

09-027

**LANDING GEAR DESIGN FOR A COMMERCIAL AIRPLANE AS AN ACADEMIC PROJECT IN
SUBJECTS RELATED TO PRODUCT DEVELOPMENT**

Fernández Muñoz, Reyes ⁽¹⁾; Sola Guirado, Rafael Rubén ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Córdoba

In this project, the integral development of a retractable landing gear has been carried out starting from the geometry of the fuselage of a commercial airplane. This project shows a methodology of the development process of this engineering product that has great academic utility in this field. The most important phases of machine design are addressed, from the conceptual design starting from real specific specifications to its final prototyping, going through a complete number of calculations. For the different stages, different manuals and relevant regulations have been used and referenced in this regard, showing in the work an exhaustive documentary compilation that does not exist in other works. Throughout the process, a large set of computational tools have been used. The main phases followed were: mechanism synthesis (location, dimensions, limit movements) and kinematic study; conceptual design of main components; detailed element design and selection of commercial components; assembly and mobility restrictions; static and dynamic component calculations; simulation of aerodynamic loads; obtaining documentation for manufacturing; preparation of specifications (quality, economic and safety); obtaining photorealistic images and rapid prototyping through additive manufacturing.

Keywords: product development; design; CAD; CAE; simulation; aeronautics

**DISEÑO DE UN TREN DE ATERRIZAJE PARA AVIÓN COMERCIAL COMO PROYECTO
ACADÉMICO EN MATERIAS RELACIONADAS CON EL DESARROLLO DE MÁQUINAS**

En este proyecto se ha realizado el desarrollo integral de un tren de aterrizaje retráctil partiendo de la geometría del fuselaje de un avión comercial. El trabajo muestra una metodología del proceso de desarrollo de este producto ingenieril que tiene una gran utilidad académica en este ámbito. Se abordan las fases más importantes del diseño de máquinas, desde el diseño conceptual partiendo de especificaciones concretas reales hasta su prototipado final, pasando por un completo número de cálculos. Para las diferentes etapas se han utilizado y hecho referencia a diferentes manuales y normativas relevantes al respecto, mostrándose en el trabajo una compilación documental exhaustiva que no existe en otros trabajos. A lo largo del proceso se han utilizado un numeroso conjunto de herramientas computacionales. Las principales fases seguidas fueron: síntesis de mecanismo (ubicación, dimensiones, movimientos límite) y estudio cinemático; diseño conceptual de componentes principales; diseño detallado de elementos y selección de componentes comerciales; ensamblaje y restricciones de movilidad; cálculos estáticos y dinámicos de componentes; simulación de cargas aerodinámicas; obtención de documentación para fabricación; elaboración de pliego de condiciones (calidad, económico y seguridad); obtención de imágenes fotorrealistas y prototipado rápido mediante fabricación aditiva.

Palabras clave: desarrollo de producto; diseño; CAD; CAE; simulacion; aeronáutica



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El sector aeronáutico es un importante contribuyente de la economía española, aportando directa o indirectamente 20.630 millones de euros al PIB del país. En 2020, este sector lideró la inversión en I+D+i en España, destinando el 8% de su facturación a actividades de investigación y desarrollo. El tren de aterrizaje es una pieza fundamental en la conexión entre la aeronave y el suelo, compuesta principalmente por ruedas, frenos, amortiguadores y estructura general, entre otros componentes. Su diseño es único para cada aeroplano y depende de variables como el peso, geometría, centro de gravedad y espacio disponible. El diseño de este sistema es complejo y requiere un estudio de ingeniería profundo y una base multidisciplinar. La relación del sector aeronáutico con el sector industrial es fundamental, ya que ambos están conectados en el proceso de diseño y manufactura de aeronaves.

2. Antecedentes

2.1. Contexto histórico

Los hermanos Wright utilizaron patines deslizantes en su primer vuelo en 1903, mientras que durante la Primera Guerra Mundial se comenzaron a desarrollar aviones más pequeños y ligeros. En la Segunda Guerra Mundial, se instaló una rueda de cola direccional y se creó el primer diseño de tren de aterrizaje convencional. Los trenes de aterrizaje retráctiles se diseñaron para los cazas que debían volar a mayor velocidad, reduciendo la carga aerodinámica. Después de la Segunda Guerra Mundial, aparecieron las primeras aerolíneas, lo que provocó cambios en la disposición del tren de aterrizaje, pasando a una rueda en la parte delantera y dos en la parte trasera. Este sistema mejoró la visión del piloto, la estabilidad en el despegue y aterrizaje, y disminuyó la resistencia aerodinámica. (TRALLERO et al., 2013).

3. Avión seleccionado para el estudio: AIRBUS A380-800

El diseño del tren de aterrizaje de este proyecto parte del análisis del A380-800, avión fabricado por la empresa europea Airbus siendo considerado como el avión comercial con más capacidad para pasajeros del mundo, Innovation – Airbus A380. (2015).

