

Diseño de soportes de material compuesto, para trenes de aterrizaje; un estudio basado en la relación rigidez peso

Alejandro Garza Sáenz¹, Alfredo Villanueva Montellano¹, Geovanni García Sánchez¹,
Shehret Tilvaldyev¹, David Luis Garza Treviño²

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

²Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Resumen

El tren de aterrizaje es el mecanismo que hace la conexión entre la nave y el suelo (o el agua, según sea el caso). Este proyecto se centra en el diseño del tren de aterrizaje con material compuesto. El material compuesto a utilizar en este proyecto, es un acero AISI-4340 con un arreglo de inclusiones. Este se trabajó con la teoría de inclusiones de Eshelby [1], la cual explica la manera en que actúa un cuerpo compuesto de inclusiones, que es una matriz embebida en otra matriz.

Se busca entonces, con este estudio, crear un material anisótropo, para elegir la dirección de las líneas de esfuerzo, en pro de ofrecer una mejor relación rigidez-peso en la dirección de la carga.

Se utiliza la herramienta de Análisis de Elemento Finito para realizar el estudio. Se hace un análisis estático y un análisis modal para observar su comportamiento.

Se seleccionó una cavidad con geometría elipsoide. Se diseñó con una sola elipsoide, pues resultó ser más eficiente que con otras configuraciones. La relación rigidez-peso aumenta en la pieza cuyo peso es 1/19 menor que la pieza original, en relación con la pieza sólida.

Palabras clave: Tren de aterrizaje, elemento finito, inclusiones elipsoides, cavidades elipsoides.

Introducción

El tren de aterrizaje es el mecanismo que hace la conexión entre la nave y el suelo (o el agua, según sea el caso).

La reducción de combustible siempre ha sido un tema de interés en distintos rubros, como lo son los servicios de transporte.

Indiscutiblemente, con el ahorro de combustible, se genera menos contaminación en el ambiente. Reducir el

peso en las aeronaves es indispensable para este tema en cuestión ya que, la maquinaria demanda menos combustible para su operación.

Desarrollar un material compuesto de inclusiones, diseñando una estructura interna en un soporte sólido para lograr mejorar relación rigidez-peso.

El atractivo principal de los materiales compuestos es el bajo peso y alta Resistencia. Esto ayuda definitivamente al tren de aterrizaje y al fuselaje, ya que con los materiales compuestos se puede direccionar la distribución de carga [2].

Este trabajo contiene los siguientes objetivos específicos:

Modelado del soporte del tren de aterrizaje.

Análisis estático y modal del soporte del tren de aterrizaje.

Diseño del soporte compuesto de inclusiones.

Análisis estático y modal del soporte con material compuesto.

Análisis comparativo con la relación rigidez-peso de los dos soportes.

Este trabajo se delimita al desarrollo y diseño de la estructura interna del soporte, sólo para satisfacer la relación rigidez-peso. La estructura que en este trabajo se diseña, será una cavidad, por lo que la inclusión en forma elipsoide, será un espacio vacío.

Marco Teórico

El tren de aterrizaje es la porción de la aeronave que sostiene el peso de esta mientras se encuentra en el suelo. El tren de aterrizaje contiene componentes necesarios para el despegue seguro de la aeronave [3].

El tren de aterrizaje usualmente incluye ruedas, pero algunas aeronaves están

equipadas con esquís para nieve o flotadores para el agua. En el caso de despegue y aterrizaje vertical de una aeronave como lo es un helicóptero, las ruedas pueden serreemplazadas por patines [2]. En la figura 1 se muestran los tipos de tren de aterrizaje.



Figura 1. Tipos de tren de aterrizaje [4].

La altura del tren de aterrizaje es la distancia que existe entre el punto más bajo del tren de aterrizaje (parte inferior de la rueda) y el punto de fijación a la aeronave. Además, la altura del tren de aterrizaje está en función del amortiguador y la desviación del tren de aterrizaje. La altura es medida usualmente cuando la aeronave se encuentra en el suelo, tiene el máximo peso de despegue; y el tren de aterrizaje tiene la máxima desviación [2].

