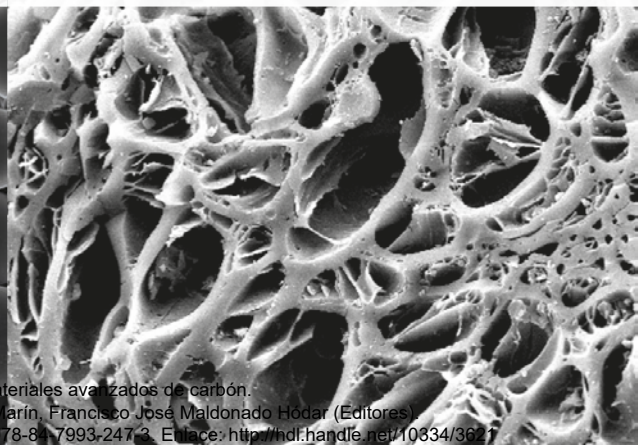




Desarrollo y aplicaciones de materiales avanzados de carbón

Miguel Ángel Álvarez Merino
Francisco Carrasco Marín
Francisco José Maldonado Hódar

un
i Universidad
Internacional
de Andalucía
A





CAPÍTULO X

Materiales compuestos basados en fibras de Carbono. Aplicaciones Aeronauticas

Jacinto Tortosa Lozano

FIDAMC

1. Introducción

A modo de introducción me gustaría destacar tres hechos relevantes a considerar en el futuro de la aviación comercial. Por un lado la evolución que se va a producir en el mercado aéreo en los próximos quince años, por otro la demanda de aviones comerciales que va a solicitar dicho mercado en el futuro y finalmente la evolución que han sufrido los materiales compuestos en las estructuras de las aeronaves.

- El incremento del tráfico aéreo, que según los expertos, se duplica cada 15 años, es un hecho tremendamente relevante que se producirá en el futuro, según una visión altamente conservadora, como se aprecia en la figura 1.

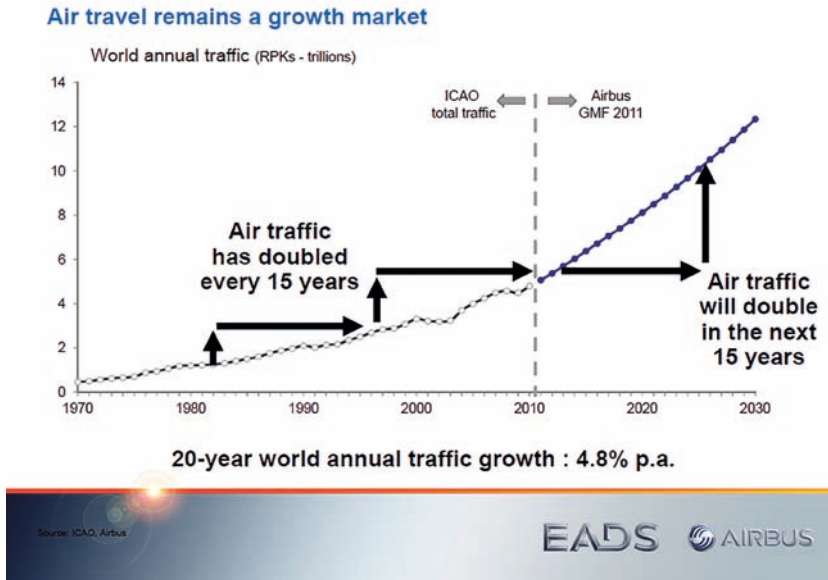
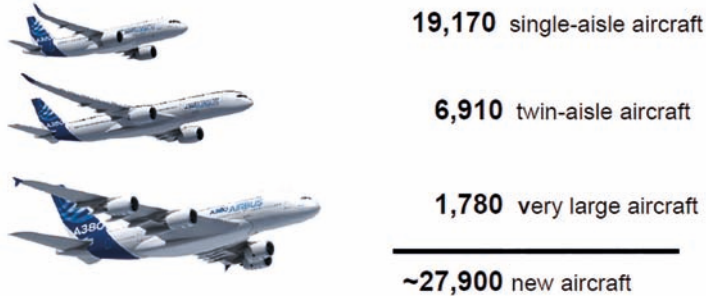


Figura 1. El tráfico aéreo crece exponencialmente.

- Con respecto a la mencionada demanda de aviones comerciales en el futuro, Airbus realiza unas previsiones de mercado de cerca de treinta mil aviones, 3,5 Trillones de \$, en los veinte próximos años como refleja la figura 2.

Airbus GMF demand forecast

20-year new deliveries of passenger and freight aircraft



Market value of \$3.5 trillion

Figura 2. Previsión de aviones para los próximos 20 años.