El tren principal de la aeronave está compuesto por una serie de componentes divididos en tres grupos en función de su grado de importancia en este trabajo (Tabla 1). Dichos componentes han sido dimensionados, diseñados y optimizados con el objetivo de recopilar toda la metodología para el diseño de piezas y componentes de un tren de aterrizaje principal de una aeronave

Tabla 1: Clasificación de los componentes del tren de aterrizaje

Grupo 1: Componentes Críticos	Grupo 2: Componentes estructurales	Grupo 3: Sistema de retracción
Amortiguador Neumáticos Llantas Frenos	Bogie Limitador de torsión	Actuadores Compartimento Anclajes al fuselaje Juego de barras y sistema de seguridad

3.1. Punto de partida - Fuselaje

El punto de partida de este proyecto es el fuselaje de la aeronave. Para ello se han obtenido los datos dimensionales, materiales, pesos máximos estructurales y estudios del centro de gravedad en las diferentes maniobras.

4. Conocimientos previos al diseño. Configuración y tipo de tren de aterrizaje

El primer paso es la decisión del tipo de tren de aterrizaje a elegir, para ello se hace un análisis de las diferentes opciones en función de los diferentes parámetros en función del tipo, uso de la aeronave y normativa de aplicación. Finalmente se decide utilizar una configuración tipo tándem, respetando las mismas distancias WheelBase y WheelTrack que el avión de estudio con movimiento de retracción en el interior del fuselaje. De esta forma se respeta la normativa, donde se prohíbe colocar el tren de aterrizaje justo debajo del tanque de combustible.

5. Cálculo de la altura del tren de aterrizaje

La altura del tren de aterrizaje se define como la distancia existente entre el suelo y la estructura de la aeronave donde se encuentra anclado, en este caso el fuselaje. En la normativa FAR 25 se impone una altura libre de entre 0,5 y 1,5 metros para aviones con turbomotores colgando de las alas. Por tanto, el tren de aterrizaje a diseñar va a tener una altura de 2,2 metros (Figura 1), recordando que este valor es entre el suelo y el fuselaje. La distancia entre el turbomotor y el suelo es de 1,5 metros, cumpliéndose la normativa de diseño de aeronaves FAR 25, Innovation – Airbus A380. (2015).

Figura 1: Fuselaje y altura elegida del A380-800



Para corroborar que esta altura cumple con los requisitos marcados en el proceso de diseño se realizan diferentes comprobaciones que son las siguientes:

- Cumplimiento de posición estática y de rodaje: El objetivo es proteger la aeronave en las maniobras de taxi y estáticas donde puede sufrir una colisión o puede introducirse objetos o excesiva suciedad en los motores.
- Espacio libre de rotación al despegue: Se comprueba el ángulo de rotación al despegue para evitar que la aeronave golpee en la pista si el tren es demasiado bajo.
- Angulo de inclinación hacia atrás: Se verifica que la altura del tren de aterrizaje permite a la aeronave despegar sin que sufra un vuelco hacia atrás

6. Dimensionamiento de los componentes críticos del tren principal

Para realizar el dimensionamiento de dichos componentes deben conocerse la distribución de cargas tanto en estático (posición parada, CG en posición máxima y CG en posición mínima) como en dinámico (Cargas en frenada y aceleración) del tren de aterrizaje principal de la aeronave. Los resultados han sido obtenidos mediante cálculo paramétrico, corroborando los resultados con programas de cálculo matemático. Siempre siguiendo la

normativa FAR y cumpliendo con los factores de seguridad estipulados Esteban Roncero, S. (2016).

Para los futuros cálculos de dimensionamiento y diseño se hará uso del valor de carga más alto para que todos los componentes estén correctamente dimensionados (Tabla 2). En este caso se da en la aceleración del avión durante el despegue, ya que es donde mayor peso existe (estructura, líquidos, pasajeros, cargas y centro de gravedad más alejado del tren principal).

Tabla 2: Resultados obtenidos de la distribución de cargas

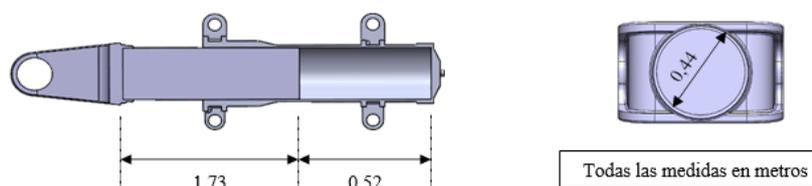
	Tren Principal (2 ejes) Valor (MN)	Tren Principal (1 eje) Valor (MN)	Porcentaje (%)
Carga estática parado	3,456	1,728	60,10%
Carga estática CG posición máxima	3,800	1,900	66,07%
Carga estática CG posición mínima	3,332	1,666	57,95%
Carga dinámica en frenada	3,505	1,753	60,95%
Carga dinámica en aceleración	3,937	1,969	68,47%

6.1. Dimensionado y diseño del Amortiguador

Tras realizar un estudio del arte de los diferentes amortiguadores utilizados en aviación y teniendo en cuenta el uso comercial y el elevado peso de la aeronave se elige para el diseño un amortiguador oleoneumático (nitrógeno-aceite) de doble efecto con una configuración telescópica que es la que mayor relación eficiencia – peso posee y la más capacidad para aguantar el viento lateral y cargas de arrastre (Trallero et al., 2013).

En el proceso de dimensionamiento se calcula la carrera, relaciones de carga, relaciones de presión-volumen y cilindro interior (Figura 2).

