

ESTRUCTURAS PRINCIPALES DEL AVIÓN

Fuselaje:

DEFINICIÓN: El fuselaje es el cuerpo estructural del avión, de figura fusiforme, que aloja a los posibles pasajeros y carga, junto con los sistemas y equipos que dirigen el avión. Se considera la parte central por que a ella se acoplan directamente o indirectamente el resto de partes como las superficies aerodinámicas, el tren de aterrizaje y el grupo motopropulsor. En aviones monomotores el fuselaje contiene al grupo motopropulsor y la cabina del piloto; sirve también de soporte a las alas y estabilizadores; y lleva el tren de aterrizaje. En aviones multimotores no contiene al grupo motopropulsor: los motores van dispuestos en barquillas o mástiles, sobre o bajo las alas, o en la cola.



En el caso del ATR el fuselaje se une de forma directa a las alas y a la cola, mientras que el grupo motopropulsor se une al fuselaje de forma indirecta a través de las alas.

FORMA: Su forma obedece a una solución de compromiso entre una geometría suave con poca resistencia aerodinámica y ciertas necesidades de volumen o capacidad para poder cumplir con sus objetivos. El fuselaje variará entonces dependiendo de las tareas que el avión va a desempeñar. Mientras que un avión comercial buscará un promedio entre volumen para carga y PAX, y aerodinámica; un caza militar buscará un fuselaje completamente aerodinámico, que le permita realizar maniobras a altas velocidades sin sufrir deterioros estructurales.

En aviones comerciales la sección recta del fuselaje tenderá a ser circular para aliviar las cargas de presurización de la cabina, ya que de esta forma la presión se

reparte de igual manera por todo el interior. Gran parte del volumen estará dedicado a la cabina de pasajeros cuya disposición variará según diversos factores (duración del vuelo, política de la aerolínea, salidas de emergencia...). La mercancía o carga se suele albergar en las bodegas del avión situadas en la parte inferior del avión. En aviones cargueros exclusivamente la forma del fuselaje dependerá de la carga que se vaya a transportar y se acomodará en función de la mercancía y su salida/entrada de la aeronave, disponiendo en el fuselaje de puertas o accesos especiales para la carga y descarga.

En el caso del airbus "beluga" dedicado a la carga, su fuselaje adquiere esta forma tan peculiar para poder dar cabida a grandes piezas, como las alas del A320.



Como conclusión podemos decir que en la construcción del fuselaje intervienen numerosos factores de diseño, aerodinámica, cargas estructurales y funciones de la aeronave.



Típica disposición del interior de un fuselaje en aviones comerciales, de forma circular; quizás no sea la más aerodinámica pero si la más funcional para el transporte de pasajeros y carga. Este caso es el del moderno embraer 170, que puede albergar 70 pasajeros, en filas de dos asientos para un rápido embarque y desembarque. La altura de la cabina es de 6 pies y 7 pulgadas, y la anchura de 9 pies.



TIPOS DE CONSTRUCCIÓN: Los fuselajes se han ido construyendo de diversas maneras a lo largo de la historia dependiendo de la función de la aeronave

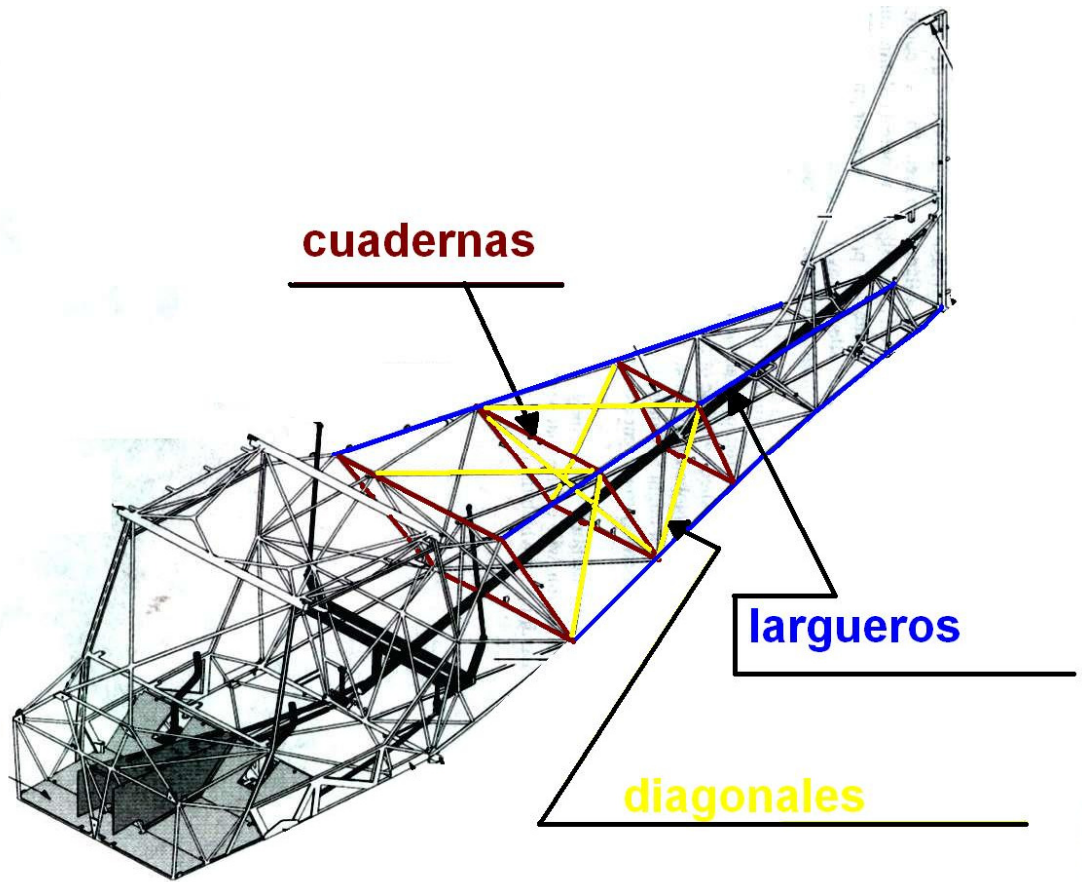
y de los medios técnicos de los que se disponía. El primer tipo de fuselaje consistía en un entramado de varillas metálicas que conformaban la estructura principal del avión, la cual era cubierta posteriormente con planchas de madera o lona. Era el fuselaje tubular o reticular, el primero en usarse; consecutivamente fueron apareciendo otras formas de concebir el cuerpo del avión según las necesidades de la época, el fuselaje monocasco y el semimonocasco.

Fuselaje reticular o tubular: Se fabrica a partir de tubos de acero o de madera, soldados, que van formando la estructura principal del avión en forma de huso. En esta estructura encontramos las cuadernas que son los elementos más importantes que conforman y dan rigidez a la estructura; los largueros que unen las cuadernas y que son largos tubos horizontales que recorren gran parte del avión; y las diagonales, que dan rigidez al conjunto largueros-cuadernas.

Esa estructura de tubos se cubre más tarde con lona, o en otras ocasiones con planchas metálicas o de madera, de tal forma que el fuselaje adquiere externamente una forma aerodinámica y uniforme. Este recubrimiento no añade resistencia estructural sino que son las cuadernas, largueros y diagonales los que soportan todas las cargas en vuelo y tierra

Aunque en un inicio era un forma barata, segura y sencilla de fabricar el fuselaje, las exigencias de la industria aeronáutica pronto cambiaron. Los nuevos motores que hacían que el avión pudiese ir más rápido y alto, la demanda de aeronaves para la guerra resistentes a grandes impactos, y el afán de conquistar el Atlántico Norte con hidroaviones, hizo que este tipo de construcción se quedara obsoleta, ya que no aguantaba los impactos, ni las cargas estructurales a las que le sometían los nuevos motores... y gracias al desarrollo de hidroaviones a partir de cascos de barcos se empezó a utilizar un nuevo tipo de construcción: el fuselaje monocasco.

Hoy en día, todavía hay aviones de fuselaje reticular en activo, tanto ligeros como pesados aunque rara vez se construye ya aviación ligera mediante esta manera.

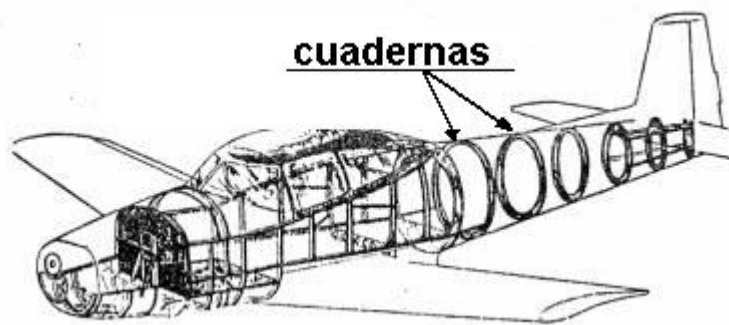


La Piper Cub es un claro ejemplo de fuselaje reticular o tubular.



Fuselaje monocasco: El fuselaje monocasco, proveniente de la industria naval, fue utilizado primero en hidroaviones de madera, pero dadas sus ventajas de resistencia fue pronto adoptado para muchos tipos de aeronaves. Este tipo de estructura monocasco o "todo de una pieza" es un tubo en cuyo interior se sitúan a

intervalos, una serie de armaduras verticales llamadas cuadernas, que dan forma y rigidez al tubo. El tubo del fuselaje, o el revestimiento exterior sí forma parte integral de la estructura soportando y transmitiendo los esfuerzos a los que está sometido el avión. Para que este revestimiento soporte estas cargas debe ser resistente y por ello está fabricado en chapa metálica, que debe ser de cierto espesor para aguantar mejor. A mayor espesor, mayor peso, y es que el fuselaje monocasco, aun siendo más resistente, es más pesado. Por ello cayó en desuso. Hoy en día se emplea en misiles, aviones-blanco e hidroaviones que no precisen de demasiado espesor de chapa.



Fuselaje semimonocasco: El más usado hoy en día, resolviendo el problema del peso y espesor del anterior modelo. La introducción de piezas de refuerzo en el interior permitió aliviar el revestimiento pudiendo ser más fino. Las cuadernas se unen mediante largueros y larguerillos que recorren el avión longitudinalmente. Los largueros y larguerillos permiten el adelgazamiento de la chapa de revestimiento. Todo esto forma una compleja malla de cuadernas, larguerillos, largueros y



revestimiento, unida mediante pernos, tornillos, remaches y adhesivos.

Fuselaje semimonocasco del Boeing 737 con los compartimentos de equipaje de mano instalados.

