas y piezas estructurales para el montaje del Estabilizador Horizontal de Cola (HTP).



Figura 4. Ensamblaje del Estabilizador Horizontal de Cola de un A350 XWB.

Las características principales de las plataformas en el pre-ensamblaje son:

- **Estructuras rígidas no desmontables:** se debe a que realizan una única función en la línea de ensamblaje, y por lo tanto deben guardar siempre una misma posición.
- **Estructuras de tamaño mediano:** en comparación con las estructuras de la FAL, las estructuras que se utilizan son de un menor tamaño teniendo en cuenta una aeronave comercial de tamaño medio, por ejemplo un A320.
- **Diseño único:** a diferencia de las instalaciones utilizadas en la FAL, las instalaciones usadas en el pre-ensamblaje constan de unas dimensiones específicas adecuadas a la parte de una aeronave concreta, con lo que el diseño debe respetar un único *Layout* o escenario.

### 2.2.2. Plataformas para Línea Final de Ensamblaje (FAL).

La línea final de ensamblaje es la fase en la que todas las partes del avión se unen al fuselaje central, consiguiendo formar la aeronave entera. Al realizar el montaje de la aeronave, las dimensiones sobre las que se trabaja pueden variar según el tipo de aeronave; desde jets de pocos pasajeros como el E170 de EMBRAER, de 29m de largo y 9,5m desde el suelo a la parte superior de la cola, hasta colosos de los cielos como el A380 de AIRBUS, de 73m de largo y 24 desde el suelo hasta la parte superior de la cola. Por lo tanto, cada fabricante suele disponer de una FAL para cada modelo de avión con sus plataformas correspondientes para las dimensiones y funciones requeridas.



Figura 5. Ensamblaje del avión comercial A350 en la FAL de Airbus Toulouse.

Las características principales de las plataformas en la FAL son:

- **Combinación de estructuras rígidas con desmontables:** se utilizan estructuras rígidas en líneas de ensamblaje concebidas solo para un modelo concreto de aeronave. En casos en que en una misma FAL se ensamblan diferentes modelos, se acoplan accesorios y estructuras desmontables para salvar las diferencias dimensionales de los modelos de aeronave. Además, para trabajar en partes que están fijadas en todo momento en la FAL, como el fuselaje central, y sobre las que se tiene que acceder constantemente durante el ensamblaje se recurre a técnicas de andamiaje mediante unión de barras como si de la fachada de un edificio se tratase.
- **Gran tamaño de la estructura:** tal y como se ha especificado, las plataformas deben dotar de capacidad a los operarios para que puedan ejercer su trabajo tanto a 9,5 metros como a 24 metros de altura. A causa del mismo peso de las plataformas, el dimensionamiento que tienen las estructuras cercanas a la base es mucho mayor en la FAL que en la fase pre-ensamblaje de partes. No obstante, desde inicio de siglo, las factorías están dotadas de niveles superiores para acceder a las zonas más elevadas sin la necesidad de utilizar plataformas.
- **Diseño variable:** Al poder realizar diferentes combinaciones de estructuras para formar plataformas, el diseño debe tener como base la posible personalización por parte del fabricante de aeronaves. Por otro lado, también se realizan diseños en los que una misma grada sirve para diferentes modelos dentro de una misma serie, como ejemplo la serie de A320 (modelos 318, 319, 321) en la que solo varía de forma rotunda la longitud del fuselaje. En casos en los que se precisa de andamiaje por barras, el cliente es quien decide la configuración de la plataforma durante su mismo montaje.

### 2.2.3. Plataformas para mantenimiento de aeronaves.

En este caso, la manera de operar requiere una mezcla de los dos casos anteriores; el mantenimiento de aeronaves se organiza por distintos niveles en los que se realizan diversas revisiones. Estos niveles de mantenimiento se diferencian por la periodicidad y exhaustividad con la que se realizan:

- **Mantenimiento en línea:** contempla dos revisiones, la inspección diaria que se realiza antes del primer vuelo del día y es de carácter general, y la revisión **S**, cada 100 horas de vuelo, en la que se revisan todos los aspectos relacionados con la

seguridad y se reponen niveles de fluidos.

- **Mantenimiento menor:** dentro de esta categoría entran tres revisiones en las que se inspecciona cuidadosamente la estructura interior y exteriormente, se comprueba el correcto funcionamiento de sistemas y elementos, siendo cada una de ellas de mayor profundidad, duración y tiempo entre revisiones. Así, la revisión **A** se realiza una vez al mes, la revisión **B** se lleva a cabo cada cuatro meses aproximadamente, y la revisión **C**, en la que el avión ha de estar parado entre una o tres semanas y se llega a decapar la pintura para examinar exhaustivamente la estructura, se efectúa cada año.
- **Mantenimiento mayor:** consiste en la revisión **D** en la que el avión está fuera de servicio un mes o algo más. Se desmonta el avión casi por completo. Se quita la pintura, se desmontan los motores, los trenes de aterrizaje y otros elementos que se revisan aparte, corrigiendo cualquier anomalía. Y una vez que se vuelve a montar todo otra vez, se pinta y se colocan asientos y mobiliario de cabina, se realizan pruebas de vuelo en las que se comprueba la respuesta de los sistemas a situaciones de emergencia. Tras esta revisión, se considera el avión con 0 horas de vuelo, como recién salido de fábrica. Se suele realizar cada cinco años, pero la nueva generación de aviones como el A340, no requiere esta revisión hasta los diez años, lo que ahorra bastante a la compañía aérea por razones obvias.

Con esto, se puede diferenciar entre los dos tipos de plataforma de las que se precisa:

- **Plataformas de menor tamaño, rígidas y transportables:** acceder a revisión en pista del motor, comprobación de niveles de fluidos, accesos a bodegas...tal y como se puede observar en la *Figura 6*.



Figura 6. A la izquierda, acceso a un motor; A la derecha acceso a una bodega.



- **Plataformas de mayor tamaño, desmontables y fijas:** utilizadas en revisiones de larga parada y en las que se precise un continuo y meticuloso acceso a todas las partes del avión desde todos sus niveles. En este caso, las compañías aéreas recurren a sistemas de andamiaje.



Figura 7. Revisión C de un A400; se usan barras para formar andamios.

### 2.3. Análisis de las soluciones del mercado.

El mercado dedicado a la fabricación e instalación de plataformas se puede dividir en base a la especialización con la que está diseñada cada solución, guardando una relación directa con la clasificación que se ha hecho anteriormente sobre el campo de actuación de las plataformas. Es decir, la plataforma se diseñará y montará bajo unos requerimientos especificados por el fabricante de aeronaves. De esta manera, se puede clasificar el mercado según lo específico que llegue a ser el diseño y montaje de la plataforma; soluciones específicas o soluciones universales.

- Un ejemplo de **solución específica** sería el encargo a una ingeniería del diseño de una plataforma que actúe en la sección del fuselaje central para realizar la soldadura y remache de uniones. Se trata de un diseño específico que solo puede ser usado para una función.
  - o Ventajas:
    - El diseño específico favorece a la exactitud en la adaptación al contorno de la aeronave.

- Diseño de acoplamientos específicos para las operaciones que se van a realizar sobre la aeronave.
- Inconvenientes:
  - Alto coste y tiempo de diseño.
  - Fabricación única que encarece el producto.
  - Baja posibilidad de reutilización en otros trabajos.
- Un ejemplo de **solución universal** sería un sistema de andamiaje formado por barras que se ensamblan mediante rótulas y codos, que se adapta a la forma cilíndrica del fuselaje para poder realizar la soldadura y remache de sus uniones.
  - Ventajas:
    - Diseño único que sirve para distintas configuraciones.
    - Fácil montaje y transporte.
  - Desventajas:
    - Poca exactitud para casos específicos de aeronave.
    - No se dispone de soporte para herramientas de operaciones específicas.

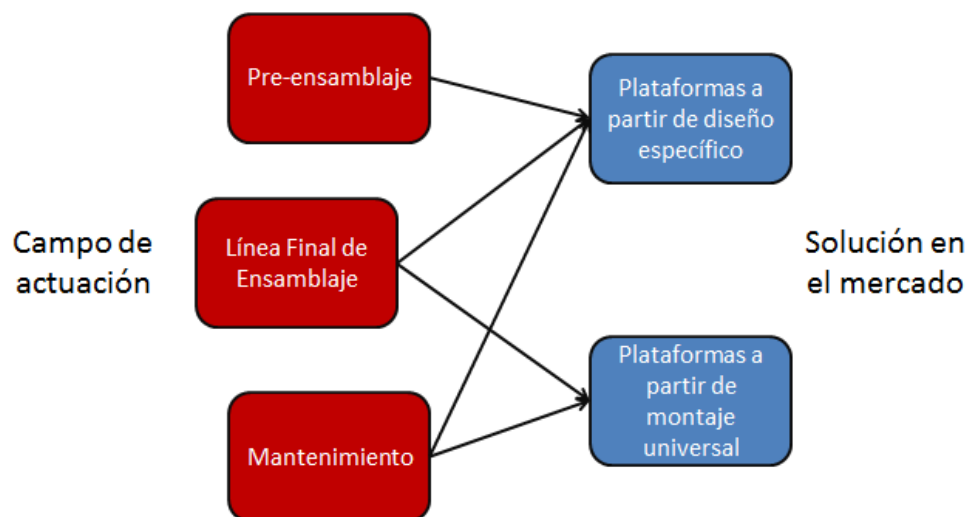


Figura 8. Relación entre campo de actuación y solución que ofrece el mercado.

A parte de la funcionalidad que prestan estas soluciones en el ámbito de la operación que se requiere, también hay que tener en cuenta dos importantes factores como son la seguridad y la ergonomía. Estos dos factores son mucho más favorecidos en el caso de que la solución adquirida por el cliente sea un diseño específico para la instalación en la que se va a trabajar.

## **2.4. Soluciones de principales fabricantes.**

No existe una clasificación de las empresas dedicadas al sector, aunque no cuesta ver que la distinción que hay entre ellas se basa en los puntos que se han analizado anteriormente; empresas del ámbito de la ingeniería que se dedican a realizar proyectos de plataformas en base a la especificación de un cliente, y empresas dedicadas a suministrar sistemas de andamiaje pre-diseñados cuya dificultad solo recae en el montaje que se requiere. A continuación se exponen las soluciones principales de empresas del sector para los dos casos distintos.

### **2.4.1. Empresas dedicadas al diseño específico.**

- ZARGES GMBH, empresa alemana especializada en docking que dispone de productos tanto dentro de catálogo, plataformas para modelos específicos de avión y andamiajes, como bajo especificación del cliente. Esta empresa se encuentra entre las primeras en el sector de suministro de plataformas debido a que sus productos están entre los más avanzados del mercado; disponen de plataformas útiles para diversos modelos y series de avión, de sistemas modulares y adaptables únicamente a sus plataformas, y otras más instalaciones características con alturas regulables, suelos antideslizantes y escaleras ajustables. Por otro lado, cuando las plataformas que se requieren son menores y no requieren de altas prestaciones estructurales, esta empresa es líder en la producción de plataformas de aluminio.

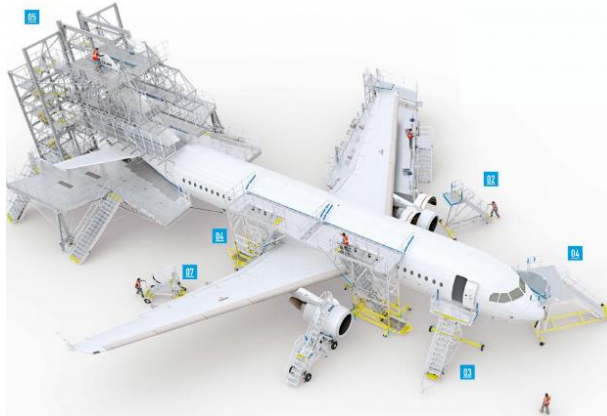


Figura 9. Imagen del abanico de soluciones aportado por ZARGES GMBH.

- UNISYSTEMS, empresa estadounidense que proporciona soluciones en el ámbito de la construcción de estructuras para grandes instalaciones, aunque el punto fuerte de esta empresa son sus soluciones en el ámbito aeroespacial. A parte de servir elevadores de materiales, fosas para trenes de aterrizaje, puertas de hangares y equipos de producción, UNISYSTEMS también proporciona sistemas de plataformas de mantenimiento, especialmente su propio sistema, llamado UNIDOCK, que se basa en la composición de plataformas fijas a lo largo de todo el exterior del avión y desde las cuales se extienden trampolines para adaptar a las medidas del avión. Por el contrario, cabe destacar el elevado coste que supone adquirir este sistema de plataformas, ya que solo será plenamente utilizado en caso de realizar revisiones completas al avión y en caso de que solo se tenga que revisar o realizar mantenimiento de una parte concreta del avión, el tiempo de estancia del avión será elevado en comparación a realizar la acción con una plataforma simple.



Figura 10. Sistema UNIDOCK de la firma UNISYSTEMS.

### **2.4.2. Plataformas de montaje mediante sistemas universales o modulares.**

- LAYHER, compañía alemana líder en el sector del andamiaje. Ofrece soluciones basadas en la unión de barras mediante técnicas rápidas para todo tipo de construcciones y desarrollos de estructuras. En el sector de la aeronáutica, LAYHER incide en el ensamblaje de módulos para adaptar las plataformas a diferentes modelos de aeronave. A diferencia de las plataformas diseñadas en base a una especificación, las plataformas que se obtienen mediante este método no se adaptan a la forma de la aeronave con la exactitud esperada y por otro lado, el hecho de tener que realizar un montaje cada vez que se cambie de modelo o solicitud provoca un alto coste temporal.

## **2.5. Planteamiento general para una solución viable.**

Realizando un análisis de los puntos discutidos anteriormente, es necesario realizar un listado de inconvenientes que en su solución puedan aportar una ventaja, y ventajas de las cuales se pueda partir para posteriormente mejorar la solución que se plantea en este proyecto. A rasgos generales, se definiría como plataforma óptima la que se fundamente en los siguientes puntos:

- Ergonomía para el operario y para el montador de la plataforma: se pretende asegurar un tiempo de trabajo reducido y que la aeronave esté parada menos tiempo.
- Seguridad para el operario y para el montador: se pretende asegurar que no se den paradas de emergencia mientras se realiza el mantenimiento o ensamblaje de la aeronave ya que se pararía la línea.
- Diseño único y sencillo: contra más simple sea el diseño, se tendrá un mayor margen de venta de la plataforma.
- Fabricación sencilla: junto con el diseño, una fabricación simple favorece al margen de venta.
- Facilidad en la manipulación: se deben tener en cuenta factores como el transporte, montaje, almacenaje y accesibilidad.

- Flexibilidad para posibles mejoras y revisiones del diseño.

En el último punto se hace referencia a casos en los que sea necesaria la implementación de nuevos accesorios o montajes que favorezcan a cambios en el concepto de la estructura, como pueden ser motores para el desplazamiento, instalación de redes de baja tensión, instalación extraíble de tuberías para equipos neumáticos, instalación de equipos automáticos de elevación, y otros más elementos. Cabe decir, que todos estos elementos no se van a tener en cuenta para realizar el diseño de la estructura universal ni sus accesorios ya que el proyecto se basa en obtener una solución estructural que tenga una funcionalidad parecida o mejorada a soluciones ya existentes pero que cuente a más a más con características que hagan de la estructura una herramienta alternativa.

A partir de las soluciones que dan fabricantes y los puntos mencionados anteriormente, se va a proceder con el diseño modular de la plataforma modular.

## 3. Diseño Conceptual.

### 3.1. Requerimientos funcionales básicos.

Para empezar con el diseño, se realiza una lista de todos los requerimientos técnicos que, basándose en el planteamiento general realizado en la sección 2.5, significa el inicio de un diseño preliminar de la plataforma. Para cada punto que se exige como una característica a cumplir, se completa con el planteamiento de una solución preliminar de nivel técnico.

#### 3.1.1. Modularidad.

Se entiende por modularidad la capacidad de un sistema de ser formado por diversas partes que interactúan entre sí con el objetivo de realizar una función concreta. En el caso que concierne, la estructura y los accesorios forman módulos y la plataforma es el sistema que ejerce una función concreta.

La estructura a diseñar se define a partir de esta cualidad ya que se busca universalizar el número de configuraciones en las que se puede acumular la estructura para el montaje de plataformas con diferentes formas y funciones. Este rasgo de la estructura favorecería a:

- Una **fabricación en serie**, que al contrario que fabricaciones únicas para diferentes plataformas, abaratando el coste de manufactura.
- Un **diseño único**, que favorece a la disminución de horas de ingeniería basándose en un único modelo de estructura, abaratando el coste de ingeniería.
- **Gran diversidad en el montaje**, pudiendo ensamblar la estructura en diferentes formas para poder realizar diferentes funciones.
- **Un transporte estándar**, los módulos constan de los mismos mecanismos de transporte, favoreciendo a una forma estándar de transporte que es menos costosa.

Por otro lado, realizando un diseño personalizado a la especificación del cliente se favorece a que no haya errores en el momento de situar la plataforma. En el caso de una plataforma modular, es más probable que se den errores en el montaje de la estructura si es el operario quien decide cómo se debe montar la plataforma. A más a más, la dificultad que presenta el

hecho de montar diferentes configuraciones puede influir en el tiempo de montaje y por consiguiente en el retraso en el mantenimiento o ensamblaje de la aeronave.

Se puede definir un andamio como una plataforma formada por módulos que son barras, pero se sigue teniendo el problema del tiempo que se tarda en su montaje. Para ello se recurre a la formación de una estructura rígida que asegure un mayor número de configuraciones requeridas a la vez que reduce el tiempo de montaje de la plataforma. El caso más claro de estructura que se puede tratar como un módulo es un cubo formado por barras, de esta manera se puede crear cualquier tipo de estructura que crezca en los ejes x, y, z.

Contra más pequeño sea el cubo, mayor número de configuraciones se podrán hacer pero la cantidad de material utilizado y el tiempo de montaje se incrementarán. Por ello, se debe encontrar una dimensión estándar del lado del cubo que en su multiplicidad se adapte a las medidas de las plataformas repartidas alrededor de la aeronave.

Por lo tanto, se va a considerar un prisma de base rectangular formado por barras como módulo del que se va a partir para definir la estructura. A continuación, se definen las medidas que hacen que el módulo se adapte tridimensionalmente con la mayor exactitud posible para la configuración de plataforma que se exige.

### **3.1.2. Adaptación de dimensiones a la aeronave.**

A partir de la modularidad que debe presentar la plataforma, se deben definir unas medidas estándar para el módulo de la estructura. De esta manera se busca que montando un número entero de estructuras se pueda trabajar alrededor de las medidas requeridas para un mayor número de aeronaves. Se pretende asegurar que la estructura es válida para montar plataformas que van a trabajar a diferentes niveles de altura y anchura, es decir, realizando diferentes funciones en modelos de aeronave diferentes. Para tener una idea de los diferentes puntos que hay repartidos a lo largo de la superficie de la aeronave y sobre los cuales se debe realizar mantenimiento se puede observar la *Figura 11*.

Es necesario destacar que las medidas a tomar para llegar a según qué puntos requieren de una especificación que mediante estructuras modulares no se llegaría a cumplir, sea por su difícil acceso o por la complejidad que se precisaría en el montaje de las plataformas. Por ello, solo se va a estudiar el dimensionamiento en base a las partes más definitorias del avión, las alas, los estabilizadores y el fuselaje; y se dejará de lado puntos como los que



aparecen en la *Figura 11*.

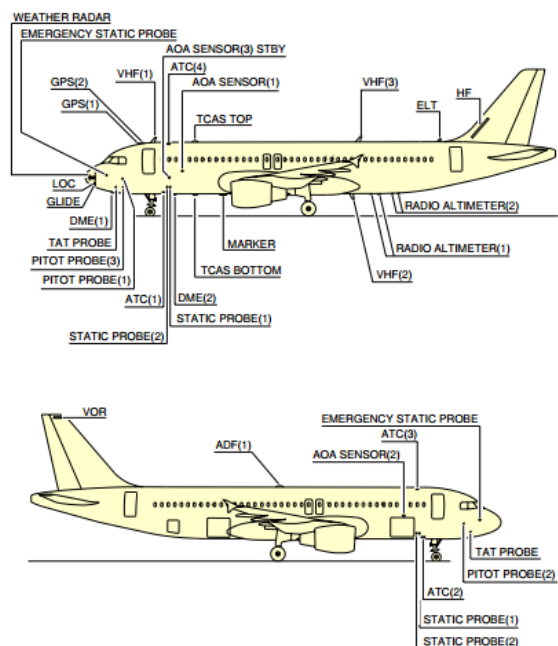


Figura 11. Puntos de la aeronave que precisan de mantenimiento en aeropuerto.

Para adaptarse a todo tipo de aeronaves, se opta por definir un rango de aeronaves en el cual se va a trabajar para marcar unas dimensiones mínima y máxima a cubrir por la unión de estructuras. Las aeronaves con las que se va a tratar a continuación son las de los 3 mayores fabricantes de aviones comerciales del mundo: AIRBUS, BOEING y EMBRAER. Se estudian las medidas de las partes de la aeronave desde donde se realizan mantenimientos y montajes en el ensamblaje.

En el extremo de las aeronaves de menor tamaño se tiene al EMBRAER E175, y en el extremo de las aeronaves de mayor tamaño está el Airbus A380. Además, cabe tener en cuenta la aeronave con mayor número de unidades a fabricar en 2015 y 2016, el Airbus a 320. Para realizar el estudio dimensional se van a tener en cuenta estas tres aeronaves que son los extremos y la media del mercado, pero se van a observar los diferentes tamaños y la gama de modelos que tienen los dos grandes fabricantes de la industria aeroespacial, Airbus y Boeing, que constan de diferentes medidas en base a su solicitud que a rasgos generales viene marcada por el número de pasajeros y la distancia a cubrir en cada vuelo.

Es necesario destacar que las partes estudiadas son aquellas para las que se ha obtenido un mínimo de medidas. Como mínimo se debe constar de medida para todos los modelos de un fabricante ya que es la única manera de cubrir la gama de dimensiones posibles. Las

partes de la aeronave en las que se ha obtenido suficientes medidas para el estudio dimensional son:

- Estabilizador Horizontal de Cola (HTP): **Largo y Ancho.**

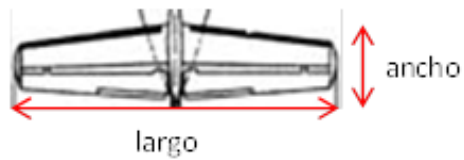


Figura 12. Croquis esquemático de un HTP.

- Estabilizador Vertical de Cola (VTP): **Largo** respecto parte superior del fuselaje.

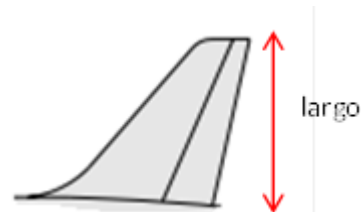


Figura 13. Croquis esquemático de un VTP.

- Ala: **Largo** del ala.

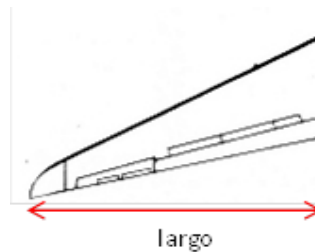


Figura 14. Croquis esquemático de una Ala.

- Fuselaje anterior: **Ancho, Alto y Largo** del fuselaje.

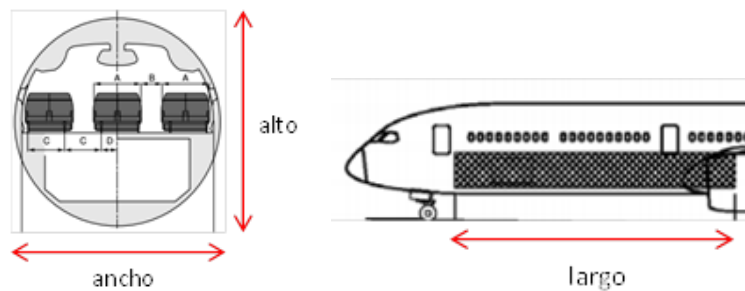


Figura 15. Croquis esquemático del Fuselaje anterior.

En la *Tabla 1*, se puede observar las diferentes medidas en m de las partes mencionadas. Los datos se han extraído de los manuales de compatibilidad aeroportuaria que ofrece cada fabricante.

Tabla 1. Dimensiones características de partes de aviones comerciales.

Longitud (m)	HTP		VTP	ALA	FUSELAJE ANTERIOR		
	largo	ancho	largo	largo	ancho	alto	largo
<b>BOEING</b>							
<b>707</b>	13,57		7,11	18,90	3,759	4,33	
<b>717</b>	11,2		5,8	12,53	3,342	3,4	11
<b>727</b>	10,9		5,03	14,68	3,56	4,27	8,13
<b>737</b>	14,35		7,06	15,15	3,5	4,21	9,12
<b>747</b>	22		10,4	30,95	6,5	7,69	25,2
<b>757</b>	15,22		7,24	17,15	3,76	4	12,8
<b>767</b>	18,62		8,54	23,44	5,03	5,41	8,54
<b>777</b>	21,5		10,4	29,3	6,2	6,2	20,29
<b>787</b>	19,81		13,01	27,17	5,77	5,94	18,51
<b>AIRBUS</b>							
<b>A300</b>	16,94		8,99	19,62	5,64	5,64	
<b>A310</b>	16,26	8,44	8,3	19,13	5,64	5,64	
<b>A320</b>	12,45	4,24	5,87	15,92	4,14	3,95	4,95
<b>A330</b>	19,4	8,45	8,3	27,33	5,64	5,64	15,02
<b>A340</b>	19,4	8,45	8,3	27,33	5,64	5,64	15,02
<b>A350</b>	18,79	9,62	9,42	29,39	6,09	5,96	16,221
<b>A380</b>	30,37	15,29	14,59	36,30	7,14	8,41	17,4
<b>EMBRAER</b>							
<b>E-170</b>	10			11,49	3,01	3,35	5,41
<b>E-175</b>	10			11,49	3,01	3,35	5,41
<b>E-190</b>	12,09			12,85	3,01	3,35	7,77
<b>E-195</b>	12,09			12,85	3,01	3,35	7,77

A partir de la tabla anterior, se obtienen gráficas donde se observan las dimensiones máximas (A380), mínimas (E170) y las más presentes en el mercado (A320). De esta manera se puede ver cuál es la medida más adecuada que al repetirse se adapta a las dimensiones.

Para caracterizar la estructura, se van a separar las dimensiones que restringen la anchura

de las que restringen la altura. De esta manera se actualizan las medidas exteriores del prisma de base rectangular que se ha definido en el apartado anterior como estructura base.

### 3.1.2.1. Dimensiones que influyen en la anchura de la estructura.

#### ■ Largo del HTP.

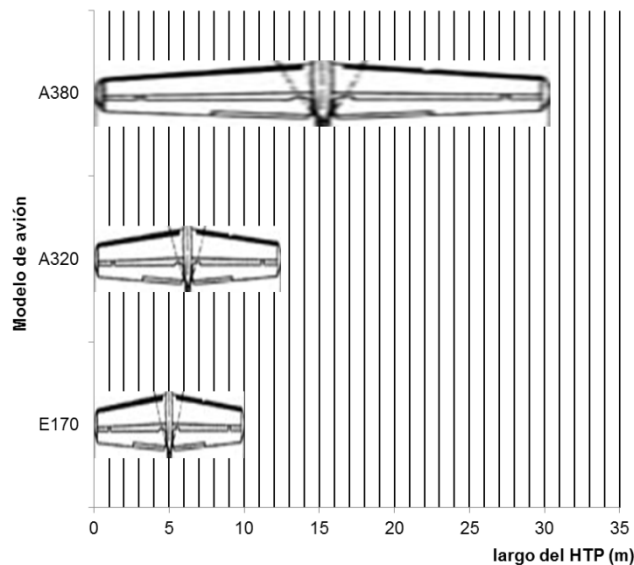


Figura 16. Largo de HTP (m) para modelos E170, A320 y A380.