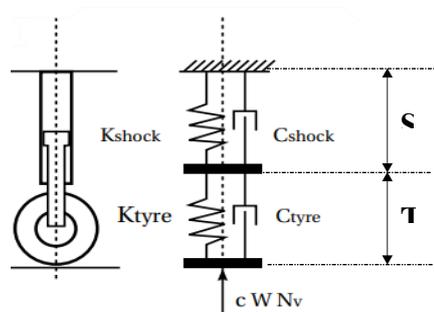
Figura 2: Dimensiones del vástago interior principal



La elección de materiales ha sido en concordancia con los materiales utilizados en otros aviones comerciales de peso similar y siguiendo las normativas de los materiales utilizados en aviación. Siendo el amortiguador íntegramente en Acero inoxidable 300M con interior del vástago cromado.

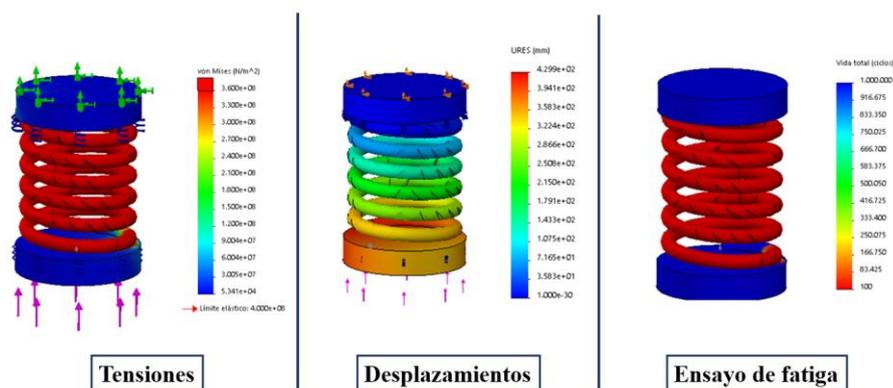
Un amortiguador de doble efecto de estas características supone un auténtico reto modelarlo y simularlo mediante elementos finitos por la gran complejidad que tiene. Para realizar este diseño se ha hecho una simplificación (Figura 3), convirtiendo el proceso de expansión y compresión del de nitrógeno-aceite por las diferentes cavidades en la utilización de un resorte y un amortiguador, Sanchez, R. (2013).

Figura 3: Simplificación del sistema amortiguador



Una vez realizado el dimensionamiento del resorte con las cargas obtenidas anteriormente se hace un ensayo estático mediante elementos finitos (Figura 4)

Figura 4: Ensayo estático del resorte simplificado



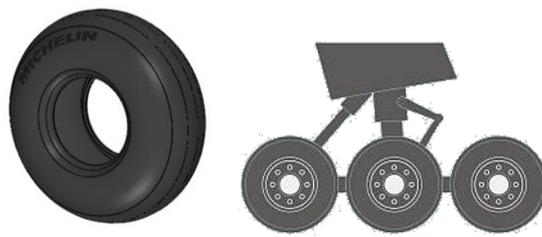
Se concluye que este tipo de amortiguador no es adecuado para aviones grandes como el A380-800 debido al número limitado de ciclos que soporta, lo que resultaría en la necesidad de mantenimientos frecuentes y costosos. Sin embargo, el análisis sirvió como una simplificación del funcionamiento de un amortiguador oleoneumático y se recomienda que se realicen pruebas adicionales para asegurar que cumple con los requisitos de carga y mantenimiento antes de su uso en aviones comerciales.

6.2. Dimensionamiento y diseño del neumático

Se selecciona el neumático radial Michelin para el tren principal, y se decide utilizar un eje de tren de aterrizaje con tres pares de ruedas modelo AIR X de Michelin con tecnología "Near Zero Growth Technology" (Figura 5). Esta tecnología utiliza telas radiales reforzadas con aramida-nylon, lo que aumenta la vida del neumático en un 30%, reduce el peso, los costos de mantenimiento y aumenta la resistencia a desgarros y cortes. Esta elección cumple con los requisitos de espacio freno, altura, eficiencia, distribución de cargas, radio de giro, presión de inflado, eficiencia de la temperatura, vida útil y mantenimiento. Se realiza un

modelado del neumático para tener un ensamblado final del tren de aterrizaje completo y planos de detalle, sin realizar ensayos por elementos finitos (Figura 5). ya que el fabricante de neumáticos debe ser el encargado de realizar los ensayos que se consideren oportunos para cumplir con los estándares y requisitos de calidad.

Figura 5: Opción viable para el tren principal y modelado del neumático



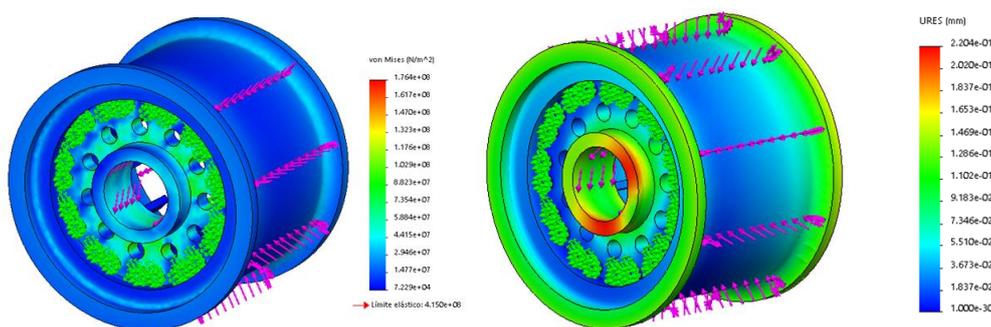
6.3 Dimensionamiento y diseño de la llanta