- Finalmente, en lo relacionado a la evolución de los materiales compuestos en las estructuras aeronáuticas, destacaremos como desde los años 70 con el lanzamiento del A300, con un 5% de material compuesto en su estructura, hasta la actualidad con el lanzamiento del A350 XWB, la utilización de este material en estructuras primarias se ha multiplicado por diez pasando así a más del 50% como se aprecia en la figura 3.

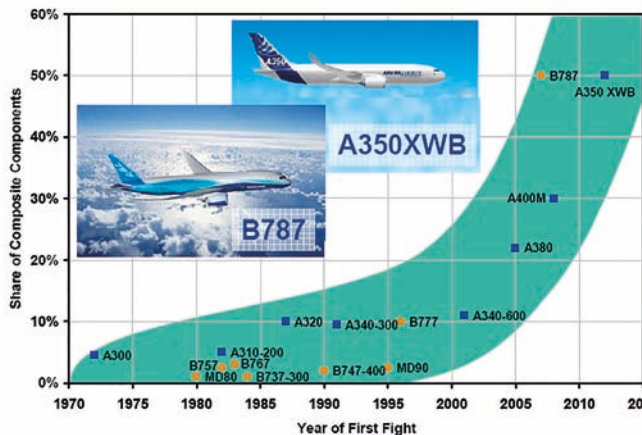


Figura 3. Evolución de los materiales compuestos en el sector Aeronáutico

Resumiendo, hay dos importantes conceptos en la actualidad que subrayamos eufóricamente, en primer lugar el tráfico aéreo va a crecer de forma importante en los próximos años lo que demandará el consiguiente incremento de entrega de aviones a las aerolíneas y por otro lado el material compuesto utilizado en las estructuras aeronáuticas ha pasado del 5% a más del 50% con un claro objetivo no sólo de mantener sino de incrementar este porcentaje de cara al futuro.

En otro orden de cosas y para que se hagan una idea de cómo son las estructuras aeronáuticas típicas fabricadas en materiales compuestos, les ilustraré con alguna de ellas en la figura 4, donde se representa la configuración de un revestimiento del ala de un avión, formado por una piel y unos larguerillos longitudinales para darle robustez a esa estructura,

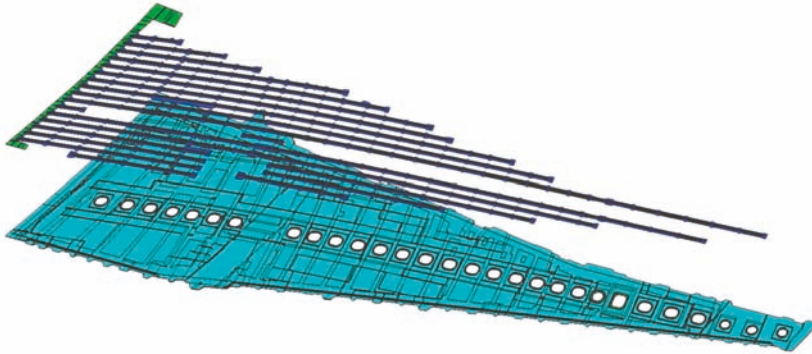


Figura 4. Revestimiento del ala del A350 XWB.

También les muestro en la figura 5, la configuración de una sección del fuselaje de doble curvatura,



Figura 5. Sección 19 del fuselaje del A350 XWB.

2. Materiales compuestos

Generalmente, los materiales compuestos constan de una fase continua o *matriz* y de una fase discontinua o *refuerzo*, que presentan diferente composición y morfología según la funcionalidad o propiedades que se pretenden conseguir.

Como una de las definiciones de material compuesto podemos utilizar la recogida en la especificación MIL-HDBK-17 ES:

“Combinación de materiales que difieren en composición o forma a escala macroscópica. Los constituyentes mantienen su identidad en el compuesto, es decir, no se disuelven o funden entre ellos aunque funcionan conjuntamente. Los componentes pueden identificarse físicamente y muestran una interface definida entre ellos”.

En la figura 6 podemos apreciar tres tipos de material compuesto, en función de la matriz y del refuerzo (refuerzo/matriz).

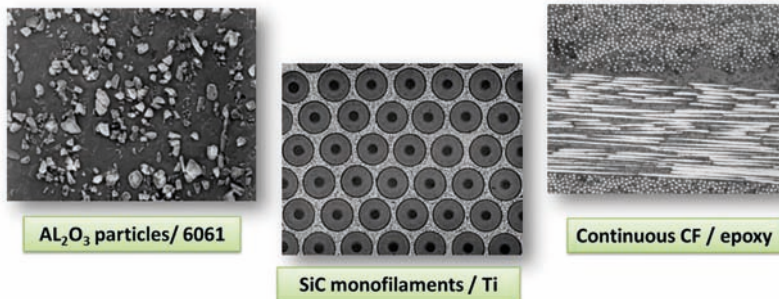


Figura 6. Micrografías de tres tipos de materiales compuestos.