En este caso, se observa que para las dimensiones de E170 y el A380, 10m y 30,37m respectivamente, bastaría con montar estructuras de 5m de ancho para cubrir el largo de los estabilizadores. Por otro lado, se observa que para el modelo de A320, no se daría una multiplicidad entera en la unión de estructuras de 5m de ancho y sería necesario montar estructuras de 2m para cubrir los 12,45m de largo del estabilizador. Por lo tanto, al poderse adaptar mejor a los tres modelos, la medida óptima para el ancho de la estructura es de 2m.

■ Largo del Ala.

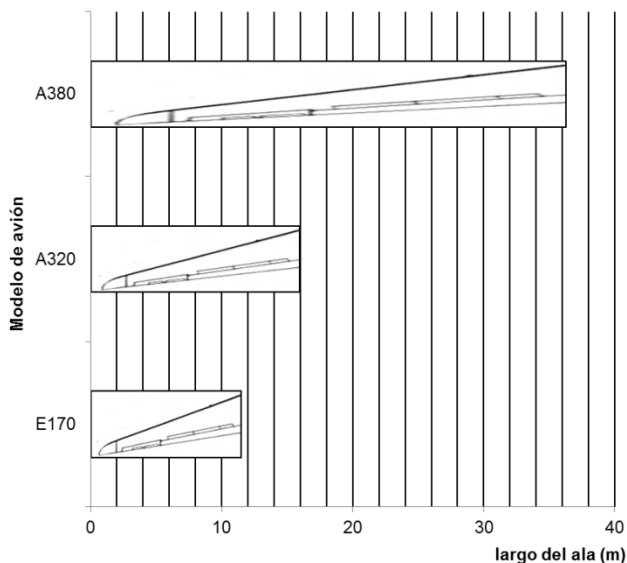


Figura 17. Largo de ala (m) para modelos E170, A320 y A380.

En este caso, se observa que aproximadamente se cumple la multiplicidad entera que implicaría juntar estructuras de 2m de ancho para llegar a las dimensiones de 12,5m (B717), 15,9m (A320) y 36,3m (A380).

■ Largo de fuselaje anterior.

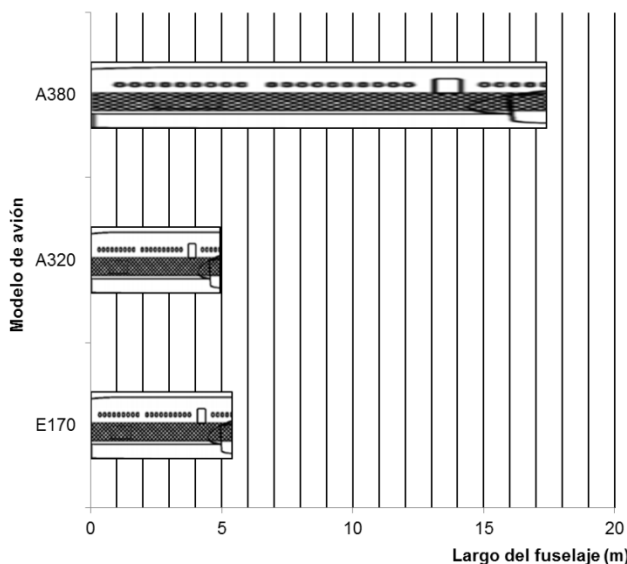


Figura 18. Largo de fuselaje (m) para modelos E170, A320 y A380.

Para este caso, se observan dimensiones de 5m y 17m de fuselaje y por lo tanto no se llegaría a cubrir o se pasaría 1 metro en la longitud del fuselaje si se juntan

estructuras de 2m de ancho. Aun así, se opta por dejar una estructura de 2m de ancho debido a los otros casos que se han estudiado. A más a más, para configuraciones con estructuras de 1m de ancho se necesitaría el doble de material en forma de tubo para conseguir la plataforma requerida, y en caso de usar estructuras de 5m, el montaje y transporte sería imposible de realizar por medios convencionales.

### 3.1.2.2. Dimensiones que influyen en la altura de la estructura.

#### ■ Largo del VTP.

En este caso, dado que no se han obtenido datos del E170 para esta parte del avión, se sustituye este modelo por el BOEING B717 ya que consta de medidas de fuselaje, alas, y HTP muy parecidas al modelo de EMBRAER, se puede observar en la Tabla 1, y por lo tanto tendrá un dimensionamiento similar al tratarse de un modelo convencional de avión comercial.

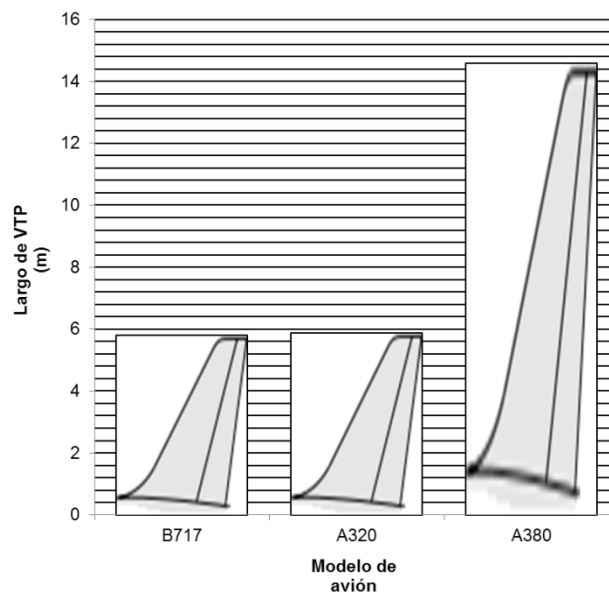


Figura 19. Alto de VTP (m) para modelos E170, A320 y A380.

Mediante el gráfico y los datos de la Tabla 1, se observa que para los modelos E170 y el A320 se podrían unir estructuras de 2 o 3 metros de altura dando una multiplicidad casi entera en la repetición de módulos. Para el A380, se debe abarcar una altura de 14,5 metros para el perfil del VTP.

A partir de este caso se puede definir la altura de la estructura para que el trabajo sea óptimo; en caso de colocar 5 módulos de 3 metros cada uno de altura, se abarcaría una altura de 15 metros con lo que la parte más alta del VTP quedaría

medio metro bajo el último piso de la plataforma y a 2,5 metros del suelo del penúltimo piso, con lo que el trabajo sería cada vez más irrealizable. Por otro lado, si los módulos se hacen de 1 metro de altura es obvio que solo habrá un piso accesible, el último, ya que no se puede acceder al interior del módulo. En cambio, si los módulos son de 2 metros de altura se puede acceder a su interior, con lo que se puede dividir la plataforma en pisos, el trabajo es más ergonómico y seguro que para estructuras de 3 metros, y su transporte y almacenaje son más sencillos.

■ **Altura del fuselaje.**

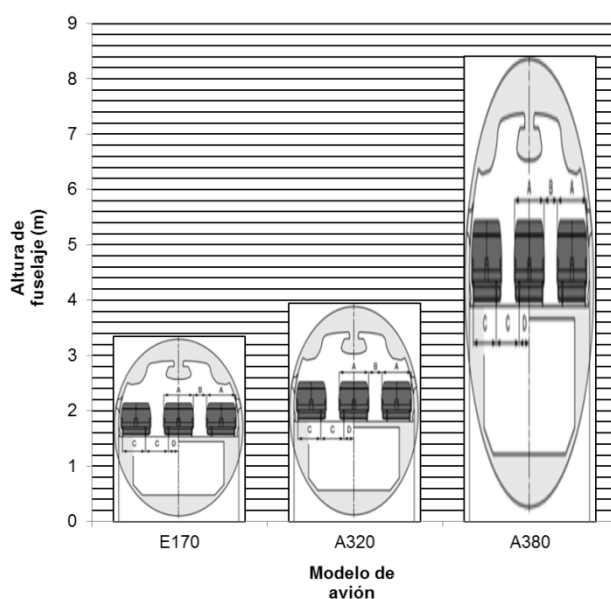


Figura 20. Alto de fuselaje (m) para modelos E170, A320 y A380.

En este caso, se observa que con estructuras de 2 m para los módulos se llegaría a cubrir toda la altura del A320 y para los otros dos modelos, se sobrepasaría o se alcanzaría una altura en la faltarían aproximadamente 1,3 metros desde el suelo del último piso, una posición ergonómica de trabajo para un operario en pie.

**3.1.2.3. Conclusión del dimensionamiento en base a las aeronaves analizadas.**

A partir del prisma de base rectangular que se ha propuesto como estructura base en la sección 3.1.1., y del análisis sobre las dimensiones de aviones comerciales más comunes, se puede decidir las dimensiones de la estructura más adecuadas para formar plataformas.

- **Respecto la anchura del prisma** se puede concluir que la medida óptima es de 2 metros. En el caso de montar estructuras de 1 metro, la cantidad de material se duplicaría y el espacio de trabajo de un operario sobre la superficie del avión se

reduciría. A más a más, la cantidad de uniones en el montaje sería el doble que para estructuras de 2 metros repercutiendo directamente al coste material y al tiempo/dificultad de montaje de la plataforma. Si la estructura se hiciese de 3 metros, el peso de cada módulo aumentaría un 50% junto con el volumen, provocando que el montaje se deba realizar mediante puente grúa. Por otro lado, el espacio entre plataformas sería un gran hándicap en el montaje, ya que al ensamblar estructuras de tal tamaño la probabilidad de que haya una colisión es mucho mayor.

- **Respecto a la altura del prisma** se puede concluir que la medida óptima también es de 2 metros. Si se montan estructuras de 1 metro de altura, la interferencia de barras con el operario haría imposible que se pudiese trabajar a distintas alturas en pisos, cosa que no es viable. Por otro lado, si se montan estructuras de 3 metros, la diferencia entre pisos es tan grande que se puede dar el caso en que un punto en concreto que requiere una operación esté a 2,5 metros de altura respecto al suelo del piso. Obviamente, el operario no llega a tal altura y opciones como utilizar una escalera sobre la plataforma chocan con el concepto de seguridad.
  
- **Respecto a la profundidad de la estructura**, no se ha analizado en base a unos requerimientos dimensionales de las aeronaves. Para esta medida se tienen en cuenta requisitos de seguridad, ergonomía y facilidad en el diseño y montaje. Por seguridad, la normativa establece que el ancho de la plataforma debe ser mínimo de 800mm para que pueda trabajar el operario. Por ergonomía, 800mm no parecen suficientes para que dos operarios con material puedan cruzarse sobre la plataforma sin tener que maniobrar. A más a más, en las tareas de mantenimiento o ensamblaje se requieren herramientas en la parte superior de la plataforma para trabajar cómodamente, con lo que incluso 1 metro no es suficiente para que el operario se dé la vuelta a coger una herramienta y a su vez pase un operario por el pasillo. Por lo tanto, se necesitaría una profundidad mínima de 1,5 metros para que se pudiese realizar la labor requerida con solvencia. En términos de diseño y montaje, si la profundidad es de 2 metros, el ensamblaje de los módulos para formar la plataforma se podría hacer en las tres direcciones x, y, z, sin tener que



recorrir a módulos adicionales para completar las dimensiones, ya que los módulos serían de 2x2x2 metros.

Por lo tanto, la estructura desde la que se va a iniciar el diseño es de 2x2x2 metros. Las características principales de este dimensionamiento son:

- Adaptación a los modelos de aeronave más comunes.
- Volumen de estructura válido para un montaje mediante métodos convencionales.
- Posibilidad de montar pisos a diferentes alturas y garantizar un trabajo seguro.
- Facilidad para el movimiento del operario sobre la plataforma.
- Versatilidad en la zona de trabajo para el uso de herramientas.

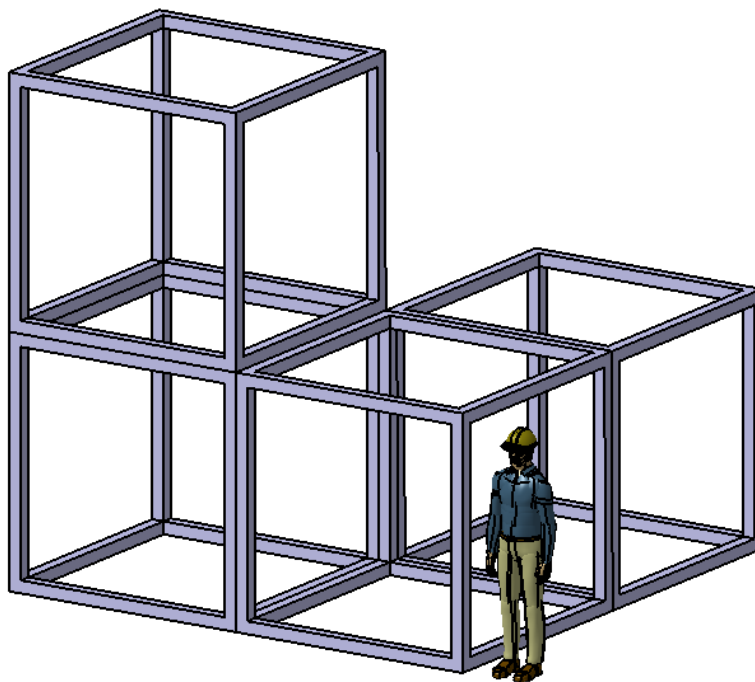


Figura 21. Unión de 4 módulos concepto 2x2x2m.

En la *Figura 21*, los módulos son ensamblables en las 3 direcciones, el operario puede acceder por niveles dado que cabe dentro del módulo, y se dispone de espacio suficiente para colocar herramientas a la vez que hay movimiento de personal sobre el piso.

### 3.1.3. Accesibilidad.

Se entiende por accesibilidad la capacidad de la que se dota un lugar físico para que un sujeto pueda utilizar o influir en el medio. En este caso concreto, se basa en la capacidad del operario de llegar y pasar por lugares para realizar su operación sin que la estructura

interfiera en ello. Los accesos y conexiones de la estructura son cruciales para mantener conectados todos los módulos en una misma plataforma.

Para esta característica es necesario diferenciar entre dos tipos de acceso o conexión:

■ **Acceso entre módulos del mismo piso.**

El acceso entre módulos del mismo piso viene dado por la unión en eje x, eje y de módulos. En este acceso se tienen en cuenta los suelos que se unen al unir los módulos, y la anchura y altura del pasillo por donde se pasa. Teniendo en cuenta que la estructura es de 2x2x2 metros, el pasillo por donde pasa el operario es de aproximadamente 2 metros de ancho por 2 metros de alto. Cabe tener en cuenta diferencia que aplica el grosor de tubo utilizado en la estructura y el grosor del suelo. Por ejemplo, si la estructura es de altura exterior 2 metros, al colocar tubos de 80mm de ancho en las bases y un suelo de 5mm la zona de paso tendría una altura de 1,84 metros, suficiente para el paso de un operario de estatura media. Para evitar la colisión de la cabeza en casos excepcionales, el operario deberá llevar casco de protección siempre que se encuentre sobre cualquier piso de la plataforma.



Figura 22. Representación del cuadro de acceso entre módulos del mismo piso.

■ **Acceso entre módulos de distinto piso.**

Al unir módulos en el eje z se establecen pisos para la plataforma. Para subir y bajar pisos se incorpora el primer accesorio a la estructura, la escalera. La escalera se unirá a módulos de diferentes pisos para que el operario pueda acceder fácilmente a otros niveles y acceder desde el suelo de la nave o hangar al primer nivel de la plataforma.

En la *Figura 23* se puede observar el esquema de plataforma de 4 módulos con escaleras de acceso entre pisos y de nave a primer nivel.

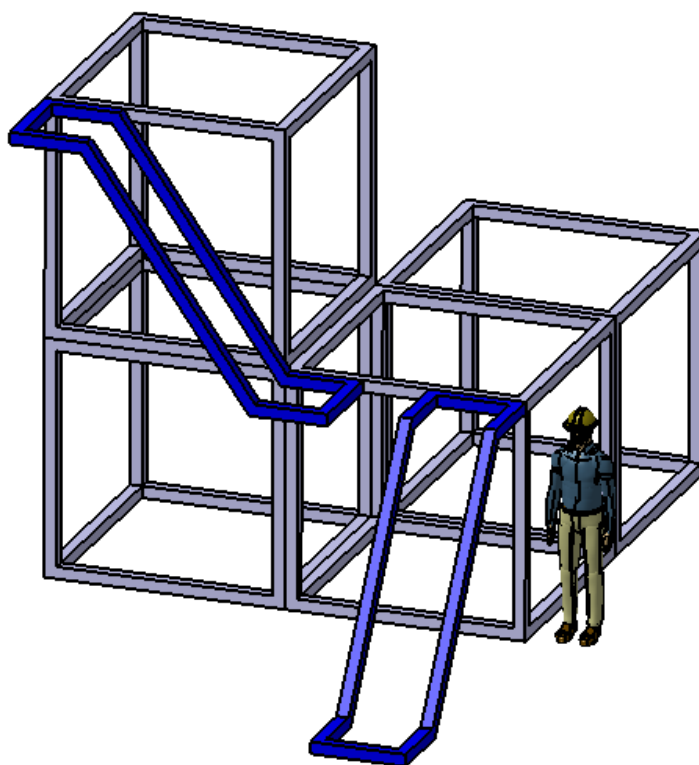


Figura 23. Acceso entre módulos de distinto piso mediante escaleras.

Más adelante, en la sección dedicada al diseño al detalle de las escaleras, se explicarán los factores de seguridad que según la normativa influyen en el diseño de este accesorio y se detallarán las diferentes uniones de las que dispondrá la escalera para poder ensamblarse de diferentes modos tal y como aparece en la *Figura 23*.

#### **3.1.4. Transportabilidad en planta.**

Se entiende como transportabilidad la facilidad con la que algo se puede desplazar mediante el uso de todo tipo de medios. La dificultad que ello presente influirá en qué tipo de medios se deben utilizar para realizar el movimiento. En el caso concreto de los módulos, el transporte se realizará en el interior de la planta según si la plataforma está montada o por módulos separados.

Como se ha dicho, es necesario dotar de medios de transporte a la plataforma una vez ya esté montada pero también es necesario que cada uno de los módulos se pueda llevar de un lugar a otro con la mayor facilidad posible. Para ello se dispondrán de diferentes accesorios que serán extraíbles o de partes fijas de la estructura que facilitarán la labor.

Estos son:

#### ■ Ruedas con freno.

Las ruedas sirven para desplazar toda la plataforma una vez ya se ha realizado el montaje, pero también sirve para desplazar los módulos que se encuentran en la base de la estructura mientras se realiza el montaje de la plataforma. A más a más, el freno actuará como fijación de la plataforma en un lugar concreto.

Las ruedas serán extraíbles, por lo que se fijaran a la estructura mediante un accesorio diseñado específicamente con la finalidad de facilitar su fijación y extracción. Dicho accesorio se planteará en el diseño al detalle.



Figura 24. Rueda con freno que puede ir colocada bajo la estructura mediante un accesorio.

#### ■ Guías para transporte mediante carretilla elevadora.

Fijas a la estructura del módulo, van dos guías para que mediante una carretilla elevadora se pueda transportar estructuras en el interior de la planta donde se esté realizando el montaje. Como ejemplo, las guías pueden ser dos tubos soldados en una de las bases de la estructura cúbica, en los que entran las palas de la carretilla elevadora.

#### ■ Cáncamos para transporte mediante puente grúa.

Un mecanismo sencillo y que puede aportar rapidez al montaje es colocar cáncamos en la parte superior de la estructura. Esto facilitaría el transporte de varios módulos unidos a la vez en caso de tener la plataforma ya montada, y también sería útil para colocar los módulos uno a uno con ayuda de dos operarios. Este mecanismo precisa de un puente grúa para realizar el transporte en el interior de naves o tratándose de un montaje exterior, se precisaría de una grúa móvil.



Figura 25. Cáncamo usado en transporte mediante grúa.

### **3.1.5. Ensamblabilidad.**

Se entiende por ensamblabilidad la capacidad de un conjunto de piezas de ser montadas con una determinada facilidad. En este caso, la ensamblabilidad afecta a la facilidad con la que los módulos pueden ser montados con rapidez y seguridad al mismo tiempo para formar la plataforma.

La facilidad en el ensamblaje vendrá determinada por los elementos utilizados en las uniones de los módulos y también por los elementos que se han definido en el punto 3.1.4., transportabilidad en planta. Posteriormente, en el diseño al detalle, se diseñará un método de unión para los módulos, y se definirá un método de montaje en base a los elementos de los que se disponga.

### **3.1.6. Apilabilidad.**

La apilabilidad hace referencia a la capacidad de un objeto de poder ser almacenado en contacto con otros iguales, reduciendo el espacio de almacenamiento necesario. De esta manera, el almacenaje de módulos no utilizados en pilas será un gran aliciente en caso de que el cliente necesite un gran número de módulos para formar plataformas pero a su vez precise de espacio en la nave.

Al igual que con la modularidad, se ha dado gran importancia a la apilabilidad ya que es una característica que diferencia la solución que se quiere adoptar del resto de soluciones. Como ejemplo, en el caso de que el cliente disponga de naves con plataformas cuyo diseño es único y no desmontable ya que solo se utiliza para un tipo de aeronave, no se podrá dar otro uso a la nave a corto término. Al tener plataformas compuestas por módulos que son apilables, se pueden desmontar todas las plataformas y almacenar los módulos de manera que el espacio central de trabajo se puede dedicar a otra finalidad. A más a más, la posibilidad que aportan los módulos de realizar distintas configuraciones de plataforma hacen que un almacenaje óptimo sea una necesidad.

Para apilar los módulos, la geometría de la estructura debe tener una forma que facilite la inserción de un módulo en el interior de otro o que facilite el posicionamiento de un módulo sobre otro reduciendo al máximo el espacio. Actualmente, la estructura con la que se está trabajando es el cubo de 2 metros de arista exterior, cuya geometría es apilable pero el espacio que ocupan dos estructuras apiladas es el mismo que por separado. Por ello se propone adaptar la forma de la estructura de manera que se cubran las dimensiones requeridas anteriormente, de 2 metros en alto y 2 metros en ancho, pero a que a su vez

facilite la posibilidad de almacenaje.

Partiendo del diseño cúbico se estudian diferentes formas para seleccionar cual es la que se adapta mejor a los requisitos del diseño a la vez que presenta una menor complejidad estructural.

### 3.1.6.1. Primera forma: “taburete”.

La primera forma se basa en la manera de apilar más común, la de una pila de taburetes. De este modo se puede componer una estructura compuesta por una base de 2x2m i cuatro columnas de 2m de largo, con lo que se estaría cubriendo las dimensiones del cubo requerido de la manera más sencilla posible.

A continuación, en la *Figura 26*, se puede observar un croquis hecho a mano alzada para un análisis preliminar de la funcionalidad de la estructura. Las patas a columnas de la estructura, son dos barras unidas de forma triangular con una placa en su unión soldada para apoyar en su asentamiento. La base está formada por 8 tubos, 4 largos que coinciden con las aristas del cubo y 4 cortos que unen los anteriores y forman el triángulo con los tubos de las patas.



Figura 26. Taburetes con diseño apilable.

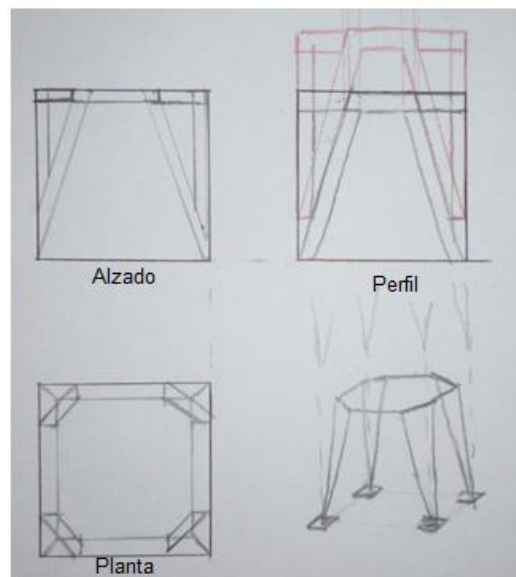


Figura 27. Croquis de diseño de estructura con forma “taburete”.

Las ventajas de esta forma son:

- **Facilidad en la fabricación;** se practican cortes simples en tubos de las bases i las columnas, y soldadura de cordón alrededor de uniones de tubos y en columnas con placas de apoyo.
- **Gran apilabilidad;** como se puede observar en la *Figura 27*, el espacio se reduce en gran cantidad al colocar un módulo sobre otro, aproximadamente en un 25% el espacio que supondría apilar dos cubos de 2x2x2m. En caso de apilar estructuras de dos en dos, tal y como se muestra en la *Figura 28*, se podría llegar a reducir el espacio casi en un 50% al apilar una estructura sobre la otra.



Figura 28. Método de apilamiento de la estructura "taburete".

Las desventajas de esta forma son:

- **Riesgo estructural;** en caso de colocar la estructura en la base de la plataforma, las patas triangulares de la estructura se podrían "abrir" al asentarse sobre el suelo ya que la Fuerza Normal del suelo actuaría con una componente a flexión sobre cada barra de las patas, y estas no están rígidamente conectadas entre los puntos de contacto con el suelo, por lo que los puntos tenderían a separarse si por ejemplo se colocan sobre ruedas.
- **Complejidad en la unión de módulos:** si los módulos se unen en los ejes X e Y, no existe complejidad al poder unir los tubos de las bases y los de las columnas que tocan entre sí. El problema viene cuando se montan tres módulos en Z, quedando las tres estructuras tal y como aparecen en la *Figura 29*. Se puede observar que las uniones entre los dos módulos superiores, que se da entre la unión de columnas, sufrirán un mayor desplazamiento ( $d$ ) hacia al exterior a causa de la aplicación de un esfuerzo a compresión ( $Q$ ) sobre las bases de las dos estructuras haciendo que, al igual que en el caso anteriormente mencionado, las puntas de las patas de cada módulo se separen. Por ello, la rigidez de la estructura con esta forma es cuestionable.

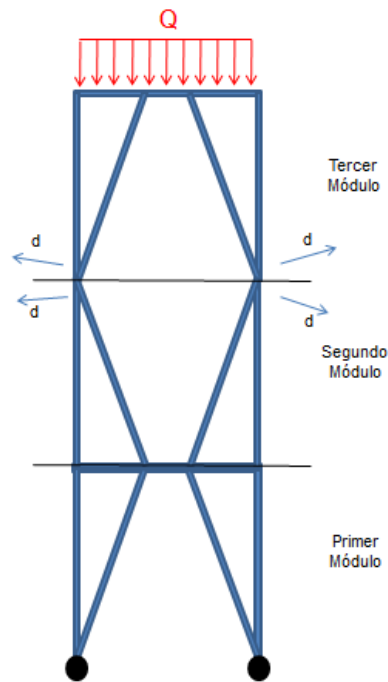


Figura 29. Esquema del caso de aplicación de carga en plataforma de tres pisos.

### 3.1.6.2. Segunda forma: “Triedros”.

La siguiente forma que se propone se basa en descomponer el cubo de arista 2 metros en subconjuntos que se ensamblan formando la estructura. Los subconjuntos son triedros que se agrupan tal y como se muestra en la *Figura 30*. Se trata de descomponer el módulo para reducir los espacios interiores de este y reducir las posibles colisiones o interferencias que se dan al tener estructuras cúbicas o prismáticas.

