



SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

Materiales Aeronáuticos

Por Gizmo

Los intentos por volar han sido muchos, y se ha tardado en conseguir, no solo por la técnica inadecuada, si no por los materiales incorrectos o falta de motores ligeros y potentes...

1. **La madera**

- a. Los primeros materiales en emplearse fueron la madera y la tela, proporcionaban una resistencia adecuada con un peso muy bajo. La madera en muchos aspectos se comporta como un material compuesto, por cómo está constituida por capas, con mejores propiedades en la dirección longitudinal de la fibra, tiene valores de módulo elástico y resistencias muy altos para su densidad. Veamos algunos ejemplos:
 1. Abeto
 1. $E=9000\text{Mpa}$
 2. Resistencia a la tracción: 70Mpa
 3. Densidad: 400kg/m^3
 2. Abedul
 1. $E=14250\text{Mpa}$
 2. Resistencia a la tracción 100Mpa
 3. Densidad: 630kg/m^3
- b. Estos valores son mejores que los de algunas aleaciones de aluminio, pero...
 1. La madera sufre cambios en su tamaño y sus propiedades con la variación de humedad
 2. La madera se ve sometida al ataque biológico.
- c. Fue utilizada hasta la segunda guerra mundial. Antes principalmente en estructuras recubiertas de tela y en recubrimientos. En la Segunda Guerra Mundial se empleó en forma de laminados, en algunas estructuras y recubrimientos, siendo el ejemplo más conocido el avión británico "Mosquito".



SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

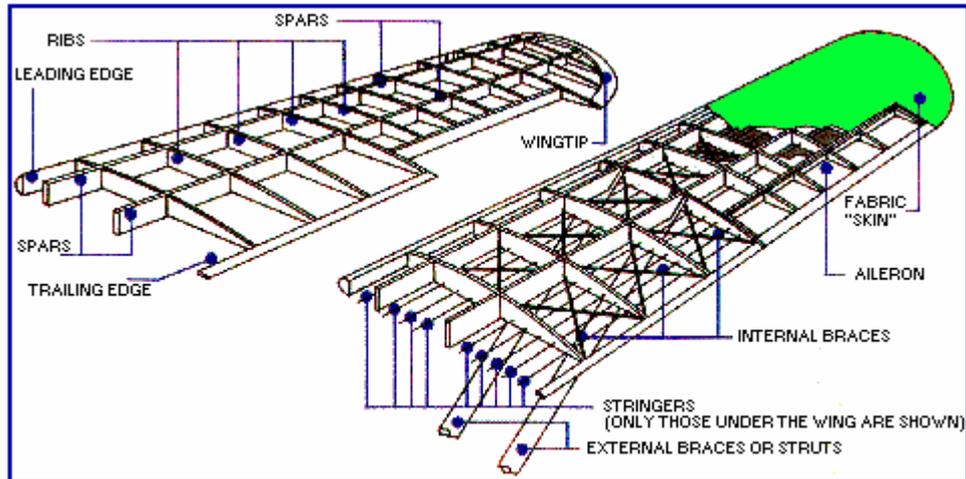
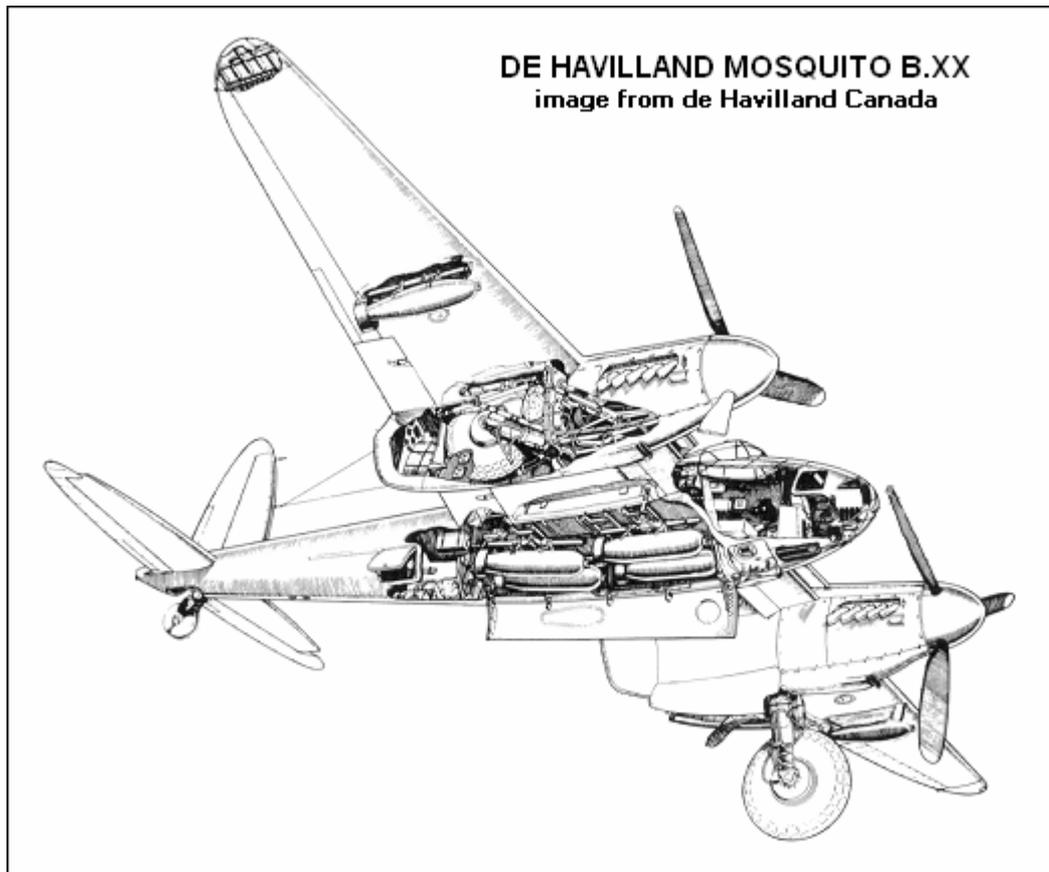