PRESURIZACIÓN: A altitudes altas, la densidad del aire es menor y en el volumen de aire que podríamos respirar no habría suficiente oxígeno. Por ello es necesario sellar el fuselaje, y contener en su interior, un aire comprimido y denso respecto del exterior para mantener los niveles de oxígeno necesarios. Sin embargo el aire siempre tiende a igualar las presiones; por lo tanto, el aire de cabina empujará y ejercerá una presión en las paredes para poder “escapar”, expandirse, e igualarse al aire exterior, a menor presión. Por ello, las paredes del fuselaje deben aguantar ese esfuerzo que está ejerciendo el aire (las cargas de presurización). La forma circular, como antes habíamos citado, alivia ese esfuerzo porque reparte esa presión (que es fuerza por superficie) por toda la superficie,

disminuyendo la fuerza que ejerce el aire; y los nuevos materiales (composites) y el fuselaje semimonocasco le dan resistencia al fuselaje.

Para que se dé una presurización correcta es necesario que el fuselaje esté completamente sellado como decíamos antes, y para ello se emplean tres métodos de construcción. El sellado de todas las uniones con materiales blandos que además no permitan el paso de la humedad (corrosión); el empleo de arandelas de goma en todos los orificios de los tabiques presurizados; y juntas neumáticas inflables en los marcos de grandes aberturas como las puertas.

Es también importante, para una correcta presurización, que todo el fuselaje tenga la misma presión interna. El problema surgía en igualar las presiones de cabina y bodega en aviones grandes, para lo cual se ideó un sistema de persianas en el suelo que conectaban a la bodega, que se abrían o cerraban automáticamente según la diferencia de presiones.

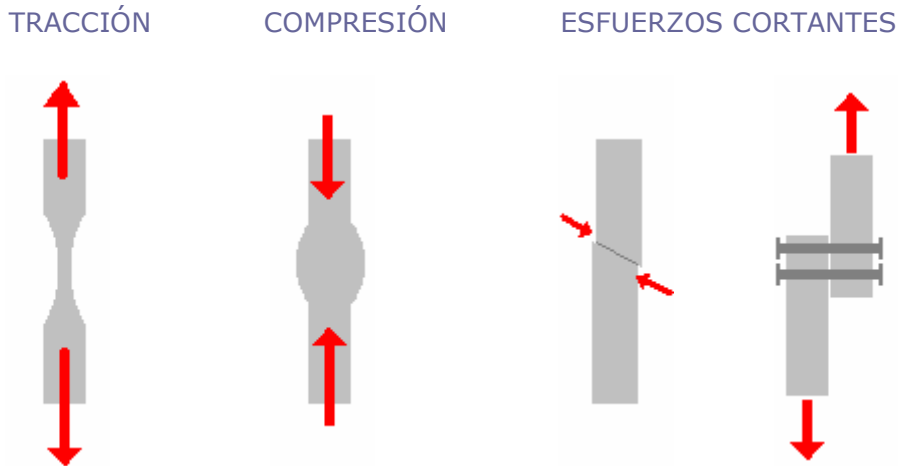
El suelo de la cabina puede estar construido con tres tipos diferentes de paneles, según las cargas que vayan a soportar: paneles de cargas ligeras (bajo los asientos de pasajeros) medias (pasillos) y altas.



El sistema de presurización fue lo que causó la muerte de 121 personas a bordo de un 737-300 de Helios, compañía chipriota con cuatro aviones fletados, uno de ellos el accidentado. Ya había informes de fallos en el sistema de presurización pero el piloto alemán decidió salir aquel fatídico 14 de Agosto de 2005. Las hipótesis apuntan a que una despresurización repentina provocó la asfixia y congelamiento de la tripulación y pasaje en unos pocos minutos, estrellándose el vuelo 522 desde Larnaca (Chipre) a Praga en las inmediaciones del monte Varnava cerca de Grammatikos (en Grecia); tras haber sido escoltado por dos F-16 del ejército griego. Sin embargo otras teorías señalan a un posible atentado ya que los análisis forenses de los deteriorados cuerpos encontrados esclarecen que la causa de la muerte del pasaje fue la colisión y no la asfixia o congelamiento.

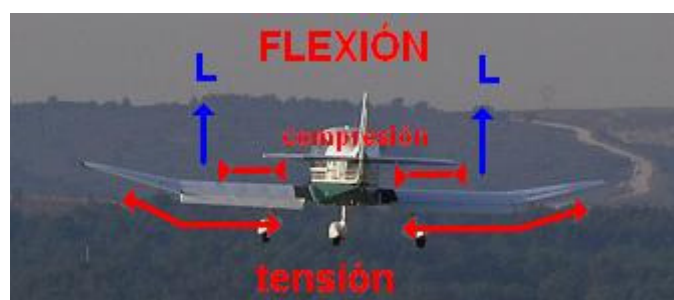
ESFUERZOS: Ya hemos visto que el fuselaje debe soportar las cargas de presurización, pero el fuselaje también debe soportar otros esfuerzos estructurales.

En la fabricación del fuselaje se debe tener en cuenta estos esfuerzos y diseñarlo de tal forma que los aguante. El piloto debe conocer esos límites estructurales y a qué esfuerzos puede estar sometido nuestro avión. Los tres esfuerzos básicos son la tracción, compresión y esfuerzos cortantes. Y sus combinaciones son: flexión, torsión y esfuerzos de contacto.



La **tracción** es la acción de dos fuerzas de sentido opuesto mientras que la **compresión**, aún siendo de sentido opuesto, presiona las partículas unas contra otras. Son fuerzas de sentido coincidente. La chapa de los aviones suele tender a combarse ocasionado por el esfuerzo de compresión (fenómeno de pandeo). Los **esfuerzos cortantes** tienden a separar el material de forma tangencial. El típico ejemplo aeronáutico es el de dos chapas unidas por remaches (Imagen de la derecha).

Las combinaciones de estos tres son quizás los esfuerzos más comunes encontrados en las aeronaves. La **flexión**, una composición de la tracción y compresión, es quizás la carga más habitual. La flexión es una curvatura que adopta un componente estructural cuando se somete a fuerzas que tienden a combar la estructura. Esta situación se suele dar en la sección del ala más cercana al fuselaje debido a la acción de la sustentación. Así, se dice, que está sometido a enormes momentos flectores.



La **torsión** se produce cuando la fuerza aplicada tiende a torcer el material, y por lo tanto existe tendencia al giro. Los **esfuerzos de contacto** son la transmisión de una carga de una pieza a otra por medio de esfuerzos cortantes. Se produce típicamente también en las juntas que unen dos piezas. Es muy común encontrar fallos en las juntas o remaches que no aguantan esfuerzos de contacto y se rompen. El desgarro de chapa por unos remaches excesivamente duros o la rotura por remaches excesivamente débiles.

Así como hemos visto que el fuselaje puede verse sometido a numerosos esfuerzos, puede también verse sometido a numerosas cargas, como la carga de presurización antes vista. A parte de esta carga inherente al vuelo a gran altitud, existen otras variables a tener en cuenta durante el mismo.

CARGAS: La carga no es más que una fuerza que soporta una estructura mientras que el esfuerzo es una fuerza que deforma un material. El peso es una carga por ejemplo. El avión soporta numerosas cargas y es deber del piloto conocer sus límites estructurales. Las cargas que aguanta el fuselaje son de diversa naturaleza.

Pero antes de ver las diferentes cargas debemos crear una unidad de medida clara que nos permita contabilizar la magnitud de la carga. Para ello tomamos como referencia la fuerza que ejerce la gravedad a nuestro cuerpo (el peso), así expresamos las cargas como múltiplo de la aceleración de la gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$), hablando de "g". Una carga de 1g es igual al peso del avión (a la ejercida por la aceleración de la gravedad), mientras que una carga de 8gs es ocho veces el peso del avión (ocho veces la aceleración de la gravedad). Esto nos permite, primero, hacernos una idea inmediata y clara de la magnitud de una carga o fuerza, y segundo, relacionar las cargas con el peso, que es una variable muy importante en vuelo. Así, definimos "factor de carga" como la carga que actúa sobre nuestro avión expresada en "g". Este factor es positivo (+3g) si las fuerzas actúan hacia arriba con respecto al eje longitudinal del avión, y negativo si la carga está aplicada hacia abajo. Cuando la sustentación se iguala al peso ($L = W$), "g" es igual a uno; cuando el peso duplica a la sustentación, "g" es igual a dos, y así sucesivamente. El fuselaje de un avión no puede aguantar cargas excesivas (muchas "g") y por ello en cada tipo de avión viene especificado una carga límite, la más alta soportable por el avión.

Cargas límites típicas

	"g" positivas (+)	"g" negativas (-)
Aviones de caza	6 – 9	3 – 6
Bombarderos	3 – 4	1 – 2
Aviones comerciales	3 – 4	1 – 2
Aviación general	2'5 – 4'5	1 – 1'8
Aviones acrobáticos	5 – 6	3
Construcción amateur	6	3
Aviones ligeros (<750 Kg)	3'8	1'5

Aunque los fabricantes suelen dar un margen de seguridad aún mayor que la carga límite especificada para cada aeronave, experimentando cargas mayores de las especificadas pueden surgir fallos estructurales importantes e incluso roturas.



Una "g" negativa o positiva continuada puede causar la muerte al piloto, ya que al multiplicarse nuestro peso, la sangre tiene dificultades en llegar a todas las partes del cuerpo, y si no llega sangre al cerebro podemos fallecer. La carga límite del cuerpo siempre es menor de la del avión. Esto suponía un problema en los cazas militares que pueden registrar 8g en virajes cerrados o maniobras de combate. Para que un cuerpo humano pudiese soportar tantas g, se ideó un traje especial con bolsas de agua en las piernas: al registrar g negativas, el agua pesaba más y apretaba las piernas del piloto, para que la sangre se quedase en la parte de arriba, "alimentando el cerebro". Estos trajes han ido mejorando con los años, y ahora son complejos monos con numerosos conductos y fluidos que a base de diferentes presiones permiten que el cuerpo humano soporte sin problemas g's que en otro caso les matarían.

TIPOS DE CARGAS:

Cargas aerodinámicas: Son las cargas a las que se ve sometido el avión por la acción del aire o el flujo. Este flujo o la acción del aire varía cuando realizamos maniobras en él (descensos, ascensos, virajes, derrapes, resbales...), las llamadas *cargas de maniobra*; o cuando experimentamos ráfagas de aire, vientos racheados, turbulencias... las *cargas por ráfagas de aire*; y cargas originadas por el movimiento de los alerones, estabilizadores... las *cargas por desplazamiento de superficies de control de vuelo*. Los aviones deben soportar estas cargas aerodinámicas en su campo operacional. El fabricante del avión nos proveerá de un diagrama de maniobra del avión, en el que nos especificará que g's

de carga de maniobra pueden ser superadas y cuales no, a diferentes velocidades. Las cargas por ráfagas de aire pueden incluso llegar a 3'5 g, y variarnos considerablemente la velocidad y la actitud del avión. Sus efectos son especialmente peligrosos en grandes tormentas, fuertes vientos cruzados o cizalladura. Para limitar la sobrecarga estructural del avión en casos de fuerte turbulencia se aconseja disminuir la velocidad de crucero hasta la de maniobra (V_a).