Como hemos comentado anteriormente existen muchas variedades en el campo de los materiales compuestos y conviene por tanto aclarar que cuando veamos en la bibliografía las siglas **CFRP “Carbon Fiber Resin Plastic”** nos estaremos refiriendo a fibras de carbono continuas en una matriz polimérica.

CFRP

- Fibras: **carbono**, vidrio, aramida, SiC, boro,...
- Matriz: **poliméricas (resinas)**, metálicas, cerámicas
- Material Compuesto de **Fibra continua**
- Material Compuesto de Fibra larga (6-80 mm)
- Material Compuesto de Fibra corta (0.5-6 mm)

Estos materiales compuestos tienen unas óptimas **propiedades** fisicoquímicas y **mecánicas** sobre todo cuando las comparamos de forma **específica** con las aleaciones ligeras de aluminio y aún más si las comparamos con los aceros.

CFRP in comparison to steel and aluminum

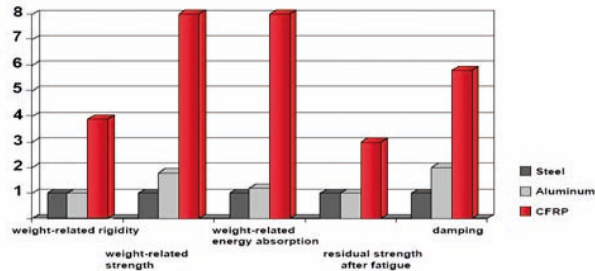


Figura 7. Propiedades mecánicas del CFRP en comparación con otros materiales.

En la figura 7 se aprecia el magnífico comportamiento al que nos referíamos con respecto a cinco propiedades requeridas en el mundo aeronáutico como son: La rigidez, la resistencia, la absorción de energía, el comportamiento a fatiga y el comportamiento a vibraciones.

Hay que tener en consideración que el peso de la estructura de un avión se minimiza si el material aplicado presenta las siguientes características: alta resistencia, alta rigidez, baja densidad, resistencia al crecimiento de grietas, resistencia a la corrosión y a los esfuerzos de corrosión y en general, las máximas propiedades específicas y una extensa vida frente al medio y las sollicitación de cargas en servicio.

Por tanto los retos que se piden siempre en las estructuras aeronáuticas son:

- REDUCCIÓN DEL PESO
- REDUCCIÓN DE LOS COSTES: *MATERIALES, FABRICACIÓN Y MANTENIMIENTO*
- REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE DESARROLLO DEL PRODUCTO
- BAJO COSTE DEL CICLO DE VIDA COMPLETO “LIFE-CYCLE”
- REDUCCIÓN DEL IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE
- EXTENSIÓN DE LA VIDA DEL AVIÓN
- MEJORAS EN ACTUACIONES EN SERVICIO (relación empuje del motor/ peso...)
- MEJORAS EN SEGURIDAD “SAFETY & SECURITY”

También la **anisotropía** es una de las propiedades más destacable de los materiales compuestos, como se aprecia en la figura 8.

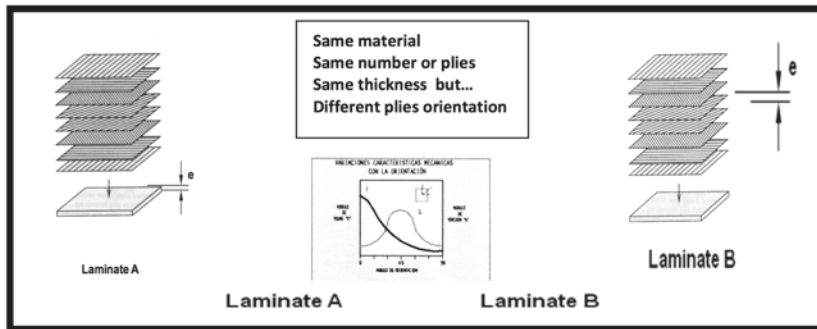


Figura 8. La anisotropía de los materiales compuestos.

Las **ventajas** de los materiales compuestos reforzados con fibras son: altas características mecánicas específicas diseño a medida, Isotropía/anisotropía, reducción del número de componentes /elementos de unión, buen comportamiento a fatiga, no existen problemas de corrosión, gran estabilidad dimensional y ahorro en peso.