Figure 1-5 Wood-and-fabric-type wing structure



Estructura típica de madera y tela; y el Mosquito



SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

2. El acero

- a. El acero tiene buenas cualidades respecto a resistencia, pero su densidad es excesiva y tiene graves problemas de corrosión. No obstante sustituyó a la madera en la construcción: Ya en la primera Guerra Mundial Junkers empleó chapas de aluminio corrugado para ahorrarse el peso de los rigidizadores y crear el 1er avión enteramente metálico (y monoplano) relegando el uso de la madera, y Fokker empleó la estructura del tubo de acero recubierta de tela.





SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>



Fuselaje sin recubrimiento de un Fokker DVII, fuselaje en tubo de acero y ala en madera, recubrimiento de tela y Junkers J1, de fuselaje metálico corrugado.

1. **OK:** Resistencia
2. **KO:** Su densidad es 3 veces la densidad de las aleaciones de aluminio, y hasta 10 veces la de la madera.
3. Hay que evitar que en su uso entre en contacto con aleaciones de aluminio:
 1. Corrosión galvánica en contacto con otras aleaciones (ésta también se da entre aleaciones de aluminio, pero es menor, por ser su potencial de oxidación más semejante).
 2. Al ser más rígido que el aluminio, se cargará más que este, haciendo que no trabaje como debiera.
- b. Aún es esencial para la fabricación de algunos componentes, como pueden ser el tren de aterrizaje, herrajes, bancadas de motor...
- c. Su coste es inferior al de otro tipo de aleaciones. Es tres veces más pesado que el aluminio, pero también tres veces más resistente.



SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

3. Aluminio

- a. En el siglo XIX el aluminio era tan caro de producir que era considerado un metal semiprecioso. Además las cualidades del aluminio sin alear ni refinar, dejaban mucho que desear, como para pensar en él para algún uso industrial (la resistencia del aluminio aleado es de 6 a 8 veces superior al aluminio sin alear).
 1. A partir de la Primera Guerra Mundial, el desarrollo de sus aleaciones, y la necesidad de un metal menos pesado que el acero, lleva a su implantación masiva en la aviación, y hasta nuestros días ha sido el material más usado en aeronáutica por...
 1. Adecuada resistencia
 2. Baja densidad
 3. Conocimiento de sus técnicas de fabricación (fácilmente forjable, fácil de trabajar y reparar, se conoce muy bien su funcionamiento...)
 2. Sin embargo...
 1. Envejecimiento: con el tiempo sus propiedades mecánicas se alteran
 2. Pequeñas muescas, cortes o arañazos pueden causar graves perjuicios a una pieza
 3. Uso limitado por temperatura
- b. Como muchos otros descubrimientos, en 1909 se produjo uno, de forma accidental: El Duraluminio
 1. En 1909 se descubre que la aleación de Al con un determinado % de Cu y de Mg se puede trabajar de una forma muy sencilla, tras un calentamiento hasta unos 480°C y su rápido enfriamiento. Durante unas horas se podía doblar y conformar fácilmente, después, recuperaba sus propiedades mecánicas.
- c. Pueden distinguirse actualmente tres grupos de Aluminios, los más conocidos en aeronáutica son la serie dos mil y la siete mil
 1. Aleaciones Al-Cu (duraluminio, serie 2XXX). Suele emplearse en las zonas del aparato que trabajan a tracción (como el recubrimiento del intradós del ala)
 2. Al-Cu-Ni
 3. Al-Zn (serie 7XXX)
 1. Se empezó a emplear en la Segunda Guerra Mundial por su alta resistencia estática. Sin embargo el alto índice de atrición no permitió comprobar un grave problema que arrastraba: la corrosión bajo tensiones (SCC- Stress



SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

Corrosion Cracking = APARICION DE GRIETAS DEBIDO A LA EXISTENCIA DE ESFUERZOS INTERNOS DENTRO DE LAS PIEZAS DEBIDO A LOS TRATAMIENTOS TERMICOS). Por ello suele emplearse a compresión, como en el recubrimiento del extradós. Las distintas modificaciones de esta aleación han intentado conseguir una reducción de su densidad, más que un aumento de su resistencia.

4. Se ha intentado el uso de la aleación Al-Li, siendo el primer avión occidental en usarla el A-5
 1. Es muy ligera, tiene una buena resistencia a la corrosión, pero...
 2. tiene mal comportamiento en lo referente a crecimiento de grietas.



Avion embarcado A5



SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

4. Titanio

- a. Su densidad está entre la del aluminio y la del acero
- b. **OK:**
 - 1. Se comporta bien ante la corrosión
 - 2. Soporta bien las altas temperaturas (400 – 500°C)
- c. **KO:**
 - 1. Sus propiedades se degradan en ambientes salinos
 - 2. Su coste es 7 veces superior al del aluminio





SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>



Tres aviones en los que se usa el titanio. El F117 en la zona de los motores, el Su29 en el tren de aterrizaje, y el SR71 en muchas partes del fuselaje, debido a las altas temperaturas que alcanza en vuelo...

d. Usos

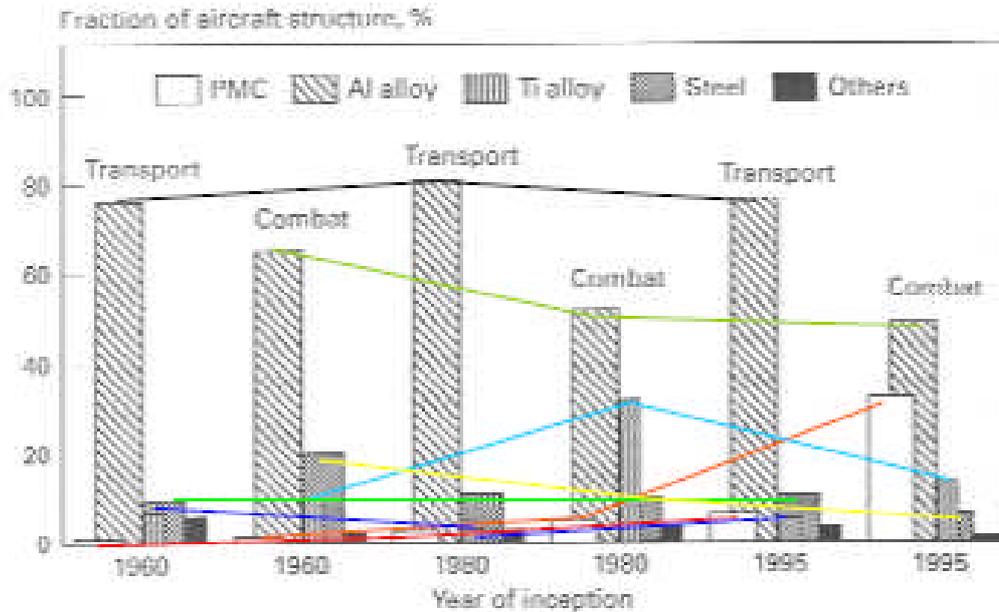
1. Estructuras de aviones militares y civiles (en los aviones civiles su cantidad es mucho menor)
2. Recubrimientos y protecciones térmicas
 1. Recubrimiento en la zona de los motores
 2. Zonas altamente calentadas (por ejemplo en el SR71, debido al calentamiento producido por los altos mach de vuelo)
 3. Toberas...