En este proyecto se propone diseñar los soportes de los trenes de aterrizaje con materiales compuestos reforzados con inclusiones. Estos materiales se basan en el tensor de Eshelby [1] para determinar el efecto de las inclusiones de geometría elipsoide. En la figura 2 se muestra de forma esquemática una inclusión elipsoide.

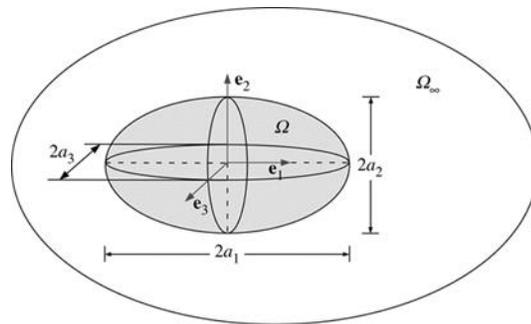


Figura 2. Inclusión elipsoide de Eshelby [5].

Las inclusiones mencionadas, trabajan con la teoría de la elipse: en el eje más largo existe mayor rigidez, en el eje más corto, existe mayor amortiguamiento. Una inclusión es una matriz embebida en otra matriz.

Se considera entonces material compuesto, ya que un material se encuentra dentro de

otro distinto, unido físicamente. De esta manera, se puede crear un material anisótropo guiando las líneas de esfuerzo hacia donde el diseño lo requiera.

En la figura 3 se aprecia un ejemplo de un tren de aterrizaje sometido a un análisis por elemento finito bajo el criterio de falla de von Mises.

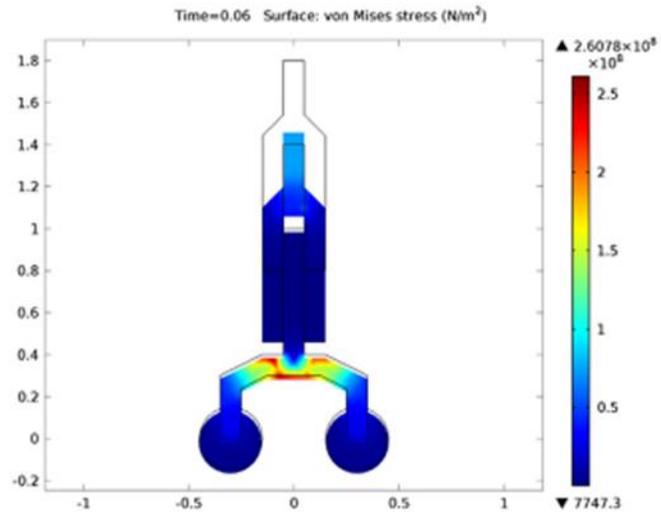


Figura 3. Tren de aterrizaje sometido a un análisis por elemento finito [6].

Metodología

Cabe mencionar que, para hacer las mediciones de una aeronave real, se procedió realizar una visita al Aeropuerto Internacional Abraham González, y comenzar el proceso de dimensionar el soporte a estudiar.

Las inclusiones en estos diseños, donde se calculará sólo la relación rigidez-peso, serán huecas, sin tomar en cuenta otro componente, como lo podría ser cualquier otro metal, incluso aire u otro gas.