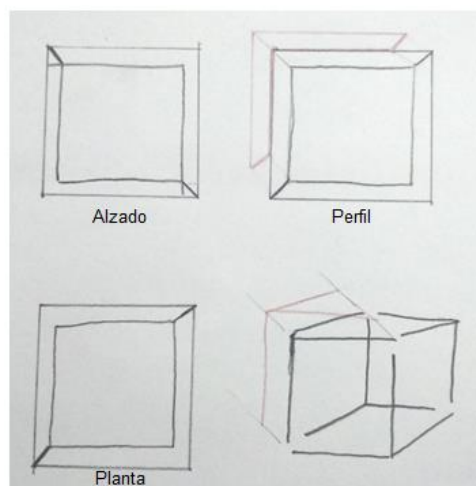


Figura 30. Croquis de diseño de estructura con forma de triedros.



Las ventajas de esta forma son:

- **Apilabilidad perfecta;** tal y como se ve en la *Figura 30*, los triedros son totalmente apilables uno sobre otro, por lo que se reduce notablemente el espacio de almacenaje de las estructuras.
- **Mayor rango de configuraciones;** aunque todavía no se ha analizado la estructura formada por triedros al detalle, es evidente que al ser desmontable en partes más pequeñas el número de configuraciones que se puede conseguir al formar plataformas es mayor que descomponiendo la plataforma en módulos cúbicos.

Las desventajas de esta forma son:

- **Dificultad en la unión de los triedros;** A mayor número de uniones mayor es el tiempo de ensamblaje de la estructura, lo que conlleva un alto coste en el montaje de las plataformas. A más a más, si todos los triedros parten de un mismo módulo, diseñar el mecanismo que asegure la unión de tres barras en un mismo punto sin que sea un accesorio aparte presentará una gran dificultad.
- **Riesgo estructural;** en el caso de utilizar un cubo compuesto por triedros en la base de la plataforma, al apoyar el montaje con cuatro ruedas sobre el suelo, los casos de carga serán diferentes para las ruedas montadas bajo la unión atornillada de tres barras que para las ruedas montadas bajo la unión soldada del triedro. Por lo tanto, la plataforma resultante podría tener una deformación asimétrica.

### 3.1.6.3. Tercera forma: “pirámide cortada”.

La última forma que se ha dado a la estructura es la de una pirámide cortada por la punta que se contendría dentro de un espacio cúbico de arista 2m. Tal y como se ve en la *Figura 29*, el hecho de dar inclinación a las columnas de la estructura hacia el interior y hacer la base superior más pequeña que la inferior hace que el módulo sea apilable colocando uno sobre el otro, quedando la base superior de la estructura dentro de la estructura que se apila encima.

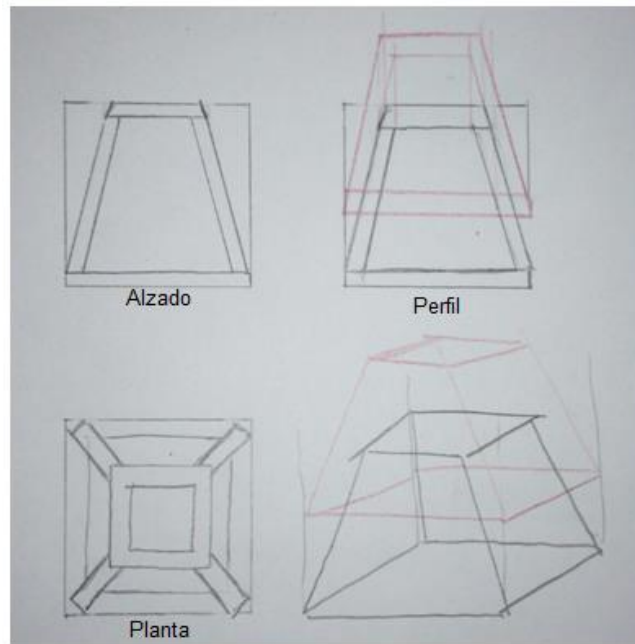


Figura 31. Croquis de diseño de estructura con forma de triedros.

Las ventajas de esta forma son:

- **Gran Apilabilidad;** presenta una forma parecida a la del primer caso y la manera en que se apilan se basa en un mismo criterio, que es que el punto de la columna en la base superior se encuentra más adentrado que el que se encuentra en la base inferior. Al apilar dos estructuras, se reduce en un 25% el espacio ocupado respecto a apilar dos cubos.
- **Estructura más rígida;** a diferencia que en el resto de casos, esta estructura consta de dos bases soldadas a columnas por lo que, si la carga aplicada sobre la base superior es vertical y uniforme, las columnas nunca se llegarían a separar sin que se hubiese deformado la base superior previamente. Aplicando este mismo caso de carga, para la primera forma se daría el colapso estructural antes al no existir retención entre la base de las columnas, y para la segunda forma costaría dimensionar las uniones atornilladas para que trabajasen exactamente que la uniones soldadas de los triedros. Se puede observar un esquema de los casos de carga y posible fallo de los tipos de estructura en la *Figura 31*.

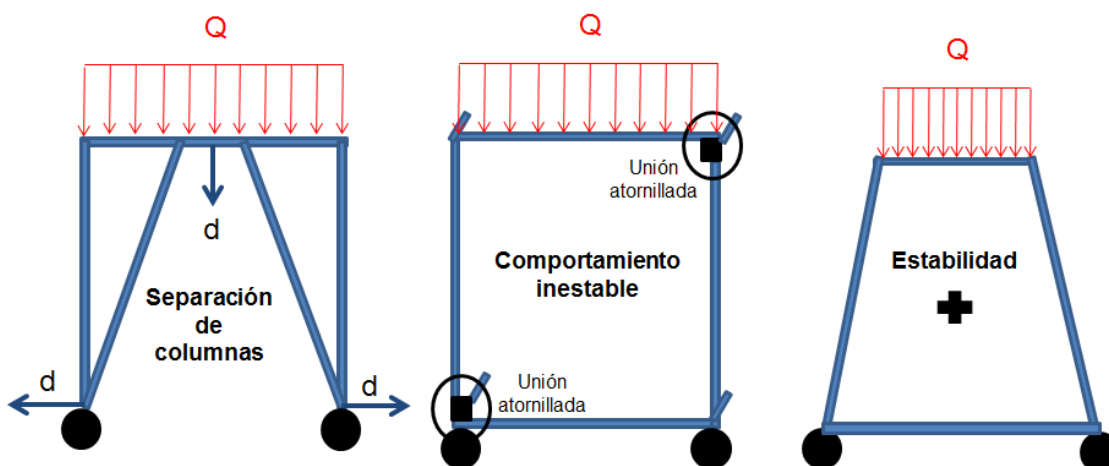


Figura 32. Esquema de los casos de aplicación de carga según la forma de la estructura.

- **Facilidad en diseño y fabricación;** la estructura brinda facilidad para realizar la unión de módulos en X, Y, y Z. A más a más, de facilitar el acoplamiento de elementos como ruedas, suelos, barandillas, etc.... Por otro lado, la fabricación es sencilla para la estructura base, compuesta por 8 tubos para las dos bases cortados en ángulos de 45 grados, y 4 columnas cortadas en un ángulo exacto y que se unen a las bases mediante soldadura de cordón.

**Para esta forma de estructura, se corrigen las desventajas que se habían encontrado para las formas anteriormente analizadas y se mantienen gran parte de las ventajas.**

**Por lo tanto, se escoge la tercera forma como modelo óptimo para el módulo.**

### 3.1.7. Transportabilidad en el subministro.

A diferencia de la transportabilidad en planta, que engloba a los métodos con los que los módulos se pueden mover en el interior de la nave donde se realiza el ensamblaje, la transportabilidad en el subministro engloba los métodos con los que los módulos se pueden transportar de una nave a otra.

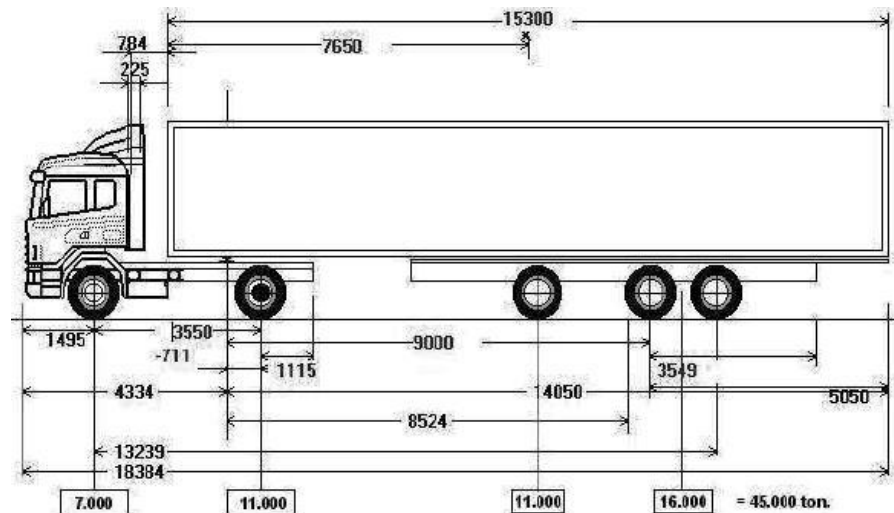


Figura 33. Perfil de un camión tráiler, normativa de transporte (medidas en mm).

Se da importancia a este tipo de requerimiento debido a la necesidad de distribuir de manera rápida módulos una vez se han fabricado y también debido a la necesidad del cliente de aprovechar módulos entre naves separadas por largas distancias. Para realizar el transporte se tienen en cuenta las dimensiones de un camión como el de la *Figura 33*, que se rige bajo la normativa de vehículos pesados para transporte. Para cubrir el reparto a clientes de manera eficiente se aprovecha la apilabilidad que presenta la estructura de la que se va a partir, tal y como se observa en la *Figura 34*. A más a más, la estructura del módulo se adapta perfectamente al ancho del contenedor del camión.

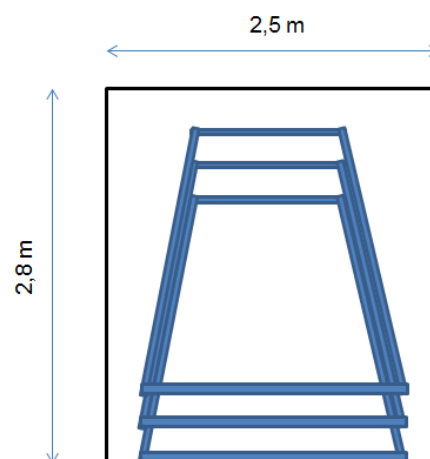


Figura 34. Alzado del contenedor con estructuras en el interior.

Combinando la *Figura 33* con la *Figura 34*, se puede observar que el número de módulos transportables en un mismo camión es de 18, suficiente para montar plataformas de 12

metros de altura por 6 metros de ancho y 4 de profundidad como ejemplo.

### 3.1.8. Seguridad.

Junto con la modularidad, que es la razón de ser del proyecto, la seguridad es el requerimiento más importante para que los módulos, y en sí mismo las plataformas, cumplan su función. Se fundamenta en el conjunto de elementos de la plataforma que garantizan el uso de la instalación sin que el operario pueda sufrir daño alguno.

Para el montaje y uso de los módulos o las plataformas se distinguen dos tipos de elementos de seguridad:

- Elementos de seguridad pasivos: buscan minimizar el daño sobre el operario una vez se ha producido el accidente. Los dispositivos que se utilizan no están englobados directamente en el diseño de la plataforma, pero sí se pueden introducir en un manual de usuario o una normativa propia de la plataforma. Entre estos elementos se encuentran los EPI, como casco, guantes de seguridad, botas con protección, gafas y otros más que hacen que el operario pueda montar y trabajar sobre la plataforma.
- Elementos de seguridad activos: buscan evitar o minimizar las posibilidades de que se produzcan accidentes. Obviando elementos como arneses y eslingas, estos dispositivos están directamente englobados en el diseño y, por lo tanto, son accesorios que se unen a los módulos para formar la totalidad de la plataforma.

Estos accesorios serán:

- Barandillas.
- Rodapiés y brocales.
- Recubrimientos de EVA o de Poliuretano.
- Cercados, barricadas y redes anti-caída.
- Cubiertas y suelos anti-deslizantes.
- Elementos visuales: paneles y carteles de seguridad, pintura resaltante.

Algunos de estos elementos se incorporan en el diseño de una plataforma tipo, de manera que se puedan montar en cualquier tipo de configuración. En la sección 3.3. Esquema de Diseño, se comentarán los elementos que se van a diseñar como accesorios a montar sobre los módulos.

### 3.2. Planteamiento de Prestaciones estructurales.

A partir de los requerimientos funcionales que anteriormente se han definido, se obtienen los datos necesarios para plantear unas prestaciones estructurales que la estructura deberá soportar.

El módulo a diseñar cumplirá con su función tanto en la parte superior de la plataforma como en la inferior, cargando con todo el peso de las estructuras superiores, accesorios, protecciones y operarios con herramientas. Para el cálculo posterior de la carga crítica que soportan los módulos situados en la base, se tendrán en cuenta los siguientes componentes:

- Estructuras superiores.
- Escaleras, con sus respectivas barandillas y escalones.
- Barandillas de protección situadas en cada piso de la plataforma.
- Rodapiés situados en cada piso de la plataforma.
- Suelos montados en cada piso.
- Operarios realizando su trabajo sobre la plataforma.
- Otros elementos: herramientas del operario, equipos de protección, tornillería de uniones...

Para determinar el peso de cada uno de estos elementos es necesario realizar un diseño en base a la normativa aplicada para elementos de protección como barandillas y rodapiés, y en base a normativa de accesos a zonas de trabajo para escaleras. Para elementos como la estructura y el suelo, es necesario recurrir a normativa de trabajo en altura sobre andamios y plataformas para saber cargas máximas de trabajo por piso, número de operarios por piso y otros factores que afecten al peso del módulo en sí. A más a más se tienen en cuenta el requerimiento analizado en el punto 3.1.2. Adaptabilidad a las dimensiones de aeronaves para saber la altura máxima que alcanzará la plataforma, añadiendo más o menos peso según el número de módulos necesarios para llegar a tal altura.

Acto seguido se realiza una introducción a la normativa aplicable a todos los elementos anteriormente nombrados, que permitirá ahondar en el análisis estructural una vez se realice el diseño al detalle.

### 3.3. Normativa aplicable.

Para el diseño e instalación de plataformas existen unas normativas aplicables que rigen por la estabilidad estructural y la seguridad durante el tiempo que el operario está realizando su

tarea.

### 3.3.1. Normativa aplicable a seguridad, ergonomía y salud.

La normativa que incide en los campos de seguridad, ergonomía y salud se centra en definir las condiciones en las que el operario debe trabajar para garantizar que realiza su trabajo con el mínimo riesgo de sufrir un accidente, incidiendo en las dimensiones de elementos de seguridad y en la facilidad con la que se accede a zonas de trabajo. Las principales normas en el ámbito europeo y español son:

- *Norma UNE-EN-ISO 14122 “Seguridad de las máquinas. Medios de acceso permanente a máquinas e instalaciones industriales.”*, en esta norma se definen los usos y dimensiones de los accesorios de protección que van montados sobre la estructura, barandillas y rodapiés, y también se definen los conceptos y dimensiones aplicables a escaleras en instalaciones industriales. Esta normativa comprende la estandarización en el marco español y europeo.
- *Directiva Europea 89/654/ CEE de 30 de Noviembre “Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.”* Esta normativa hace referencia a las dimensiones críticas de los elementos de protección a la vez que se tiene en cuenta la ergonomía que implica su instalación en zonas de trabajo. Normativa de ámbito europeo.
- *REAL DECRETO 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, “Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura.”* Con este decreto se adapta la directiva europea anterior al marco español.

La normativa referente a elementos de seguridad con la que se va a trabajar es la primera, la *Norma UNE-EN-ISO 14122*, para englobar el número máximo de países posibles a nivel europeo en los que se podría realizar una comercialización.

### 3.3.2. Normativa aplicable a elementos estructurales.

Por otro lado, también existe normativa que enmarca las prestaciones y patrones de diseño a los que deben estar sometidas las estructuras de andamios y plataformas de trabajo en altura. Con estas normativas se definen las condiciones críticas que deben soportar las estructuras en su diseño, de esta manera se asegura la rigidez y estabilidad de la plataforma en todo su rango de trabajo. A nivel europeo y español, las normas más importantes son:

- *NTP 695: Torres de trabajo móviles (I): normas constructivas.* Las NTP son guías de buenas prácticas que deben ser obligatoriamente aplicadas en caso de estar recogidas en una norma vigente. En este caso, la NTP 695 está contemplada en el RD 2177/2004 anteriormente mencionado. Esta primera norma contiene los riesgos y los factores de riesgo, sus causas y las medidas de prevención y protección relacionadas con las normas constructivas y de estabilidad.
- *NTP 696: Torres de trabajo móviles (II): montaje y utilización.* Esta NTP es una continuación de la anterior, y en ella se establecen las recomendaciones de montaje y desmontaje de las torres de trabajo móviles, su utilización y su mantenimiento.

Para realizar el diseño al detalle, mediante análisis estructurales y dimensionamiento adecuado, se tendrán en cuenta estas dos NTP ya que están contenidas en la normativa vigente de seguridad y salud del marco europeo. Así se facilita que el diseño sea apto para una posible introducción en el mercado a nivel europeo.

### **3.4. Implementación en 3D de un primer diseño conceptual.**

A partir de los requerimientos que se han establecido para el diseño del módulo y sus accesorios, y teniendo en cuenta las prestaciones a soportar por la plataforma, se procede al diseño de los componentes mediante software CAD. En el nivel actual del diseño, preliminar, se realiza un 3D de manera esquemática en el que se desarrolla la idea inicial del proyecto y se analiza la posible solución a adoptar en todos los accesorios y elementos necesarios para satisfacer los requerimientos, observando a grandes rasgos si la solución se puede implementar o no.

El software utilizado para el diseño 3D es el programa CATIA V5, una de las herramientas más potentes del mercado para el diseño de proyectos enfocados a mecánica, estructuras y materiales. Este programa brinda la posibilidad de generar todo tipo de documentación relacionada con el proyecto a partir del 3D del diseño: listas de materiales, planos, informes de cálculo y gestión PLM.

Para analizar el 3D de manera esquemática y estudiar la funcionalidad que presenta cada elemento, se va a separar en grupos según el tipo de accesorio y la función que cumple en la plataforma.

#### **3.4.1. Grupo I: Estructura base.**

Este grupo se centra en el diseño de la estructura, que es la base de los módulos que



forman la plataforma. Tal y como se ha decidido anteriormente, la estructura tiene forma de pirámide cortada y contenida dentro de un espacio cúbico de 2 metros de arista.

La estructura está formada por una base mayor, una base menor y cuatro columnas, todos estos elementos van soldados entre ellos mediante cordón. Tanto las columnas como las bases están formadas por tubos de sección rectangular, que dan versatilidad para ensamblar y montar accesorios en X, Y, Z sin la complejidad de otros perfiles como vigas normalizadas o perfiles redondos.

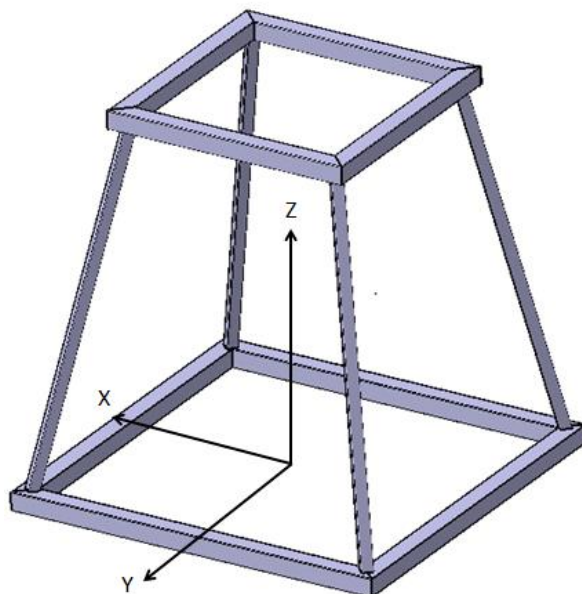


Figura 35. Vista 3D de la estructura base del módulo.

Esta estructura va a trabajar mayormente a compresión, entre la carga que se le aplica sobre el piso y la reacción del suelo contra las ruedas o de los anclajes a estructuras inferiores. Por ello, las columnas juegan un papel importante en la integridad estructural ya que soportarán toda la carga aplicada sobre el piso trabajando a pandeo y flexión ya que se encuentran inclinadas. Las bases de la estructura favorecen a la rigidez de las columnas, minimizando los efectos de la carga en el esfuerzo a flexión.

En el diseño al detalle se analizarán y diseñarán los mecanismos de unión entre estructuras de módulos diferentes en X, Y, Z, que permitirán hacer crecer la plataforma en todas direcciones de manera universal. Es obvio que para unir las estructuras en X e Y se podrá hacer indiferentemente de la orientación que tengan estos ejes de la estructura, para cada 90°. En el caso de unir en el eje Z, las bases deberán estar orientadas de manera que coincidan los cuadrados que las forman; una base inferior se unirá a otra base inferior y lo mismo pasará con las bases superiores, tal y como se puede observar en la Figura 36.

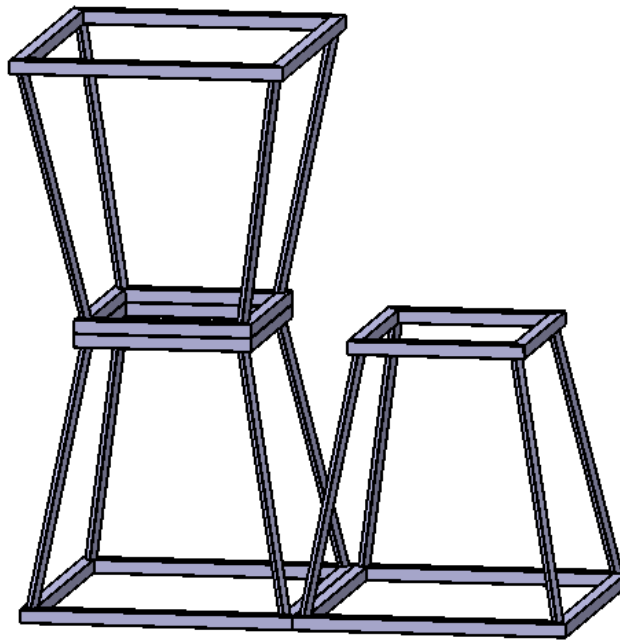


Figura 36. Vista de las posibilidades de unión entre estructuras.

En todo momento se tiene en cuenta que la base mayor es la que va en contacto al suelo para asegurar la estabilidad de la plataforma en condiciones que puedan provocar el vuelco.

### 3.4.2. Grupo II: Accesorio de movilidad con ruedas.

Este grupo engloba los elementos que capacitan a la plataforma para que pueda ser transportada en el interior de la nave donde se realiza el trabajo. Obviamente, el grupo está formado por las ruedas y los mecanismos de acoplamiento a la estructura base.

Con un accesorio especialmente diseñado para ser acoplado en la estructura se facilita el montaje de la plataforma. Este accesorio llevará montada la rueda para evitar cualquier manipulación y se unirá directamente a la estructura mediante un mecanismo de acoplamiento diseñado para que el operario realice su ensamblaje lo más rápido posible y de manera sencilla. En la *Figura 37* se observa posible diseño del accesorio o pieza que se acopla a la estructura y que a su vez lleva la rueda fija para evitar demoras en el montaje. Cabe destacar que en el diseño al detalle de este grupo se seleccionarán los parámetros de trabajo o prestaciones a los que está sometido, como por ejemplo la carga máxima a soportar por cada rueda, la manera en que se unirá el accesorio a la estructura y qué configuraciones se pueden adoptar en caso de que haya una unión de dos módulos y se deba colocar una rueda debajo.

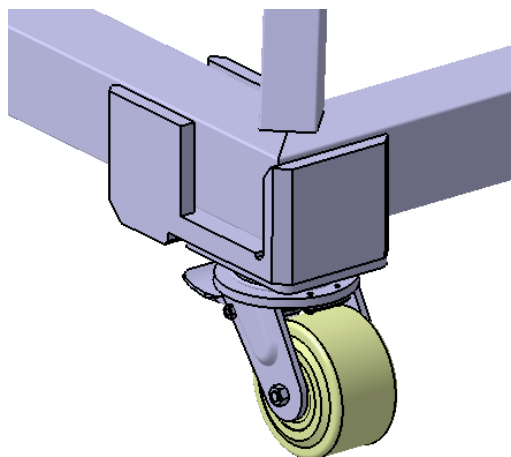


Figura 37. Vista de una posible solución para la movilidad de la plataforma.

### 3.4.3. Grupo III: Escaleras de acceso entre pisos.

Una vez se juntan dos módulos formando dos pisos, es necesario colocar una escalera para acceder de uno a otro de forma rápida y cómoda. Si bien se podría colocar una escalera vertical hecha de barras, es preferible montar una escalera con peldaños y lo suficientemente ancha para que el operario pueda llevar herramientas y material pesado de un piso a otro con seguridad y facilidad.

Como la plataforma puede crecer tanto en X como en Y, la escalera debe poderse montar tanto de lado como frontalmente según la configuración que tenga la plataforma. Se puede observar en la Figura 36 las dos maneras en que la escalera se debe poder montar por tal de adaptarse a un montaje universal.

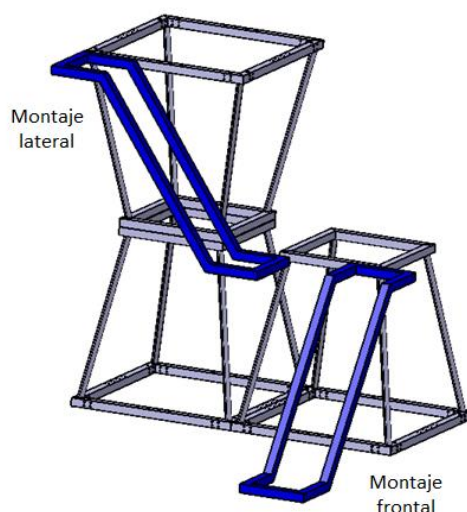


Figura 38. Vista de las posibilidades de ensamblaje de escaleras.

#### 3.4.4. Grupo IV: Suelo.

El suelo de las plataformas está hecho normalmente de chapa damero sujeta por una estructura que se ensambla a la estructura. La estructura del suelo debe ser lo suficientemente rígida para que el trabajo sobre ella se haga con normalidad.

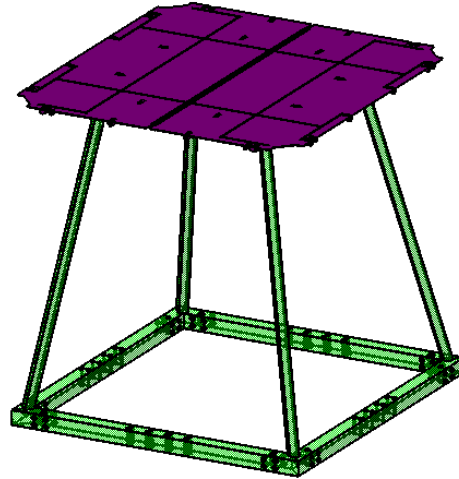


Figura 39. Montaje del suelo sobre la estructura modular.

#### 3.4.5. Grupo V: Elementos de seguridad.

Los elementos esenciales que forman parte de la plataforma y a su vez garantizan la protección del operario ante caídas o desprendimiento de material son las barandillas y los rodapiés.

El número de rodapiés y barandillas por cada módulo, poniendo que cada módulo es una sola plataforma, es de 4 piezas para cada uno. Esto implica que si se montan plataformas de diferentes niveles y superficies en los que el operario va a trabajar, el número de elementos de seguridad incrementará notoriamente, y un diseño poco intuitivo o demasiado simple puede llevar a que el operario pierda tiempo en el ensamblaje.

Para ello, se debe diseñar un conjunto que reúna estos elementos de manera que realizando un sencillo ensamblaje se adhieran a la plataforma de manera rápida y segura. Por otro lado, es importante tener presente que el diseño se adapta a la normativa anteriormente mencionada.