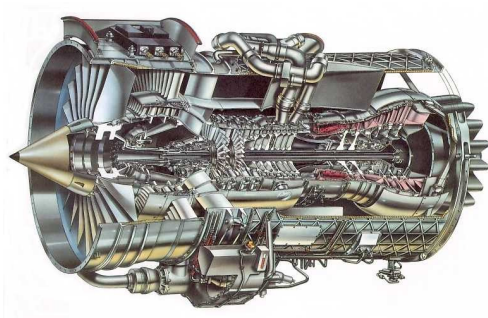
Al desplazar las superficies de control, modificamos sustancialmente la distribución de presión alrededor de la superficie aerodinámica. Dependiendo de la velocidad a la que vaya el avión y la magnitud del desplazamiento la carga varía. Hay dos efectos típicos producidos por este desplazamiento de las superficies de control: *la inversión de alerones* y *el flameo*.

La inversión de alerones se produce en aviones comerciales a altas velocidades. Cuando pretendemos inclinar el avión usando los alerones, el esfuerzo que tienen que hacer es tan alto al estar situados en el extremo del ala (momento máximo), que se genera un esfuerzo de torsión y el ala se retuerce, oponiéndose al movimiento del alerón, produciéndose un efecto contrario al deseado. Para resolver el problema, a altas velocidades hacemos uso de los spoilers, (aunque algunos aviones montan alerones interiores), abriendo unos y cerrando otros. Usando los spoilers el esfuerzo y momento es menor; y el ala no tiende a retorcerse porque están situados más cerca de la misma.

El Flameo es el caso opuesto, produciéndose oscilaciones violentas al entrar en pérdida local los alerones.

Cargas de inercia: Las cargas de inercia se deben a la resistencia que opone todo cuerpo a la aceleración. Estas cargas se dan por todo el avión. El ala, por ejemplo, al pesar, se opone a la aceleración creando carga de inercia y cierto esfuerzo de torsión.

Cargas causadas por el sistema de propulsión: En general los motores están unidos al fuselaje por bancadas o mástiles. Estos elementos estructurales son los que soportan la carga más elemental, la propia tracción y la transmiten al resto del avión; además de la carga de inercia (el propio peso de los motores).



El sistema de propulsión impone por sí mismo cargas de tracción o empuje; de inercia; cargas giroscópicas (originadas por

el cambio de plano de rotación de los elementos giratorios del motor); cargas impuestas por el par motor y por paradas súbitas del motor.

Cargas en el tren de aterrizaje: El tren está sujeto a cargas muy diversas. Al aterrizar, el tren tiene que aguantar todo el peso del avión, convertir la velocidad del avión en movimiento horizontal en el suelo y amortiguar el impacto con la pista. Además, todo lo que suponga una frenada del avión o un giro le supone una carga. El tren de aterrizaje es un elemento que sufre mucho y por ello debe ser bastante resistente. Para soportar todo este trabajo el tren no sólo consiste en una rueda conectada al avión. El tren se vale de sistemas de amortiguación o amortiguadores para absorber el impacto y la energía cinética del descenso. El sistema debe absorber la energía cinética, equivalente a la caída libre del peso del avión desde 80 cms. de altura. El número de ruedas en cada tren, su disposición, la cantidad de unidades de ruedas, la cubierta de las ruedas del tren y otros factores también contribuyen a repartir y aliviar las carga



El tren de la piper 28 cherokee nada tiene que ver con el complejo tren principal de seis ruedas del boeing 777. Este tren debe soportar unas 203000 libras de peso y hacer rodar a un gigante



avión. Este tren principal puede hasta girarse 8° para ayudar a girar el tren del morro del avión.

Cargas por colisión con el terreno: Son cargas de impacto del avión con el terreno, debidas a colisiones que reúnan características razonables de supervivencia. Este tipo de accidentes se suelen dar en las maniobras de despegues y aterrizajes, cercano al terreno y con velocidad relativamente baja. En estas condiciones se estudian estas cargas para evitar que estos incidentes pasen a ser letales. El fuselaje debe intentar ser capaz de soportar la penetración de cuerpos que alteren el volumen de la cabina, tener bien retenidos los asientos de los pasajeros, evitar la proyección de objetos y riesgos postaccidente (fuego...). La disciplina que estudia la forma de diseñar fuselajes que reúnan estas características y otras se denomina "crashworthiness".

Cargas de remolque y manejo en tierra: Las operaciones Push-back y de remolque del avión con tractor producen cargas de arrastre en el tren de proa. En



principio son pequeñas pero pueden alcanzar valores altos en acelerones o desaceleraciones del tractor. En tractores de alta velocidad, como el de la imagen, el tren de proa sufre más que en el tractor de barra o tractor estándar, por el simple hecho de que el tractor de alta velocidad permite hacer el remolcado

más rápido al estar la rueda bloqueada hidráulicamente al tractor, siendo ésta como una parte más del mismo.

Cargas acústicas: Las vibraciones, y las ondas sonoras ejercen una carga sobre el avión. Parece no tener gran importancia, pero la vibración continuada durante el vuelo, puede hacer aparecer fatiga estructural en las partes afectadas. En el campo militar la carga acústica se agudiza dado el entorno ruidoso en el que vuelan las aeronaves. Los efectos típicos son las grietas que aparecen en el revestimiento metálico del ala, fuselaje y cola; y la deslaminación en las capas de materiales compuestos.

VELOCIDADES DE INFLUENCIA ESTRUCTURAL: Una vez conocidas las cargas que pueden afectar a nuestra aeronave, el piloto debe conocer qué velocidades son las adecuadas para evitar daños estructurales, a qué velocidad no se pueden extender los flaps ya que se deteriorarían, o a qué velocidad los alerones saldrían dañados en un viraje. Así definimos estas velocidades desde el punto de vista operacional:

- a) **Velocidad máxima operativa** (V_{mo}): velocidad que nunca debe sobrepasarse aunque la velocidad de crucero o de picado puede ser mayor. Si en otras maniobras sobrepasásemos esta velocidad el fuselaje se sometería a cargas excesivas dañando la estructura del avión.
- b) **Velocidad con flaps extendido** (V_{fe}): es la máxima velocidad a la que se puede ir con el punto de flap mínimo. Si fuese superada, el flap podría resultar dañado. Hay una velocidad máxima operativa para cada punto de flap.

- c) **Velocidad con tren de aterrizaje extendido** (V_{le}): Velocidad a la cual se puede extender y retraer el tren sin que este sufra daños estructurales.
- d) **Velocidad de maniobra** (V_a): Velocidad máxima para desplazamiento máximo de las superficies de control, sin que sufran flameo, inversión de alerones u otros fenómenos estructurales.
- e) **Velocidad máxima de vuelo del avión** (V_{ne}): La velocidad que nunca debe ser superada dado que se podrían producir graves fallos estructurales.

Típico anemómetro de aviación general con sus velocidades de referencia ($V_{mo}=V_{no}$)



Arco blanco	Rango de operación con flaps.
Límite inf.	Velocidad de pérdida con full flaps.
Límite sup.	Velocidad máxima con flaps extendidos.
Arco verde	Rango de operación normal.
Límite inf.	Velocidad de pérdida con flaps arriba.
Límite sup.	Velocidad máxima operación normal.
Arco amarillo	Rango de operación con riesgo estructural.
Límite inf.	Velocidad máxima operación normal.
Límite sup.	Velocidad de nunca exceder.
Línea roja	Velocidad de nunca exceder.

FATIGA: Si las cargas antes estudiadas se producen de forma reiterada y continuada, aparece la fatiga, que resulta ser un deterioro interno del material.

Así como las cargas se medían en g's, la fatiga estructural de un componente o sistema se mide en ciclos. Una estructura tiene un determinado número de ciclos, si ése número de ciclos rebasa el admisible se producirá un fallo estructural por fatiga. El fallo estructural por fatiga también se puede dar si los esfuerzos a los que está sometida la estructura son excesivos y superan los admisibles u operativos. Por ejemplo, el fuselaje soporta una carga continuada: la carga de presurización; al ser continuada se produce fatiga. Cada vez que se presuriza la cabina y se despresuriza se completa un ciclo de presurización. Llegado un número equis de ciclos, el fuselaje debe ser revisado para que no presente fallos, dado que ha rebasado el número de ciclos admisibles. Contra mayor sea el esfuerzo al que esté sometida una pieza, menor será el número de ciclos que pueda soportar; mientras que si el esfuerzo de trabajo está por debajo de un cierto nivel, el número de ciclos es mucho mayor, en principio infinito. Sin embargo, por seguridad, todas las piezas tienen un número de ciclos máximo.

La fatiga puede ser de dos clases: mecánica y térmica. **La fatiga mecánica** se origina por las vibraciones de las piezas, y por los esfuerzos físicos que soportan los aviones en servicio. **La fatiga térmica** tiene su origen en los motores. El enfriamiento y calentamiento de las piezas produce contracciones y dilataciones en los materiales. Esos esfuerzos continuados pueden fatigar el motor, produciendo grietas en partes vitales del mismo. Por ello los motores deben ser revisados cada tantos ciclos (encendido y apagado del motor). En los motores turborreactores tiene especial importancia este tipo de fatiga, ya que el enfriamiento y calentamiento es más repetido y continuado, alcanzando mayores temperaturas.

MATERIALES: Para fabricar estructuras como el fuselaje, que deben soportar numerosos esfuerzos y cargas, se debe tener muy en cuenta el material a usar. Los cuatro grandes grupos de materiales de empleo aeronáutico son las aleaciones férreas (con hierro), las aleaciones ligeras (de Aluminio, Titanio o Magnesio), materiales compuestos (o "composites") y materiales auxiliares (gomas, plásticos, lonas...)

Aleaciones férreas: La aleación férrea más usada en aviación es el acero (con un 2% de carbono). El acero sustituyó a la madera en la construcción de fuselajes reticulares o tubulares puesto que aguantaba mucho mejor la humedad. A pesar de



Los pernos y tornillos son de acero, ya que es más resistente que las aleaciones ligeras.