Con respecto a los **inconvenientes** de los materiales compuestos reforzados con fibras, destacamos: costosos programas de evaluación, calificación y certificación de estructuras, realización de costosas inversiones en instalaciones y equipo, coste de los materiales elevado, entrada de agua en estructuras sándwich, baja resistencia a impacto, Isotropía/anisotropía y protecciones adicionales frente al rayo.

Las **FIBRAS** en los materiales compuestos proporcionan resistencia y rigidez, determinan, dependiendo del tipo y la orientación, el comportamiento mecánico, dependiendo sus características finales del tratamiento superficial de la fibra.

Las fibras más habituales son las de carbono, vidrio y aramida (kevlar), expuestas en la Figura 9.

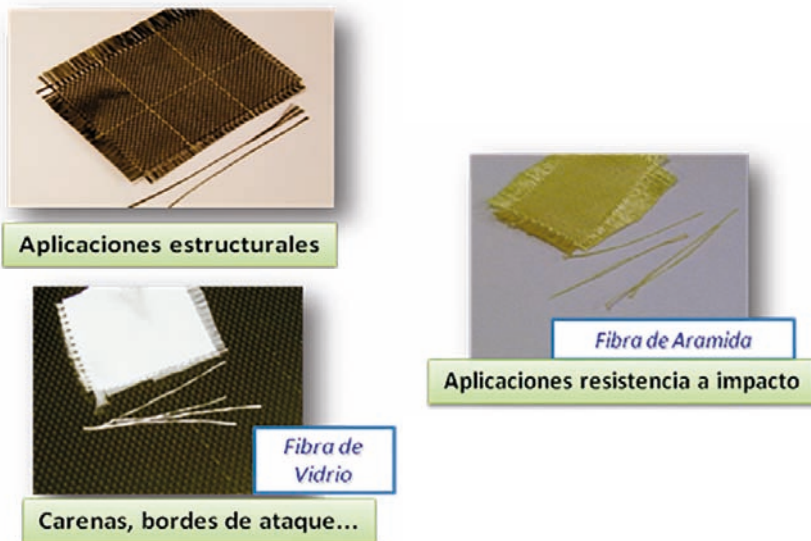


Figura 9. *Fibras utilizadas en la industria Aeronáutica*

Las reacciones químicas que se producen en la fabricación de la fibra de carbono utilizando como precursor el poliacrilonitrilo (PAN) se muestran en la figura 10.

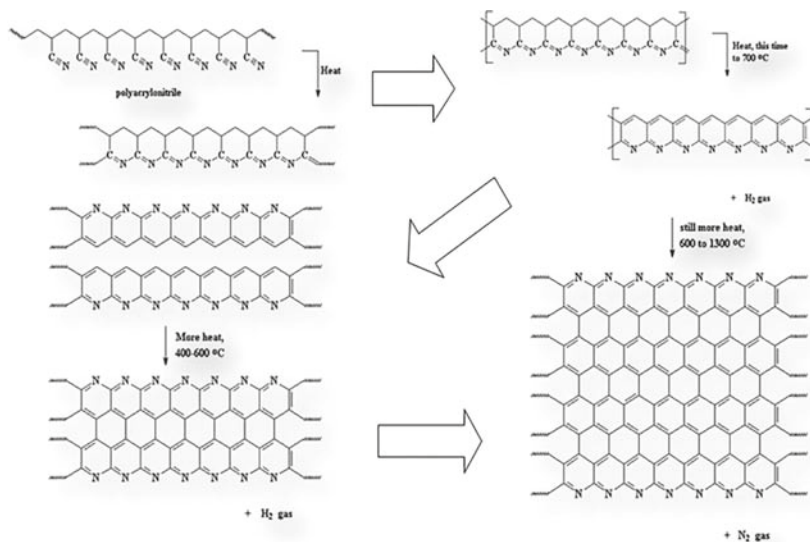


Figura 10. *Proceso de fabricación de la fibra de carbono. El poliacrilonitrilo como precursor.*

La figura 11, ilustra el proceso industrial para la obtención fibra de carbono.

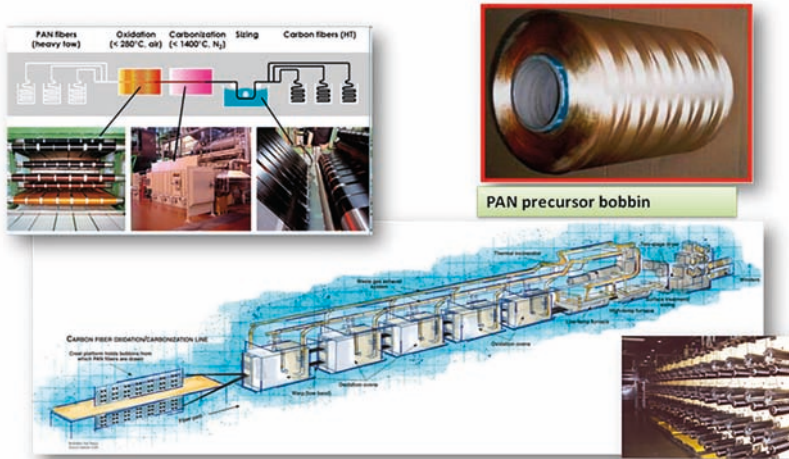


Figura 11. Obtención industrial de la fibra de carbono.