## 4. Diseño de prototipo.

A partir del planteamiento que se ha hecho en el diseño conceptual, en el diseño de prototipo se definen los parámetros finales de la estructura modular y sus accesorios, a partir del análisis de los materiales que se van a utilizar, de cálculos analíticos de aquellas partes de la plataforma que puedan presentar criticidad en condiciones normales de trabajo, y de la aplicación de la normativa vigente.

Al realizar un diseño de prototipo, los parámetros de diseño son menos restrictivos que en un diseño de detalle. La finalidad con la que se realizan los prototipos es la de realizar un análisis general del diseño y su comportamiento para así cuantificar en qué rango de condiciones puede trabajar la estructura y sus accesorios, para posteriormente realizar un diseño con mayor detalle enfocado a la comercialización y uso.

En algunos casos de análisis que se realizan durante el diseño de prototipo sería necesario realizar un ensayo de cualidades para asegurar los resultados y garantizar que en un futuro diseño de detalle se cumplen las rigurosidades comunes de una comercialización.

### 4.1. Análisis de prestaciones del Grupo I: estructura base.

Una vez hecho un dimensionamiento previo de la estructura, es necesario recurrir al análisis de prestaciones para saber cuáles son las condiciones de trabajo que se van a dar con normalidad y cuáles son las situaciones límite que la estructura modular debe ser capaz de soportar.

#### 4.1.1. Materiales usados en estructuras de plataformas.

Para la construcción de estructuras de plataformas utilizadas en hangares y en naves de ensamblaje se utilizan los dos tipos de material más comunes en la industria mecánica: el acero y el aluminio.

- El Acero permite construir estructuras:
  - o con alta capacidad de carga,
  - o capacidad a soportar impactos,
  - o y una fabricación sencilla.
- El Aluminio permite construir estructuras:
  - o con alta capacidad de movilidad,

- bajo peso que implica montaje rápido,
- y alta resistencia a corrosión.

En el caso que concierne, el aluminio es un gran candidato para utilizar como material de la estructura ya que aseguraría un perfecto cumplimiento de requerimientos como la facilidad en el transporte, un montaje rápido y una alta capacidad de movilidad gracias a su baja densidad que implicaría un almacenaje rápido.

Aunque el aluminio asegura la satisfacción de ciertos requisitos funcionales, el acero es el material que se va a utilizar para realizar un primer análisis estructural debido a las dimensiones que las plataformas deben cumplir en altura según el estudio que se ha realizado en el punto 3.1.2. Adaptación de dimensiones a la aeronave. A más a más, el hecho de utilizar acero no implica que el resto de requerimientos analizados en el capítulo 3 no se vayan a cumplir.

#### **4.1.1.1. Aceros al carbono.**

Concretamente para la estructura, se va a utilizar acero al carbono o de construcción que, como su nombre bien indica, se utiliza para la fabricación de estructuras. Los valores que se van a tomar de las principales características mecánicas del acero y que posteriormente se usarán para realizar los primeros cálculos son:

- Densidad:  $\rho=7860 \text{ kg/m}^3$
- Módulo de Elasticidad:  $E=210000 \text{ MPa}$
- Módulo de Cortante:  $G=81000 \text{ MPa}$
- Relación de Poisson:  $\nu=0,3$

Existe una amplia gama de aceros utilizados para construcción, y se ordenan por el valor de su límite elástico  $\sigma_y$ . En la tabla 2 se pueden observar diferentes tipos de aceros no aleados comúnmente usados en la construcción junto a sus límites elásticos, y en la tabla 3 aparecen el resto de aceros al carbono más utilizados en la construcción.

Tabla 2. Límite elástico y Resistencia a la tracción de aceros estructurales no aleados.

Grado de designación del Acero		Resistencia a la tracción $\sigma_t$ (MPa)	Límite elástico $\sigma_y$ (MPa)
Nombre corto	Número de Material		
S185	1.0035	540	185
S235	1.0036	510	235
S275	1.0038	580	275
E295	1.0050	660	295
E335	1.0060	770	335
S355	1.0570	680	355
E360	1.0070	900	360

Tabla 3. Límite elástico y Resistencia a la tracción de aceros de construcción.

Grado de designación del Acero		Resistencia a la tracción $\sigma_t$ (MPa)	Límite elástico $\sigma_y$ (MPa)
Nombre corto	Número de Material		
C22	1.0402	650	340
C25	1.0406	700	370
C30	1.0520	750	400
C35	1.0501	780	430
C40	1.0511	800	460
C45	1.0503	850	490
C50	1.0540	900	520

La diferencia entre los aceros de la Tabla 2 y los de la Tabla 3 es que los primeros son aceros ordinarios y los segundos son aceros especiales que contienen elementos químicos en bajas proporciones que alteran sus propiedades mecánicas y físicas.

La utilización de los aceros no aleados se da en partes estructurales donde la resistencia a la dureza no sea tan importante como su ductilidad, y el esfuerzo a tracción no sea crítico. Por ejemplo, se podría usar en las columnas de la estructura, donde la ralladura de una cara es insignificante al lado del apoyo de una carga de forma transversal que, en caso de ser un material poco dúctil, provocaría una fractura y el colapso de la plataforma.

Por otro lado, la utilización de los aceros especiales se da en partes donde la resistencia a esfuerzos de contacto es primaria a la vez que se asegura la consistencia estructural, como por ejemplo uniones de escaleras, uniones de ruedas a la estructura.

### ■ Tratamientos térmicos

Para los aceros no aleados no es recomendable realizar tratamientos térmicos a partir de grosores consistentes ya que presentan muy poca penetrabilidad debido al bajo contenido de carbono (15%-30%). Solo se recomienda realizar tratamientos de alivio de tensiones.

Para los aceros especiales se suelen realizar tratamientos de templado y revenido para favorecer al incremento del módulo de Young del material y por consiguiente al alargamiento elástico.

Se realizarán tratamientos térmicos en aquellas partes de la plataforma que trabajen bajo un esfuerzo de tracción a la vez que sufren esfuerzo de contacto o desgaste, esencialmente formadas por aceros especiales.

### ■ Tratamientos superficiales

Para evitar la corrosión y oxidación, se lleva a cabo un tratamiento superficial sobre la estructura que garantiza un buen acabado tras la fabricación y durante el uso de la plataforma en operaciones con fluidos corrosivos o en ambientes húmedos. Los que se aplican comúnmente son:

- **Cincado:** es el recubrimiento de una pieza de metal con un baño de zinc para protegerla de la oxidación y de la corrosión, mejorando además su aspecto visual.
- **Pavonado:** consiste en la generación de una capa superficial de magnetita, óxido ferroso-diférrico ( $Fe_3O_4$ ), alrededor de las piezas de acero para mejorar su aspecto y evitar su corrosión.
- **Pintura:** consiste en la aplicación de una primera capa de pintura anticorrosiva, que evita la oxidación y la corrosión a causa del ambiente, seguida de otra capa de pintura para dar un acabado esmaltado.

Se hace el cincado sobre superficies de piezas que precisen una alta resistencia al desgaste superficial pero que a su vez deben mantener un buen aspecto visual. Estas partes pueden ser escalones, barandillas, y elementos que se usen como piezas de "marketing" al ser un diseño característico del proyecto.



El pavonado se hace sobre la superficie de piezas de tornillería y otros componentes que trabajen haciendo un gran esfuerzo de unión o desgaste de grosores pequeños, como serán las partes que unan los módulos entre sí, los aprietes de los accesorios de movilidad y las piezas que contacten en la unión de accesorios como escaleras o suelos.

La pintura se aplicará sobre toda la estructura modular debido a la rapidez con la que se hace este proceso sobre piezas de gran tamaño. A más a más, al tener gran número de piezas que no sufren contacto con otras, la pintura no sufrirá desgaste y por lo tanto, solo se debe guardar de fluidos corrosivos y de la humedad.

#### 4.1.2. Solicitaciones estructurales: condiciones de trabajo de la estructura.

Una vez escogido el material que se utiliza en el diseño de la estructura, se procede a definir las condiciones críticas de trabajo de la estructura.

Se proponen como condiciones críticas de diseño aquellas bajo las que trabaja el módulo de la base de una torre, cuya altura es la máxima solicitada dentro de los requerimientos del proyecto. Como altura máxima a cubrir se toma el largo del VTP del A380 y por lo tanto, se necesitan 6 módulos para llegar a tal altura, se puede ver en la Figura 17 de la página 25. Por lo tanto, el caso más crítico a analizar es el de una torre de 12,5 metros de altura, 2 metros de ancho y 2 metros de profundidad tal y como se puede observar en la *Figura 40*.

La altura de esta torre implica que la estructura que se encuentra en el piso inferior sufre el peso de todos los pisos que hay encima. A parte de todas las estructuras modulares, también es preciso tener en cuenta el peso de elementos de protección, de escaleras, de suelos y de operarios con herramientas. Estos se definen a continuación alrededor de unas medidas estándar y cantidades adecuadas a cada piso.

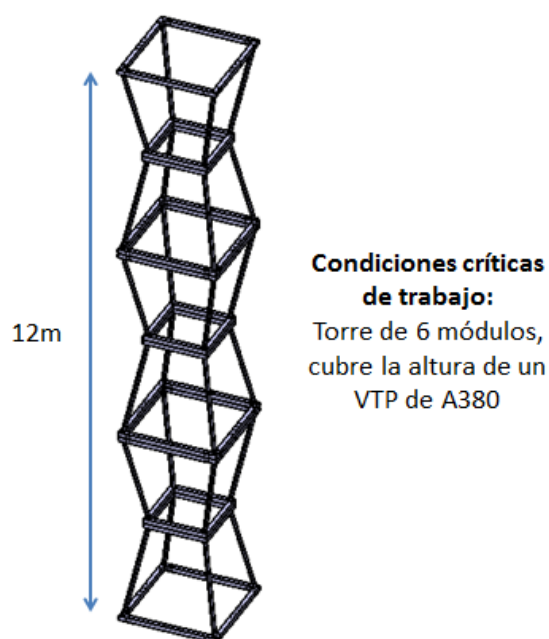


Figura 40. Caso crítico de trabajo de la estructura modular.

#### 4.1.2.1. Elementos a incluir en el caso límite de cargas.

- **Carga del peso del operario:** 90kg ( 1 unidades por piso)
  - o Peso Medio: 80kg
  - o Peso de elementos de protección individual (EPI's): 5kg
  - o Peso de herramientas del operario: 5kg
- **Carga del peso de elementos de protección.**

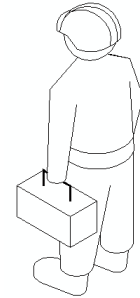


Figura 41. Unidad de operario con EPI's y herramientas de trabajo.

Se hace una estimación del peso de las barandillas y rodapiés basándose en las dimensiones que se deben cubrir en el módulo y la que exige la normativa. Es necesario precisar que posteriormente, en el detalle de cada grupo diseñado, se explicarán los parámetros a cubrir por normativa.

- o **Peso de la barandilla:** 15 kg (6 unidades por piso)

-Material: Aluminio  
( $\rho=2780\text{kg/m}^3$ )

-Dimensiones, teniendo en cuenta las alturas a respetar según la *Figura 42*, y los siguientes datos:

-Tubo de pasamano:  $\varnothing 30\text{mm}$ , 3mm grosor.

-Tubo de columnas, travesía:  $\varnothing 20\text{mm}$ , 3mm grosor.

-Longitud a cubrir: 2 metros

- o **Peso del rodapié:** 8 kg (6 unidades por piso)

-Como se observa en la *Figura 42*, debe cubrir una altura de 100mm. Se supondrá 150 para mayor seguridad. Grosor 10mm.

-Longitud a cubrir: 2 metros.

- **Carga del peso de escalera:** 200kg (1 unidad por piso)

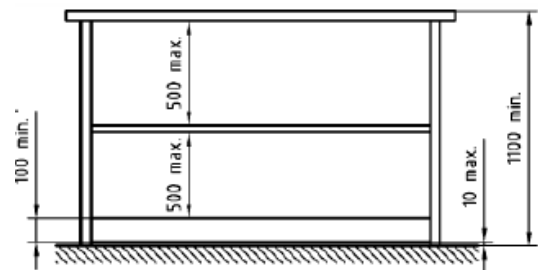


Figura 42. Dimensiones de escalera y rodapié según normativa vigente.

- Material: Acero ( $\rho=7850\text{kg/m}^3$ )
- Con una Inclinación de  $45^\circ$ , altura de 2 metros y anchura de 0,6m.
- 10 escalones de  $0,6 \times 0,2 \times 0,02\text{m}$ .
- 1 tubo de  $40 \times 40\text{mm}$  y 3mm de grosor por escalón. 2 Tubos laterales de  $40 \times 80\text{mm}$  3 mm de grosor. Longitud de 2,5m.
- Las barandillas de la escalera se tienen en cuenta en la carga de elementos de protección.
- **Carga del peso del suelo:** 60kg (1 unidad por piso)
  - Material: Suelo de chapa damero con relieve, aluminio. ( $\rho=2780\text{kg/m}^3$ )
  - Superficie de  $2 \times 2\text{m}$  y grosor de 3mm.
- **Carga del peso de elementos de trabajo:** 110kg
  - Mesas: En este caso se define para la mitad del ancho y largo de una plataforma, y fabricada en Aluminio. (Peso aproximado: 20 kg)
  - Ordenadores: Se define la carga de un PC. (Peso aproximado: 5kg)
  - Equipos de control: Se define como equipos de control los mandos y paneles que forman parte del equipo de trabajo del operario para activar tareas a distancia, mover grúas, desplazar torres y otros tipos de control de automatismos (Peso aproximado: 10kg)
  - Herramientas: Taladro, remachador, pistolas de aire... Dependiendo de qué tipo de herramienta se trate el peso puede variar en gran medida. Por ello se define el peso máximo que debería soportar un operario al aguantar una herramienta definida en la normativa de seguridad y salud laboral vigente, que es de 25kg, Suponiendo que se realizan un máximo de 1 operación por cada dos módulos en vertical, habrá 3 equipos sobre la plataforma torre. (Peso aproximado:  $25 \times 3 = 75\text{kg}$ ).

Además de todos los elementos mencionados, para realizar un cálculo previo de las solicitaciones a las que se somete la estructura se debe conocer el peso de los módulos para aplicar la carga total de los 5 pisos superiores como condición de contorno.

Para el dimensionamiento previo de la estructura se puede partir de dos hipótesis:

- Se conoce la geometría y a partir de los cálculos se define el material
- Se conoce el material y a partir de los cálculos se define la geometría

En este caso se parte de la geometría para decidir posteriormente el material, ya que se va a trabajar con software de diseño 3D para implementar los cálculos y es necesario que se genere la estructura. Por otro lado, aunque primero se define una geometría y a partir de un primer cálculo se define el material, se puede iterar para cambiar los dos parámetros después de pasos.

#### 4.1.2.2. Geometría de la estructura modular.

La estructura modular se divide en tres partes y cada una está formada por un tipo de tubo:

- **Base Inferior:** 4 tubos de sección 100x100mm, 3mm de grosor, 2000mm de longitud.
- **Base Superior:** 4 tubos de sección 100x100mm, 3mm de grosor, 1300mm de longitud.
- **Columnas:** 4 tubos de sección 80x80mm, 3mm de grosor, 1900mm de longitud con inclinación de 75°.

Tal y como se ha definido en la sección 4.1.1. *Materiales usados en la plataforma*, el material de la estructura es el acero. La geometría descrita se genera mediante el software de diseño 3D CATIA V5 con el que, aplicando el material y en base al volumen de la estructura, permite calcular el peso resultante. **Peso de la estructura modular: 550kg.**

#### 4.1.2.3. Condiciones de contorno

Una vez definidas las cargas de los elementos que forman parte del sistema, se pueden definir las condiciones de contorno de la estructura en la situación más crítica de trabajo.

En la Tabla 4 se hace un resumen de las cargas que afectan a la estructura del piso inferior, junto con el cálculo de la carga total.

Tabla 4. Valores de masa aportada por los elementos al caso de carga.

Elemento	Masa(kg)	Unidades	Total(kg)
Operario	90	6	540
Barandilla	15	36	540
Rodapiés	8	36	288
Escalera	200	6	1200
Suelo	60	6	360
Estructura	550	5	2750
<b>Total</b>			<b>5678</b>

Por lo tanto, se puede deducir el valor de la carga a soportar por el primer módulo de la estructura:

- **Carga sobre el módulo base:** 55701,18N.

Para la aplicación de casos de carga en el diseño, se suele definir por normativa los  $N/m^2$  que debe ser capaz de soportar el piso. El valor que se da por la normativa para el diseño de plataformas y torres formadas por elementos prefabricados es de  $2kN/m^2$  de carga repartida sobre la superficie de aplicación de carga en el piso. El valor que se obtiene al repartir la carga sobre el módulo de la base de  $4m^2$  que tiene el suelo del primer piso es de  $13,9kN/m^2$ , un valor que no tiene nada que ver con el de la normativa ya que en este caso se está teniendo en cuenta todo el peso estructural que queda por encima del primer piso.

Por ello, el caso de carga aplicado según la normativa es totalmente diferente del que se va a aplicar para el diseño de la estructura, que es mucho más restrictivo.

No obstante, al ir todo el peso de la estructura apoyado directamente sobre la superficie de los tubos de las bases el caso de carga será el aplicado en la *Figura 43*. Se repartirá el Peso de los 5 pisos superiores con sus elementos sobre la superficie de la base superior.

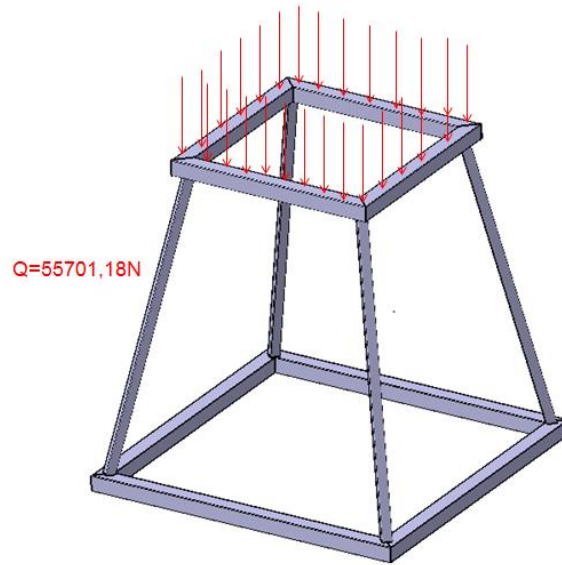


Figura 43. Esquema de aplicación de carga sobre la superficie superior de la estructura.

Una vez seleccionada la carga y como se va a repartir sobre la estructura, es necesario seleccionar los anclajes del sistema.

- **Fijaciones de la estructura al entorno.**

Condición de contorno necesaria para realizar el cálculo sobre la estructura. Anteriormente en el diseño preliminar se ha definido un grupo del módulo como accesorio de movilidad mediante ruedas. Haciendo la suposición de que las ruedas instaladas bajo la torre constan de freno, se definen las ruedas como los apoyos de la estructura sobre el suelo. Será necesario seleccionar ruedas acordes al peso de la plataforma, pero esto se hará más adelante cuando se analice el grupo de movilidad al detalle.

Por lo tanto, la fijación de la estructura se hará en la superficie que se encuentra en contacto con las placas de soporte de las ruedas. Se define una superficie de apoyo cuadrada de 100x100mm que cubre cada una de las superficies inferiores de las esquinas y se les da el grosor de las placas soporte de rueda, que suele estar alrededor de los 10mm.

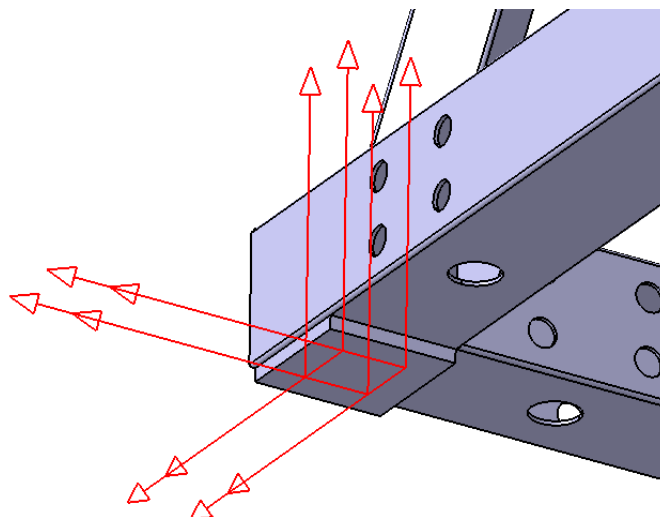


Figura 44. Esquema de fijación de la estructura en las placas de soporte de las ruedas.

Se puede observar en la *Figura 44* el esquema de fijación de la estructura. Como restricciones de esta superficie de apoyo, se fijaran:

- **Translación** sobre ejes X, Y, Z **fija**.
- **Rotación** alrededor de ejes X, Y, Z **libre**.

Así se asegura el mismo comportamiento que el de una torre encastrada en el suelo.

#### 4.1.3. Análisis estático de la estructura mediante CATIA V5.

A continuación se procede a analizar el comportamiento de la estructura bajo las condiciones de contorno anteriormente mencionadas. Para ello se va a usar el programa de diseño CATIA V5, concretamente el módulo Generative Stress Analysis. Este programa permite realizar tanto el pre-proceso como el post-proceso del cálculo: genera unos resultados mediante el Método de Elementos Finitos (**FEM**), a partir de la introducción de las condiciones de contorno y la aplicación de un mallado sobre la pieza a analizar.

##### 4.1.3.1. Aplicación de condiciones de contorno.

Una vez diseñada la estructura, de forma preliminar, teniendo en cuenta las dimensiones mencionadas en la sección 4.1.2.2. *Geometría de la estructura modular*, se aplica el material que en este caso es el acero.

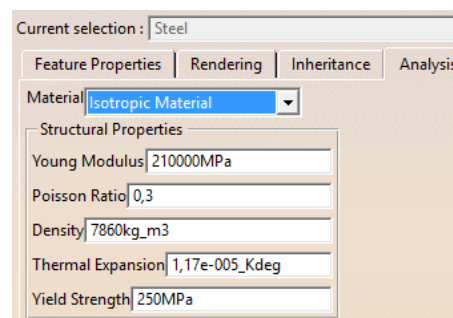


Figura 45. Aplicación de material en el modelo.

Acto seguido se aplican las condiciones de contorno anteriormente definidas; se fijan las translaciones en los ejes X, Y, Z y se aplica la carga de 55701N sobre la superficie superior de la estructura. Se puede observar en la *Figura 46* el esquema de aplicación de condiciones de contorno sobre la estructura.



Figura 46. Aplicación de condiciones de contorno para el análisis estático de la estructura.

#### 4.1.3.2. Selección del tipo de elemento y el mallado de la estructura.

Una vez aplicadas las condiciones de contorno se procede al siguiente paso del pre-procesado del cálculo, se aplica el mallado para subdividir la estructura en elementos de cara al análisis por FEM.

La interfaz del módulo de análisis estático de CATIA V5 sólo permite seleccionar un tipo de elemento para cálculos sobre sólidos en 3D, Elementos Tetraédricos. Dentro de este tipo de elementos, se puede seleccionar en una unión lineal o parabólica de sus nodos. Se selecciona el elemento que proporciona una mayor adaptación a los cambios de sección y volumen de la estructura:

- **Tipo de Elemento:** Tetraedro Parabólico.

Para realizar un primer mallado general de la estructura se define el tamaño de la unión entre nodos y la diferencia máxima del mallado respecto la geometría:

- **Distancia entre nodos adyacentes:** 20mm.

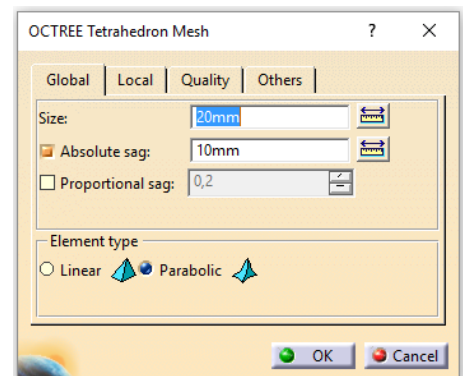


Figura 47. Definición general del elemento para la estructura.



- **Error de mallado respecto geometría:** 10mm.

Después de definir el tipo de elemento y su tamaño, también se puede seleccionar la calidad del elemento, seleccionando “stretch” como el mayor nivel de calidad. También se puede definir el tamaño de geometría del que se puede prescindir para realizar el cálculo, y en este caso se seleccionaría 1mm como la distancia mínima a tener en cuenta y por lo tanto, partes de la geometría que tengan cambios inferiores a esta medida se incorporarán a elementos adyacentes.

Dependiendo de las zonas de la estructura, se realizará un refinamiento del mallado para tener en cuenta factores como cambios de sección, unión mediante soldaduras o confluencia de ángulos entre otros.

#### 4.1.3.3. Obtención y refinamiento del mallado en zonas críticas.

A continuación, se procede con la realización del mallado para toda la estructura modular.

Como se puede observar, existen zonas donde pueden existir singularidades en el momento de computar el cálculo mediante FEM. Por ello se debe realizar un refinamiento de mallado más preciso en estas zonas, y que diferencie del resto de la estructura en tamaño y error respecto a la geometría. Estas zonas serán:

- **Soldadura de bases con columnas:** implica un cambio de sección y la confluencia de ángulos.
- **Soldadura de tubos de las bases:** implica la confluencia de ángulos.

Para modelizar la soldadura de los tubos se tiene en cuenta una soldadura de cordón alrededor de toda la zona de unión de sección como la de la *Figura 48*, con un espesor de garganta  $T$  igual a 0,7 veces el grosor de los tubos de la estructura, que es de 3mm. En la geometría del 3D se implementa esta soldadura haciendo un ribete alrededor de las zonas de unión.

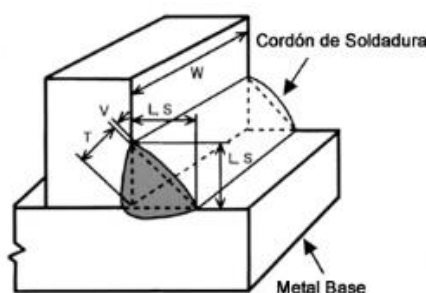


Figura 48. Esquema de cordón de soldadura para la unión de tubos.

Por ello se procede a realizar un mallado con la mitad de tamaño y de diferencia con la

geometría que el que se ha hecho como mallado general. Por lo tanto:

- **Distancia entre nodos adyacentes** (mallado refinado): 10mm
- **Error de mallado respecto geometría** (mallado refinado): 5mm

En la *Figura 49* se puede observar el resultado de mallar con las dos configuraciones que se han mencionado, en estructura y en zonas de refinamiento, y la diferencia que existe entre los elementos de las dos zonas.

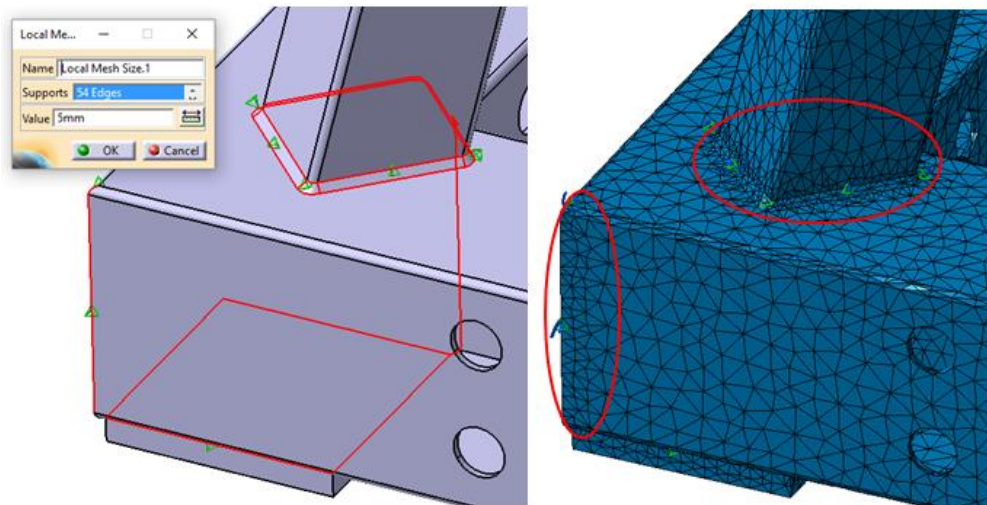


Figura 49. Zonas donde se ha realizado el refinamiento de mallado.