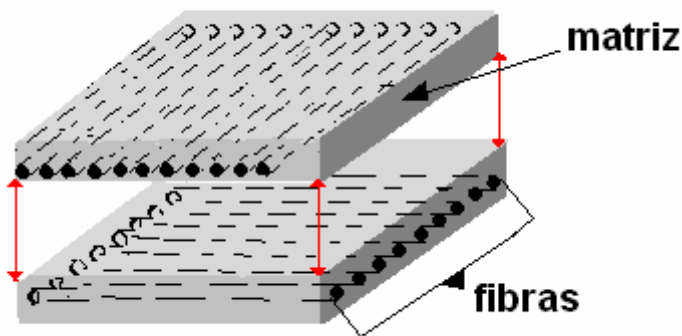
que el acero es más barato que las aleaciones ligeras pesa mucho más, y por ello su uso es muy limitado en la industria aeronáutica modernas, reduciéndose a partes que requieran de gran resistencia (tren de aterrizaje, herrajes de sujeción, elementos de fijación...).

Aleaciones ligeras:

- **Aleación de aluminio:** Las aleaciones de Aluminio son el resultado de la combinación del aluminio con otros metales como el Manganeseo, cobre, cinc o magnesio. Pesan poco pero resultan altamente resistentes, dos cualidades muy apreciadas en aviación. Sin embargo presentan un problema, y es que aun siendo el aluminio anticorrosivo, sus aleaciones no. Por esta razón se usan distintos medios para prevenir su deterioro. El caso más conocido es el *Alclad*, una aleación de aluminio cubierta de aluminio puro. Mientras la película exterior de aluminio puro se mantenga, la resistencia a la corrosión será la misma que presenta el aluminio. Los largueros, cuadernas y demás componentes se fabrican con aleaciones de cinc ya que son las aleaciones con mayor resistencia.
- **Aleación de Titanio:** A medio camino entre el acero y las aleaciones de Aluminio, es relativamente ligero pero tremendamente resistente a la corrosión a temperaturas moderadas. Sin embargo es ocho veces más caro que las aleaciones de Aluminio, su mecanizado es difícil y si se desea sustituirlo suele se puede emplear o el mismo material o un acero. Se trata de una aleación muy especial, utilizada en piezas de los turborreactores y lugares donde un material más barato no serviría.
- **Aleaciones de Magnesio:** Es la aleación más ligera: pesa cuatro veces menos que el acero. Su relación resistencia-peso es excelente y se maneja con facilidad. Sus usos son muy concretos: partes de asientos, cinturones de seguridad, en la caja del tren y de los rotores de los helicópteros. Sin

embargo se ha ido reemplazando por aleaciones de Aluminio, por problemas de corrosión e inflamabilidad.

Materiales compuestos (“composites”): Los materiales compuestos están constituidos por dos elementos estructurales: fibras y material aglomerante. El material aglomerante se llama “matriz” y las fibras están entretrejidas en esa matriz. Las fibras poseen una alta resistencia empleándose materiales como el boro

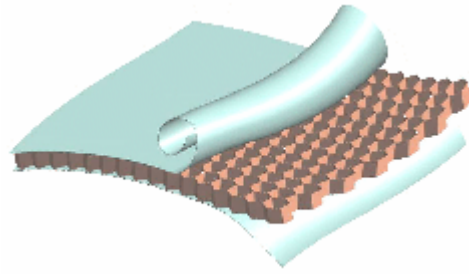


o el carbono; la matriz suele ser plástica (resinas, poliésteres) aunque en ocasiones es metálica para soportar altas temperaturas (en turbo-reactores y naves espaciales). La estructura del material está constituida por capas. En cada capa las fibras se encuentran aglomeradas en

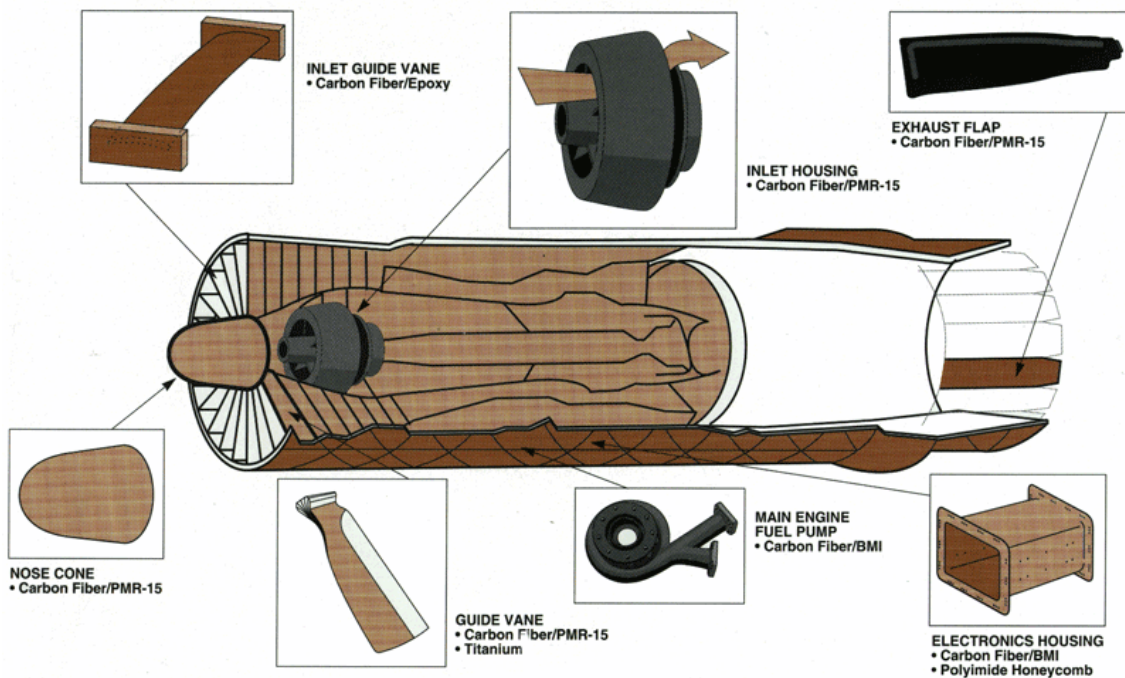
la matriz y presentan una misma disposición. El material es la suma de las capas que se asemeja a un músculo humano o a un “sándwich”. La orientación de las fibras no es arbitraria, sino que viene definida por el esfuerzo o cargas a las que se va a ver sometido el material. Así la resistencia mecánica del material vendrá dada por la dirección de las fibras o el tejido que forman. Podemos encontrarnos estructuras de composites que aguanten mejor cargas perpendiculares que otras estructuras ideadas, por ejemplo, para cargas longitudinales, etc...

Las propiedades mecánicas de estos materiales son notablemente superiores a las aleaciones ligeras. Sin embargo, resultan ser más frágiles que éstos, aun usando fibras de carbono y boro, siendo su reparación compleja. Por esta razón no es aplicable por ley a las alas y el fuselaje, ya que son estructuras primarias y de gran importancia. En cuanto a la matriz, las resinas “epoxi” son las que presentan una mejor adhesión de las fibras, aunque su uso está prohibido en las cabinas, ya que genera demasiado humo al quemarse.

Construcción tipo "sándwich": Se trata de una forma de colocar los materiales que debía ser nombrada dada su uso generalizado en aviación, y sus buenas propiedades mecánicas. Se trata de dos capas de fibra de carbono, de vidrio, o de aluminio pegadas a un núcleo. El núcleo puede tener forma de panel de abeja, fabricado en aluminio o resinas; o tratarse de un núcleo de goma-espuma. La estructura "sándwich" aguanta con éxito las cargas que impone la flexión (compresión y tracción), y el núcleo soporta esfuerzos cortantes con facilidad. Su aplicación se centra en superficies de control de vuelo y suelos de cabina.

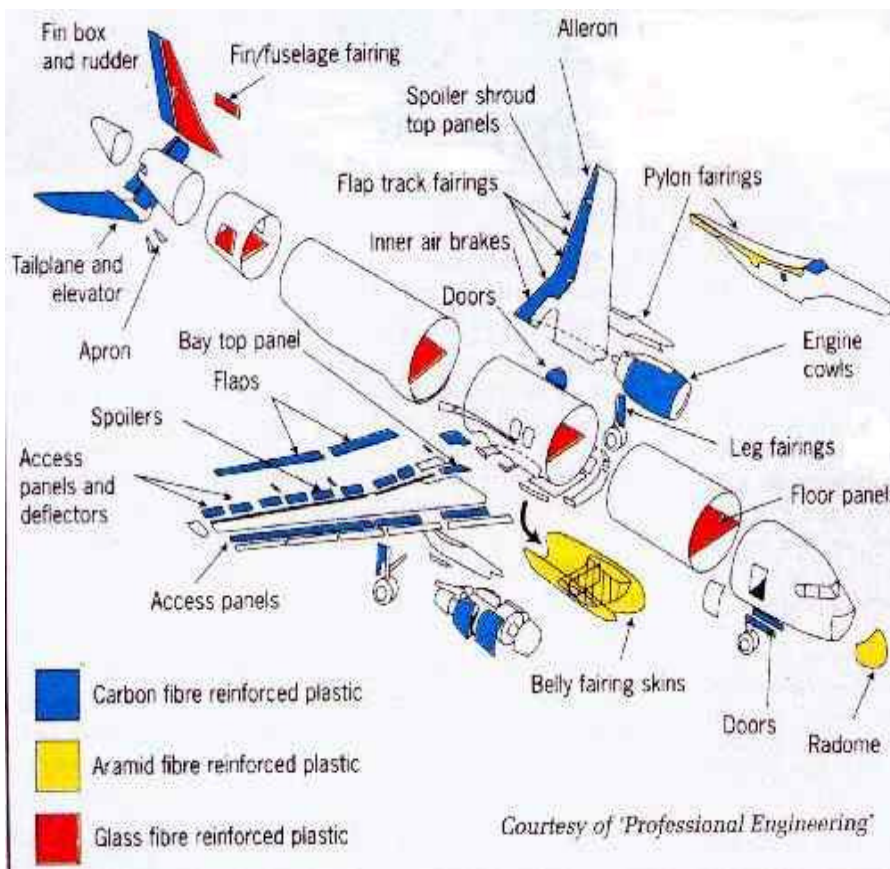
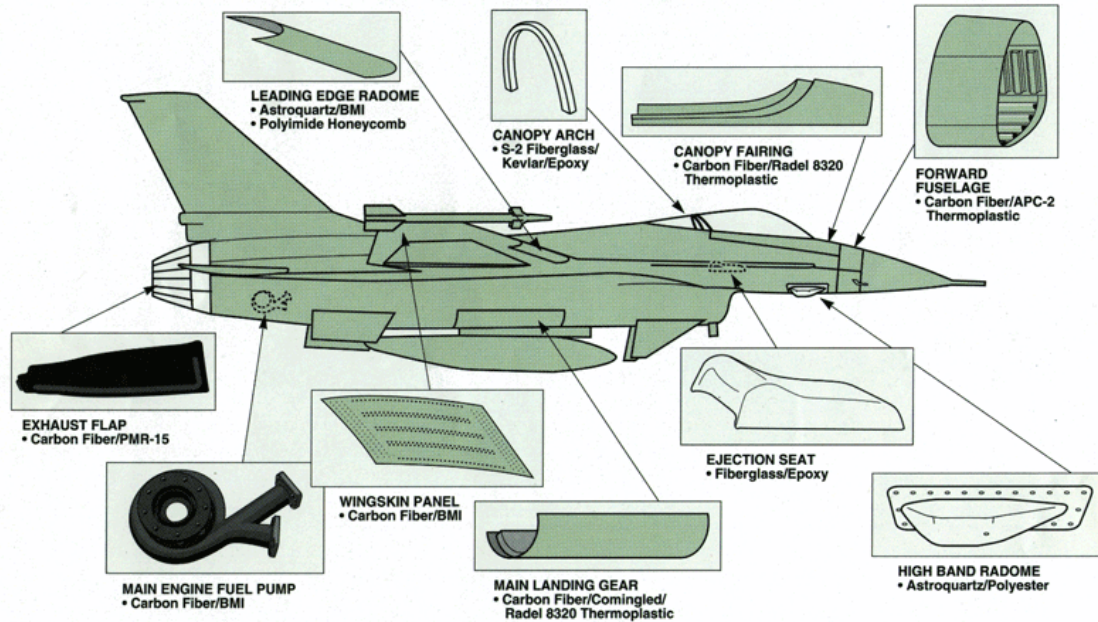