Las altas características mecánicas de las fibras de carbono son debidas al alto grado de **orientación de los cristales** a lo largo de sus ejes, por lo que a través de un adecuado proceso de fabricación se obtienen fibras de alta resistencia y alargamiento a la rotura/ alto módulo, llamadas fibras de “grafito”, las cuales son de amplia aplicación en el campo aeroespacial.

En cuanto al desarrollo y evolución de las propiedades de la fibra de carbono desde los años 70, podemos apreciar en la figura 12 como ha ido aumentando el modulo elástico con el tiempo a medida que se ha mejorado la alineación de los cristales en su procesado.

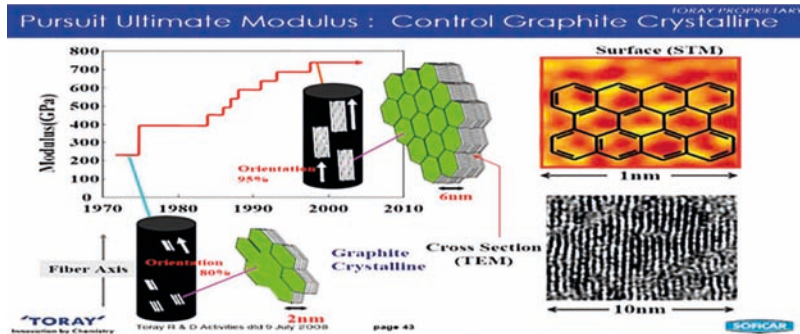


Figura 12. Evolución en la mejora del módulo elástico del CFRP

Sabiendo que las principales características de las fibras de carbono son: La alta resistencia específica, el alto módulo específico, la buena resistencia a disolventes orgánicos y la inercia frente a la humedad entre otros, destacamos a continuación algunas de estas propiedades para las fibras T300 y T800.

	DENSIDAD (g/cm ³)	RESISTENCIA A TRACCION (MPa)	MODULO ELASTICO (GPa)	FIBRA (μm)	ALARGAMIENTO (%)
FIBRA HR (T300)	1,75	3500	230	7	1,5
FIBRA IM (T800 H)	1,80	5600	294	5,5	1,8

También ilustramos en la figura 13 la diferencia existente en el módulo elástico y la resistencia cuando utilizamos el poliacrilonitrilo (PAN) o "la mesophase pitch", procedente de la destilación del petróleo, en el proceso de fabricación de la fibra de carbono.

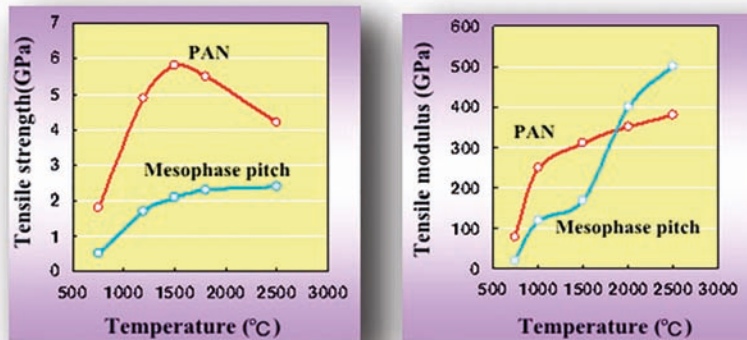


Figura 13. Propiedades de resistencia y módulo elástico. PAN vs "Mesophase pitch"

En la siguiente ilustración (figura 14) se aprecian los intervalos de resistencia y módulo elástico de las diferentes fibras de carbono, desde las de módulos bajo a las de ultra-módulo pasando por las de módulo estándar, intermedio y alto.