#### 4.1.3.4. Computación y obtención de resultados.

Habiendo aplicado las condiciones de contorno y mallado la estructura, se procede a la computación de cálculos mediante FEM. Para la resolución del caso, el software realiza el proceso que, generalmente es como el de la *Figura 50*. Se puede observar el tiempo necesario para computar cada una de las partes del algoritmo.

A partir de la computación, CATIA V5 ofrece tres resultados de análisis: la distribución de esfuerzos de Von Mises, las componentes del desplazamiento nodal y el esfuerzo en las tres direcciones principales de cada nodo. Mediante estos resultados se puede definir el

Computation Status	
Total computing time 0:08:49	
Operation Name	Elapsed Time
Structure computation	0:00:24
Stiffness Computation	0:07:00
Singularity computation	0:00:53
Constraint Computation	0:00:32

Figura 50. Tiempo de computación para el caso de estudio.

comportamiento a tracción y a compresión de la estructura, los esfuerzos máximos a los que se somete, y la rigidez ante las condiciones que se han forzado.

#### - Distribución de esfuerzo de Von Mises

El esfuerzo o tensión de Von Mises indica el valor límite del límite elástico en el diseño de estructuras con materiales dúctiles. Se calcula a partir de las tensiones principales del tensor de tensión en un punto concreto del sólido.

La fórmula del cálculo de la tensión de Von Mises es:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

La tensión de Von Mises para el cálculo del límite elástico en el estudio de fallo en vigas es:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Aun así, como se ha definido la estructura como un sólido, CATIA obtiene el resultado de la tensión de Von Mises mediante la Ecuación 1. La distribución de tensiones de Von Mises que se obtiene se puede apreciar en la *Figura 51*.

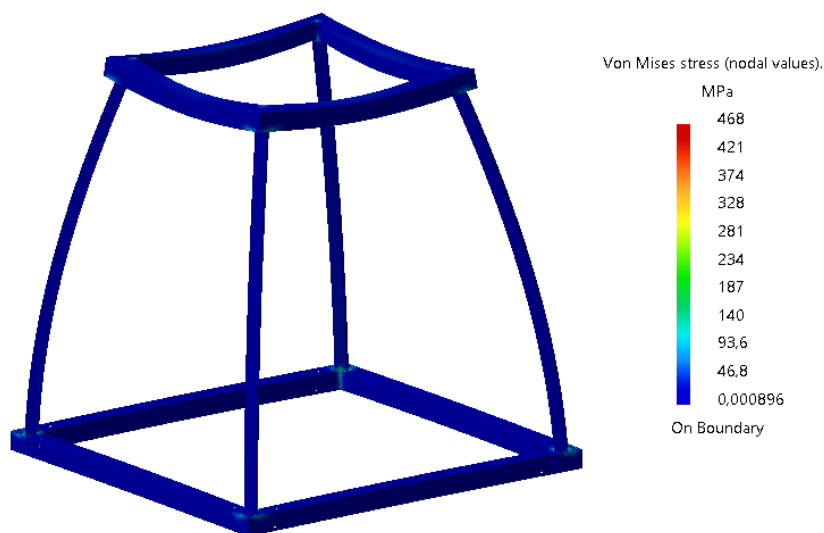


Figura 51. Zonas donde se ha realizado el refinamiento de malla.

Es necesario saber que el amplificador de magnitud para la deformación en la Figura 49 y en todas las imágenes que se van a utilizar en el reporte es de 100. De esta misma

imagen, solo se puede extraer los valores máximos y mínimos de tensión de Von Mises para la estructura:

- Tensión Máxima Von Mises: 468MPa
- Tensión Mínima Von Mises: 0,001MPa

Para ver con claridad en que zona de la estructura se dan estos valores de extremo global es necesario observar la *Figura 52*.

El valor máximo de la tensión de Von Mises, que es de 468MPa, se da en la unión de los tubos de las bases. Concretamente, la zona de acumulación de tensiones es la de unión interior de los dos tubos de las bases junto con el tubo de la columna.

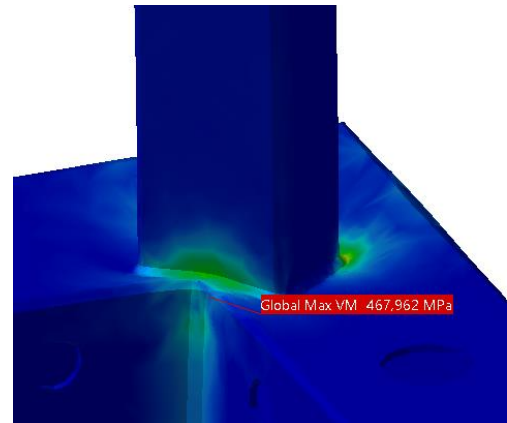


Figura 52. Zona donde se da la tensión de Von Mises máxima.

En los cordones de soldadura, los valores máximos que se obtienen no llegan a los 350MPa, puede observarse en la *Figura 53*.

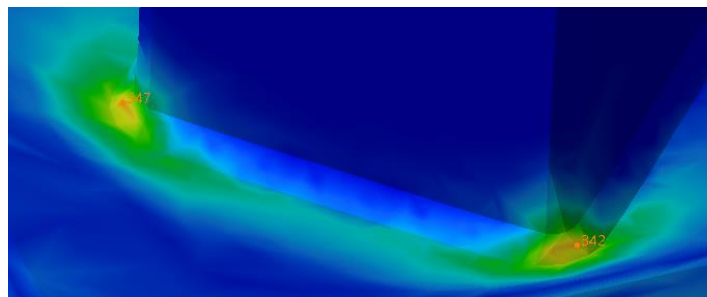


Figura 53. Tensiones de Von Mises máximas para los cordones de soldadura.

El hecho de que la tensión de Von Mises dé un valor tan elevado en la zona interior de los tubos se puede deber a una singularidad de la geometría donde se da una acumulación de tensiones que puede diferir notablemente de la realidad.

Por lo tanto, no se puede asegurar que la tensión máxima de trabajo es la que aparece como solución de la distribución de Von Mises. Por otro lado, el resultado que se da en los cordones de soldadura sí que parece más acorde al esfuerzo que soporta la estructura.

- $\sigma_{VM}$  Máxima Cordón Soldadura = 350 MPa

### - Desplazamiento Nodal

Mediante el desplazamiento nodal se puede saber qué comportamiento tiene la estructura en base a su rigidez. A partir del cálculo mediante FEM, se obtienen el campo de desplazamientos de la *Figura 54*. Como se puede observar, el desplazamiento es mayor para las zonas localizadas alrededor de 1,5m de altura de las columnas y en la mitad de los tubos que se encuentran en la base. Esto se debe a que:

- Las columnas soportan la carga apoyada en la base. La carga se descompone en esfuerzos de flexión pura y pandeo sobre la columna. Al trabajar a flexión, las columnas se inclinan hacia el interior forzando los tubos de la base superior por los extremos, haciendo que trabajen a flexión. Esto hace que la deformación máxima se de en la parte central de los tubos.

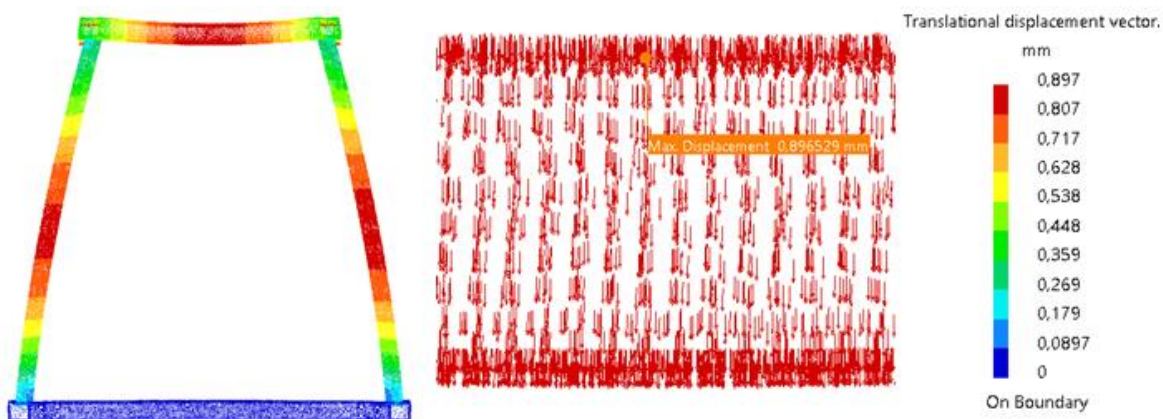


Figura 54. Desplazamiento nodal de la estructura.

Por lo tanto, el valor máximo de desplazamiento nodal de la estructura es:

- $\delta_{\text{Máximo}} = 0,897 \text{ mm}$

Este pequeño desplazamiento indica que la estructura garantiza la suficiente rigidez como para trabajar en condiciones críticas sobre ella.

### - Valor Nodal de las direcciones principales de esfuerzo.

Para definir el comportamiento a compresión y a tracción de la estructura es necesario recurrir al resultado de los tensores principales de cada nodo de la estructura. A partir de

CATIA, se obtiene la distribución de tensores que aparece en la *Figura 55*.

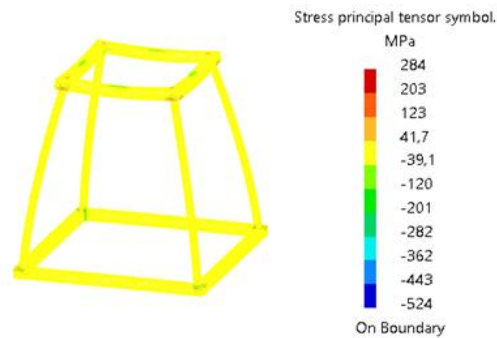


Figura 55. Distribución nodal de tensores principales.

Las zonas donde se dan las tensiones principales máximas son las mismas que donde se ha encontrado la tensión de Von Mises máxima, la soldadura de los tubos inferiores y la soldadura de las columnas a las bases. Se puede observar en la Figura 56 que en la zona superior donde se unen los tubos de la base se da la tensión máxima a compresión, y en la zona de los cordones de soldadura de las columnas con la base superior se da la tensión máxima a tracción.

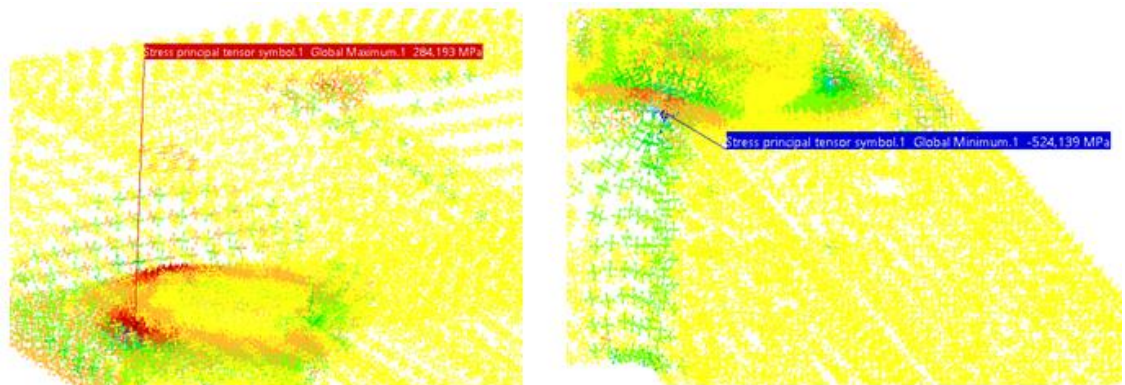


Figura 56. Izquierda, Tensión principal a tracción máxima; Derecha, Tensión principal a compresión máxima.

Los valores máximos son:

- $\sigma_{tr \max} = 284 \text{ MPa}$
- $\sigma_{com. \max} = 524 \text{ MPa}$

#### - Conclusiones de los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos se pueden interpretar de la siguiente manera:

- Los valores de las tensiones principales establecen los límites de trabajo a tracción y a compresión en distintas partes de la estructura. Para las soldaduras a cordón se establece un límite a tracción de 284MPa, pero mediante la tensión de Von Mises se determina que el valor límite de esta zona de la estructura es de 350MPa.
- Se puede observar en la *Figura 52* que el lugar donde se ha registrado la mayor tensión de Von Mises también registra los valores máximos a compresión según el tensor principal, pero se aleja de alcanzar los valores máximos de tracción. Este hecho podría llegar a explicar el resultado que se ha dado en el cálculo de la tensión de Von Mises en este punto que es de 468MPa. La acumulación de tensión a compresión haría que el valor de Von Mises diese un valor poco representativo del comportamiento a tracción de la zona. Por lo tanto se podría estimar que el valor tensional límite de este punto no sobrepasa los 284MPa que se dan como máximo de tracción en el tensor principal.
- **Aunque la interpretación de los resultados anteriores parece fiable, sería oportuno realizar un ensayo de un prototipo de estructura bajo las condiciones de trabajo y comprobar que el comportamiento que tiene es consecuente con la interpretación que se hace.**

#### 4.1.4. Análisis de pandeo de las columnas.

Si bien a partir del cálculo computacional mediante FEM se pueden obtener los parámetros suficientes para saber el comportamiento a tracción y compresión en todos los puntos de la estructura, el cálculo de pandeo de las columnas no se tiene en cuenta. Por lo tanto es necesario realizar un análisis de este fenómeno debido a la criticidad que implica este tipo de trabajo sobre las columnas a causa de la elevada carga solicitada.

Teniendo en cuenta el esquema de la *Figura 57*, la

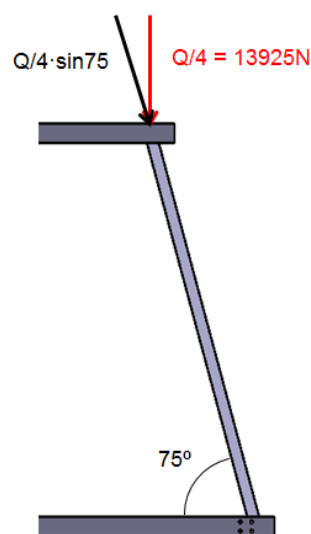


Figura 57. Proceso de computación para el caso de estudio.

Fuerza Vertical que se aplicara en el punto superior de la columna es de  $F_v=13,9kN$ . La componente de  $F_v$  que actuará axialmente sobre los extremos de las barras se calculará con la inclinación de las columnas. Por lo tanto:

- Inclinación de columnas:  $75^\circ$
- $F_{pandeo} = \sin 75 \cdot F_v = 13,45kN$

Las columnas, al estar soldadas en los dos extremos a las bases de la estructura, se analizan utilizando el caso en que la barra se encuentra empotrada por los dos extremos. Para este caso, la ecuación que determina la carga crítica a la que puede someterse una barra con un perfil determinado es:

$$- F_k = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} \quad (\text{Ecuación 3})$$

En la que:

- o  $I$  es el momento de inercia de la sección tubular ( $mm^4$ )
- o  $E$  es el módulo de Young (MPa)
- o  $l$  es la longitud de la barra (mm)

La longitud de la columna es de 1900mm, el módulo de Young es de 210000MPa y el momento de Inercia, para la sección de barra de 80x80mm y 3mm de grosor, es de  $87,8 \times 10^4 mm^4$ .

Aplicando la Ecuación 1, la Fuerza crítica de pandeo (la carga axial máxima que es capaz de soportar una columna con las características anteriormente dichas) es de:

$$- F_k = 2016kN$$

La  $F_k$  es aproximadamente 200 veces mayor que la Fuerza que soportará la columna axialmente. Por lo tanto, el diseño actual es sobradamente válido.

#### 4.1.5. Selección del material de la estructura.

Tal y como se ha visto en el capítulo 4.1.3., y después de interpretar los resultados de los cálculos, la tensión máxima de Von Mises que se ha obtenido es de 350MPa en los cordones de soldadura, siendo la magnitud tensional más restrictiva. A partir de este valor se puede escoger uno de los aceros que se han planteado en el capítulo 4.1.1.



Teniendo en cuenta el planteamiento dimensional que se ha hecho anteriormente para aplicar la carga del caso límite, sobredimensionando los accesorios y herramientas sobre la estructura, se aplicará un coeficiente de seguridad  $\gamma_s=1$  y por lo tanto:

$$\sigma_{VM} \cdot \gamma_s < \sigma_y \quad (\text{Ecuación 4})$$

De esta manera, el límite elástico  $\sigma_y$  del material puede ser igual al valor de la tensión máxima de Von Mises  $\sigma_{VM}$  obtenida. De los tipos de acero vistos anteriormente, se pueden aplicar a la estructura los siguientes:

- Acero estructural S355:  $\sigma_y=355\text{MPa}$
- Acero estructural E360:  $\sigma_y=360\text{MPa}$

Se escoge el primer material, ya que el coste es menor y se asegura la condición que se ha requerido anteriormente en base al estado tensional de la estructura. A más a más, el acero S355 aporta una cualidad necesaria para la fabricación de la estructura, una buena soldabilidad que garantizará el buen comportamiento de las partes donde se han encontrado los límites de esfuerzo para el caso crítico de trabajo.

Aplicando el S355 al diseño, las dimensiones actuales de la estructura cumplen los requisitos de trabajo límite y por lo tanto, se puede decir que el diseño de la estructura es válido.

Por otro lado, se podría tomar la solución de aumentar el grosor de soldadura, y de esta manera alcanzar un límite de trabajo inferior al que se ha calculado, o de incorporar cartelas en las soldaduras de las columnas con las bases, que incrementarían la rigidez de la zona y favorecería a la repartición de carga al tener más superficie de contacto la unión de columna y base.

## 4.2. Diseño y validación de prototipos de accesorios.

Una vez validado el diseño de la estructura base, se procede a realizar el diseño del resto de accesorios que componen la plataforma. Se sigue el orden por grupos establecido en el diseño preliminar, a partir del grupo II.

### 4.2.1. Grupo II: Accesorio de Movilidad.

Para el transporte de la plataforma en el interior de la nave, se realiza el diseño de un

accesorio que consta de una rueda y un elemento de fijación a la plataforma. Desde un principio se busca que el accesorio se pueda ensamblar de manera fácil a la estructura.

Las ruedas se colocaran en las esquinas de la estructura, para evitar problemas de volcado. Teniendo en cuenta el caso límite de carga aplicado a la estructura, la masa que debe ser capaz de soportar cada rueda es de 1419kg, que es la masa total aplicada según la Tabla 4, dividida entre las esquinas de la estructura.

#### - Selección de la Rueda

Para garantizar el buen funcionamiento de la rueda en diferentes configuraciones, ya que se puede dar el caso de que una misma rueda aguante dos esquinas de estructuras diferentes, se aplicará un margen de seguridad de 2 veces la carga a soportar. Por lo tanto se busca una rueda que soporte 3000kg de masa.

En la *Figura 58* se puede ver el modelo seleccionado. Para ello se ha recurrido al fabricante de ruedas Blicke. Este modelo consta.

#### LS-GSP0 152K-35-ST



■ Subministrable



Tipus de coixinet: Coixinet de boles

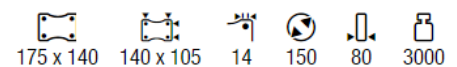


Figura 58. Rueda seleccionada para el diseño del accesorio de movilidad.

#### - Diseño del accesorio de fijación.

Mediante CATIA se realiza el diseño del elemento de fijación a la estructura. En la *Figura 59* se puede observar el accesorio formado por la rueda y la placa de sujeción. Se hace de manera que la esquina de la estructura se apoya en el punto central de la placa de soporte de la rueda. A continuación, se busca una manera de fijar la rueda a la

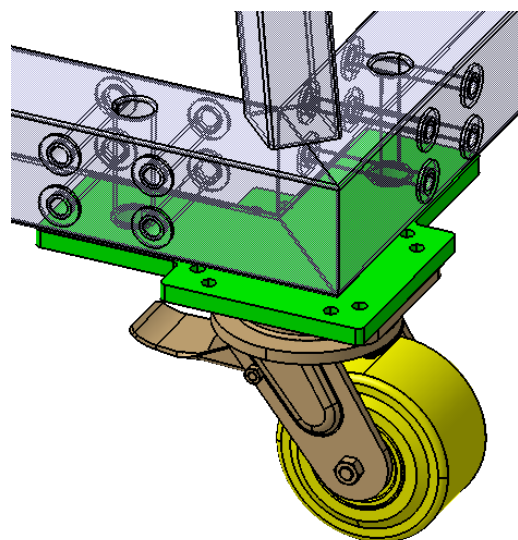


Figura 59. Placa de apoyo de la estructura sobre la rueda.

estructura mediante pasantes. Se realiza un agujero pasante a los tubos de la base de la estructura y se introduce un tubo de diámetro  $\varnothing 30\text{mm}$  y 3mm de grosor, y se suelda a la estructura.

Por el tubo pasante de la estructura pasa un tubo interior que va fijo al accesorio de movilidad, soldado a la placa de fijación de la rueda. Este tubo constará de un roscado interior de M24, sobre el que se roscará un tope que realizará el apriete del accesorio contra la estructura. Este mecanismo puede observarse en la *Figura 60*, el tubo roscado en color verde y el tope señalado en azul.

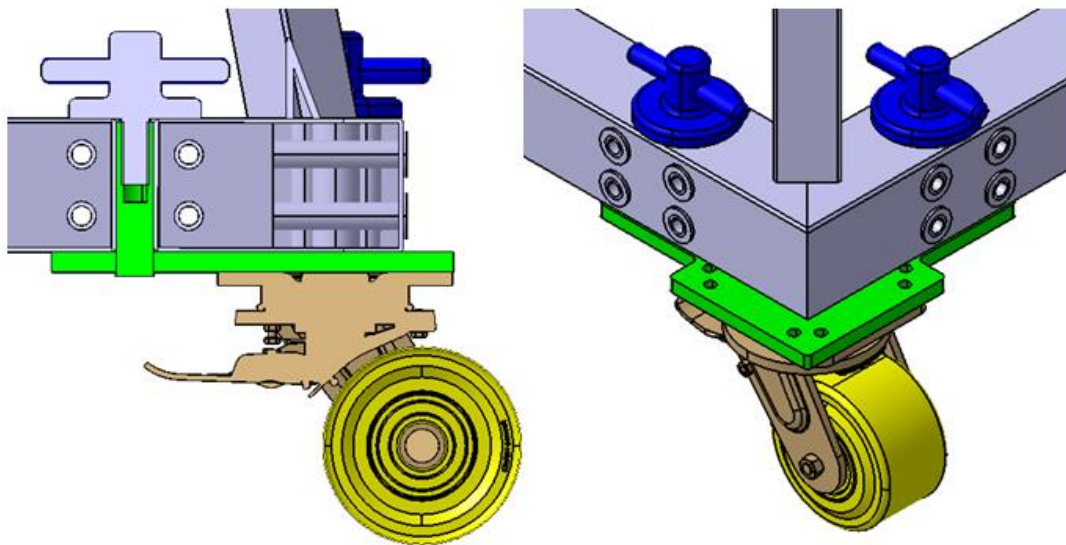


Figura 60. Detalle del mecanismo de fijación del accesorio de movilidad a la estructura.

Para validar este accesorio es necesario ver el comportamiento en la deformación de la placa de fijación al aplicar la carga sobre la zona de apoyo. Para ello, se realiza un cálculo simple mediante método de elementos finitos.

- **Cálculo de solicitaciones y validación del accesorio.**

- Fijaciones de la estructura.

Fijación al suelo: se restringen las translaciones en X, Y, Z de la superficie en contacto con la placa de soporte de la rueda.

Fijación a estructura: se simula el pretensado de la rosca del tubo mediante una fijación mediante apriete, por lo que la parte interior del tubo se fija a la estructura.

- Cargas a aplicar sobre el soporte.

Se aplica la carga de 1419kg, que implica el peso a soportar por cada esquina de la plataforma en el caso de la torre del caso límite.

- Material: Acero.

Para adaptar la geometría a las condiciones de contorno, se realiza un rebaje de 0,01mm en la superficie de contacto con los tubos de la base de la estructura (100 mm de ancho) y en la zona de contacto con la placa soporte de la rueda, ver en Figura 61.

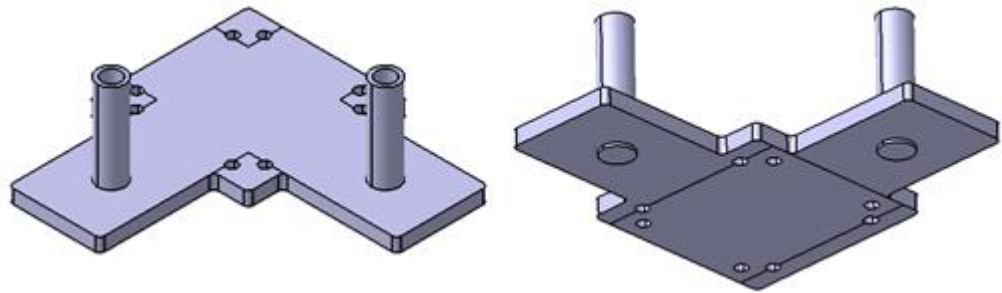


Figura 61. Adaptación de la geometría a las C.C.; se añaden rebajes de 0,01mm en caras de fijación.

En la Figura 60 se puede observar el esquema de aplicación de condiciones de contorno. Para aplicar un mallado a la pieza, se aplica el elemento Tetraedro Parabólico, explicado anteriormente en el desarrollo de la estructura, y se eligen los siguientes parámetros:

- Distancia entre nodos adyacentes: 3mm.
- Error de mallado respecto geometría: 1mm.

Se elige este tamaño de elemento debido a que la pieza no es de gran envergadura y por lo tanto, el cálculo mediante FEM no implica la dificultad que implica calcular sobre la estructura.

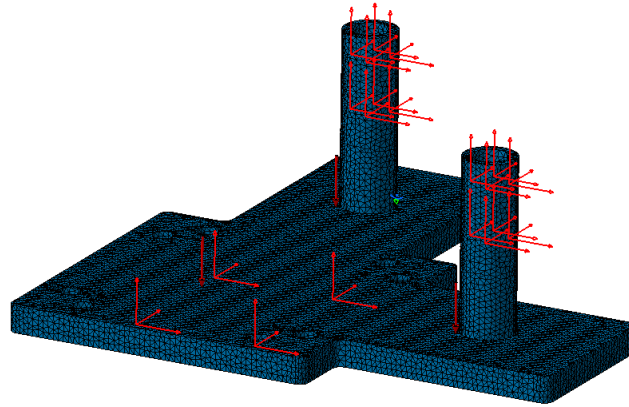


Figura 62. Aplicación de condiciones de contorno y mallado de la geometría.