La llanta es un elemento cuya función principal consiste en alojar el freno y proporcionar asiento al neumático. Además, deben ser capaces de soportar las cargas estáticas, dinámicas y de temperatura sin suponer un problema para la integridad de la aeronave. Es de vital importancia el material del que se fabrican ya que debe ser resistente a la vez que ligero. Dentro del sector de la aviación comercial las dimensiones de las ruedas se encuentran bastante estandarizados en función de los tamaños de los neumáticos, por lo que se debe realizar una búsqueda en catálogos de fabricantes cuál es la llanta óptima.

Tras hacer un estudio del arte y la evolución de la llanta a lo largo de la historia se elige la llanta lightweight 2615101 del fabricante Honeywell que es compatible con el neumático seleccionado y el freno calculado al mismo tiempo. Los materiales de la llanta son Aluminio 2014-T6 con el buje en acero inoxidable 300M cromado.

Una vez elegida la llanta se hacen ensayos estáticos frente a las cargas máximas a las que estará sometido y torsión existente en el buje (Figura 6).

Figura 6: Modelado y ensayo estático de la llanta



6.4. Dimensionamiento y diseño del freno y sistema antideslizante

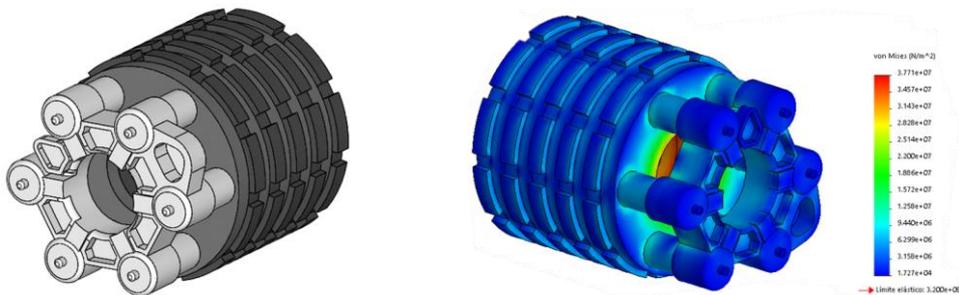
Los frenos de disco en aviones comerciales usan varios discos en lugar de uno grande para disipar la energía de frenado. Los discos móviles y fijos se intercalan y los pistones hidráulicos presionan los discos móviles. Los sistemas de control incluyen válvulas y medidores. Hay dos tipos de frenos de disco: metálicos y de carbono, cada uno con ventajas e inconvenientes diferentes. Tras estudiar los distintos factores se decide optar por frenos de disco de carbono debido a su mayor eficiencia de frenado. Honeywell es el fabricante

seleccionado por su variedad de frenos de carbono, capacidad para proveer el producto y compatibilidad con la llanta.

En este apartado se calcula la energía cinética a disipar por el sistema de frenos suponiendo una situación crítica de un aterrizaje o despegue abortado a 280 km/h. Con este dato se obtiene que son necesarios 5 pares de discos por rueda capaces de disipar una energía de 0,14 GJ. De esta forma y teniendo en cuenta el peso del avión de estudio se calcula que el espacio de frenada en una pista con hielo y una desaceleración crítica necesitaría una distancia de 1028,81 m. Por esta razón esta aeronave no puede despegar y aterrizar en algunos aeropuertos del mundo.

Por último se verifica que existe espacio en la llanta para alojarlo, que el peso estimado tiene un valor acorde y se elige el modelo Honeywell Carbenix 4000. Una vez realizada esta elección se modela en programa de diseño para ensayarlo mediante elementos finitos (Figura 7).

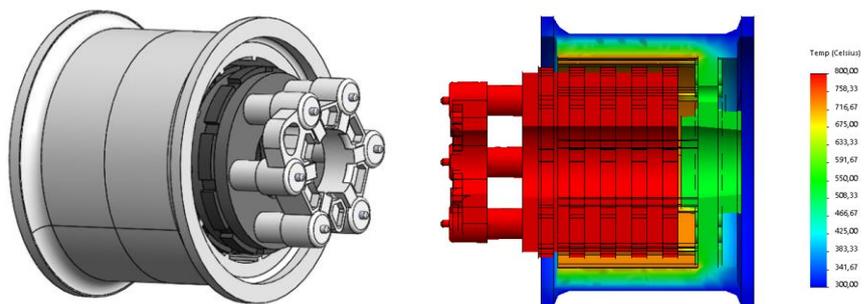
Figura 7: Modelado y ensayo estático del freno



En este apartado de diseño es de vital importancia hacer un ensayo térmico del ensamblado del freno con la llanta. El cálculo de variación de temperaturas del sistema de frenos es un proceso complejo ya que intervienen distintos mecanismos de transferencia de calor como por ejemplo la convección entre los fluidos hidráulicos del freno, radiación entre el freno y la llanta y conducción entre los distintos discos de carbono.