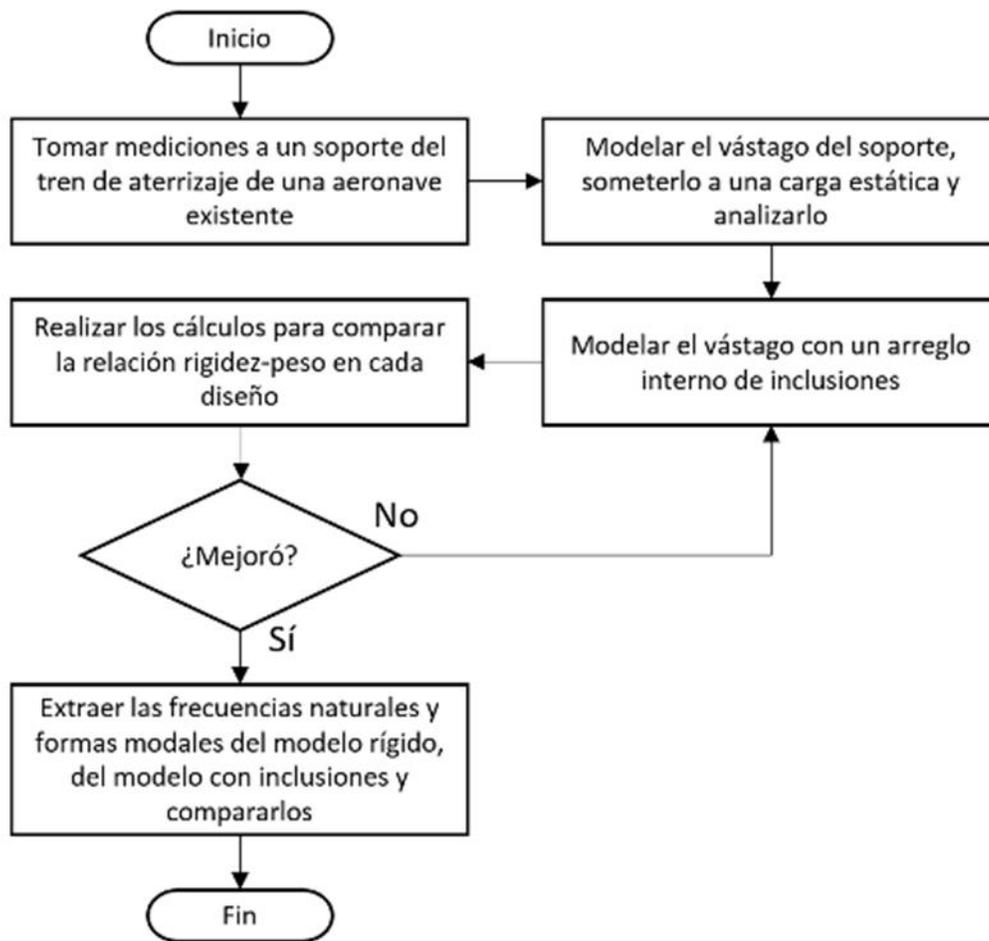


Figura 4 Diagrama de flujo del proceso.

Resultados

El tren de aterrizaje en este estudio, se muestra en la figura 5. Se estudió una sección del tren de aterrizaje sin tomar en cuenta las conexiones de este. En este caso,

se tomó una sección en la parte media de la pieza.

Modelado de la pieza

En la figura 6 se muestran los tres modelos de la sección del soporte del tren de aterrizaje. Se realizaron 3 modelos con la distinta configuración, para realizar una

comparación de rigidez-peso con cada uno, y elegir el más apto para continuar con la modificación del mismo.



Figura 5. Tren de aterrizaje de un Boeing 737-200.

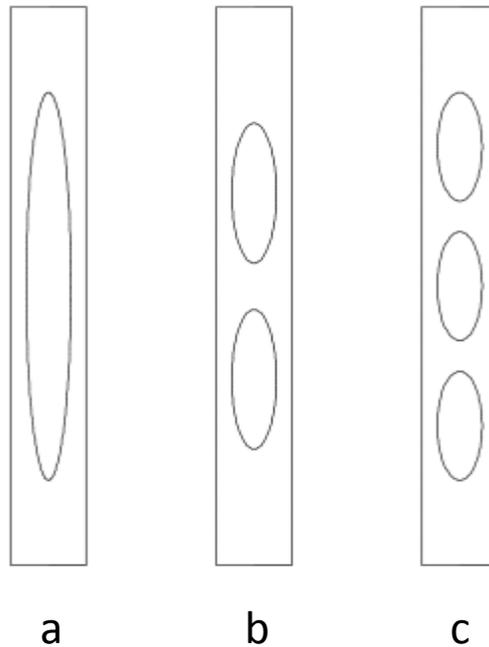


Figura 6. Modelado de la sección del soporte con uno, dos y tres inclusiones elipsoides.