Una vez se ha computado el cálculo, el resultado es el siguiente:

- Tensión de Von Mises:

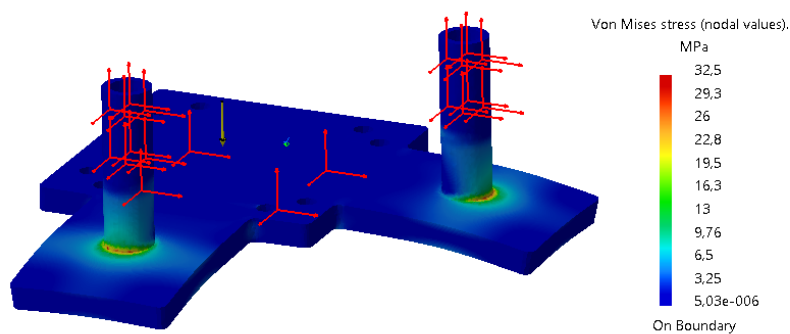


Figura 63. Distribución tensional de Von Mises para el accesorio de movilidad.

Como se puede observar, la tensión de Von Mises máxima se debe al cambio de sección de la soldadura de las barras roscadas. Del valor de 32MPa se extrae que no existe riesgo de fallo para el caso límite de trabajo.

- Desplazamiento Vectorial:

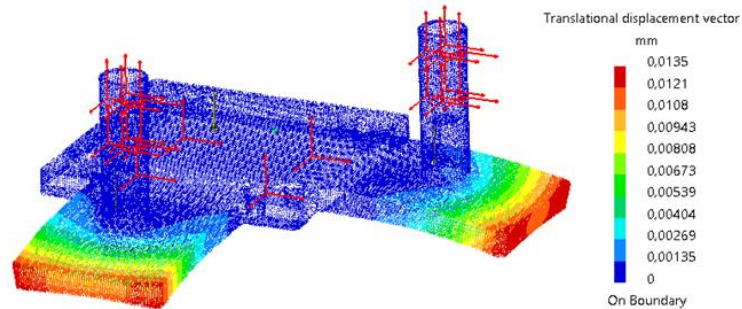


Figura 64. Desplazamiento nodal del accesorio de movilidad.

Como se puede observar en la *Figura 64*, el desplazamiento máximo de la pieza se da en el extremo de las alas que van bajo los tubos de la base. Aun así, no existirá ninguna dificultad en base a la rigidez ya que el valor máximo es de 0,02mm.

- Tensiones Principales:

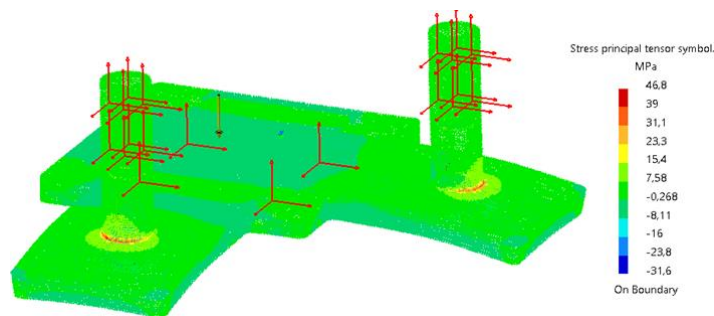


Figura 65. Distribución nodal de tensores principales.

Las tensiones principales en este caso dan un valor más restrictivo que la tensión de Von Mises, 46MPa. Este es el valor límite que debe tenerse en cuenta en el momento de escoger el material para la placa.

Como conclusión puede decirse que la placa se podría fabricar en un acero con un límite elástico bajo. Aunque, se podría contemplar realizar el cálculo aplicando como material el Aluminio, el hecho de seleccionar un Acero ayuda a que la fabricación sea sencilla para trabajos de soldadura a la vez que se compatibiliza la dureza de la estructura con la del accesorio. Por lo tanto, se podría fabricar en Acero S185.

#### 4.2.2. Grupo III: Escaleras de acceso entre pisos.

Para el diseño de la escalera es necesario realizar una composición de la estructura en pisos, de esta manera se observan las medidas alrededor de las cuales se va a diseñar y los métodos de ensamblaje a la estructura. Por otro lado, es necesario cumplir la normativa de diseño y seguridad.

##### - Dimensionamiento de la Normativa.

Como se ha visto en el capítulo 3.3., la norma que rige el dimensionamiento de escaleras es la *UNE-EN-ISO 14122*. En esta normativa se especifican las siguientes medidas, se pueden observar en la *Figura 66*, para escaleras de plataformas:

- Inclinación de escaleras con peldaños: entre  $45^\circ$  y  $75^\circ$ .
- Altura de Pasamanos: 1100mm respecto suelo, 900mm respecto nariz del escalón, como mínimo.
- Traviesa Horizontal: 500mm respecto nariz del escalón y 500mm respecto pasamanos, como máximo.
- Huella: largo mínimo de 15mm.
- Contrahuella: alto máximo de 24mm.
- Anchura de la escalera: 600mm como mínimo.

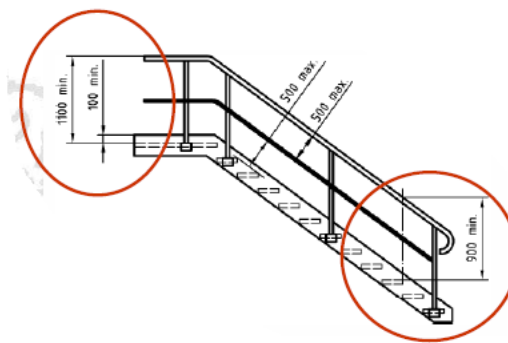


Figura 66. Medidas de barandillas para escaleras según la normativa en vigor.

##### - Implementación 3D del diseño.

Tal y como se ha dicho en el capítulo 3.4.3, la escalera se diseña de manera que se pueda ensamblar frontalmente y lateralmente. Para proceder con el diseño se hace un montaje estructural mediante 4 módulos que implica el ensamblaje de la escalera en estas dos posiciones.

Para que la escalera se pueda ensamblar en las dos direcciones, debe tener elementos de unión tanto como en los laterales como en los frontales de los extremos de su

estructura. El esquema de ensamblaje es el que aparece en la Figura 65.

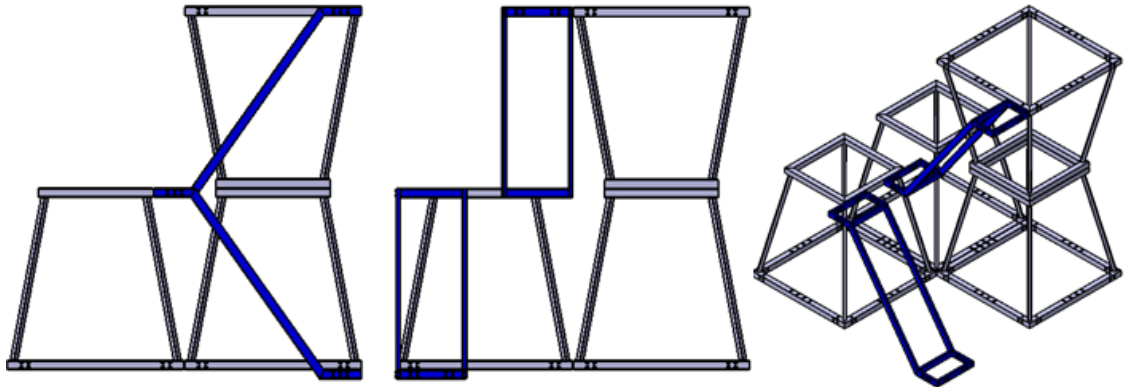


Figura 67. Esquema de posiciones de ensamblaje de la escalera.

La escalera salva el desnivel de 2 metros que tiene cada piso. Se ha diseñado con un ángulo de  $65^\circ$ , al límite de lo recomendado pero lo justo para poder realizar los dos tipos de ensamblaje sin salir de dimensiones de la estructura.

La estructura de la escalera está compuesta por tubos de 50x100mm de sección y 3mm de grosor.

Para unir la estructura de la escalera a la estructura modular, se introducen tubos pasantes soldados en las bases superiores e inferiores de la escalera. La estructura modular tendrá tubos soldados en la continuación de los tubos de la escalera, para así pasar por su interior una varilla roscada y unir las dos estructuras mediante tuercas. Se puede observar en la Figura 67 la unión por los dos lados de la escalera.

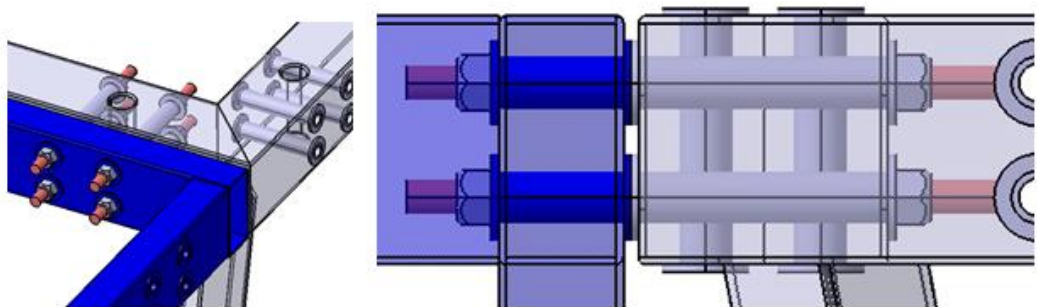


Figura 68. Método de unión de la escalera a la estructura modular.

Las varillas roscadas son de M14, con una superficie de trabajo extendida en



150mm, que es donde apoyan los dos tubos. Teniendo en cuenta el tipo de unión que se realiza y el dimensionamiento que se ha hecho de la estructura de la escalera en base a las medidas del 3D y las que exige la normativa, es necesario realizar un cálculo de resistencia para:

- Cálculo de resistencia de la estructura en condiciones de carga límite.
  - Cálculo de resistencia de las uniones en condiciones de carga límite.
- **Cálculo de solicitaciones y validación de la estructura de la escalera.**
- Fijaciones de la estructura.

Para fijar la escalera se utilizan los puntos de anclaje a la estructura modular. El caso crítico implica la fijación de translaciones en X, Y, Z para los tubos ubicados en el frontal de la base inferior y en el lateral de la base superior.

- Cargas a aplicar sobre la estructura.

El caso límite de carga implica aplicar el peso de un operario cargado con herramientas de trabajo sobre la superficie del tubo de la base superior. El peso del operario con herramientas se puede consultar en la Tabla 4, es de 105 kg.

- Material: Acero.

Para poder aplicar las condiciones de carga, se le hace un rebaje de 0,01mm de grosor en la parte superior del tubo de la base que equivale a la superficie de media huella. Esta adaptación de la geometría puede observarse en la *Figura 69*, junto con el esquema de condiciones de contorno y el mallado de la estructura.

Para mallar la escalera es necesario tener en cuenta la envergadura de la estructura, que a diferencia del accesorio de movilidad, no permite reducir en gran medida el tamaño de elemento para toda la geometría. De esta manera se decide mallar con dos tamaños de elemento, uno

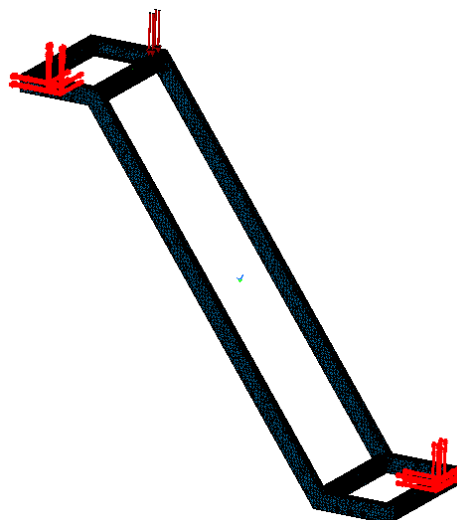


Figura 69. Esquema de condiciones de contorno para la escalera.

para toda la estructura y otro para las superficies de contacto entre tubos de la zona donde se aplica la carga.

- Mallado general:
  - Distancia entre nodos adyacentes: 15mm
  - Error de mallado respecto geometría: 5mm
- Mallado especial:
  - Distancia entre nodos adyacentes: 3 mm
  - Error de mallado respecto geometría: 1mm

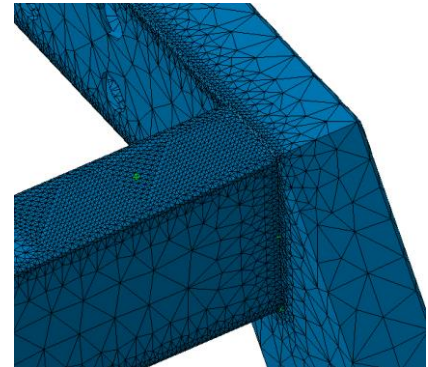


Figura 70. Mallado de las zonas expuestas a singularidades.

A continuación se computan los cálculos y se obtienen los resultados siguientes:

- Tensiones de Von Mises.

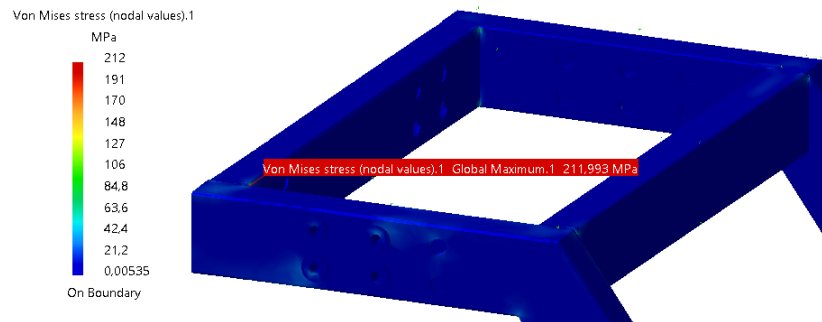


Figura 71. Valor Máximo de la Tensión de Von Mises.

El valor máximo de la tensión de Von Mises se da en la unión soldada de los tubos de la base superior, tal y como indica la Figura 69. El valor máximo es de 212MPa, suficiente como para utilizar un Acero tipo S235 o S275, dependiendo del margen de seguridad.

- Desplazamiento Vectorial.

El valor máximo de desplazamiento se da en la parte superior de la escalera, en el tubo de la base más cercano a la aplicación de carga. Tal y como se puede observar en la Figura 70, el valor máximo es de 0,8mm, por lo que no debería suponer un grave problema de rigidez el escenario que se ha planteado.

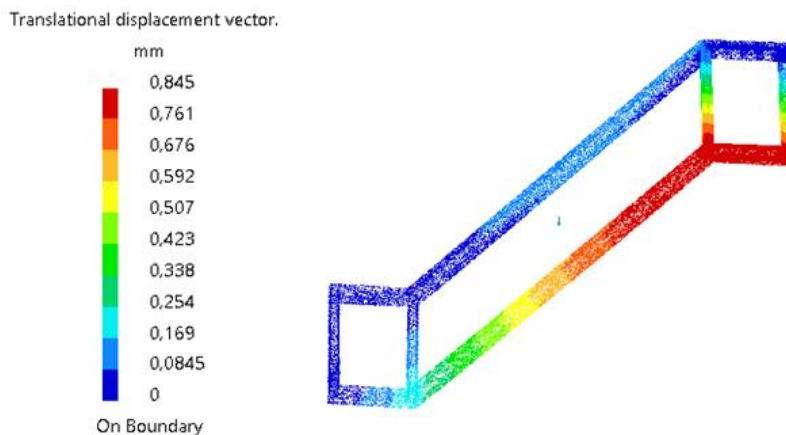


Figura 72. Campo de deformaciones de la estructura de la escalera.

○ Tensiones Principales.

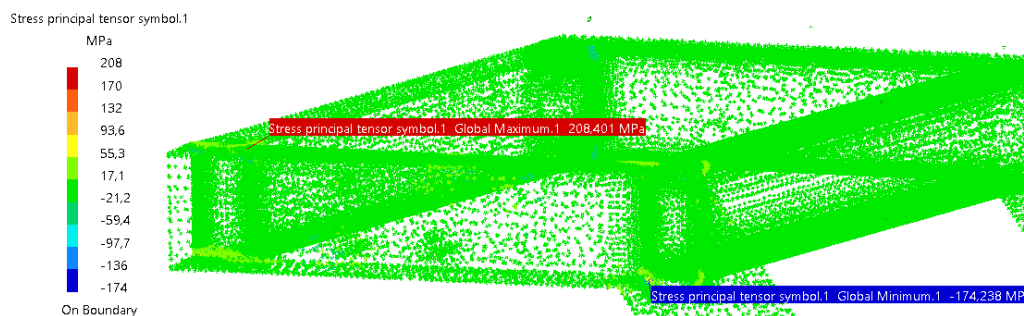


Figura 73. Distribución nodal de tensores principales para la estructura de la escalera.

El valor máximo de las tensiones principales a tracción es de 208MPa, inferior al valor obtenido mediante el cálculo de tensión de Von Mises. Se da en la zona de unión de los tubos de la base superior.

Como conclusión del análisis realizado sobre la estructura de la escalera, se puede decir que el valor más restrictivo es el de la tensión de Von Mises, con un valor máximo de  $\sigma_{VM}=212\text{MPa}$ . Por lo tanto en caso de tener un margen de seguridad de  $\gamma_s=1,2$ , el acero a seleccionar debería cumplir:

○  $\sigma_{VM} \cdot \gamma_s = 254 < \sigma_y$

Por lo tanto, sería suficiente con escoger el acero S255 para la fabricación de la escalera.

- **Cálculo de solicitaciones y validación de la unión escalera/estructura.**

Para analizar la unión entre escalera y estructura se va a llevar un cálculo de forma analítica debido a la simplicidad de la resolución.

Tal y como se puede observar en la Figura 66, la unión de la escalera con la estructura se realiza mediante 4 barras pasantes con las puntas roscadas M14, que aprietan una estructura contra la otra.

El escenario de cargas que se dará será el siguiente:

o Aplicación de carga.

La estructura modular estará fija y la estructura de la escalera actuará a cortante sobre la cara de la barra pasante que estará pretensada. La carga a aplicar será la del peso de la escalera junto con la del operario, de 305kg de masa.  $F_{cortante} = 2992,5N$

o Aplicación del material.

Se aplica el acero S255 a los tubos de la estructura. A partir del cálculo se seleccionará el acero adecuado para el material de las barras.

El esquema de aplicación de carga es el de la Figura 74:

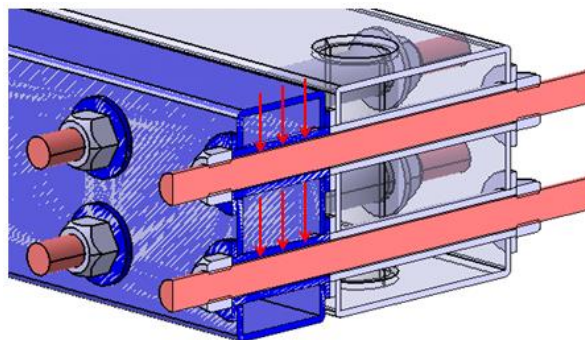


Figura 74. Esquema de aplicación de carga a cortante sobre los pasantes de la unión de la escalera.

Para realizar el cálculo del límite de comportamiento elástico se precisa de la fórmula para el cálculo de fallo a cortante en uniones con pasadores:

$$F_{cortante} = n \cdot \frac{0,6 \cdot \varnothing^2 \cdot f_y}{4 \cdot \gamma_{My}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dónde:

- o n: número de pasantes.
- o  $\varnothing$ : diámetro del pasante.

- $f_y$ : límite elástico del pasante.
- $\gamma_{My}$ : factor de seguridad para bulones y pasantes para cálculo de límite elástico, 1,2.

Aplicando la Ecuación 5 se obtiene un valor de  $f_y=25,4\text{MPa}$ .

Por lo tanto, el diseño de la unión es válido para pasantes de resistencia equivalente a la de aceros de construcción. Es necesario mencionar que la resistencia a la tracción es mucho más elevada para piezas de tornillería comúnmente utilizadas que para la pieza obtenida.

#### - **Diseño final de la escalera.**

A partir de la validación de la estructura de la escalera y de la unión a la estructura modular, se procede a incorporar los escalones, rellanos, barandillas y escalones a la estructura existente. Estos elementos se introducen basándose en los requisitos de la normativa que se han mencionado anteriormente y adaptándose a las dimensiones de la estructura modular. Puede observarse el montaje de la escalera sobre de las dos maneras posibles en la *Figura 75*.

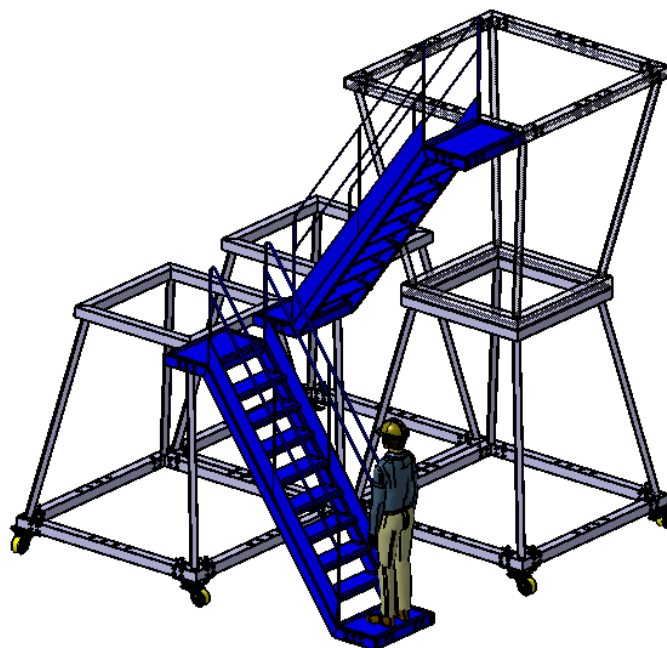


Figura 75. Montaje de dos escaleras sobre la estructura formada por 4 módulos.

Se puede observar que las plataformas constan de los elementos de seguridad obligados por normativa, barandillas y rodapié. En la Figura 75 se puede observar

que las medidas requeridas para todos los elementos de la escalera se rigen por la normativa. La escalera salva un desnivel de 2m, tiene una anchura de 750mm, y los rellanos tienen una profundidad de 400mm.

Las características con que se ha diseñado cada elemento son:

- Barandillas: se respeta la altura de 900mm respecto nariz de escalón y de 1100mm respecto al piso tal y como exige la normativa. Los tubos de la barandilla van fijos a la estructura de la escalera mediante soldadura de cordón, ya que se hacen de acero. Los tubos son de sección circular de diámetro 20 y grosor 3mm.
- Rodapiés: se respeta la altura de 150mm, son de 10mm de grosor y van soldados directamente a las barras de la barandilla.
- Escalones: Placas de acero de 5mm de grosor, atornilladas a 2 perfiles en L que van soldados a cada tubo lateral.

A continuación se pueden observar los detalles de cada parte de la escalera.

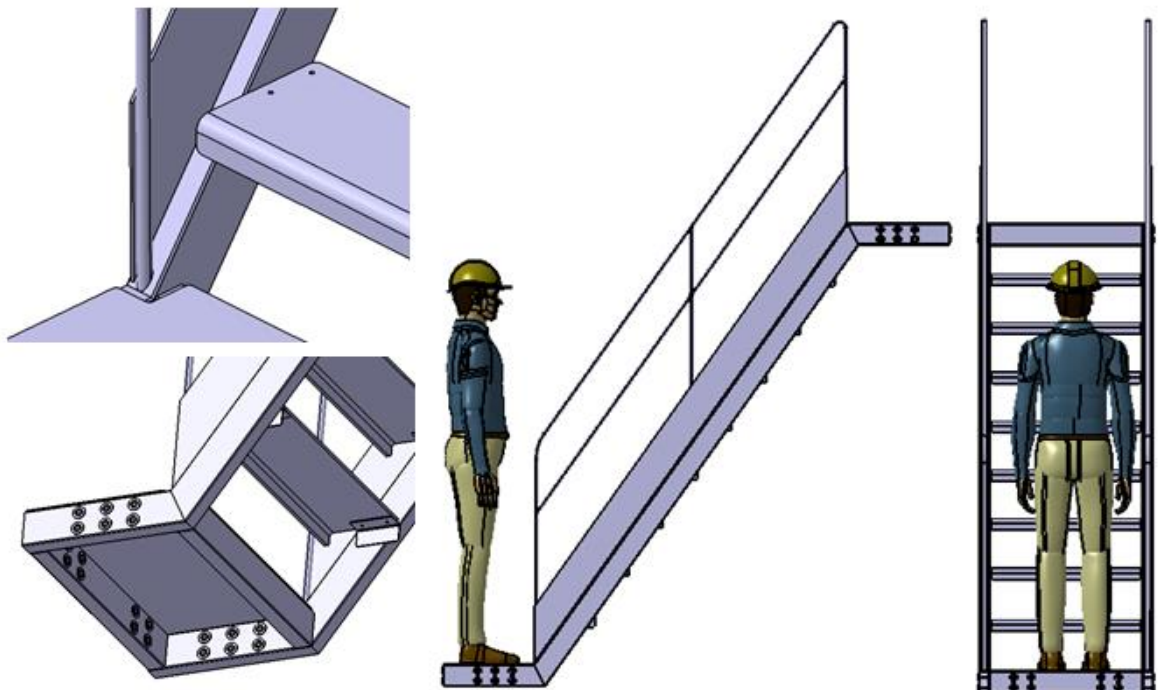


Figura 76. Montaje de dos escaleras sobre la estructura formada por 4 módulos.

### 4.2.3. Grupo IV: Suelo.

El diseño del suelo se basa en una chapa metálica soportada por una estructura que se fija al resto de la estructura de la plataforma. Para ello es necesario tener en cuenta que el suelo debe poder adaptarse tanto a la base de la estructura modular de 2x2m como a la base de 1,3x1,3m, ya que para pisos pares o impares se dará una o la otra.

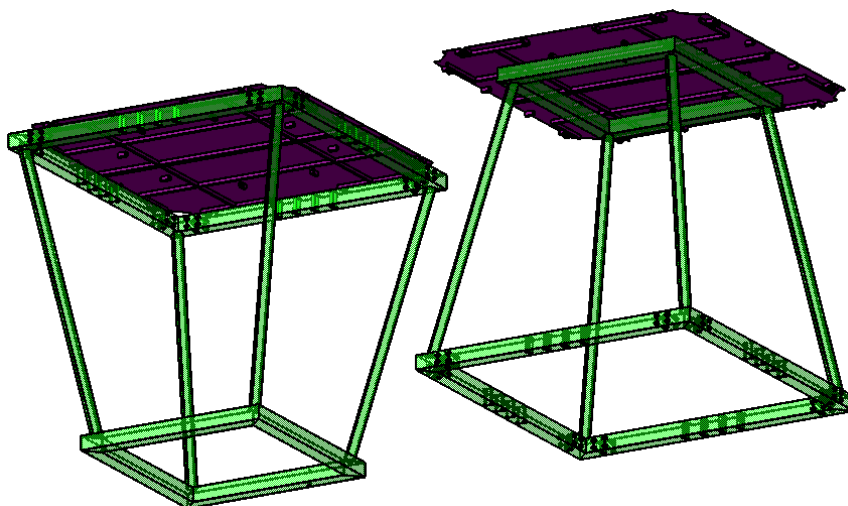


Figura 77. Montaje del suelo sobre las dos bases de la estructura.

A más a más, la chapa y la estructura deben ser lo suficientemente resistentes como para soportar la carga estipulada por la normativa *NTP 695*, de  $2\text{kN/m}^2$ , con la rigidez adecuada para el trabajo.

La pieza de suelo se va a componer por:

- **Chapa de acero** de 3mm. Anteriormente se ha hablado de hacerla de aluminio (chapa damero), pero la fabricación mediante soldadura de acero con la estructura es mucho más sencilla y barata que para aluminio.
- **Tubos de acero** de 30x15mm de sección y 2mm de grosor.