Este proceso es normalmente realizado por los fabricantes con ensayos destructivos y probando diferentes materiales. No obstante tras hacer revisiones documentales se supone que el freno está a 800 °C y el neumático a 300 °C, con refrigeración natural y radiación durante un minuto (Figura 8). De esta forma se observa el intercambio térmico entre ambos componentes y se corrobora que el diseño cumple con los objetivos planteados en este proyecto.

Figura 8: Intercambio de calor entre neumático, llanta y freno



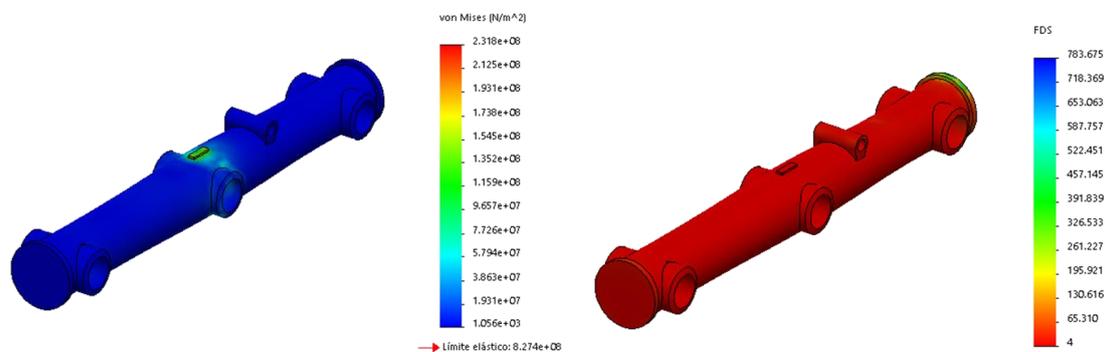
7. Diseño de los componentes estructurales del tren principal

7.1. Diseño del Bogie

El bogie es una parte esencial del tren de aterrizaje de una aeronave, diseñado para unir las ruedas y el amortiguador y soportar todas las cargas transferidas. Su diseño debe ser resistente pero ligero y se optimiza mediante un análisis topológico, Sadraey, M. H. (2013).

El primer modelo que se va a realizar del bogie posee 6 ejes donde irán ensambladas cada una de las ruedas. Por otro lado, el amortiguador se ensambla en la parte central de la estructura la cual ha sido reforzada con un grosor algo mayor. El material utilizado tras hacer varias pruebas con el fin de reducir peso es aleación de titanio aeronáutico TI-6AL-4V con los ejes de las ruedas en acero inoxidable 300M. Este modelo será sometido a los esfuerzos calculados en apartados anteriores con el fin de optimizar el prototipo. (Figura 9)

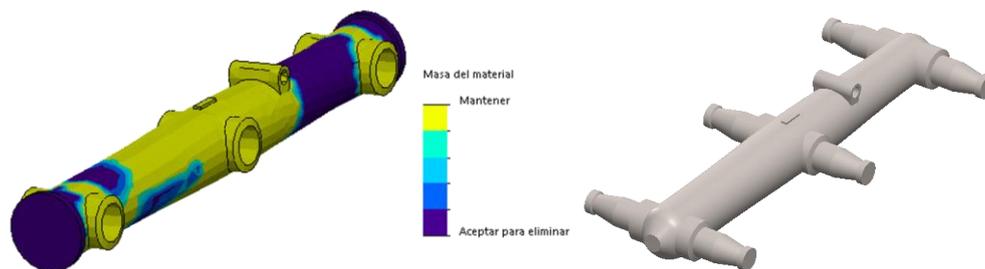
Figura 9: Ensayo estático del prototipo inicial del bogie



Una vez obtenidos estos datos se realiza un ensayo topológico donde se impone la condición de fabricación de que el ensamblaje de las ruedas no puede variar para cumplir con los diseños realizados anteriormente (Figura 10). En color morado se representa el material que podría ser eliminado y en color amarillo las zonas de la pieza que deben permanecer invariables para soportar los esfuerzos.

Para finalizar el proceso de diseño se hace un ensayo de fatiga sobre la pieza optimizada obteniéndose una vida total de 1.000.000 de ciclos.

Figura 10: Ensayo topológico y optimización del bogie



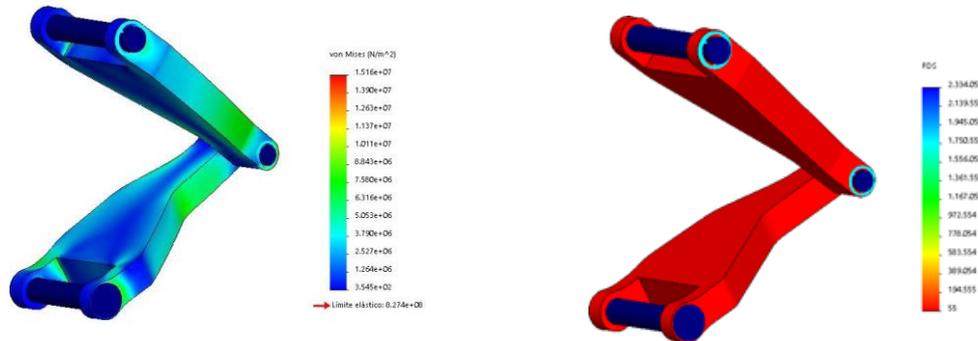
7.2. Diseño del Limitador de torsión

El limitador de torsión es un elemento estructural cuyos objetivos son limitar la extensión del amortiguador y que no se produzcan movimientos de torsión entre el amortiguador y el bogie durante las operaciones sobre tierra. El prototipo inicial (Figura 11) se ha realizado tomando en cuenta el modelo del artículo de optimización de un limitador de torsión realizado para la

Segunda conferencia internacional de tecnología del año 2017 (Krishnan et al., 2017). Se calculan los esfuerzos generados en el limitador de torsión y se realiza un ensayo estático.