Al realizar un Análisis de Elemento Finito de manera rápida, se determinó que el modelo `a` de la figura 6, es el más

indicado, puesto que su relación rigidez-peso es más alta en comparación con los otros dos modelos.

Las inclusiones elipsoides que en este estudio se utilizan, está compuesta por un

eje mayor y dos ejes menores de igual tamaño, como lo muestra la figura 7.

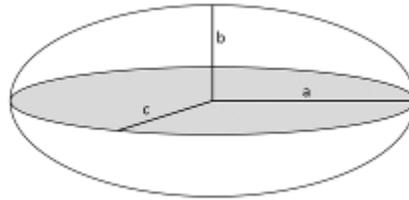


Figura7. Elipsoide.

En la figura 7 se muestra un elipsoide donde: $a > b$

$b = c$

A partir del modelo `a` de la figura 6, se comenzaron a realizar iteraciones. Estas iteraciones siempre respetarán las relaciones anteriores, pero se modificarán para realizar los análisis. Los resultados de dichas iteraciones se vaciaron en una hoja de cálculo para verificar la relación rigidez-peso y elegir la que fuera mayor.

De esta manera se comprueba la efectividad de la pieza de estudio. Puesto que si una pieza, siendo más rígida, es más ligera, entonces se considera como la mejor opción.

Los modelos de las piezas se realizaron el software AutoCAD 2015. El análisis de elemento finito se realizó con el software Abaqus CAE. En la figura 8 se muestra la sección a tratar del soporte del tren de aterrizaje.

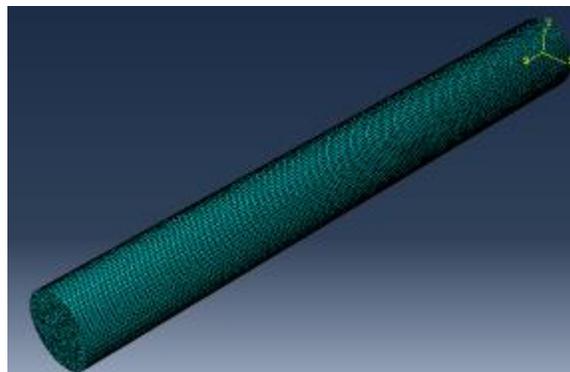


Figura 8. Sección del tren de aterrizaje.

Propiedades mecánicas del material

La figura 8 se considera una simple barra circular, pero el rediseño en este estudio, se centra en la modificación interna de la pieza.

La geometría exterior de la sección queda intacta. Es la geometría interior la que

cambia, siendo esta una inclusión o cavidad elipsoide.

El material no cambia, es una aleación de acero AISI 4340, pero con una distinta configuración interna en la pieza. Las propiedades mecánicas de dicho material se encuentran en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades del material [7]

Material	AISI 4340
Tipo	Isótropo
Módulo de elasticidad	200 GPa
Coefficiente de Poisson	0.29
Densidad	7.85 g/cm ³
Resistencia a la fluencia	470 MPa
Resistencia última a la tensión	745 MPa

Condiciones de frontera

Una vez listos los modelos, se procedió a determinar las condiciones de frontera en la

pieza como lo muestra la figura 9. Se aplicó una compresión de 230 MPa en una cara, y se fijó totalmente la cara contraria.