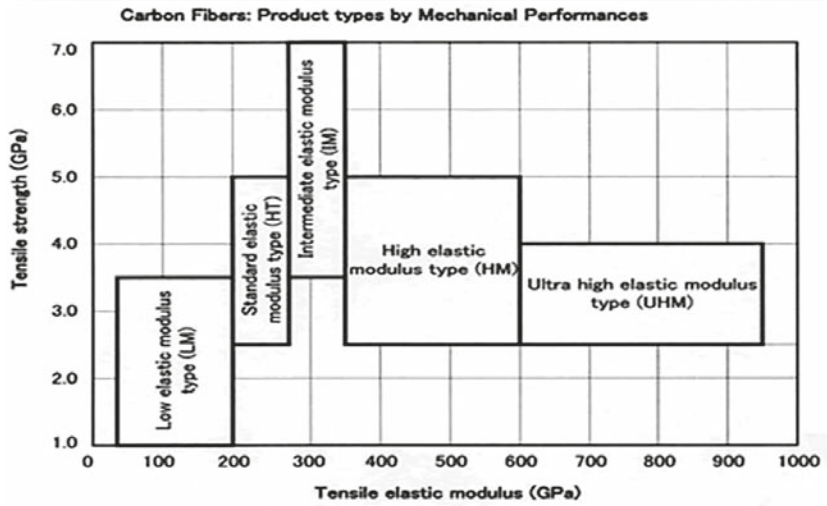


Figura 14. CFRP. Propiedades mecánicas

En la tabla siguiente, podemos ver una comparativa entre las fibras más utilizadas en el mundo aeronáutico.

	VIDRIO	CARBONO	KEVLAR
PRECIO	MEDIO	MUY CARO	CARO
RESISTENCIA ESPECIFICA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
RIGIDEZ	BAJA	ALTA	MEDIA
DENSIDAD (comparando con el aluminio)	SIMILAR	MAS BAJA	MUCHO MAS BAJA
APLICACIONES GENERALES	ESTRUCTURAS SECUNDARIAS	ESTRUCTURAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS	ESTRUCTURAS SECUNDARIAS

Para concluir, mencionar que como suministradores de fibra de carbono destacamos los siguientes: Hexcel, Toray, Toho-Tenax, AKSA, MRC (Mitsubishi), Cytec, Formosa Plastic Group, SGL, Zoltek entre otros.

Por otro lado y con relación a las **MATRICES ORGÁNICAS**, enumeramos sus funciones principales en el material compuesto: Proporcionar cohesión entre las fibras, transmitir las cargas aplicadas,

proteger a las fibras del daño mecánico y del medio ambiente, determinar la temperatura de servicio del material compuesto, controlar su resistencia frente al medio ambiente y frente a los agentes externos. Las matrices poliméricas se dividen en dos grandes familias o grupos completamente diferentes por su naturaleza y procesamiento, **las resinas termoestables** que se presentan sin polimerizar ya que lo hacen durante el proceso de fabricación de la pieza final formando una red polimérica tridimensional. Entre otras se encuentran las resinas epoxídicas y fenólicas que son las más utilizadas, aunque también existen las resinas de bismaleimida, poliéster y poliimidas termoestables y las **resinas termoplásticas** que se presentan en estado sólido ya polimerizadas y se ablandan por el calor por lo que pueden moldearse y reprocesarse.

A la familia de las resinas termoplásticas pertenecen la PEEK (polieteretercetona), PEI (polieterimida), PPS (poli-sulfuro de fenileno) y el PEKK (polietercetona) y destacan porque son polímeros de cadena lineal de alto peso molecular (>20000).

Las resinas termoestables epoxídicas generalmente consisten en una molécula intermedia que contiene al menos dos grupos reactivos epoxi como se observa en la figura 15.

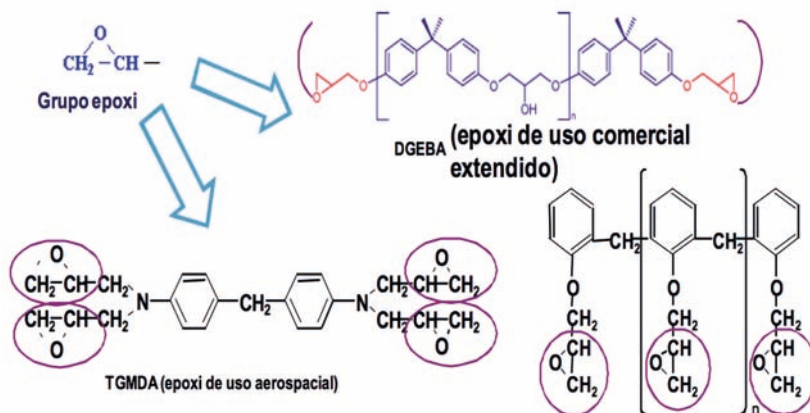


Figura 15. Resinas termoestables epoxídicas.