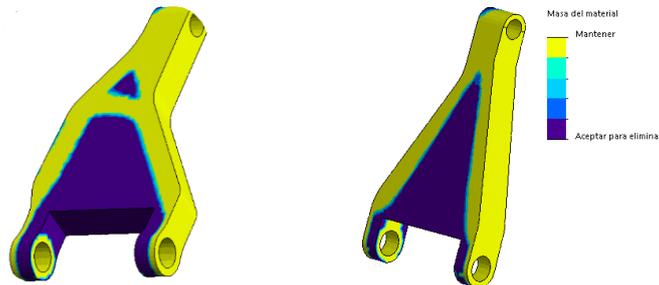
En relación al material utilizado será el mismo que el utilizado para el Bogie, aleación de titanio aeronáutico TI-6AL-4V.

Figura 11: Ensayo estático del prototipo de limitador de torsión



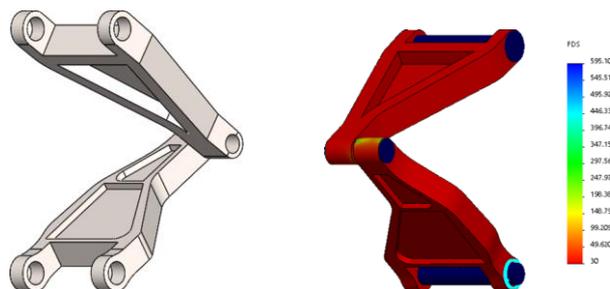
De la misma forma que en el apartado anterior se ha realizado un ensayo topológico con el objetivo de liberar peso de la estructura y que el proceso de fabricación tenga un coste menor.

Figura 12: Ensayo topológico y optimización del limitador de torsión



De esta forma se ha conseguido una reducción del peso del 60% lo cual es un valor bastante considerable. No obstante al realizar el ensayo de tensiones sobre la pieza optimizada el factor de seguridad se mantiene en 33, lo cual sigue siendo un valor bastante elevado y puede dar a entender que la pieza está sobredimensionada. No obstante es necesario recordar que el ensayo estático únicamente se ha considerado una fuerza de torsión sin tener en cuenta otros esfuerzos derivados del bogie y del amortiguador. Por lo que se decide mantener este diseño (Figura 13).

Figura 13: Fuselaje del A380-800



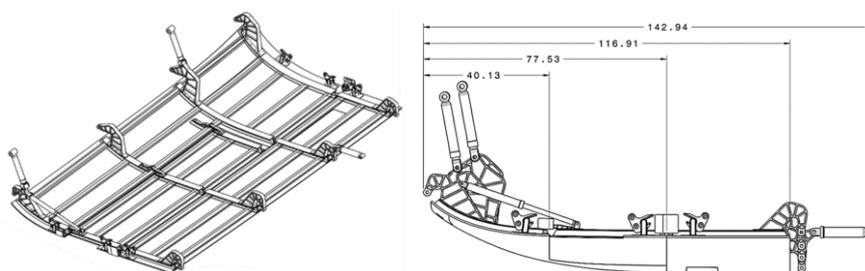
8. Diseño del mecanismo de retracción

El diseño del mecanismo de retracción es único en cada aeronave ya que su geometría cambia en función de parámetros como la altura, espacio del compartimento, solicitaciones, etc. La ventaja principal de la retracción es que permite a la aeronave volar a mayor velocidad, esto es debido a que los neumáticos y la estructura del tren en general suponen una gran resistencia frente al viento. Esta carga aerodinámica se traduce en un peor rendimiento, aumento del uso de combustible, mayor contaminación y menor velocidad. (Aeronews, 2016).

8.1. Compartimento del tren principal

El tren de aterrizaje principal del A380-800 se aloja en el fuselaje para soportar la carga crítica del avión. Las dimensiones del hueco y las trampillas se basan en un estudio de optimización de Airbus en 2020. (Sas, 2020) Estos datos son esenciales para el diseño del mecanismo de retracción del tren de aterrizaje principal (Figura 14).

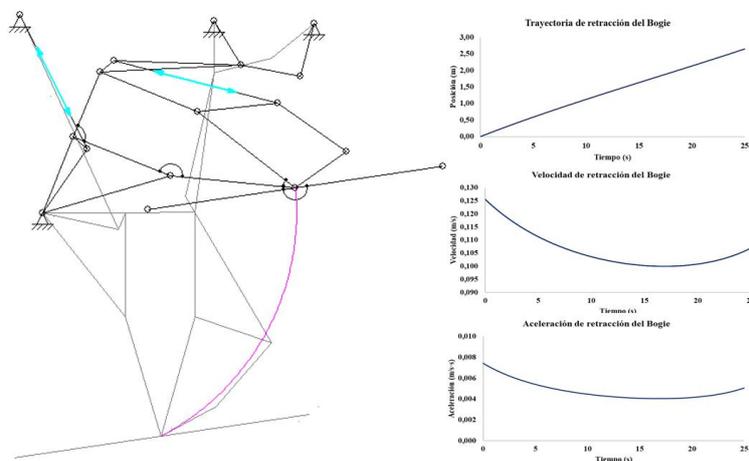
Figura 14: Compartimento y trampilla del avión A380-800