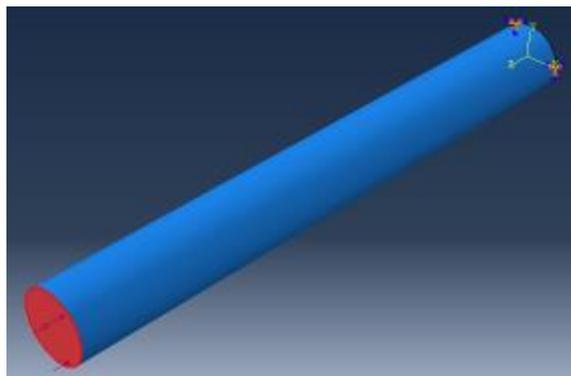
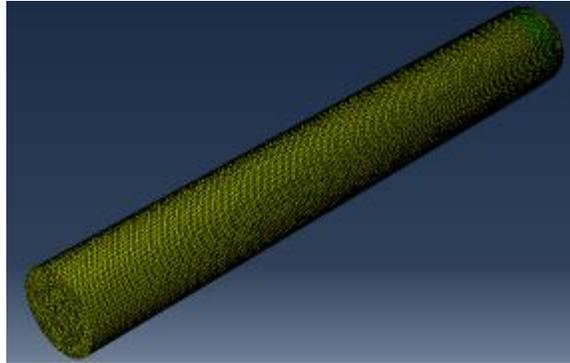


Figura 9. Condiciones de frontera en la pieza.

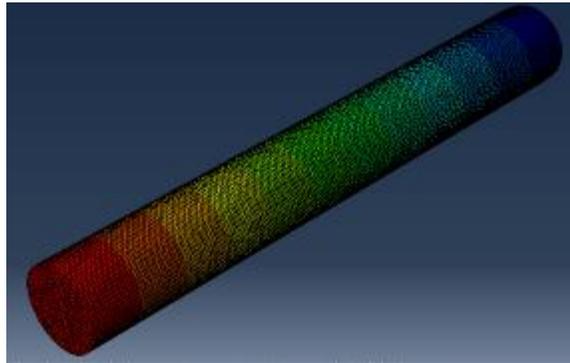
Análisis estático del soporte original

El hecho de que se someta a una compresión de 230 MPa en una barra sólida, hace que en esta se genere un esfuerzo promedio de la misma magnitud en la pieza. Esta sufrió una deformación de 0.83 mm.

En la figura 10(a) se muestra la distribución de los esfuerzos en el soporte, y en la figura 10(b), la distribución de la deformación en la pieza.



a



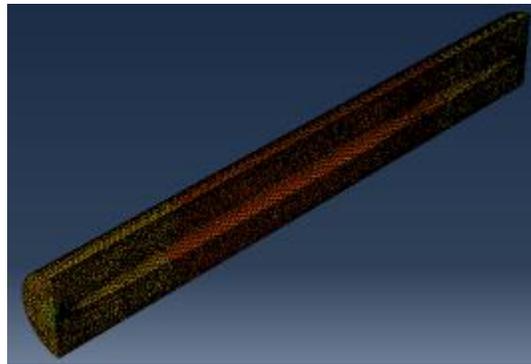
b

Figura 10. Análisis estático del soporte original.
(a) análisis de esfuerzos, (b) deformación.

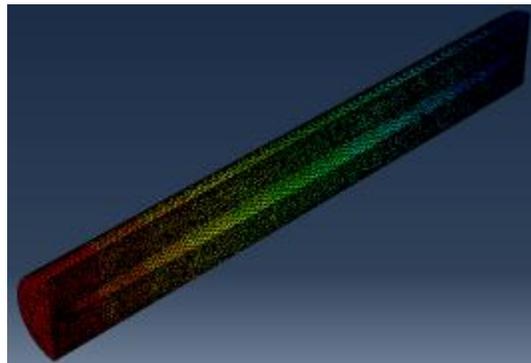
Análisis estático del soporte optimizado

En el modelo optimizado final, las dimensiones de la cavidad elipsoide, son de 350 mm. en el radio mayor y dos radios de 12.14 mm. cada uno.

La concentración de esfuerzos en la cavidad resultó de 250 MPa. La pieza sufrió una deformación de 0.87 mm.



a



b

Figura 11. Análisis estático del soporte optimizado. (a) análisis de esfuerzos, (b) deformación.

Se analizaron también las frecuencias naturales de la pieza original y se compararon con la pieza optimizada. Los resultados no difirieron significativamente como lo muestra la tabla 2.

Tabla 2. Frecuencias naturales de los modelos original y optimizado.