Engine Components



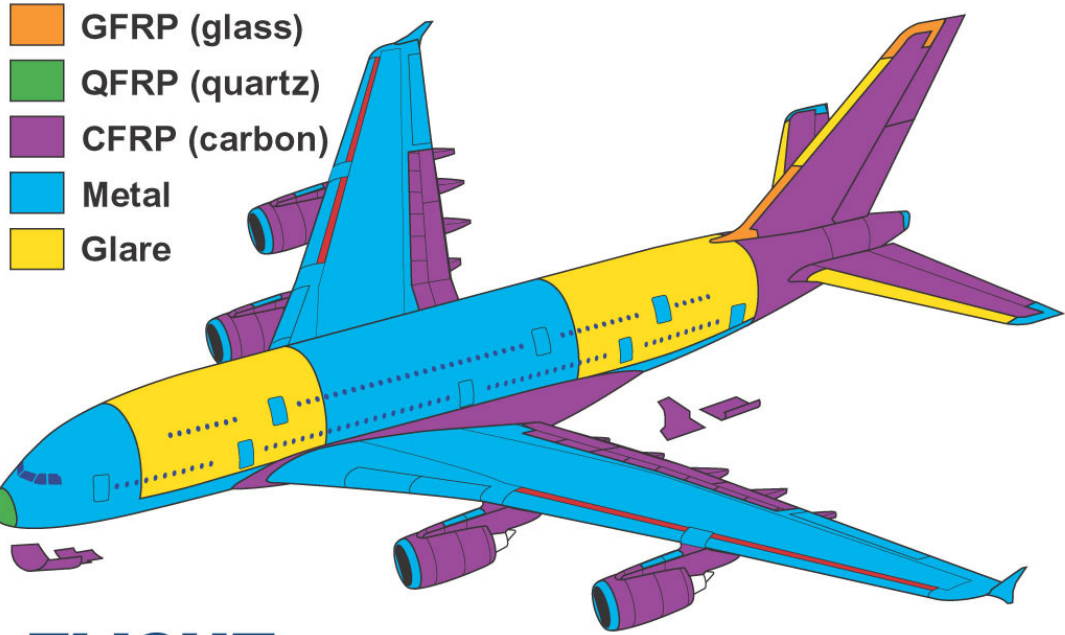
El uso de la fibra de carbono también se extiende a los turborreactores. Todos los componentes resaltados están fabricados con composites. El cárter de electrónica está hecho por ejemplo usando la estructura sándwich, mientras que las paletas de guía están fabricadas con fibra de carbono y aleaciones de Titanio; y las de entrada de fibra de carbono aglomerada con epoxy. La bomba de combustible también está construida en fibra de carbono. En la imagen de la siguiente página aparecen también componentes típicamente fabricados con "composites" en cazas militares. El arco del canopy y el asiento eyectable están hechos de fibra de vidrio con epoxy; el borde de ataque se ha fabricado usando la construcción de sándwich, con núcleo de panel de abeja; y la caja que contiene el tren de aterrizaje es de fibra de carbono.

Military Aircraft Composite Structures



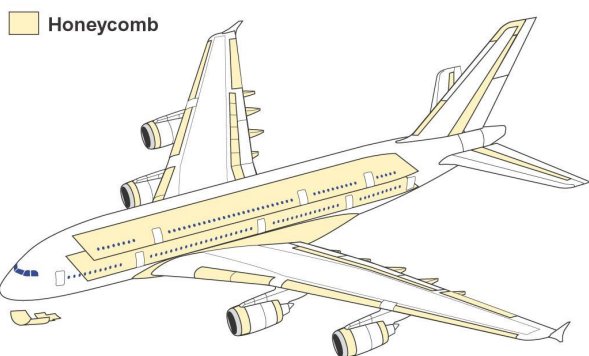
Esta imagen muestra el uso genérico de composites en aviación comercial. Las partes de azul corresponden a las fabricadas en fibra de carbono, las amarillas a fibra de Aramida (Poliamida aromática, COHN2) y las rojas a fibra de vidrio. Como se puede comprobar su uso está muy generalizado y apenas sólo el fuselaje y las alas se salvan de los composites, al ser estructuras primarias.

A380-800 MATERIALS OVERVIEW



Hemos visto como se empezó construyendo los aviones de madera, luego vino el acero para los fuselajes reticulares / tubulares, pronto sustituido por las aleaciones ligeras. Hoy en día los composites y sus variantes van comiéndole terreno a los "antiguos materiales". Como citábamos antes, ante su difícil reparación, todavía se opta por el uso de aleaciones en aviones como el Boeing 717, de corto alcance, ya que la aerolínea no puede permitirse el lujo de tenerlo parado mucho tiempo por unas reparaciones. Sin embargo todo apunta a que el futuro es de los composites. Prueba fehaciente es el uso de estos materiales en aviones de última generación, como el Airbus A380, que además, al ser de largo alcance, el tiempo de reparación no le supone un problema. El análisis de los materiales empleados en su construcción nos puede hacer una idea de cómo se construirán los aviones comerciales en el futuro próximo.

En naranja / rojo, verde y violeta aparecen coloreadas las partes correspondientes a fibras de vidrio, cuarzo y carbono respectivamente. En color azul las partes metálicas y en amarillo las partes construidas en "glare". Este último material es relativamente reciente, y se trata de un tipo específico de fibra metálica, hecha de aluminio y fibra de vidrio compuesta. Junto con la madera y el metal, el glare será el nuevo tercer material usado en estructuras primarias (fuselaje y superficies aerodinámicas primarias), siendo un híbrido entre el metal y los composites. "Glare" viene de Glass-Aluminium FML (fibber-metal laminate). Abajo aparece el uso de la construcción de sándwich con núcleo de panal de abeja en el A380. Cabina del A380 de Qantas (F-WWOW) (Abajo).



PESOS: Es importante que el piloto y copiloto conozcan los pesos del avión, para que su pilotaje se ajuste de la mejor manera a la situación. No hay que aplicar la misma potencia al despegar con mucho peso que con poco; es vital cargar y centrar bien el avión para que el vuelo se desarrolle con total normalidad y conocer los pesos máximos para cada maniobra para evitar la fatiga estructural o una posible catástrofe. Por todo ello, el piloto debe manejar los siguientes conceptos, relacionados intrínsecamente con las limitaciones del fuselaje:

- **Peso vacío de fabricación:** el peso de la estructura, motores, sistemas y otros elementos que forman parte integral del avión, incluyendo los líquidos de los sistemas cerrados: oxígeno, líquido hidráulico...
- **Peso básico vacío:** es el peso vacío de fabricación más los conjuntos estándar del avión: el combustible no utilizable, aceite del motor, peso estructural de lavabos y líquidos afines (agua, productos químicos...), de cocinas, asientos de pasajeros y otras variaciones que pueda introducir el operador.
- **Peso vacío operativo:** es el peso de la aeronave lista para operar sin la carga útil ni combustible. Es el peso básico vacío pero incluyendo la tripulación, su equipaje, prensa, catering, manuales de vuelo, herramientas, chalecos salvavidas y balsas, contenedores...
- **Peso con combustible a cero:** es el peso vacío operativo más la carga útil que incluye pasajeros, su equipaje y la mercancía.
- **Peso de despegue:** es el peso con combustible a cero más el peso del combustible en depósitos internos y externos.
- **Peso de aterrizaje:** es igual al peso de despegue menos el peso de combustible y otros elementos gastados.
- **Peso máximo de despegue//Maximum Takeoff Weight (MTOW):** Es el peso máximo del avión al despegue, limitado por su resistencia estructural y los requisitos de aeronavegabilidad.
- **Peso máximo de aterrizaje// Maximum Landing Weight (MLW):** Es el peso máximo del avión al aterrizaje, limitado por su resistencia estructural y los requisitos de aeronavegabilidad.
- **Peso máximo con combustible a cero// Maximum Zero Fuel Weight (MZFw):** Peso máximo permitido del avión con anterioridad a la carga de combustible.
- **Peso máximo de rodaje:** El peso máximo para maniobrar en tierra.

Los pesos que más se manejan son los MTOW, MLW y MZFW; sin embargo estos datos son un límite, no una garantía. A la hora de evaluar el despegue, aterrizaje u otras maniobras se ha de tener en cuenta también el estado de la pista, las condiciones meteorológicas... La carga y los pesos máximos es algo calculado al milímetro en los vuelos comerciales en los que se pretende maximizar los beneficios, llegar lo más lejos posible usando el menor combustible.