8.2. Mecanismo de retracción

El programa ARTAS SAM 6.1 se utilizará para diseñar el mecanismo de retracción del tren de aterrizaje, definiendo su geometría y comportamiento. El software generará la geometría del mecanismo a partir de un dibujo plano restringido, permitiendo conocer su posición, velocidad y aceleración. Tras realizar varias pruebas y siguiendo las condiciones marcadas en el diseño se decide hacer un mecanismo de retracción longitudinal inclinando el bogie mediante actuadores para favorecer la amortiguación y ocupar menos espacio en la retracción (Figura 15).

Figura 15: Diseño del mecanismo de retracción del tren de aterrizaje

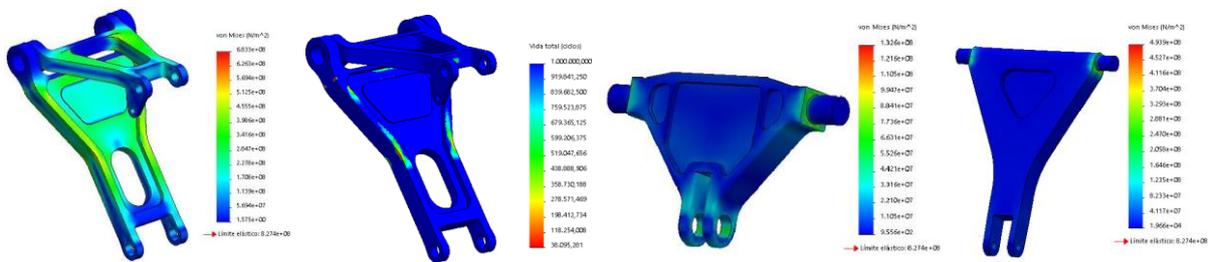


9. Diseño de los componentes del mecanismo de retracción

Una vez se ha diseñado el mecanismo de retracción del tren principal del avión se procede a calcular el actuador principal, de posicionamiento, estructura de refuerzo y las barras de movimiento. Para el diseño de estos componentes se tomarán en cuenta los parámetros de diseño impuestos en el capítulo anterior. Teniendo especial interés en la reducción de peso de cada una de las piezas.

Para el caso de los actuadores se hacen cálculos de diseño para obtener su carrera, tipo de fluido, radio interno y material. En el caso de la estructura de refuerzo y las barras de movimiento se sigue el mismo proceso de diseño mediante elementos finitos que el del punto 7. Se realiza un prototipo que es simulado con los esfuerzos a los que se encuentra sometido y posteriormente se optimiza mediante un análisis topológico (Figura 16). El material utilizado para ambas piezas es TI-6AL-4V.

Figura 16: Ensayo estático de estructura de refuerzo y barras de movimiento optimizadas

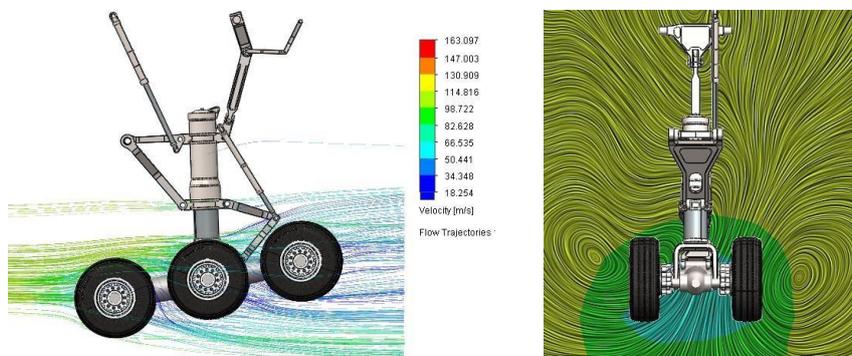


Tras realizar los estudios se concluye que son válidos para este proyecto pero deben optimizarse para evitar concentración de tensiones y aumentar el número de ciclos a fatiga en algunos componentes.

10. Estudio aerodinámico del tren principal

Para realizar este análisis se va a simular el ensamblaje completo del tren de aterrizaje mediante el módulo de simulación de fluidos de SolidWorks durante el movimiento de retracción en el interior del fuselaje. Para ello se eligen parámetros iniciales de posición del tren, dominio computacional, fluido, orientación y velocidad a la que se somete.

Figura 17: Estudio aerodinámico del tren de aterrizaje principal diseñado



El flujo de aire alrededor del tren de aterrizaje del avión genera vórtices turbulentos que pueden afectar su estabilidad (Figura 17). La resistencia aerodinámica aumenta con la

velocidad, siendo los seis juegos de ruedas principales los principales causantes debido a su forma circular. Estos vórtices se producen por la rotación espiral de las ruedas, lo que provoca una mayor oposición al viento y concentración de presiones. El comportamiento de estos flujos turbulentos es impredecible y puede generar desequilibrios en el vuelo del avión.