Durante el curado o polimerización de la resina base se producen un conjunto de reacciones de entrecruzamiento que generan una red tridimensional termoestable debido a la rotura de los anillos epoxi, lo que favorece el entrecruzado de las moléculas de resina base. Esto

normalmente se consigue mediante agentes de curado que tienen H activo (generalmente enlazados a N, O, S) que reacciona con los grupos epoxi creando así dicho entrecruzamiento de la resina, tal y como muestra la figura 16.

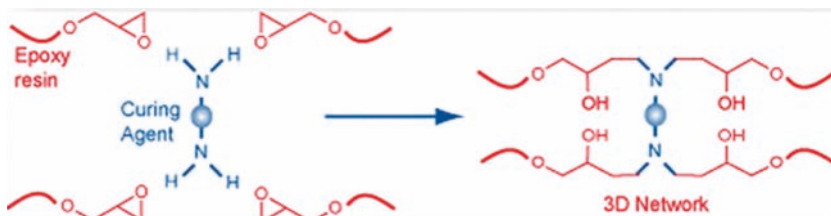


Figura 16. Entrecruzamiento tridimensional

Algunos agentes de curado reaccionan a temperatura ambiente con las resinas y se suministran en envases separados (sistemas de dos componentes). Una vez mezclados, el tiempo de aplicación (pot life) es limitado. Otros requieren elevadas temperaturas para iniciar la reacción de curado, por lo que pueden suministrarse en un solo envase premezclados con las resinas.

Las resinas termoestables bismaleimidadas (BMI) se obtienen a partir de la polimerización de una bismaleimida aromática. Se caracterizan por su buen comportamiento a altas temperaturas de servicio (intermedias entre poliamidas y resinas epoxi), por su utilización de ciclos de curado convencionales, obteniéndose laminados de bajo contenido en huecos. Aunque estas necesitan generalmente un post-curado para conseguir propiedades mecánicas óptimas en húmedo y en caliente.

Las resinas termoestables fenólicas más utilizadas en aplicaciones aeronáuticas se producen por reacción de poli condensación entre el fenol y el formaldehído con desprendimiento de agua. Pueden soportar altas temperaturas ($> 250^{\circ}\text{C}$), presentan propiedades mecánicas inferiores a las epoxídicas, son bastante resistentes a disolventes acuosos, presentan buena estabilidad dimensional, baja toxicidad y emisión de humos. Se utilizan principalmente en aplicaciones de interior y pueden presentar problemas debido a la emisión de volátiles en el curado, por lo que se necesitan altas presiones en su procesado.

Las resinas termoplásticas presentan las siguientes ventajas: Son materiales con tiempo de vida ilimitado, su almacenaje es a temperatura ambiente, tienen mejor resistencia a impacto y humedad que las

termoestables, presentan una muy buena tenacidad (deformación en rotura 30%-100), un buen comportamiento FST (fire, smoke & toxicity), una buena velocidad de procesado y reprocesabilidad.

Siendo sus principales inconvenientes, el elevado coste de los materiales y de su procesado, debido a la alta temperatura y presión necesaria y a las dificultades de mojado de las fibras.

Se subdividen en dos grandes familias los **termoplásticos amorfos**, que se caracterizan por su baja resistencia a fluidos agresivos, su amplia ventana de procesado y su buen comportamiento a alta temperatura. Como ejemplo destacamos el PEI. Y por otro lado los **termoplásticos semicristalinos**, que presentan una muy buena resistencia a fluidos agresivos. En la tabla siguiente, figura 17, podemos apreciar los más utilizados en el mundo aeronáutico.

POLYMER	PROCESS TEMP (°C)	Tg (°C)	MICROSTRUCTURE
PPS	315 -340	88	SEMI- CRYSTALLINE
PEEK	380 - 400	143	SEMI- CRYSTALLINE
PEKK	340 - 370	156	SEMI- CRYSTALLINE
PEI	320 - 345	217	AMORPHOUS

Figura 17. Algunos polímeros termoplásticos

Los suministradores principales de resinas termoplásticas son: Evonik, Solvay, Cytec, DIC, Victrex, Arkema, Ticona y Chevron-Philips.