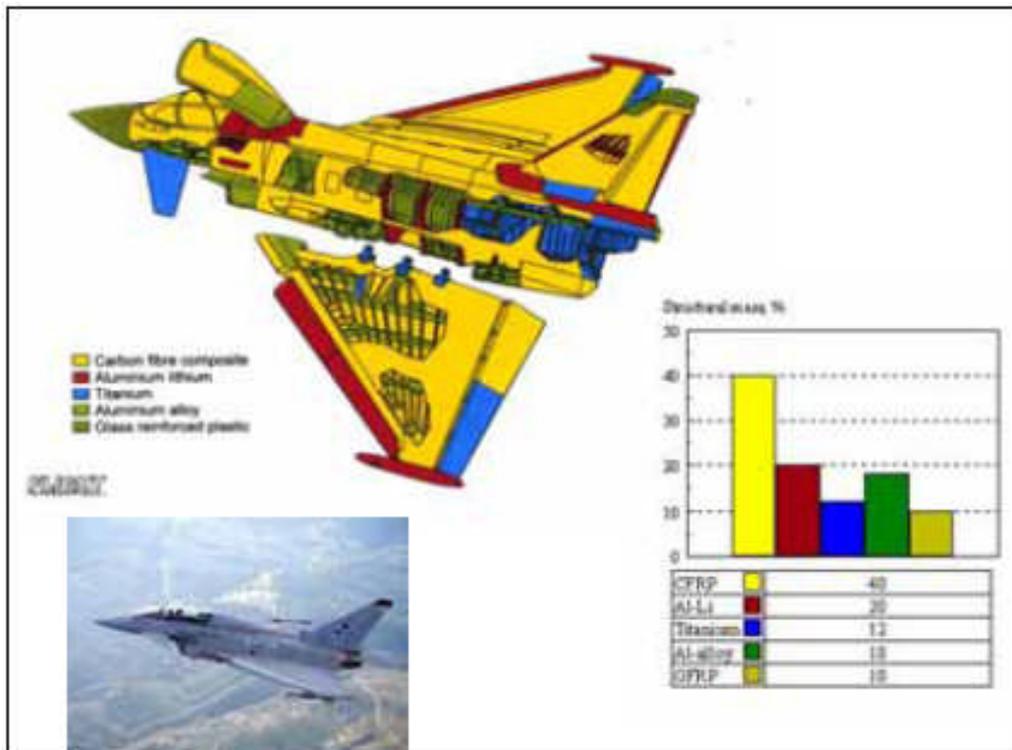
SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

TENDENCIAS EN EL MATERIAL



PMC=Materiales Compuestos; Al Alloy=Aleación de Aluminio; Ti Alloy=Aleación de titanio; Steel=Acero



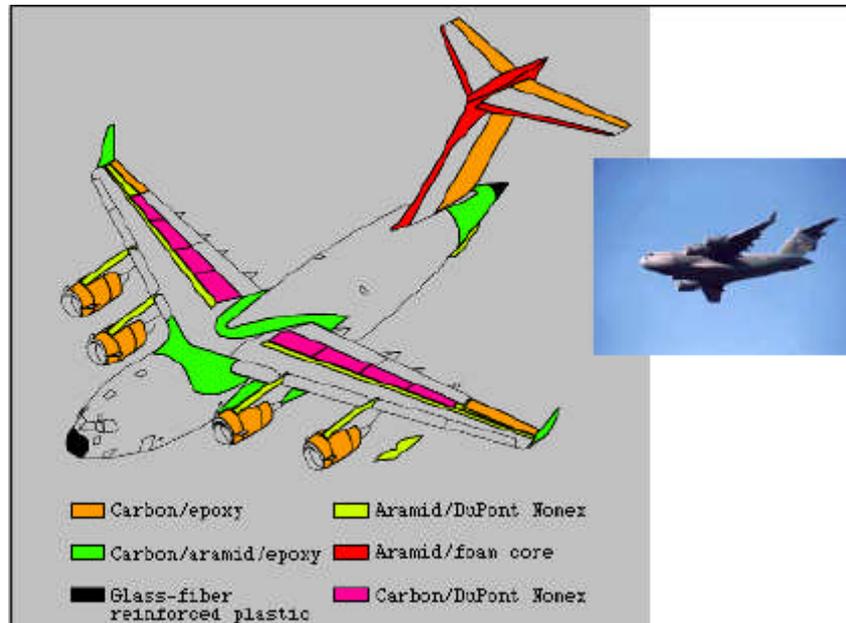
EFA y materiales usados: amarillo=fibra de carbono; rojo=Al-Li; Azul=Titanio, Verde oscuro=aleación de aluminio; Verde claro=fibra de vidrio



SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

5. Materiales Compuestos (composites)



- a. En parte su comportamiento puede asimilarse al de la madera: Son apilados en capas de distintos tipos de materiales, lo que hace que sus propiedades varíen según la dirección
- b. Tienen la gran ventaja de poder fabricar los materiales “a medida”, es decir, en función de las necesidades de resistencia, las direcciones de aplicación de las cargas... construiremos nuestro material compuesto de una forma u otra. Ejemplo: en los materiales compuestos de fibras embebidas en matriz plástica, el % de unos y otros, el tipo de fibra (matt o fieltro, tejido...) y el orden de apilamiento de las capas... los elegiremos en función de las características que deseamos obtener.
- c. Podemos encontrarlos en multitud de formas y presentaciones comerciales. Los más comunes son fibras embebidas en matrices plásticas. Los esfuerzos y cargas serán soportados por las fibras, mientras que la matriz da cohesión y mantiene la forma. Las fibras pueden presentarse en forma de tejido, de fieltro, de bandas... Ejemplo: fibra de carbono. modulo de Young hasta 400000 N/mm² y resistencia a tracción ultima hasta 2800 N/mm²
 1. Plásticos, con refuerzos de fibra
 1. Las primeras en usarse fueron las de fibra de vidrio - matriz epoxy. Se utilizaban en

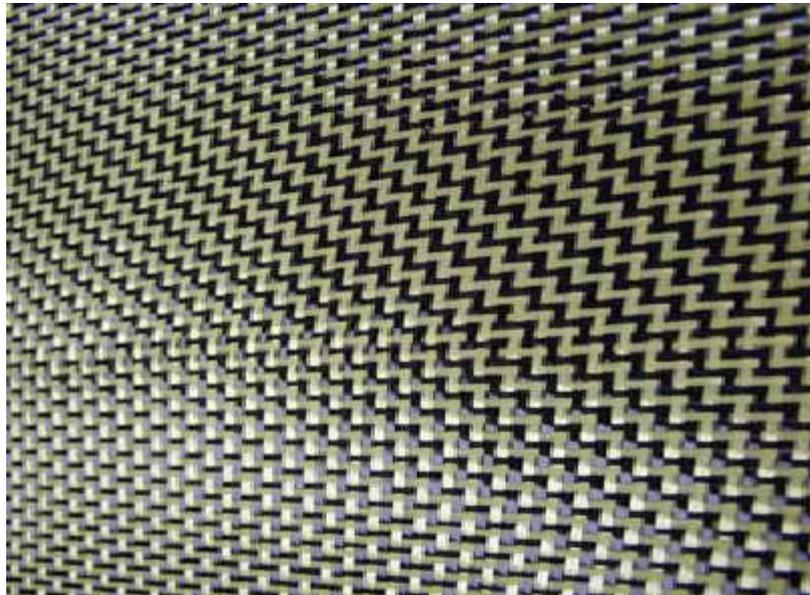


SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

carenados y otras estructuras que no tuvieran que soportar grandes cargas.

2. En los 60 se empleó por primera vez aramidas (ej: kevlar ®). Es más rígido que la fibra de vidrio, soporta muy bien los impactos, pero no trabaja bien a compresión ni soporta bien el ataque medio ambiental. Otras fibras usadas son las de carbono, o las mixtas (tejidos de mas de un tipo de fibra, como en la imagen de abajo)



Tejido compuesto, fibra de aramida-carbono

3. El primer material compuesto que se empleó en partes estructurales de un avión fue la fibra de boro, que se fabrican depositando fibras de boro sobre filamentos de tungsteno. Son muy caras y su uso es prácticamente solo militar.
4. La fibra de carbono tiene unas características muy similares a las de boro, y son más baratas de producir. Su modulo de Young es unas tres veces mayor al de la fibra de carbono, 1.5 veces el de las de aramida, doble que el del aluminio... y su resistencia es algo menor que la del kevlar, y ¡el triple que la del aluminio! En contacto con aleaciones de aluminio le corroen, por ello han de estar debidamente aislados.