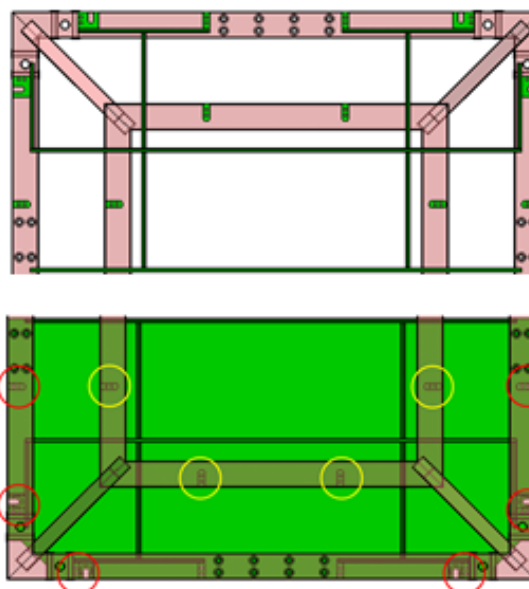


Figura 78. Arriba, estructura del suelo con apoyos en tubos de las bases; en rojo, unión de suelo a base 2x2m; en amarillo, unión de suelo a base 1,3x1,3m.

Para facilitar la instalación de los suelos sobre la estructura se decide partir la superficie de cada piso de plataforma en 2 partes, por lo tanto se instalarán dos piezas de suelo de 1x2m para cada módulo. En la *Figura 78* se puede observar la organización de la estructura del suelo montada sobre la plataforma.

La unión de la estructura del suelo a la estructura modular se hace mediante:

- Taco soldado a la estructura del suelo. Contiene 2 agujeros pasantes para tornillos de M10.
- 2 casquillos soldados a la estructura modular. Los casquillos tienen una valona de 3mm de grosor, suficiente para soldarse a la superficie de la estructura, y un roscado interior de M10. van introducidos en un agujero en la estructura. Se puede observar el detalle de la unión suelo/estructura en la *Figura 79*.

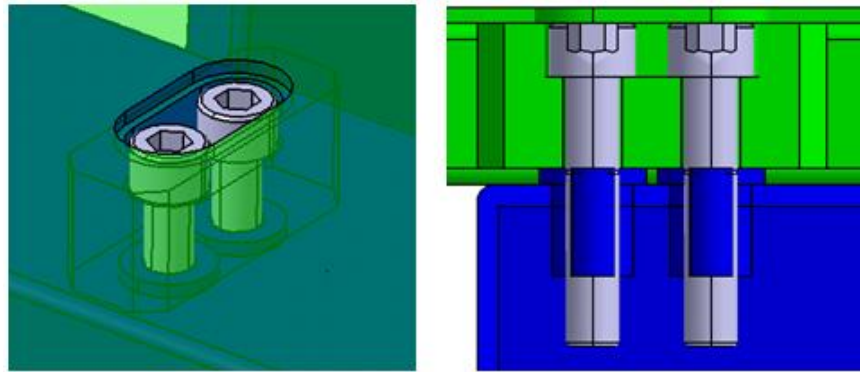


Figura 79. Detalle de la unión del suelo a la estructura modular.

Para validar la resistencia de la chapa y la estructura tubular, es necesario analizar el caso de cargas planteado por la normativa, aplicación de  $2\text{kN/m}^2$  sobre la superficie del piso, en las dos configuraciones, unión a base de  $1,3 \times 1,3\text{m}$  y unión a base de  $2 \times 2\text{m}$ .

- **Análisis del suelo unido a la base de  $1,3 \times 1,3\text{m}$ .**
  - o Se fijan las zonas en **contacto con la estructura en su componente de translación en Z**, y para las zonas de **contacto de la unión se fija su componente en X, Y, Z**. En las zonas de contacto se hacen incrementos de grosor de 3mm que simulan el contacto con el tubo de la estructura base.
  - o Se aplica una carga uniforme de  $2\text{kN/m}^2$  sobre la superficie del suelo.



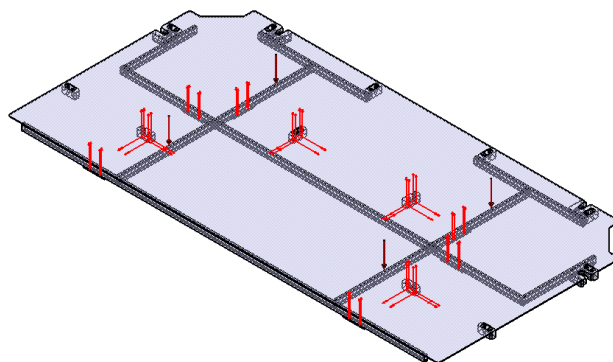


Figura 80. Aplicación de las C. C sobre el conjunto soldado del suelo.

Para realizar el mallado, se dimensionan los elementos tetraédricos parabólicos de la siguiente manera:

- Distancia entre nodos adyacentes: 5mm
- Error de mallado respecto geometría: 3mm

En la *Figura 80* se puede ver el esquema de fijaciones y aplicación de carga sobre el suelo. A partir de la aplicación de las C.C. y el mallado se procede a computar el cálculo. Los resultados son los siguientes:

- Tensiones de Von Mises.

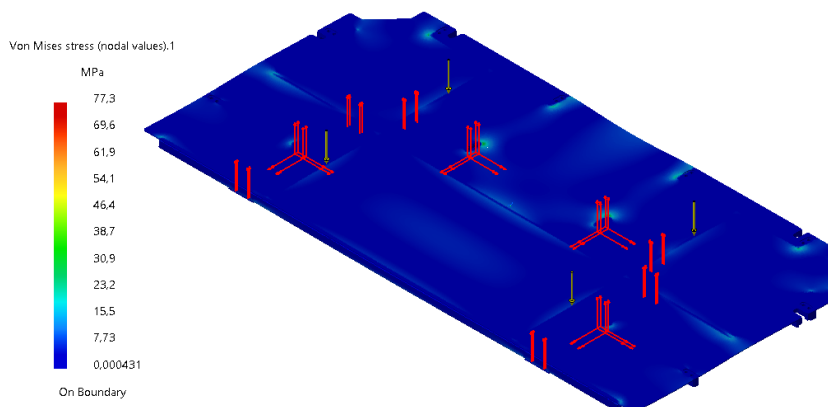


Figura 81. Distribución de tensiones de Von Mises en el suelo.

En el resultado que se presenta, el valor máximo de la tensión de Von Mises es de 77MPa, por lo que el caso de carga no implica ningún riesgo de resistencia a la estructura hecha de un acero común.

- Desplazamiento Vectorial.

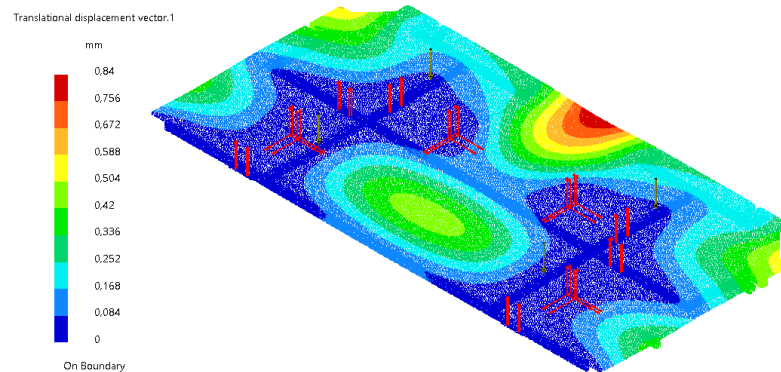


Figura 82. Campo de desplazamiento nodal del suelo.

El desplazamiento máximo de los nodos de la geometría se da en la zona central del suelo, ya que es la zona que queda libre de sustento por parte de la estructura. Aun así, el valor de desplazamiento máximo es de 0,8mm, por lo que no habrá ningún problema al realizar tareas sobre esta parte del suelo.

- Tensiones Principales.

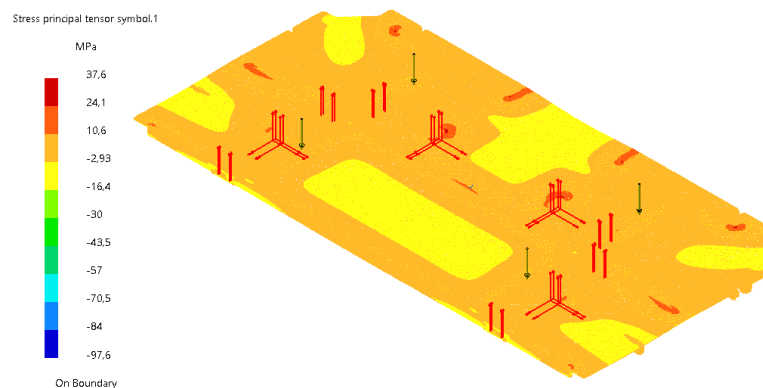


Figura 83. Distribución nodal de Tensores Principales del suelo.

Se puede observar en la *Figura 83* que la máxima tensión a tracción que se da en el suelo es de 37MPa, un valor que no implica riesgo para la pieza hecha de acero corriente. Igualmente, este valor máximo es menos restrictivo que el aportado por la distribución de tensiones de Von Mises.

Como conclusión de los resultados del análisis mediante FEM, se puede extraer que el suelo de acero no sufrirá en su ensamblaje sobre la superficie de 1,3x1,3m. Aunque los resultados de distribuciones tensionales pueden llevar a pensar que una estructura de Aluminio también sería válida, es necesario tener en cuenta que

la deformación en la zona central del suelo sería del orden de 1 cm, con lo que se podría llegar a plastificar debido al vaivén de la placa con un peso en esa zona.

- **Análisis del suelo unido a la base de 2x2m.**

Según el criterio aplicado para el análisis en la unión del suelo a la base de 1,3x1,3m y los resultados que se han obtenido, se puede obviar que no existe riesgo estructural para la configuración actual. En la Figura 75 se pueden observar los puntos de anclaje y de apoyo sobre la estructura. Para esta configuración se obtendría una tensión de Von Mises más elevada que la obtenida anteriormente, pero no suficiente como para que se deforme un acero ordinario, tipo S185.

Por lo tanto, se puede dar por válido el diseño del suelo junto con la estructura soldada.

#### 4.2.4. Grupo V: Elementos de seguridad.

En este proyecto, los elementos de seguridad que van ensamblados a la plataforma modular son las barandillas y los rodapiés. Aunque se podría llegar a implementar, otros elementos de protección como redes, rejillas, mamparas y eslingas no se han tenido en cuenta debido a la generalización con la que se ha planteado el diseño de la plataforma modular.

Todo rodapié va situado bajo una barandilla y por lo tanto, una razón para realizar un montaje rápido de la plataforma sería que la misma pieza constase de los dos elementos. Por ello se decide soldar el rodapié a las barras de la barandilla, de manera que al montarse quede ajustado a la altura del suelo.

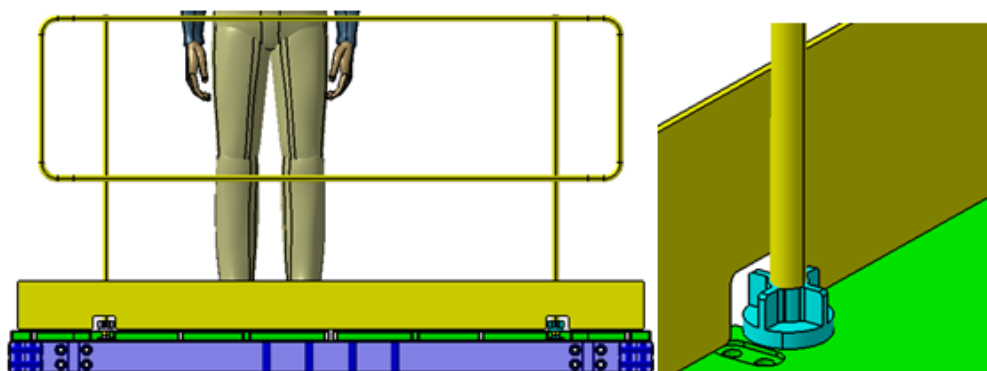


Figura 84. Izquierda, diseño del conjunto barandilla rodapié; derecha, detalle de soldadura del rodapié a la barra y accesorio de unión al suelo.

Las dimensiones de la barandilla son las adecuadas según la normativa *UNE-EN-ISO 14122*, se puede comprobar que queda a la altura de la cintura del operario, a la vez que se adapta tanto el largo de la barandilla como del rodapié a la base 2x2m del suelo. Los tubos de la barandilla son de acero, de diámetro  $\varnothing 20\text{mm}$  y grosor 3mm.

Para unir la barandilla a la estructura se utilizan los accesorios que aparecen en la *Figura 85*. El final de barra de la plataforma está roscado a M20. Se introduce un disco roscado que hace tope con el taco soldado al suelo a la vez que la pieza mecanizada aprieta en la parte superior.

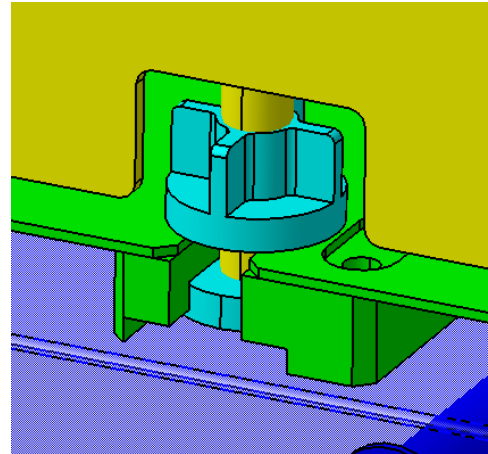


Figura 85. Accesorio de fijación de la barandilla al suelo de la plataforma.

Una vez se realiza la fijación de estos accesorios al suelo de la plataforma, la barandilla quedaría rígida. Para validar el comportamiento de la barandilla en el caso de apoyar una carga sobre la barandilla es necesario calcular que esfuerzo máximo es capaz de soportar.

#### - **Análisis de la barandilla sometida a carga.**

Para aplicar un caso límite de esfuerzo a la barandilla es necesario contemplar la normativa NTP 695, donde se especifican los casos a aplicar:

- La barandilla debe aguantar una carga de 0,3kN en la superficie de apoyo de un cuerpo, equivalente al ancho de cintura humana que es de 40cm. Solo puede deformar como máximo 35mm.
- En el lugar de mayor deformación, la barandilla debe soportar una carga puntual de 1,25kN y no rebasar los 200mm de deformación.

Las fijaciones de la barandilla se realizan de la manera siguiente:

- Se restringe la translación en X, Y, Z en la superficie superior del disco introducido dentro del taco del suelo.
- Se restringe solo la translación en el eje Z para el accesorio mecanizado, ya que es solidario a la la barra y recibe el tope del suelo.

Para realizar un mayado acorde a la geometría de la estructura, se define un tamaño

de elemento mucho más acurado en las zonas de cambio de sección de la plataforma:

- Distancia entre nodos adyacentes: 10mm  
Error de mallado respecto geometría: 5mm
- Distancia entre nodos adyacentes: 5mm  
Error de mallado respecto geometría: 3mm

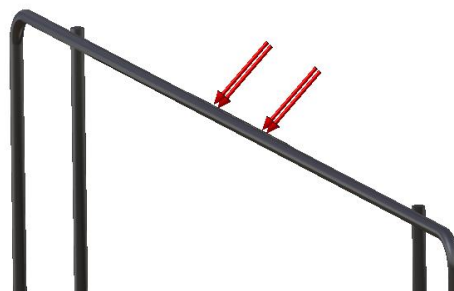


Figura 86. Aplicación de carga sobre la barandilla, 0,3kN a 45°.

Se aplica el primer caso de carga, 0,3kN en la superficie de apoyo de un cuerpo. El cuerpo se apoyará en la zona central de la barra superior. La carga se aplicará a 45° respecto la horizontal y de forma radial sobre la barra. Así lo define el esquema de la *Figura 86*.

Los resultados de la primera computación mediante FEM son los siguientes:

- Tensión de Von Mises.

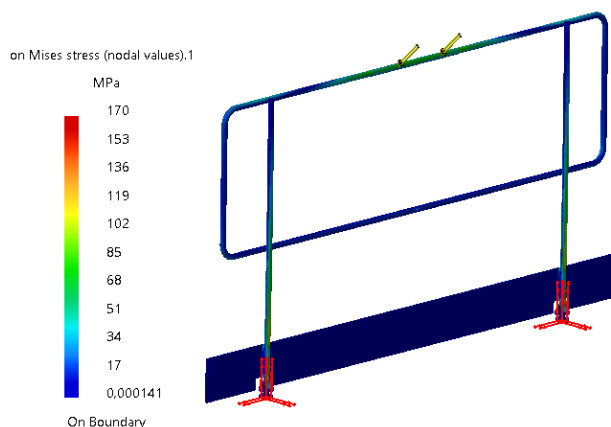


Figura 87. Distribución tensional de Von Mises para la barandilla en el primer caso de carga.

En la *Figura 87* se observa que para el primer caso de carga la tensión Máxima de Von Mises es de 170MPa. Este valor se da en la zona de las barras verticales más cercana a los accesorios de fijación. Esto se debe al gran esfuerzo a tracción que se

genera en zonas cercanas las bases fijas.

- Desplazamiento Vectorial.

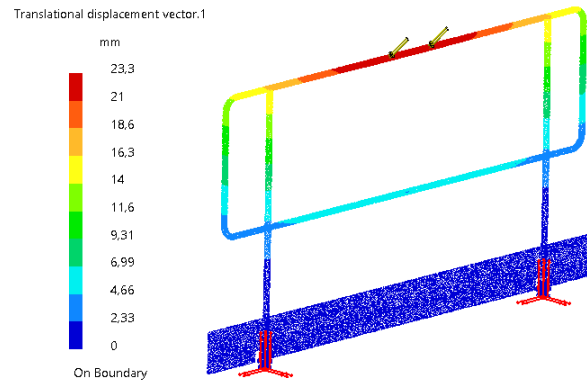


Figura 88. Campo de desplazamiento nodal de la barandilla.

A partir de la *Figura 88*, se puede concluir que la barandilla es apta para su uso en cuanto al desplazamiento máximo que ha sufrido, 23,3mm, que es menor que el desplazamiento máximo exigido por normativa en el caso de carga, 35mm.

- Tensiones Principales.

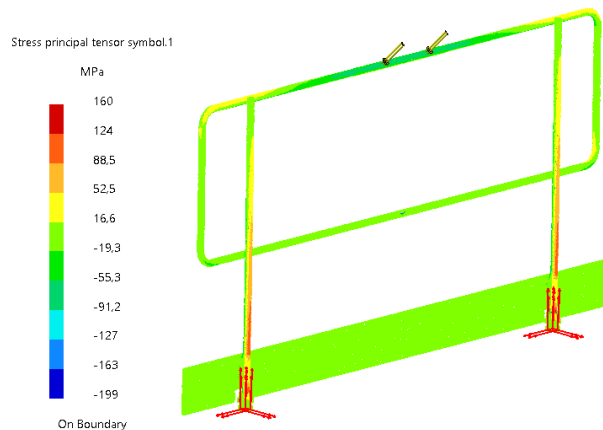


Figura 89. Distribución de Tensores principales de la barandilla.

El valor máximo de a tracción de la distribución de tensores principales es 160MPa, y por lo tanto, es menos restrictivo que el valor límite de la tensión de Von Mises.

Por lo tanto, teniendo en cuenta el valor máximo de la tensión de Von Mises para el primer caso de carga, el acero S185 sería válido para la fabricación de la barandilla y el rodapié en caso de tener un margen de seguridad  $\gamma_s=1,9$ .

- **Segundo escenario de carga: aplicación de carga puntual.**

Las condiciones de fijación de la barandilla son las mismas que en el caso anterior, lo único que ahora se aplica una carga de 1,25kN de manera puntual en la parte central del tubo pasamano. La restricción de la normativa NTP 695 implicaba que la máxima deformación de este punto no podía sobrepasar los 200mm de flecha.

El mallado de este escenario es el mismo que en el caso anterior, salvo que se aplica un refinamiento de 1mm de distancia entre nodos adyacentes alrededor del punto de aplicación de carga. Los resultados obtenidos tras la computación son los siguientes:

o Tensión de Von Mises.

Tal y como se puede observar en la *Figura 90*, el valor de la Tensión de Von Mises máximo en este caso de carga es de 717MPa. Este valor es mucho mayor que el límite elástico de cualquier acero de construcción o convencional. El valor se da en el contacto de la rosca de la barra con la rosca del accesorio de fijación.

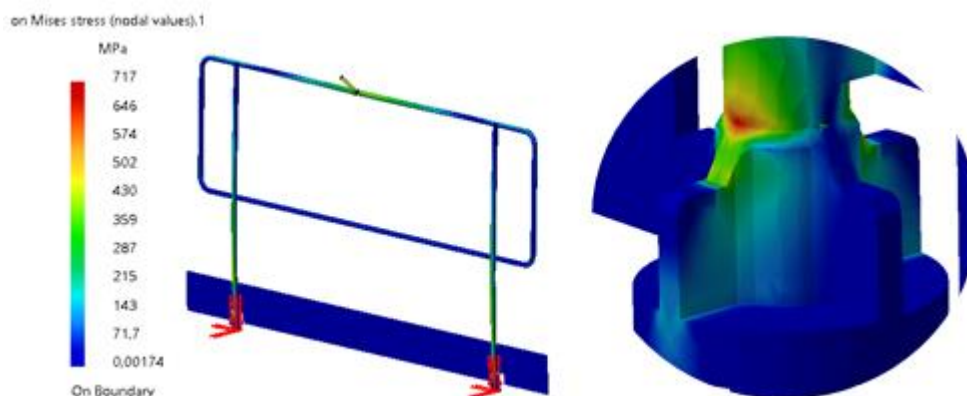


Figura 90. Distribución de tensiones de Von Mises del segundo caso de carga sobre la barandilla.

o Desplazamiento Vectorial.

Según la *Figura 91* se puede observar que la deformación máxima que se da para la geometría de la barandilla es de 98mm en la zona de aplicación de la carga. Este desplazamiento es menor que el máximo estipulado por normativa, que es de 200mm.

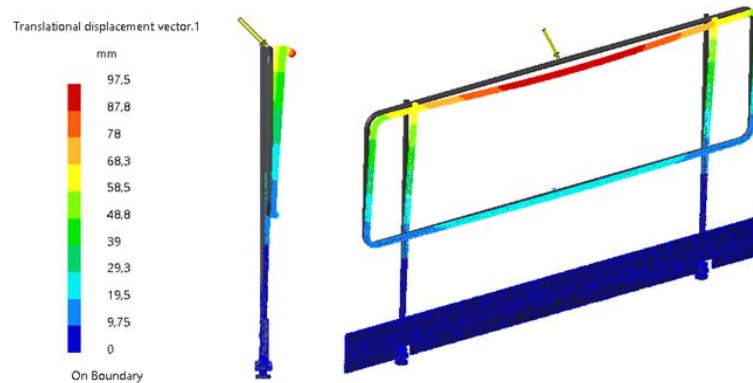


Figura 91. Desplazamiento nodal del segundo caso de carga sobre la barandilla.

Basándose en este segundo caso de carga, se puede decir que la primera propuesta que se ha planteado, la fabricación de la barandilla en S185, no es válida.

- **Como solución a este resultado se plantean los siguientes casos:**

- Fabricación de las barras verticales en acero especial para tornillería. Como ejemplo, el acero de tornillería de calidad 10.9, cuyo límite elástico es de 900MPa. Esta solución tiene un alto coste debido al material.
  - Fabricación de las barras verticales en dos tramos: el tramo inferior compuesto por una barra roscada de acero calidad 10.9, que rosca en el tubo de la parte superior de un acero más común. El accesorio se fabrica en acero ordinario para favorecer su mecanizado, y se introduce un inserto de calidad 10.9 como rosca. Esta solución implica un coste material menos elevado.
  - Otra solución posible sería implementar un cambio en la geometría del cuello del accesorio de fijación. Al incrementar la altura se incrementa la superficie de contacto y el esfuerzo se reduce notablemente. Este cambio implica una segunda iteración en la validación mediante FEM. En principio, esta solución es la menos costosa, e implicaría en caso de ser correcta una reducción notable en el uso de material especial que encarece la pieza.
- **Otra posible solución para la interpretación del resultado sería realizar un test de cualificación sobre un espécimen de la barandilla bajo las condiciones de carga aplicadas.** Esto implicaría la fabricación de una barandilla, pero se podría ahorrar el coste de fabricar piezas de acero especial gracias a la interpretación de los resultados tras el test.



### 4.3. Elementos secundarios del diseño.

Una vez validado el diseño de los accesorios y elementos generales de la plataforma, es necesario incidir en otros accesorios o elementos que toman un papel secundario pero no menos importante en el cumplimiento de los requerimientos del sistema.

#### 4.3.1. Sistemas de transporte del módulo.

Para transportar el módulo existen dos métodos utilizados comúnmente: el uso de un puente grúa y el uso de una carretilla de carga.

En el caso del transporte mediante puente grúa, se ha indicado en el diseño preliminar, capítulo 3.1.4., que se podría hacer mediante la inclusión de cáncamos como elementos de la estructura. Estos cáncamos serían extraíbles, con lo que la estructura no constaría de elementos salientes que pudieran interferir en la apilabilidad o montaje de estructuras.

En la *Figura 92* se puede ver que el cáncamo va soldado a una barra roscada de longitud 120mm, que introducida en los tubos de la estructura favorece al apriete del cáncamo al roscar una tuerca por debajo del tubo. Si se colocasen 4 cáncamos a 90° en la base superior de la estructura, cada uno soportaría 137,5kg del peso de la estructura.

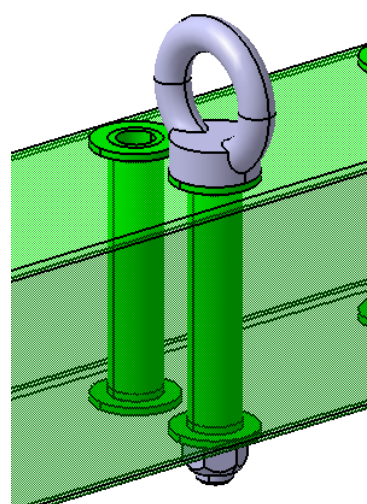


Figura 92. Cáncamo anclado a la estructura.

Para el transporte mediante una carretilla de carga, sería necesario colocar dos tubos en la base superior de forma que pudiese cargar los 550kg de masa de la estructura colocando las dos palas en el interior. Como mecanismo se propone la colocación de dos perfiles en U con dos pasantes de diámetro  $\varnothing 14$  a cada extremo. Se puede observar la configuración para transporte en la *Figura 93*. Este accesorio dispone de pasantes para montar los perfiles en tanto en la base superior como en la inferior.

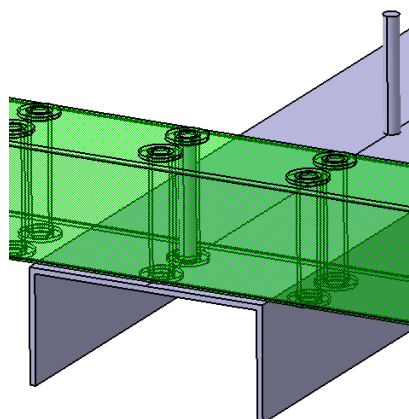


Figura 93. Sistema para el transporte mediante carretilla.

#### 4.3.2. Sistema de unión de módulos.

Como se ha podido observar en el transcurso del diseño al detalle, se han añadido tubos soldados mediante voladizo a los tubos de las bases de la estructura modular. A parte de servir para la unión del suelo o de escaleras a la plataforma, sirven para unir los módulos que se encuentran en contacto entre sí.

Estas uniones no se han analizado, ya que la carga lateral a la que se somete la estructura es la de la fuerza que se debe hacer para vencer la carga estática del peso de la estructura y realizar movimientos por parte del operario. La carga del viento no se tiene en cuenta ya que la estructura se ha diseñado con la finalidad de trabajar en instalaciones interiores.