Ya hemos visto el fuselaje, su forma, sus pesos, maneras de construirlo, los materiales con los que se puede fabricar y las cargas, esfuerzos y fatiga que soporta. Estos apartados son quizás los de más interés para el piloto, siendo el resto de datos sobre corrosión, estructuras tolerantes al daño, uniones de elementos u otros apartados más secundarios o de carácter más industrial, por lo tanto no los voy a abordar. A lo que sí me gustaría hacer alusión de forma anecdótica es al acabado del fuselaje: **la pintura o pulido**. Ambos tratamientos presentan unas ventajas y desventajas que la compañía debe sopesar y decidir por cuál decantarse. La pintura, a parte de ser estéticamente más atractiva a los ojos, evita la erosión del material y la entrada de humedad. Además todas las superficies de materiales compuestos deben ir pintadas por razones estructurales. Sin embargo la pintura presenta un problema: peso; que se traduce en gasto de combustible. Un Boeing 747-400 pintado puede pesar 225 kilogramos más que uno sin pintar. El pulido aunque sea una opción más ligera que el pintado, requiere mayor mantenimiento, ya que debe ser pulida con regularidad para eliminar elementos contaminantes adheridos. Sin embargo el ahorro de combustible supera el de mantenimiento. Al final es una decisión de marketing de la compañía.

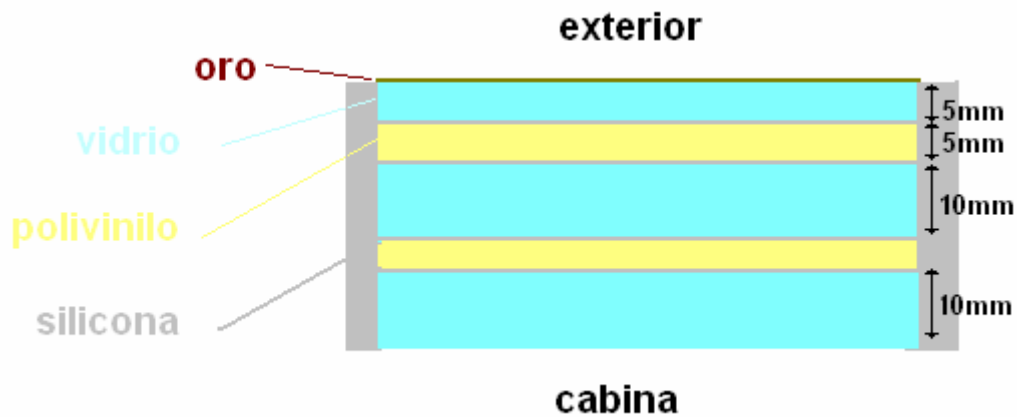


ANA y JAL, compañías niponas, optan por pintar sus jumbo's con esquemas divertidos sobre personajes infantiles como los pokémon (ANA) o Mickey Mouse (JAL). El turismo en Nueva Zelanda aumentó significativamente tras el rodaje de "El señor de los anillos" en el país, y la aerolínea de bandera, Air New Zealand, pintó sus aviones con escenas de la película. Otra compañía conocida por sus libreas es la australiana Qantas, en la imagen el 747 "Wunala dreaming". El ejemplo más vivo de aviones pulidos es el de American Airlines, en la imagen un 767 de la compañía estadounidense.



Parabrisas y ventanillas:

DEFINICIÓN: las ventanas de los aviones son las aberturas que se practican en el fuselaje para instalar transparencias que permitan ver el exterior. Encontramos dos tipos de aberturas. Las ventanas frontales situadas en la cabina de mandos se denominan **parabrisas**, mientras que el resto **ventanillas** (cabina de pasajeros y laterales de cabina de mandos).



PARABRISAS: El parabrisas está formado por capas de vidrio templado, que aguanta las cargas de presurización y aerodinámicas; y otras capas de polivinilo que proporciona resistencia al impacto de las aves u otros objetos. Antiguamente se usaba sólo una capa de cada (acristalamiento monocapa), pero hoy en día se fabrican los parabrisas con numerosas capas: **multicapa** (véase dibujo). El objetivo de los parabrisas, a parte de proporcionar una buena visión al piloto, es la de protegerlo de impactos de aves u otros móviles, de ahí el uso de tantas capas. Además los parabrisas deben cumplir unos requisitos mínimos de seguridad que veremos más adelante. El cristal usado en los parabrisas es un cristal especial, que cumple una serie de características de resistencia, por ello se llama cristal de seguridad. Hay dos tipos de cristales de seguridad a usar en un parabrisas: el **cristal laminado** o el templa-do. El **cristal templado** es una lámina



de vidrio de alta resistencia mecánica mientras que el laminado, son varias capas de vidrio templado y polivinilo (multicapa), presentando menor resistencia. Estos cristales de seguridad se distinguen de los comunes por sus características de rotura . Un cristal común de rompe en mil trocitos y la presencia de la primera grieta y la desintegración del cristal son acontecimientos casi simultáneos. Por el contrario, en los cristales multicapa, muy pocos fragmentos son despedidos en caso de rotura, dada la gran adhesión entre las capas.

Además de la alta resistencia y de las características de rotura de los parabrisas, se le dota al mismo con una serie de protecciones térmicas (antivaho, deshielo...), anti-solares (se reduce en un 50% las radiaciones solares que entran

Además de la alta resistencia y de las características de rotura de los parabrisas, se le dota al mismo con una serie de protecciones térmicas (antivaho, deshielo...), anti-solares (se reduce en un 50% las radiaciones solares que entran

en cabina); anti-estáticas (evitar descargas eléctricas) y anti-radar (aplicación en aviones militares).

TIPOS DE PARABRISAS: Podemos distinguir tipos de parabrisas según su material de fabricación o el tipo de construcción. Aunque hemos presentado parabrisas fabricados en vidrio templado, monocapa o multicapa; también existen de plásticos acrílicos o de acetato de celulosa. Según el tipo de construcción, encontramos parabrisas simples (aviones no presurizados) o parabrisas especiales (cabinas presurizadas, con protecciones térmicas...)

VENTANILLAS: Las ventanillas se fabrican normalmente en plásticos acrílicos, formadas por una o más capas de material. La resistencia a impactos no es un factor determinante en su elaboración sino su peso, al poder haber más de 200 ventanillas en un avión. Los plásticos son más ligeros que los vidrios (pesan una tercera parte de lo que pesa el vidrio) y presentan mejor resistencia a la fatiga y a la propagación de grietas.



REQUISITOS QUE DEBEN CUMPLIR LOS PARABRISAS: Los parabrisas de los aviones comerciales deben cumplir una serie de requisitos estructurales y de seguridad para ser instalados:

- Todos los parabrisas deben fabricarse con cristales de seguridad.
- El parabrisas debe resistir el impacto de un ave de 1'81 Kg. (4lb) a la velocidad de crucero calculada al nivel del mar, o a 0'85 por la velocidad de crucero a 8000 pies.
- La probabilidad de desprendimiento de fragmentos debe ser muy pequeña, y si se produce el desprendimiento, los fragmentos no deben alcanzar a los pilotos dentro de un $\pm 15^\circ$ del eje longitudinal del avión.
- Que la rotura de uno de los paneles del parabrisas, no afecte a la visibilidad de otro.



Este Fokker 70 de KLM cityhopper, ha aguantado perfectamente el impacto de tres aves. Dos en el cono de proa, donde se puede observar dos manchas de sangre y un gran bollo; y otro menos apreciable en el parabrisas derecho de la cabina que ha permanecido intacto. Gracias a los límites estructurales y de seguridad impuestos en las aeronaves en la mayoría de ocasiones

el impacto de aves en el fuselaje se convierte en algo casi anecdótico afortunadamente.

MICROGRIETAS: Un fenómeno muy común es la aparición de microgrietas en el panel acrílico del parabrisas (polivinilo), o el llamado "crazing". La flexión del panel produce estas minúsculas fisuras de aproximadamente 0'02 mm. Estas fisuras se van propagando por el cristal, y disminuye la resistencia al impacto y degrada sus características mecánicas. El crazing también puede estar originado por el uso de productos de limpieza inadecuados, contaminación atmosférica o una mala instalación del equipo.



Quizás el accidente más impactante y dramático relacionado con parabrisas sea el que le ocurrió a este aparato de la British Airways (G-BJRT) el 10 de Junio de 1990. Se trataba del vuelo 5390 en el BAC one-eleven desde Birmingham a Málaga. A nivel de vuelo 173, el parabrisas izquierdo salió disparado hacia el exterior a las 7h33min, con tan mala suerte que el confiado capitán llevaba el cinturón de seguridad desabrochado. El piloto salió despedido hacia el exterior enganchándose su pie al piloto automático y quedándose pegado por el flujo de aire a la parte superior de proa. Una despresurización repentina invadió la cabina y los tripulantes de cabina tuvieron que interrumpir los servicios de a bordo. El tercer TCP a bordo acudió a la cabina y desenganchó al piloto sosteniéndole para que no se escapase al exterior; el copiloto recuperó el control de la aeronave ya que los mandos estaban atascados por los pies del piloto. El segundo TCP sustituyó al tercero en sostener al capitán, ya que se estaba quedando sin fuerzas en los brazos y medio congelado. A FL100 y a 150 nudos, la aeronave realizaba una aproximación visual mediante vectores radar a Southampton Airport. El aterrizaje de emergencia a las 07h55min fue perfecto. El capitán, del que todo el mundo pensaba que estaba muerto, fue trasladado urgentemente al hospital general de Southampton, presentando numerosas fracturas, congelamiento y shock. El capitán sobrevivió milagrosamente a su indeseable experiencia. No hubo bajas y todo acabó bien gracias a la pericia del copiloto y la rápida respuesta de la tripulación. Rápidamente se pusieron a investigar las causas del accidente. El TMA el día anterior, cambió los tornillos del parabrisas. A "ojímetro", escogió unos tornillos apreciablemente más pequeños que los anteriores; así, 84 de los 90 tornillos del parabrisas eran más pequeños de lo exigido por el fabricante. Apenas unos milímetros de diferencia sirvieron para que el parabrisas no aguantase las cargas de presurización. El TMA estaba hasta arriba de trabajo, y presionado por la compañía debía acabar de revisar los aviones esa noche, y en vez de leer en el manual los tornillos adecuados (lo que llevaría mucho tiempo), comparó los ya

puestos con los que iba a poner, errando en su elección por unos milímetros. El informe completo del accidente está en <http://www.raes.org.uk/raes/first/airworthiness/GRP/BAC111.pdf>

Alas

SUPERFICIES AERODINÁMICAS: Podríamos decir que el avión se divide en fuselaje, grupo motopropulsor y superficies aerodinámicas, que son aquellas sobre las que se manifiestan fuerzas como la sustentación o resistencia. Gracias a estas superficies el avión vuela, se sustenta en el aire. Hay tres tipos de superficies básicas expuestas a las fuerzas aerodinámicas: las **alas**, los **estabilizadores** y las **superficies de control de vuelo**. Mediante estas estructuras y la tracción que crea el motor o motores, el "puro" del avión (fuselaje) es capaz de navegar y moverse por el aire.