SANDGLASSPATROL

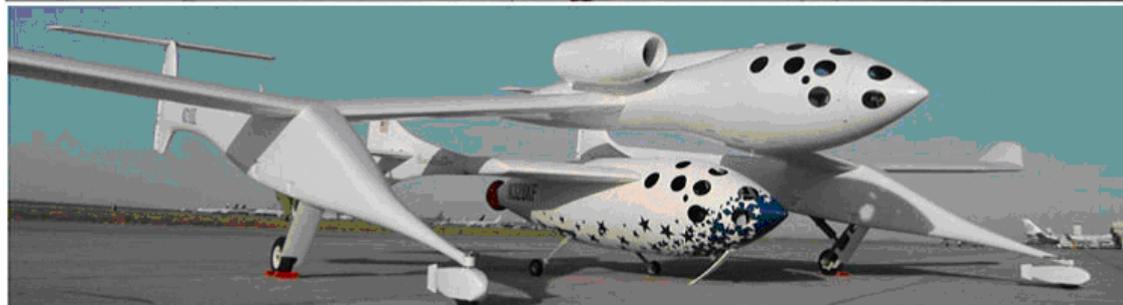
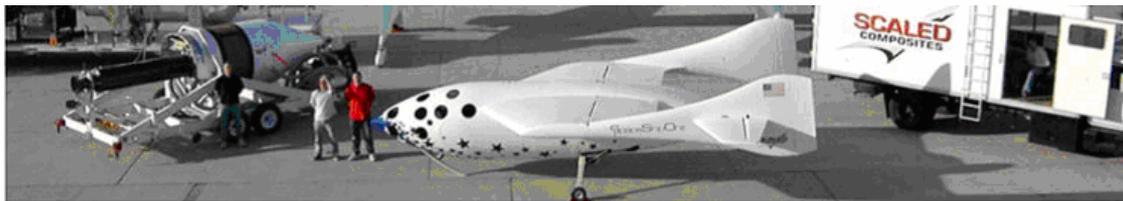
<http://www.seelowe.4thperrus.com/>



ARES



Global Flyer



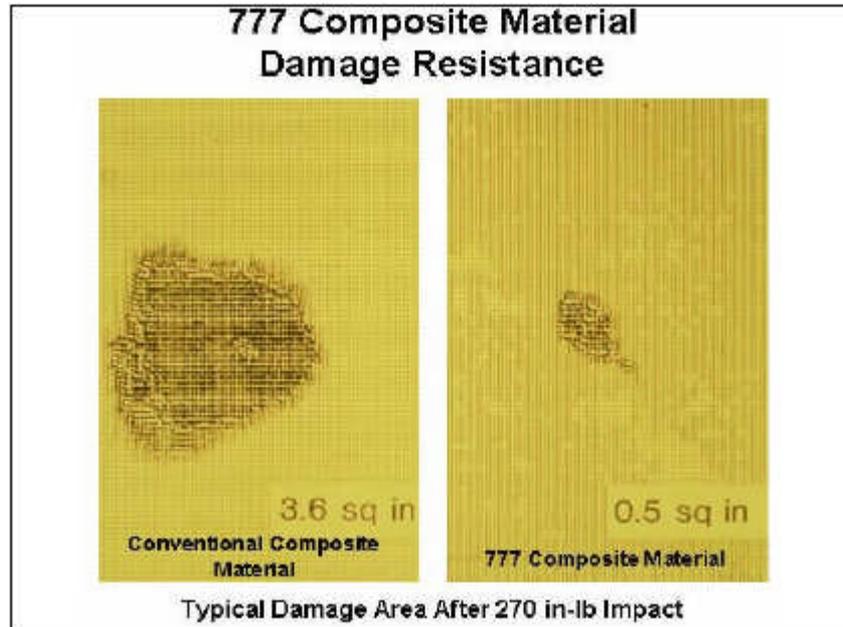
Rutan Composites es conocida por sus diseños radicales y emplear en ellos tecnología de materiales compuestos



SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

5. Como problema tienen que son un tanto sensibles a los golpes: se dañan y pierden sus características, y los daños producidos no son sencillos de localizar.