Las uniones se hacen de dos maneras:

- En vertical: se unen dos módulos base contra base mediante 32 pasantes roscados de M14.
- En horizontal: se unen dos módulos mediante el apriete de los dos tubos laterales de una base mediante 8 pasantes roscados de M14.

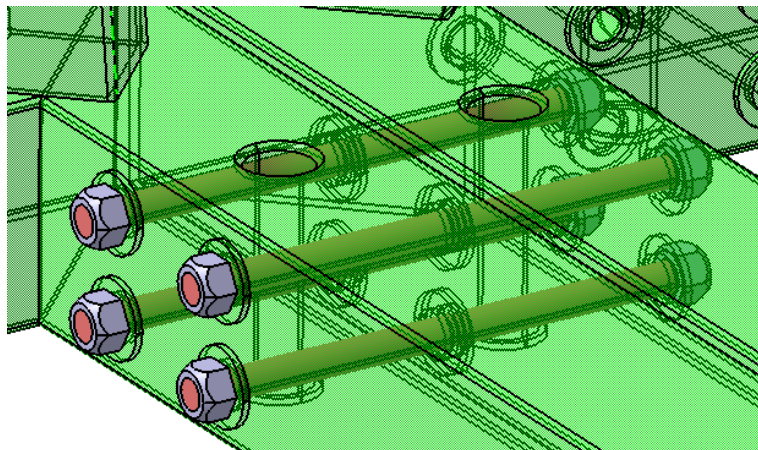


Figura 94. Detalle de media unión lateral de dos módulos.

## 5. Implementaciones para una futura ampliación de proyecto.

En futuras ampliaciones del proyecto se podría llevar a cabo otras modificaciones que en este proyecto no se han tenido en cuenta.

### 5.1. Transporte mediante motor reductor.

La introducción de un motor reductor en la plataforma habilitaría el movimiento automático y controlado sin la necesidad de recurrir a la fuerza de operarios para realizar el movimiento, que bajo el control manual puede llegar a ser brusco.

Mediante dos motores reductores, que serían extraíbles, se podría controlar el movimiento de la plataforma en el plano XY. La inclusión de motores reductores implicaría el diseño de un software para el control automático de la plataforma, mediante mandos interactivos u otros sistemas electrónicos.

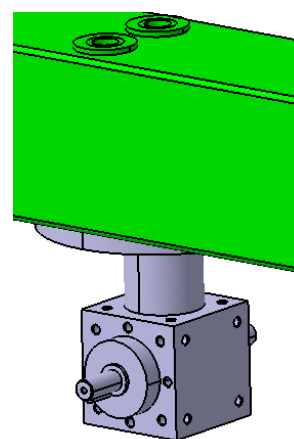


Figura 95. Motor reductor incluíble en ampliación.

### 5.2. Distribución de aire comprimido.

En gran parte de las operaciones que se realizan sobre las plataformas se precisa de aire comprimido, como por ejemplo el remachado que es la tarea más repetida en el proceso de fabricación de aeronaves. En una posible ampliación, se pondría tener en cuenta un sistema de 4 tubos, uno por cada esquina del módulo, que se podría unir a otros módulos mediante latiguillos. De esta manera se podría distribuir aire comprimido a todas partes de la plataforma. En la *Figura 96* aparece un croquis de la aplicación del sistema.

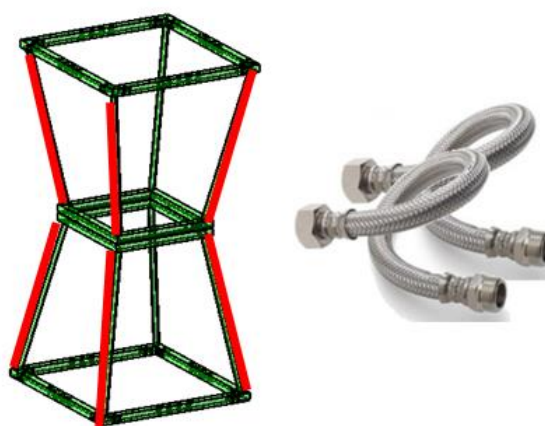


Figura 96. Localización de tubos de distribución de aire con latiguillos.

## 6. Muestrario de configuraciones de plataformas.

A continuación se puede visualizar dos casos de unión de módulos para formar distintos tipos de plataforma, viendo cómo puede crecer tanto en vertical como en horizontal la unión de estructuras. La aeronave que se ha usado para esquematizar el funcionamiento de las plataformas es una AIRBUS A350.

- **Plataforma de revisión del fuselaje posterior y acceso a bodega.**

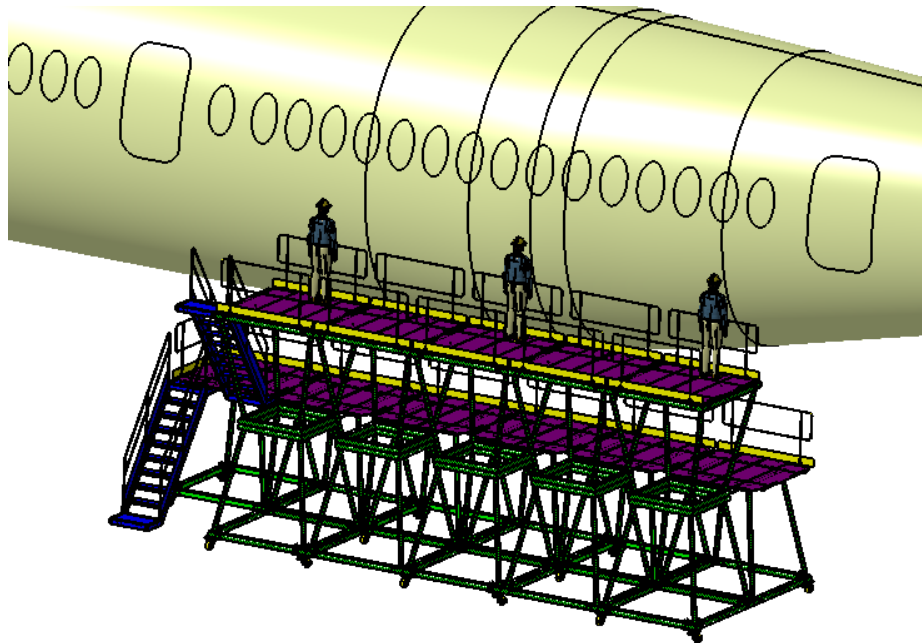


Figura 97. Vista general de la plataforma en la bodega posterior del A350

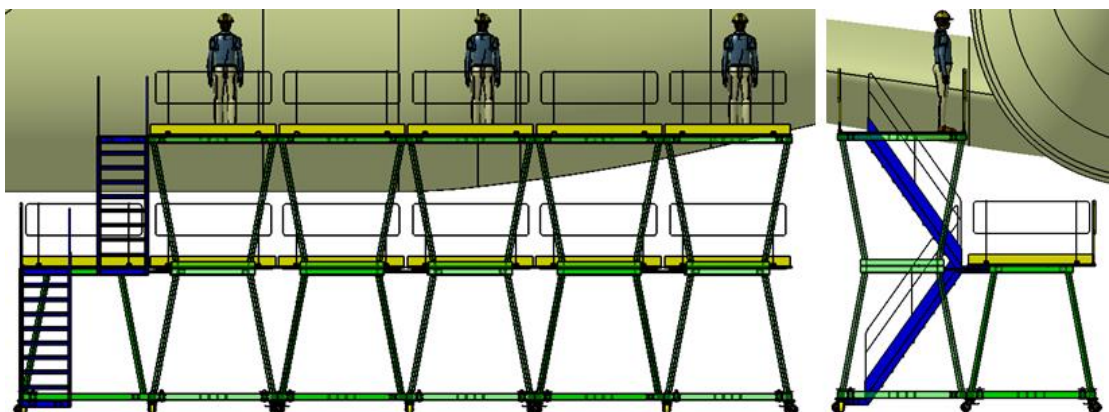


Figura 98. Alzado y perfil de la plataforma en la bodega.

- **Plataforma de revisión de motores del A350.**

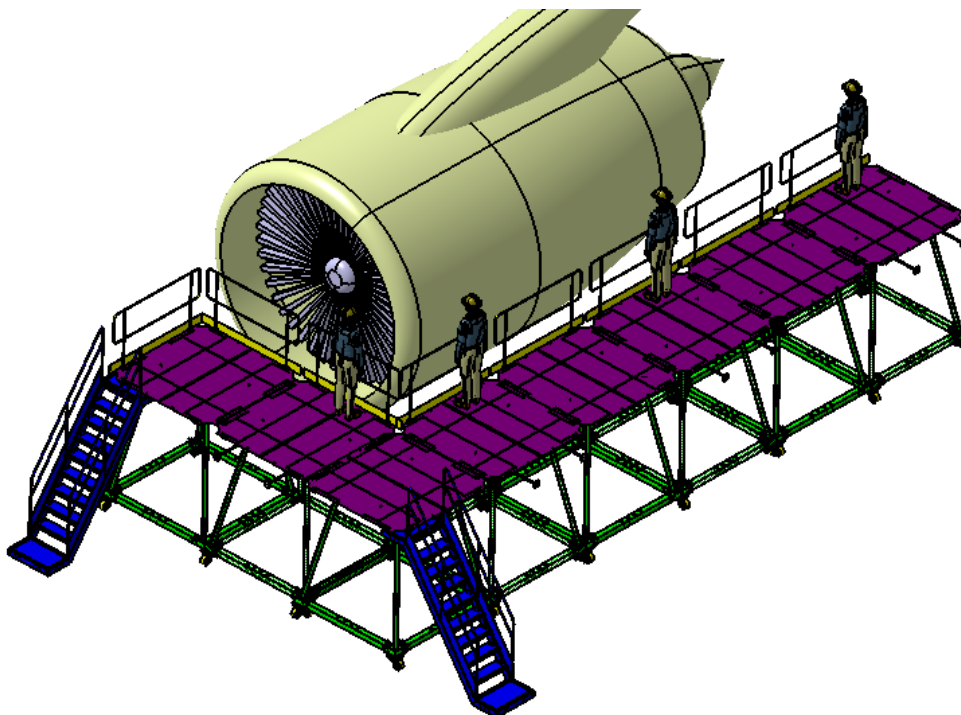


Figura 99. Vista general de la plataforma alrededor del motor del A350.

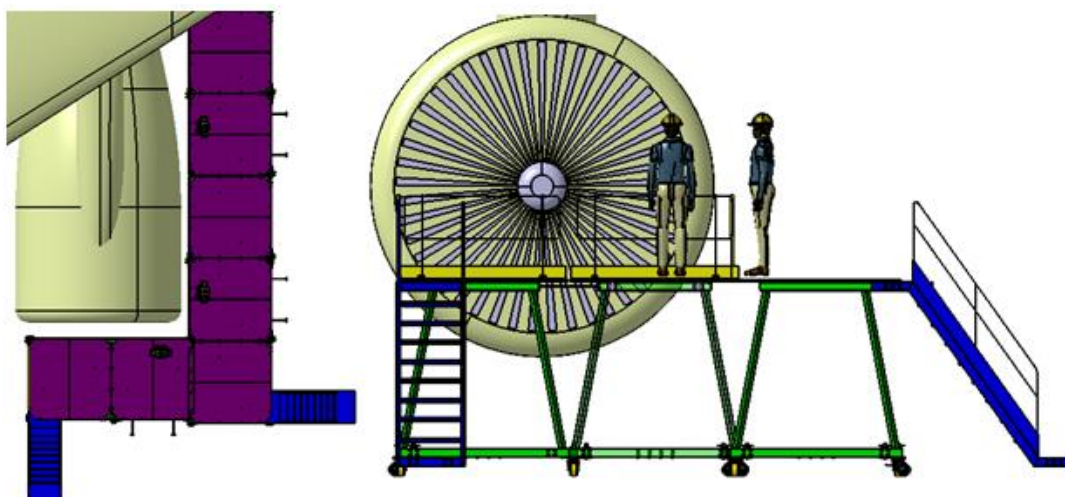


Figura 100. Adaptación de la plataforma al contorno del motor.

A partir de estos dos casos se puede ver las posibilidades de montaje que se es capaz de crear con este sistema. Si se hace un ensamblaje rápido de la plataforma, y se dispone de espacio para almacenar módulos, la solución dota al cliente de transversalidad para configurar sus plataformas.

## 7. Planificación del Proyecto.

Al principio del término de tiempo dedicado a la realización del proyecto, se ha definido la planificación en base a los recursos necesarios para llevar a cabo las diferentes operaciones.

Los hitos del proyecto se han marcado según la fecha de inicio y la fecha de fin del proyecto:

- Inicio del Proyecto: 15/02/2016
- Cierre del Proyecto: 25/07/2016

La fecha de estos hitos viene marcada por el calendario académico ordinario, en el que se plantea el inicio del proyecto en el momento del inicio del cuatrimestre y el cierre del proyecto tras el período de exámenes finales.

Es necesario comentar la desviación que se ha dado en la planificación a tiempo real respecto la planificación inicial. Esto se ha debido a factores puntuales que han repercutido en los recursos asignados al proyecto como puede ser la carga de trabajo durante los meses de clase, de Abril a Mayo, o el período de exámenes durante Junio.

La planificación de hitos y el retraso en la consecución de operaciones se puede observar en el diagrama de Gantt de la Figura x, en la página siguiente.

Fases hipotéticas posteriores al desarrollo del proyecto, como serían una posible certificación, operaciones de marketing o comercialización, no se han incluido en la planificación.

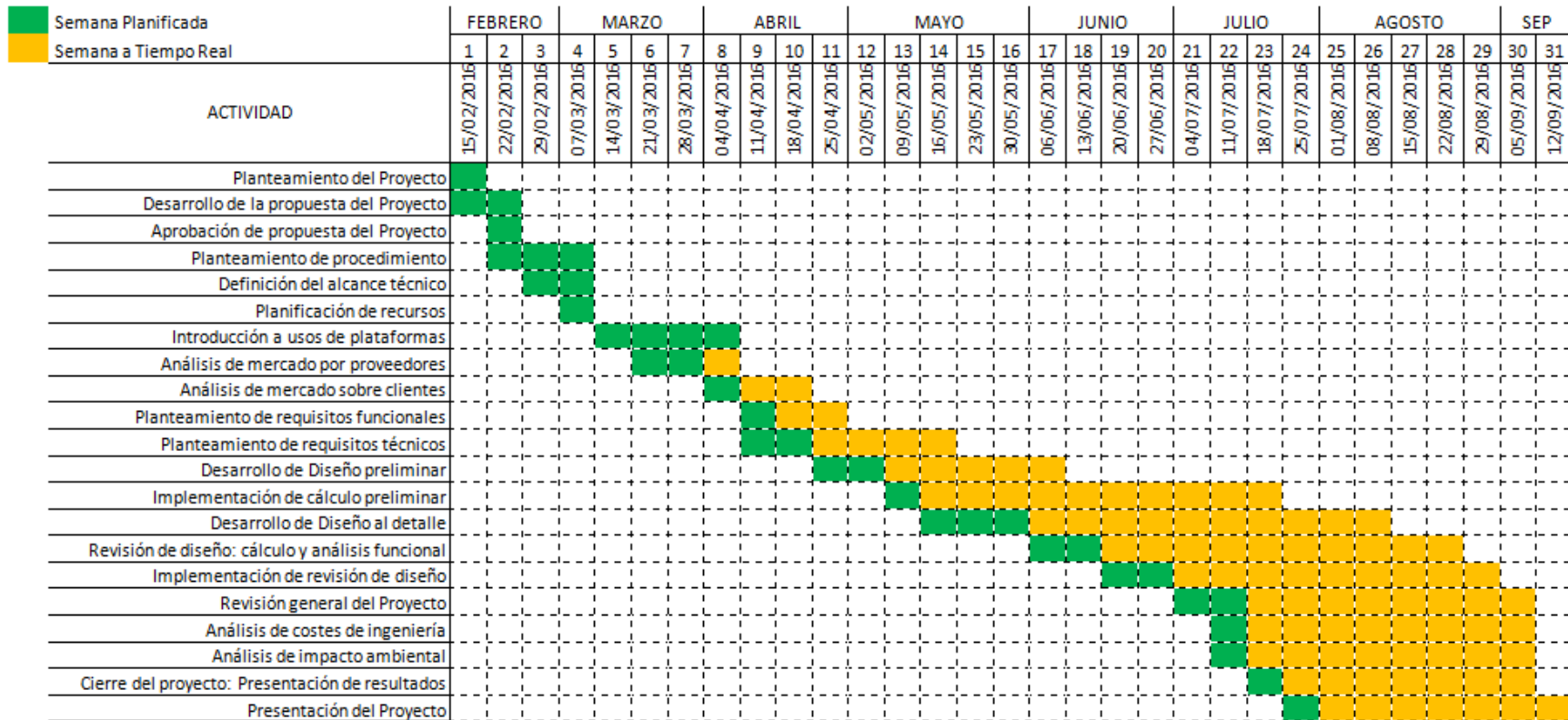


Figura 101. Diagrama de Gantt del proyecto.

## 8. Presupuesto del Proyecto.

Para obtener un presupuesto total del proyecto es necesario tener en cuenta los costes de Fabricación, los costes de Gestión y los costes de Ingeniería. Sin tener en cuenta Costes de Fabricación, el **Coste total del Proyecto es de 14540 €**. Este coste se desglosa a continuación.

Tabla 5. Coste del proyecto desglosado.

	Concepto	Coste(€)/hora	Horas total	Coste total (€)
GESTIÓN	Planificación de Proyecto	40,00 €	4	160,00 €
	Análisis de Mercado	40,00 €	20	800,00 €
	Seguimiento Semanal de Proyecto	40,00 €	15	600,00 €
	Cierre de Proyecto	40,00 €	6	240,00 €
	<b>Coste Subtotal de Gestión</b>			<b>1.800,00 €</b>
INGENIERÍA	Investigación en métodos de construcción	60,00 €	15	900,00 €
	Planteamiento de especificaciones	60,00 €	20	1.200,00 €
	Diseño Preliminar	30,00 €	30	900,00 €
	Diseño al Detalle	40,00 €	25	1.000,00 €
	Cálculos y Análisis Estructurales	100,00 €	20	2.000,00 €
	Análisis de Impacto ambiental	60,00 €	4	240,00 €
	Licencia de Diseño Mecánico	2,00 €	50	100,00 €
	Licencia de Cálculo Estructural	18,00 €	20	360,00 €
	<b>Coste Subtotal de Ingeniería</b>			<b>6.700,00 €</b>
<b>COSTE TOTAL DEL PROYECTO</b>				<b>8.500,00 €</b>

El coste horario de las licencias de software se ha calculado mediante la división del coste anual de la licencia entre el número de horas usadas al año. Esta cantidad se multiplica por un margen igual a 2, para obtener un coste horario que garantice el beneficio en una posible comercialización.

### 8.1. Costes de Fabricación.

Para este proyecto no se han analizado los costes de fabricación debido a la dificultad de obtener información fiable y exacta, fundamentalmente por dos hechos:

- La negativa a realizar un presupuesto por parte de profesionales de la fabricación.



- La incapacidad de obtener un presupuesto de manera objetiva y documentada basándose en peso de material, porcentajes de mecanizados y soldadura, sin realizar antes un análisis a fondo.

## 9. Impacto Ambiental.

Para este tipo de proyecto se puede dividir el análisis de impacto ambiental en tres partes: la fase anterior al uso del módulo, fase de uso del módulo y fase de obsolescencia del módulo.

### 9.1. Fase anterior al uso del módulo.

En esta fase se comprende el impacto ambiental causado por las operaciones de desarrollo, fabricación y distribución del producto.

Durante el desarrollo del proyecto, no se produce ninguna intervención que implique un impacto ambiental. Es destacable el impacto causado durante operaciones de fabricación dentro de las cuales están:

- **Obtención de materia prima:** el proceso de obtención del acero se basa en la inyección de oxígeno para quemar el carbono del hierro. se producen grandes cantidades de monóxido de carbono.
- **Mecanización:** se produce gran cantidad de virutas y retales de material durante el mecanizado de las piezas. El sobrante se puede reciclar como chatarra para la producción de acero.
- **Soldadura:** se generan humos de soldadura a partir del material base, el material de aporte y los gases que rodean la zona de soldadura. Estos gases son altamente contaminantes, irritantes y provocan problemas de respiración, por lo que el soldador debe realizar la tarea en un taller que disponga de extracción de gases.
- **Tratamientos superficiales:** en operaciones de pintado y pavonado existe la posibilidad de provocar la intoxicación del operario aplicador mediante aerosoles, por lo que se debe realizar con máscara y en atmósfera negativa de un lugar cerrado. La aplicación de otros tratamientos superficiales implica la preparación de la superficie mediante operaciones de desbastado, desbarbado y pulido entre otras más, en las cuales se puede producir una intoxicación debido a la inhalación de partículas de material abrasivo.

A parte de la contaminación química y material que se puede producir durante la fabricación,

también cabe tener en cuenta la contaminación acústica. Todas estas operaciones se deben realizar en lugares especialmente adaptados para su realización.

En el transporte y distribución se produce menor o mayor cantidad de contaminación ambiental en función de los medios que se utilicen. Como solución se plantea proporcionar a cliente el mayor número de módulos posibles transportables en un mismo viaje como paquete mínimo de pedido.

## **9.2. Fase de uso del módulo.**

Durante el uso del módulo se produce alteración del medio en operaciones de montaje y durante modificaciones de la plataforma. En el caso del montaje, se produce contaminación acústica por los vehículos o grúas utilizados para el movimiento dentro de planta, a más a más del contacto que se produce al montar un módulo sobre otro.

En caso de utilizar medios ruidosos para la unión de módulos sería necesaria la utilización de cascos, incluidos en los EPI's del operario. El montaje cercano a vías públicas puede comportar la molestia auditiva de los viandantes que se encuentren cerca, por ello es aconsejable realizar las operaciones en lugares alejados de la urbe o habilitados para contener la contaminación acústica.

## **9.3. Fase de obsolescencia del módulo.**

En caso de que un módulo sufra daños y entre en des-huso, el almacenamiento se realizará en lugares cerrados. Para evitar la acumulación en nave de módulos obsoletos que conllevaría a la extracción de módulos al exterior con su consecuente contaminación paisajística y espacial, es necesario exigir el reciclaje de todos aquellos elementos que sean aptos y el procesamiento adecuado de los que no lo sean. Ejemplos de los dos tipos son:

- Estructuras de acero, reciclables.
- Plástico de ruedas y protecciones, reciclables.
- Aceites para lubricación, no reciclables.

## **10. Conclusiones.**

### **10.1. Conclusiones analíticas sobre el proyecto.**

Después de todo el análisis funcional y estructural realizado durante el proyecto, se ha conseguido diseñar como prototipos el conjunto de estructura y accesorios que se había planteado como objetivo. En algunos casos es cierto que los análisis estructurales realizados no son suficientemente concluyentes pero sí que existe método experimental para concretar el comportamiento estructural, con lo que sí que se consigue una definición total del prototipo realizado.

Por otro lado, el diseño de prototipo realizado pertenece a una fase de desarrollo del producto encarada mayormente a la experimentación y visión general de cuál podría ser el diseño definitivo pero sin entrar en detalle, por lo que el enfoque comercial que se le ha dado en un principio en el análisis del estado del arte no se llega a satisfacer debido a la falta de detalle del producto. Por ello, es difícil saber la capacidad de inclusión en el mercado que podría tener el producto al encontrarse en fase de desarrollo de prototipo.

Finalmente, al basarse en los requisitos funcionales básicos a satisfacer que han sido propuestos en el apartado 3.1. y observando el resultado del prototipo, se puede concluir que las solicitudes requeridas se cumplen mediante el diseño que se ha hecho de la estructura y de los accesorios. Además, se ha cumplido el objetivo de adaptar el diseño de la estructura para obtener diferentes configuraciones de plataformas mientras se cumplen los requisitos funcionales.

### **10.2. Conclusiones personales sobre el proyecto.**

Desde la visión personal del autor, es necesario destacar la facilidad que ha aportado el hecho de estar trabajando en una empresa de ingeniería donde se realiza diseño mecánico y análisis de partes mediante FEM, además de estudios de I+D que ayudan a ampliar la visión en el estudio de funcionalidad de un producto. Es obvio que para la realización del proyecto se han utilizado conceptos y conocimientos adquiridos durante la carrera universitaria, pero la inserción profesional en el sector de construcción y aeronáutica ha ayudado notoriamente en la ampliación de conocimientos sobre la materia.

Por otro lado, es preciso comentar la satisfacción que aporta realizar un trabajo del calibre de un trabajo final de grado ya que, a diferencia de otros trabajos a lo largo de la carrera, este trabajo ha favorecido a mejorar la capacidad de adquirir conocimientos de manera totalmente autónoma, y la capacidad de plasmarlo analíticamente y de manera crítica.



# Bibliografía.

## Referencias bibliográficas

### Libros

M. GERE, James, TIMOSHENKO, Stephen, *Resistencia de Materiales*. Tomo I, Ann Arbor, Ed. Thomson, 5ª ed., 2002, (1ª ed. 1953)

ROURE FERNÁNDEZ, Francesc, *Resistencia de materiales. Capítulo 4. Esfuerzo cortante*, Barcelona, Ed. CPDA-ETSEIB, 2000.

MCCORMAC, Jack, *Diseño de estructuras metálicas*. Clemson, Ed. Alfaomega, 4ª ed., 1999.

NEIBEL, Benjamin, FREIVALDS, Andris, *Ingeniería Industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*. México DF, Ed. Alfaomega, 11ª ed, 2004.

CHEVALIER, André, *Dibujo industrial*. México D.F., Ed. Limusa, 7ª ed., 2000.

NIEMANN, G, *Elementos de máquinas. Volumen I*, Barcelona, Ed. Labor, 1987.

F. SMITH, William, *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. Orlando, Ed. McGraw Hill, 3ª ed., 1999.

VASQUEZ ANGULO, José Antonio, *Análisis y diseño de piezas con CATIA V5*. Barcelona, Ed. Marcombo, 2ª ed., 2011.

ULRICH, Karl T., EPPINGER, Steven D., *Diseño y desarrollo de productos*. México D. F.,

### Catálogos

SCHAEFFLER, Technical pocket guide. Herzogenaurach, Schaefflet Technologies GMBH, 1ª ed., 2014.

ZARGES, Escaleras y andamios, 2016  
[<http://www.escalerasyandamios.com/catalogo/aviación>]

UNISYSTEMS, Sistemas aeroespaciales, 2016 [<http://solutions.unisystems.com/es/Soluciones-Aeroespaciales>]

LAYHER, Sistemas de andamiaje, 2016 [<http://www.layher.es/industria>]

MIJL, Aircraft docking, 2016 [<http://www.aircraftdocking.com>]

### **Normativa**

Norma UNE-EN-ISO 14122, *Seguridad de las máquinas. Medios de acceso permanente a máquinas e instalaciones industriales.*

Directiva Europea 89/654/ CEE de 30 de noviembre, *Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.*

REAL DECRETO 2177/2004, de 12 de noviembre, *Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura.*

NTP 695, *Torres de trabajo móviles (I)*

NTP 696, *Torres de trabajo móviles (I)*

### **Manuales**

AIRBUS S.A.S., *AIRBUS A320 Aircraft characteristics and Maintenance Planning.* Blagnac Cedex, AIRBUS Technical data support and services, 2005.

AIRBUS S.A.S., *AIRBUS A380 Aircraft characteristics and Maintenance Planning.* Blagnac Cedex, AIRBUS Technical data support and services, 2005.

BOEING, 717 Charactersitics for Airport Planning. Seal Beach CA. , BOEING Commercial airplanes, 2014.

### **Webs**

Mantenimiento de Aeronaves, Foroaviones.

[<http://foroaviones.webs.com/mantenimientodeaeronaves.htm>], 2009