Frecuencias naturales del modelo original (Hz)	Frecuencias naturales del modelo optimizado (Hz)
1. 115.96	1. 117.85
2. 115.96	2. 117.85
3. 695.07	3. 709.56
4. 695.09	4. 709.59
5. 1095.5	5. 1094.2
6. 1757.7	6. 1756.2

7. 1829.6	7. 1854.8
8. 1829.7	8. 1854.9
9. 3286.0	9. 3283.2
10. 3323.6	10. 3346.1

Las formas modales no cambian significativamente, siendo similares en el contorno de la pieza, así como lo muestra la figura 12.

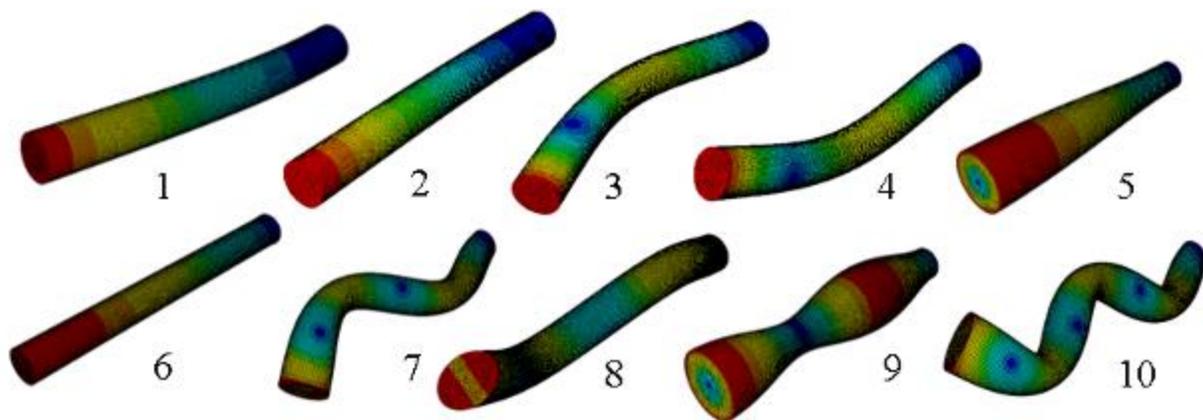


Figura 12. Formas modales de la sección del tren de aterrizaje.

En la figura 12 se muestran las deformaciones de las piezas al entrar en resonancia con las frecuencias naturales descritas en la tabla 2. Se omitió la visualización de la cavidad debido a la

diferencia que existe entre esta y el plano de corte. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la cavidad elipsoide no afectó significativamente a las formas modales.

Conclusiones y Recomendaciones

Se observa con los resultados obtenidos que, aunque con una mínima diferencia, la relación rigidez-peso es mayor en la pieza optimizada en comparación con la pieza original. No es mismo que reducir el área de

la sección transversal puesto que en ese sentido, la relación se mantendría constante.

El éxito de la optimización radica en la cavidad elipsoide, esto hace que la pieza

contenga cierta anisotropía. La cavidad elipsoide entonces, se direcciona en el sentido de la carga a la que es sometida la pieza.

Para estudios posteriores, se recomienda que la pieza, en lugar de contener una cavidad elipsoide, contenga una inclusión elipsoide. La diferencia radica en utilizar distintos

materiales con geometría elipsoide, y embeberlos en la pieza.

Para investigaciones aplicadas posteriores, y demostrando la efectividad de las inclusiones y cavidades elipsoides, es importante diseñar un método para manufacturar este tipo de modelos.

Referencias

1. Eshelby, J.D., 1957, The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion and related problems, Proc, Royal Soc. of London, Ser. A, Vol. 241, 376.

2. Mohammad H. Sadraey, "Aircraft Design: A Systems Engineering Approach", Wiley, p. 509, 2012.

3. 2. "Study of Evolution and Details of Landing Gear", NIMRA Institute of science & technology, A.E

4.

<http://www.manualvuelo.com/SIF/SIF39.html>

5.<http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/early/2010/03/16/rspa.2009.0631/F2.expansion.html>

6. <http://www.comsol.com/blogs/aircraft-landing-gear-mechanism-analysis/>

7.<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6>