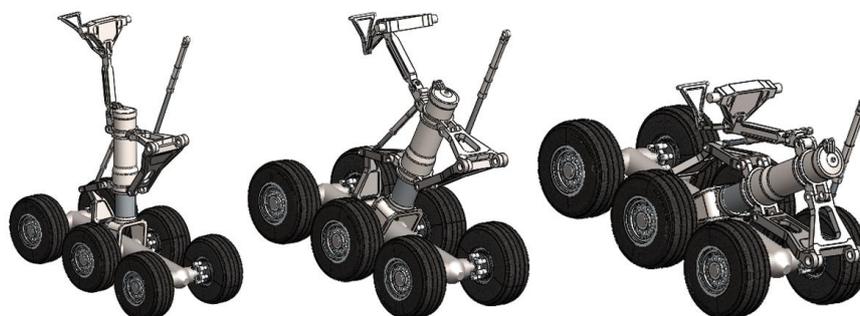
11. Verificaciones estructurales del diseño

Una vez se ha finalizado el diseño del tren de aterrizaje se realizan una serie de verificaciones para corroborar que el prototipo es correcto. Para ello se hace uso de la normativa FAR 21 donde se muestra la metodología para calcular el ángulo de vuelco, estabilidad frente a giros en operaciones de rodaje, radio de giro y estabilidad frente a viento cruzado. Estas verificaciones obtienen un resultado satisfactorio por lo que de esta forma se finaliza el proceso de diseño ya que cumple los requisitos marcados inicialmente y los propuestos por la normativa.

12. Resultados finales y prototipo

Es de vital importancia el recalcar que el principal objetivo de este proyecto es la de detallar la metodología de diseño del tren de aterrizaje en cualquier aeronave. Esta metodología es de difícil acceso, ya que existe poca bibliografía y es un arte que principalmente está absorbido por las empresas fabricantes de trenes de aterrizaje y aeronaves actuales. Esto hace que la metodología de diseño tenga una gran importancia y sea una labor compleja y multidisciplinar. Para finalizar se presenta el ensamblaje completo del diseño y su mecanismo de retracción (Figura 18).

Figura 18: Ensamblaje y mecanismo de retracción de tren de aterrizaje



Para finalizar y con intención de simular y mostrar el mecanismo de retracción de una forma realista se ha fabricado el prototipo mediante el método de fabricación aditiva mediante polímero (Figura 19).

Figura 19: Prototipo realizado mediante fabricación aditiva y movimiento de retracción



13. Bibliografía

AeroneWS. (2017). Video de aviación - En su opinión: ¿por qué retraer el tren de aterrizaje justo después del despegue? - Estilo de vida - AeroneWstv. Consultado May 21, 2021, from <https://www.aeroneWstv.com/en/lifestyle/in-your-opinion/3312-why-retract-landing-gear-just-after-take-off.html>

Esteban Roncero, S. (2016). Diseño Detallado. Diseño Tren de Aterrizaje. Departamento de Ingeniería Aeroespacial Y Mecánica de Fluidos - Universidad de Sevilla, 1–65. [http://www.aero.us.es/adesign/Slides/Temas/Tema_15 - Diseño Detallado - Tren de Aterrizaje.pdf](http://www.aero.us.es/adesign/Slides/Temas/Tema_15_Diseño_Detallado_Tren_de_Aterrizaje.pdf)

Innovation – Airbus A380. (2015). Consultado March 20, 2021, from <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a380/innovation.html>

Krishnan, A., Thejus, V., & Arjun, B. M. (2017). Numerical investigation of structural design of torsion links in a landing gear retraction mechanism. *2017 2nd International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2017, 2017- January, 382–388*. <https://doi.org/10.1109/I2CT.2017.8226156>

Sadraey, M. H. (2013). Aircraft Design - Aerospace Series List Design and Analysis of Composite Structures: With applications to aerospace Structures.

Sanchez, R. (2013). Diseño estructural de aviones - Temas 2-12 - StuDocu. Consultado April 10, 2021, from <https://www.studocu.com/es/document/universidad-politecnica-de-madrid/diseño-estructural-de-aviones/apuntes/diseño-estructural-de-aviones-temas-2-12/912579/view>

Sas, A. (2020). Airbus A380 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning Ac Locations Chg Code Descriptions of Change.

Trallero, R., Atienza, R., (2013). Evolución histórica de los trenes de aterrizaje en las aeronaves. *Tecnología y Desarrollo*, 11(11), 2. <http://www.uax.es/publicacion/evolucion-historica-de-los-trenes-de-aterrizaje-en-las-aeronaves.pdf>

14. Objetivo de Desarrollo Sostenible de la comunicación

La metodología de diseño de máquinas puede contribuir a los objetivos de desarrollo sostenible de varias formas. En particular, puede contribuir al objetivo número 12, promoviendo patrones de producción y consumo responsables mediante la creación de máquinas y equipos más eficientes en el consumo de energía, materiales y recursos naturales, y fomentando la cultura de reparación y reutilización. También puede contribuir al objetivo número 7, garantizando el acceso a una energía asequible y no contaminante para todos, mediante el diseño de máquinas más eficientes en el uso de energía y la utilización de fuentes de energía renovable. En conjunto, la metodología de diseño de máquinas puede contribuir a un desarrollo más sostenible y equitativo para todos.