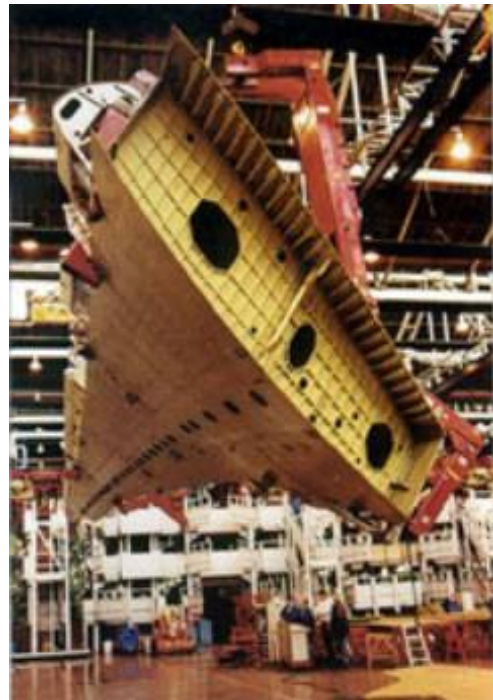
ALAS: El ala es la superficie que proporciona la fuerza sustentadora principal del avión. La estructura interna está constituida por largueros, larguerillos y costillas. El **larguero** es el componente estructural principal que recorre el ala longitudinalmente desde el encastre (donde el ala se une al fuselaje) hasta la punta del ala. Soporta las cargas principales del ala en vuelo y tierra. Estas auténticas "vigas" del ala están construidas en aleaciones de aluminio de alta resistencia y suele haber sólo dos o tres por ala. La sección recta de estas vigas suele tener forma de I.



Las **costillas** son elementos transversales del ala y también transversales a los largueros. Cumplen dos funciones: dar forma y curvatura al contorno del ala, y añadir rigidez y resistencia al conjunto. Hay dos formas de construir las costillas: de chapa o mecanizadas. Las costillas de chapa, están construidas con un espesor no muy grande, y se usan habitualmente en aviación ligera. Las mecanizadas se fabrican en máquinas a partir de grandes

planchas de material y su uso está enfocado hacia la aviación comercial. La resistencia mecánica que requiere un avión pesado no permite el uso de una chapa, sino de grandes planchas de ocho o más centímetros de espesor. Con frecuencia tanto en largueros como en costillas se abren grandes agujeros para aliviar el peso. En las costillas mecanizadas, al ser la plancha muy gruesa, no se le practican agujeros sino que se rebaja el material en algunas partes (técnica piscina mediante fresado químico).

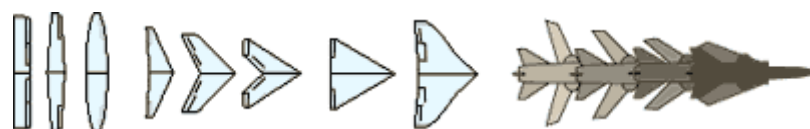
Los **larguerillos** refuerzan toda la estructura, situados de forma longitudinal a través de las costillas, proporcionan la superficie suficiente para unir con remaches la chapa de revestimiento del ala.



En las imágenes aparecen dos alas, una recta con sus costillas y dos largueros, y otra corresponde al ala del Airbus A380 hecha en Aluminio.

En cuanto a las cargas que soporta el ala, no nos extenderemos, ya que están citadas en el apartado CARGAS; sólo recordar que el ala soporta esfuerzos de flexión, cargas de tracción y giroscópicas del motor y cargas aerodinámicas (ráfagas, turbulencias, flameo...)

Los materiales empleados en la construcción de alas suelen ser metales, más concretamente aleaciones de aluminio, resistentes y ligeras. (Ver apartado de materiales)



TIPOS: Hay numerosos tipos de alas, todos ellos atendiendo a un criterio de clasificación. La utilidad de cada aeronave determina la forma y diseño del ala. Según cómo vaya a operar la aeronave, la interacción con el aire será diferente. El

ala de un avión subsónico no tendrá la misma forma que la de un avión supersónico, ni un hidroavión la de un caza militar. No hay un ala ideal o mejor, sino será ideal o la mejor para la función que va a desempeñar la aeronave en la que va ir montada. A continuación vemos los ejemplos más típicos usados en aviación, pudiendo haber variaciones o combinaciones de los presentados.

Según la forma de la planta:

- Ala recta: Su planta es rectangular y aunque presenta buenas características de pérdida, tiene una mala relación peso – resistencia. Sin embargo es la más económica y por ello la elegida en numerosas avionetas amateur o ligeras.



La mayoría de Cessna's, en este caso la Cessna T206H Turbo Stationer, tienen perfiles rectos dado que se sacrifica la velocidad por la nobleza y estabilidad.

- Ala elíptica: Su forma es la de una elipse y es muy eficiente en su relación peso-resistencia. Aunque es terriblemente manejable y produce muy poca resistencia las pérdidas son muy críticas y su construcción compleja; y por lo tanto, cara.

El spitfire, caza británico, es el ejemplo mítico de ala elíptica. La geometría de este ala le daba un maniobrabilidad impresionante (Imagen en la siguiente hoja)





- Ala recta con estrechamiento: Este tipo de ala pretende buscar un punto medio entre maniobrabilidad, nobleza y velocidad, sin sacrificar los bajos costes de producción que presentaba el ala recta.



La mayoría de pipers y aviones de escuela utilizan este diseño de ala ya que es muy cómoda y versátil.

- Ala en delta y en flecha: El ala en delta como la de flecha, se ingenió para reducir la aparición de ondas de choque a velocidades subsónicas, y por ello es muy eficiente a altas velocidades. El ala en delta se usa en aviones supersónicos, ya sea simple (como el Mirage) o compleja (Concorde).



El F-117 es un claro ejemplo de ala con gran flecha. El F-1 Mirage III C a la derecha tiene ala en delta. La mayoría de aviones comerciales tienen ala en flecha.

- Ala variable: El ala variable se ideó para juntar las buenas características de estabilidad de alas de flecha o rectas y la gran eficiencia a velocidades supersónicas del ala en delta. Este tipo de ala tiene entonces, una geometría variable según la maniobra o velocidad a la que vaya a operar el piloto. Su uso se limita a cazas ya que su instalación es muy costosa y aun teniendo buenas características, no merece la pena montarla en aviones comerciales.

El F-14 Tomcat puede adoptar una diferente configuración alar según sus necesidades gracias a su ala de geometría variable.



Según su posición:

- Ala alta: El ala se monta en la parte superior al fuselaje. Un modelo de ala alta es mucho más estable que uno de ala baja y tendera menos al balanceo o efecto péndulo. El peso del avión está debajo del ala (su centro de gravedad C.G.), por lo que el fuselaje tiende

estabilizarse hacia abajo como si de un péndulo se tratase para igualar fuerzas.

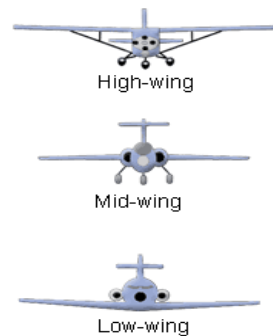


El British Aerospace Bae 146-200 o "jumbito" tiene el ala alta. Gracias a sus cuatro motores y su pequeño tamaño es un avión muy poco ruidoso. Eso sumado a sus características de avión STOL (short take off and landing) hacen de él uno de los pocos aviones que puede operar en aeródromos urbanos, como EGLC, London city, situado en el centro de Londres. Actualmente ya no se fabrica.



- Ala media: El ala media se une al fuselaje por la parte media del mismo. Sus características están entre la estabilidad del ala alta y la maniobrabilidad del ala baja. El ala media (imagen de la derecha) es la más utilizada en aviación comercial.

- Ala baja: Quizás la más maniobrable, el ala baja se sitúa bajo el fuselaje del avión. Numerosos aviones corporativos, cazas y aviones acrobáticos utilizan este tipo de disposición.



A la izquierda el Falcon 900, un avión corporativo de ala baja que tiene el ejército del aire español en su flota para transporte de VIP's. A la derecha un dibujo ilustrativo de los tipos de ala analizados.

En el pasado también existía el ala en parasol, hoy en desuso, montada por encima del fuselaje mediante unas sujeciones.

Según su perfil:

El perfil es la sección transversal del ala y según su forma, el ala se comportará en el aire de forma muy distinta. El perfil es objeto de estudio de los ingenieros aeronáuticos a la hora de diseñar un avión y su forma es vital determinando las actuaciones del avión (performances) y sus velocidades de pérdida. El perfil se suele estrechar a medida que se acerca a la punta de ala. Sin abundar demasiado en el tema, podemos distinguir tres perfiles básicos según su grosor, aunque el perfil de cada avión sea diferente. Los perfiles gruesos corresponden a aviones dóciles con velocidades medias, los perfiles de grosor medio presentan altas velocidades punta y aceleración. Con el grosor fino se pueden conseguir grandes velocidades. En la siguiente hoja aparecen dibujados numerosos perfiles y sus características en inglés.

Según su forma de unión al fuselaje:



Según cómo se una el ala al fuselaje diferenciamos entre alas arriostradas o cantílever. El ala **arriostrada** se une al fuselaje en puntos concretos por cables o tirantes externos (montantes). Estos montantes soportan las cargas del ala en vuelo y tierra; y al ser un ensamblaje exterior opone resistencia al aire. El ala arriostrada se suele usar en aviación deportiva y general, con características de vuelo moderadas. En el ala **cantílever** el entramado estructural es interno y por lo tanto no presenta esa resistencia aerodinámica. Es la más generalizada en aviación con características de velocidad alta.

(De arriba abajo) una diamond katana DV20 con ala cantílever y una piper J-3 Cub con ala arriostrada.

Según el borde del ala:

Hay numerosos tipos de bordes del ala. No nos pararemos demasiado en este apartado ya que la clasificación por el tipo de borde no suele ser muy común. Sin embargo si cabe destacar algunas aplicaciones técnicas en los bordes del ala para evitar la resistencia y mejorar las actuaciones del avión.

Los bordes redondeados son fáciles de construir pero generan un torbellino de ala muy pronunciado. Los bordes afilados son más eficientes en este aspecto presentando menor resistencia aerodinámica inducida.

El borde recto (el simple corte transversal del ala) tiene una buena relación resistencia generada – coste de producción.

Existen otros tipos de bordes como el cóncavo (hacia abajo) que aumenta la envergadura del ala, o el acabado en placa, separando el intradós del extradós.