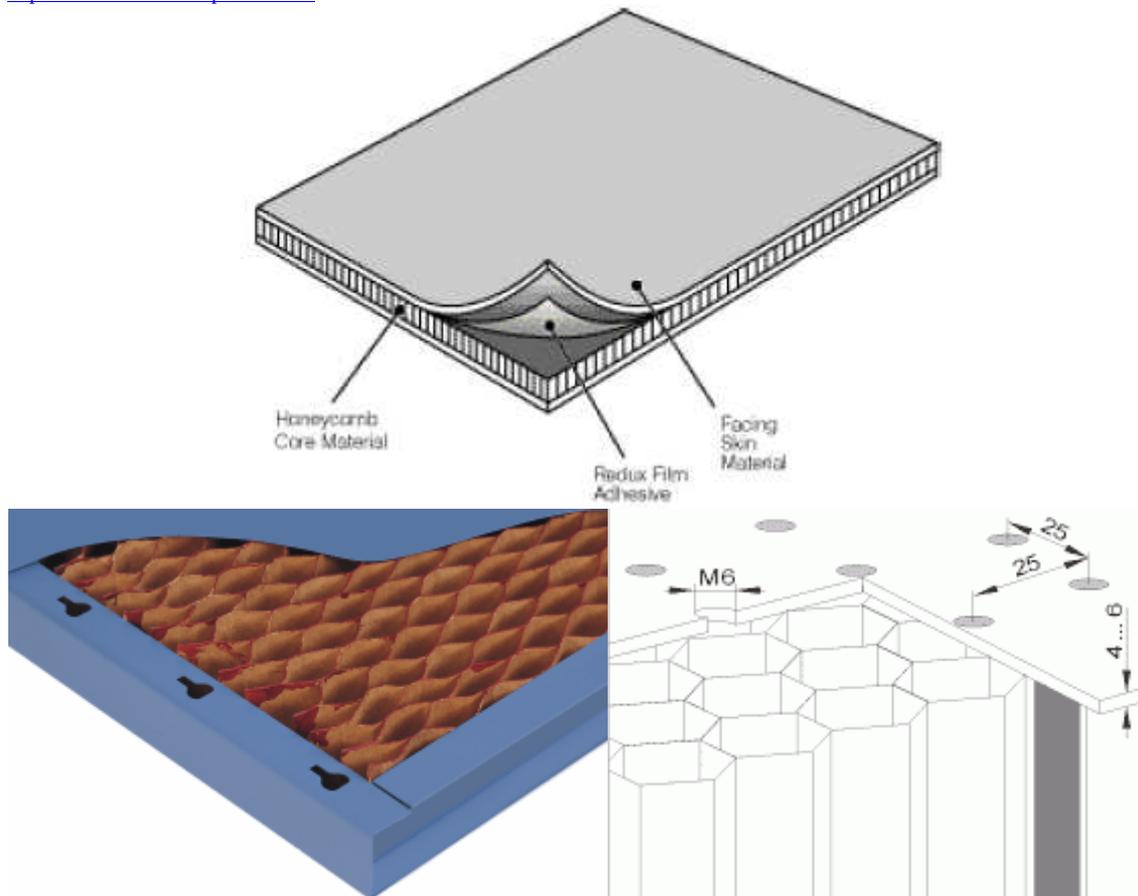


2. Estructuras Sandwich (o *Honeycomb*, aunque esta designación es la del núcleo en forma de prismas hexagonales –panel de abeja, se suele hablar en muchas ocasiones de todas las estructuras en sándwich como *honeycomb*, independientemente de la forma del núcleo)
 1. Con este tipo de construcción se buscan (y se consiguen) unas excelentes características, con muy poco peso. Básicamente consiste en construir un núcleo y recubrirlo por ambas caras. Este núcleo está prácticamente hueco, siendo poco su peso. Pero al forrarlo con el revestimiento, se le da una gran resistencia.



SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>



Estructura de un *honeycomb*

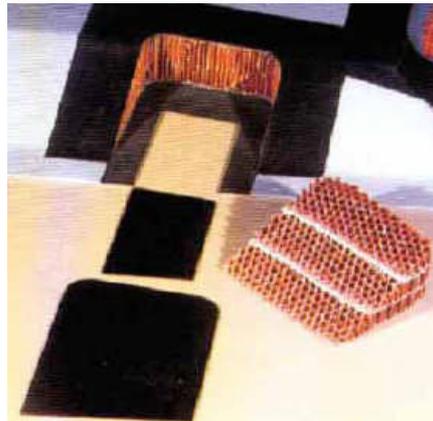
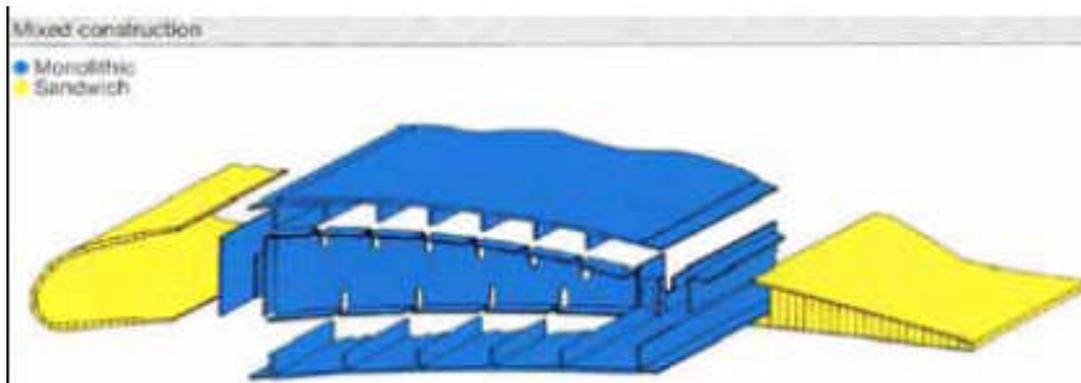
2. La estructura básica es un núcleo, cuya forma variará en función de las propiedades que queramos obtener (por ejemplo, flexibilidad), el recubrimiento (puede ser metálico o bien de madera o de materiales compuestos), y una capa intermedia entre ambos, que hace que se adhieran (no es estrictamente necesaria). En función de la carga a emplear (no es lo mismo un revestimiento, o un carenado que un suelo, una zona estructural...) el núcleo puede fabricarse de distintos materiales:
 - a. Espuma- Foam
 - i. Para zonas poco cargadas, como algunos revestimientos, carenados, radomos, techos, paredes...
 - ii. Reparaciones
 - iii. Macizados
 - b. Madera
 - c. Nomex (papel impregnado)



SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

- i. Se consiguen estructuras muy ligeras y altamente resistentes (incrementando la densidad de celdas del núcleo, hasta aumentar su peso en 6, se podría multiplicar su resistencia por más de 30)
- d. Metales (Aluminio, acero...)



Ejemplos de aplicaciones

3. Matriz metálica

1. Grafito-Aluminio (ARAL)

- a. ARAL=ARamid Aluminium Laminate
- b. Está compuesto de delgadas láminas de aluminio y fibra de aramida. El aluminio proporciona alta resistencia de forma isotrópica, y propiedades metálicas para la forja, mientras que la fibra de aramida proporciona al material compuesto resistencia a rotura y fatiga.
- c. Usado en las alas del Fokker 50 ahorraron un 20% de peso.

2. Boro-Aluminio

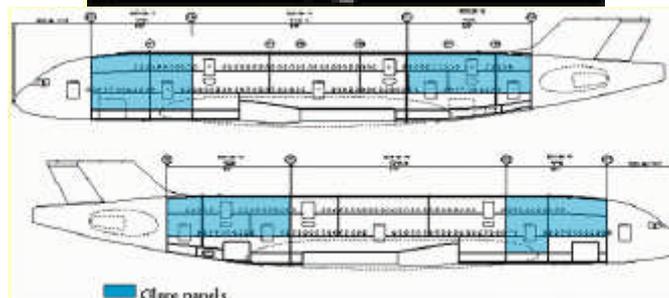
3. Fibra de vidrio-Aluminio (GLARE)



SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

- a. Se desarrolló por el mal comportamiento del ARAL frente a la compresión (por las fibras de aramida)
- b. Consiste en un conjunto de láminas alternas de aluminio y fibra de vidrio.
- c. Características:
 - i. Alta resistencia a la rotura
 - ii. Muy alta resistencia a la fatiga (la fibra de vidrio amortigua la propagación de grietas)
 - iii. Resistencia a daños externos
 - iv. Alta resistencia a la corrosión
 - v. Buena resistencia al fuego (no olvidemos que algunas cortinas ignífugas para parcelar grandes espacios en caso de incendio se fabrican en fibra de vidrio).
- d. Variantes:
 - i. Unidireccionales
 1. Glare 1 Al7475
 2. Glare 2 Al2024
 - ii. Bidireccionales
 1. Glare 3 Al2024 con fibras en dirección 0-90 por igual
 2. Glare 4 Al2024 con fibras en dirección 0-90 (doble fibra en dirección cero)



Glare y paneles de Glare en el A380



SANDGLASSPATROL

<http://www.seelowe.4thperrus.com/>

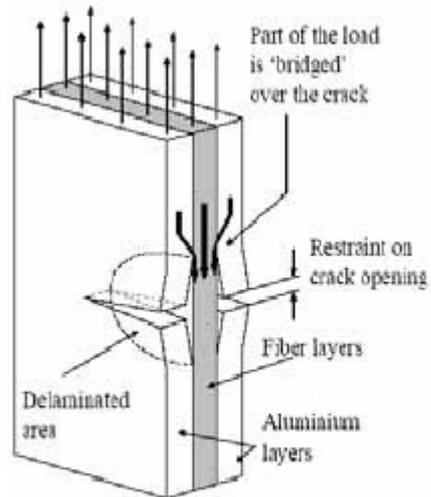


Figure 3. Crack bridging in Fibre Laminates.

4. Grafito-Titanio (TIGRE)

Bibliografía

Apuntes de Arquitectura y mantenimiento de aeronaves, EUITA (de David Pérez Jara)
Jane's