El borde que está resultando de gran eficiencia es el "Winglet". Aumenta la velocidad ya que reduce considerablemente la resistencia inducida, lo que supone mayor autonomía de vuelo y ahorro de combustible.

CONVENTIONAL AIRFOILS

The following illustrations depict a selection of designs of airfoil sections. These are known as conventional airfoils.



Low camber — low drag — high speed — thin wing section
Suitable for race planes, fighters, interceptors, etc.



Deep camber — high lift — low speed — thick wing section
Suitable for transports, freighters, bombers, etc.



Deep camber — high lift — low speed — thin wing section
Suitable as above.



Low lift — high drag — reflex trailing edge wing section.
Very little movement of centre of pressure. Good stability.



Symmetrical (cambered top and bottom) wing sections.
Similar to above.



GA(W)-1 airfoil — thicker for better structure and lower weight — good stall characteristics — camber is maintained farther rearward which increases lifting capability over more of the airfoil and decreases drag.

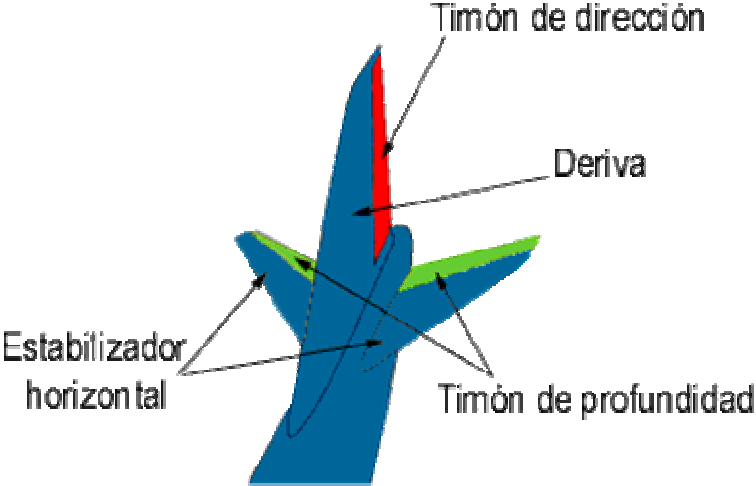


Aquí se aprecia el tamaño del gigantesco winglet de un Boeing 747-400 de South African Airways. El Winglet, aparte de añadir autonomía de vuelo al avión también sirve de elemento estético ostentando el logotipo de la compañía.

Estabilizadores

DEFINICIÓN Y TIPOS: El elemento estabilizador del avión es la cola, cuyo conjunto se llama empenaje. Por lo general está situado en la parte posterior del avión y se compone estructuralmente de dos elementos: el estabilizador vertical (o deriva) y el estabilizador horizontal. La parte posterior del estabilizador vertical suele disponer de una articulación llamada timón de dirección que mueve al avión en el eje vertical. Los timones de profundidad (o elevadores) que mueven al avión en el eje horizontal suelen estar situados en el estabilizador horizontal.

La forma de clasificar los tipos de colas es atendiendo a la disposición de sus estabilizadores en el espacio, esto es, al tipo de construcción. La manera de concebir y colocar el empenaje atiende a criterios aerodinámicos, a la



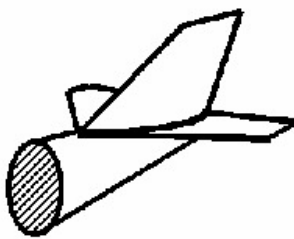
capacidad y potencia del avión, y, por último, al peso.

Las colas se pueden dividir en dos grandes grupos: convencionales y especiales.

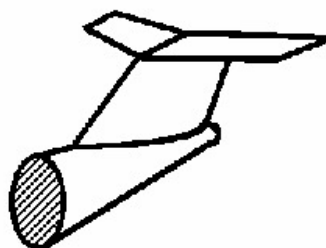
COLAS CONVENCIONALES: Son la cola clásica, alta y cruciforme.

1. Cola clásica: La cola clásica es la más generalizada, su uso en construcciones aeronáuticas es de aproximadamente del 75%. Suele ser la solución óptima desde el punto de vista de estabilidad, control y de peso estructural del conjunto. Casi todos los aviones de la familia Boeing y todos los de la familia Airbus, utilizan este tipo de cola, lo que nos puede dar una idea de que su uso es más que generalizado.

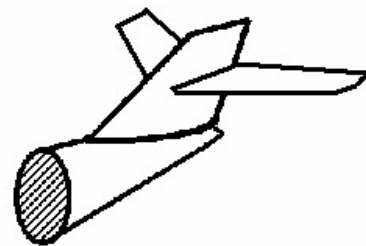
2. Cola alta (o en "T"): Es la segunda más empleada en aviación y se caracteriza por tener situado el estabilizador horizontal en la parte superior de la deriva. Esta construcción permite, o bien reducir el tamaño de la deriva, o instalar un tercer motor en la misma (caso del DC-10 o MD-11). Este tipo de cola se emplea normalmente en aviones que tienen montados los motores atrás, como los McDonnell-Douglas, Embraer, Bombardier... etc. Mucho se discutió sobre cuál era la mejor forma de llevar los motores, en cola o en ala, pero la aviación comercial parece que se ha inclinado por el uso de los motores (normalmente dos, incluso en aviones de largo alcance como el Airbus A330 o el Boeing 777) en las alas y por lo tanto, montar la cola clásica, en vez de la alta.



COLA CLÁSICA



COLA ALTA O EN "T"



COLA CRUCIFORME



AIRBUS A320



MCDONNELL-DOUGLAS MD-82



BAe 3201 JETSTREAM 31

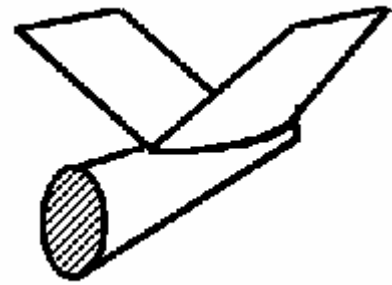
3. Cola cruciforme: Se trata de un híbrido entre la clásica y la alta, para aprovechar así las ventajas de ambas. El estabilizador horizontal se coloca no tan alto como en la cola alta ni tan bajo como en la cola baja.

COLAS ESPECIALES: Se llaman así precisamente, por que su diseño está orientado a aviones o a objetivos concretos. Su uso es muy reducido. Dentro de la cantidad de diseños destacan dos básicos: en "V" y en "H".

La cola en "V" está formada por dos superficies inclinadas en forma de V. Su mayor ventaja es la reducción de fricción frente a otras colas, es decir menos resistencia igual a más velocidad. Sin embargo es de mayor peso. La cola en "V" invertida es una variante para mejorar el alabeo en aviones con cola en "V"; sin embargo está demasiado cerca del suelo.



La Beech V35B Bonanza monta este peculiar diseño de cola, a pesar de ser una avioneta de escuela o deportiva.



EN V

La cola en "H" permite reducir considerablemente la longitud del estabilizador y además colocar las derivas justo detrás del flujo de los motores, permitiéndote ascender fácilmente. En el famoso Lockheed Super Constellation, la cola en "H" le sirvió para reducir la altura vertical de la cola, de tal forma que cupiese en los hangares de la época (así las compañías no tienen por qué cambiar sus hangares con la inclusión de uno de estos aviones en su flota).

La cola de doble fuselaje es otro tipo empleado con frecuencia en el pasado, o en algunos modelos de hoy en día (cessna skymaster). Al ser de doble fuselaje suele pesar más de lo normal.

La cola en "Y" es como la cola en "V", añadiendo un estabilizador vertical por debajo y proporcionando un control excelente, dejando el estabilizador fuera del flujo del motor.

La cola doble es sin duda la más maniobrable, ofreciendo excelentes cualidades de control a altos ángulos de ataque. Por ello es la más usada en los cazas militares modernos.



El Lockheed Super Constellation con su cola en "H" triple, (arriba izquierda), la Cessna Skymaster con su cola de doble fuselaje y cabina presurizada (arriba derecha), el F-18 de cola doble (izquierda) y por último el F-4 Phantom con cola en "Y" invertida (derecha).

COMPONENTES ESTRUCTURALES: La cola realmente tiene la misma estructura que un ala sólo que de dimensiones más reducidas. Comparten así elementos como las costillas, largueros y larguerillos. Los timones están unidos a los estabilizadores por herrajes de articulación. La estructura se comporta de forma similar a las alas, soportando cargas aerodinámicas generadas normalmente por el estabilizador horizontal. Para más información sobre las cargas y flameo que se produce en la cola, mirar en el apartado de cargas.

En cuanto a los materiales, de nuevo decir, que se utilizan los mismos que en las alas, aleaciones de aluminio, y más recientemente, composites en las superficies de control.

COMPENSACIÓN DE MACH: Cuando un avión atraviesa la barrera del sonido, el centro de presiones se traslada hacia la parte posterior del avión, creando una situación de picado. Para compensar esta situación se monta en los aviones un sistema por el cuál, alcanzando MACH 0'8 el timón horizontal se desplaza hacia abajo, centrando el avión y contrarrestando el picado.

BIBLIOGRAFÍA

Libros consultados:

- Conocimientos del avión, Antonio Esteban Oñate, Paraninfo.
- Nueva enciclopedia ilustrada aviones, David Mondey, Edicomunicación S.A.
- Enciclopedia Larousse, VVAA.
- El pequeño Larousse ilustrado, VVAA.
- Microsoft Flight Simulator 2000 Manual del piloto, Microsoft

Webs consultadas:

- <http://es.wikipedia.org/wiki/Fuselaje>
- <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=1569>
- http://www.scaled.com/services/structural_analysis_and_design.html
- <http://www.flightinternational.com/Articles/2005/06/14/Navigation/180/199071/Creating+A+Titan.html>
- <http://composite.about.com/od/books/l/aafpr020623.htm>
- <http://www.fibersource.com/f-tutor/aramid.htm>
- <http://inicia.es/de/vuelo/PRE/PRE42.html>
- <http://www.airliners.net/>
- <http://aviation-safety.net/database/record.php?id=19900610-1>
- <http://www.raes.org.uk/raes/first/airworthiness/GRP/BAC111.pdf>
- <http://virtualskies.arc.nasa.gov/aeronautics/tutorial/intro.html>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Wing>
- <http://mx.geocities.com/aeroyal/avion.htm>
- <http://bsas-vac.tripod.com/Dfc/Vuelo1/Control/empenaje.htm>

La mayoría de imágenes tienen copyright así que está prohibida su distribución comercial.

Elaborado por:
Agustín Reche
ES-TA4
agustin.reche@ivao.aero

Actualización: 22 Abril 2009

Versión 1.0