Continuando con el capítulo de materiales, nos centramos ahora en los materiales **SEMIELABORADOS** representados en la figura 18, y enumerados a continuación:

- Materiales pre-impregnados (hand lay up, ATL, AFP):
 - Cintas unidireccionales
 - Tejidos
- Tejidos secos (RTM, RFI, RLI, VARTM, etc...)
 - Tejidos unidireccionales
 - Tejidos convencionales (planos, sargas, satenes, etc.)
 - Non-crimp fabrics (NCF)
 - Otros
- Resinas Líquidas (RTM, RLI, VARTM, etc...)
- Resinas en película (RFI)

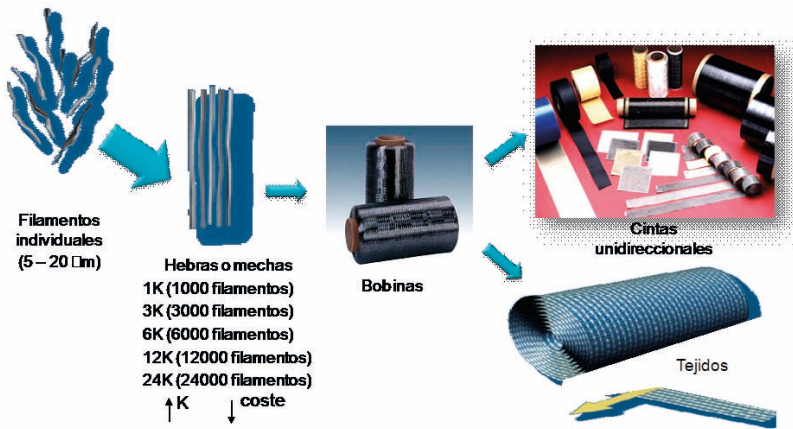


Figura 18. CFRP: Materiales semielaborados

La configuración más común, en la industria aeronáutica en cuanto a su presentación, son los materiales compuestos pre-impregnados que consisten en refuerzos (cintas o tejidos) pre-impregnados en una resina termoestable (en estado inicial de polimerización, estado β) ó termoplástica y capaz de procesarse en condiciones específicas. Los materiales compuestos pre-impregnados termoestables tienen dos características importantes, a considerar para su procesado, requieren un almacenaje a temperaturas de -18°C y tienen tiempo de vida limitado.

Se presentan, comercialmente hablando, en dos configuraciones: Cinta unidireccional y tejido bidireccional como se aprecia a continuación. Figura 19.

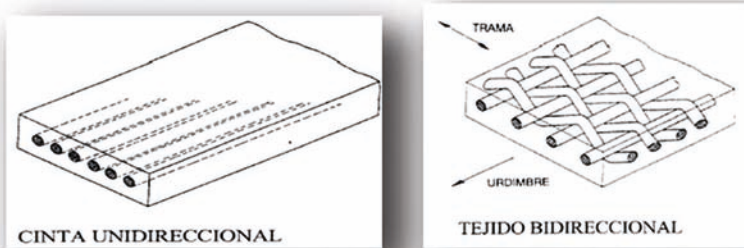


Figura 19. CFRP: Cinta y tejido

Los tejidos resultan de entrelazar los hilos en dos direcciones perpendiculares (trama y urdimbre). Tanto en los tejidos como en las cintas cada hilo está constituido por un número determinado de filamentos.

Las propiedades mecánicas, en los tejidos, son más bajas que en las cintas, en dirección de la fibra, pero más fáciles de manejar y de trabajar sobre todo en estructuras complejas con curvaturas complicadas. Se suministran en forma de rollos de peso y anchuras variables siendo los más utilizados los tafetanes o tejido plano, sarga o 2x2 twill y los satenes de puntada 5. Figura 20.

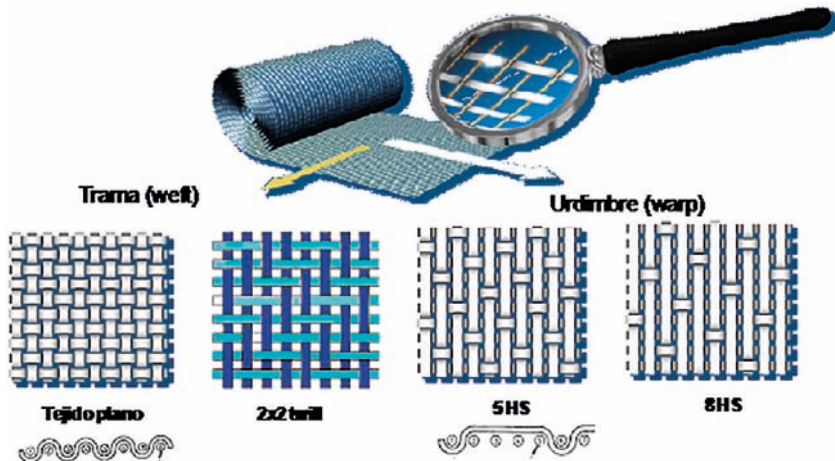


Figura 20. CFRP: Tejidos

Existen dos procesos de fabricación de materiales pre-impregnados, la denominada **fusión en caliente**, donde el refuerzo se impregna mediante una película de resina soportada en uno o dos papeles portadores. Puede utilizarse tanto en cintas como en tejidos. Figura 21.

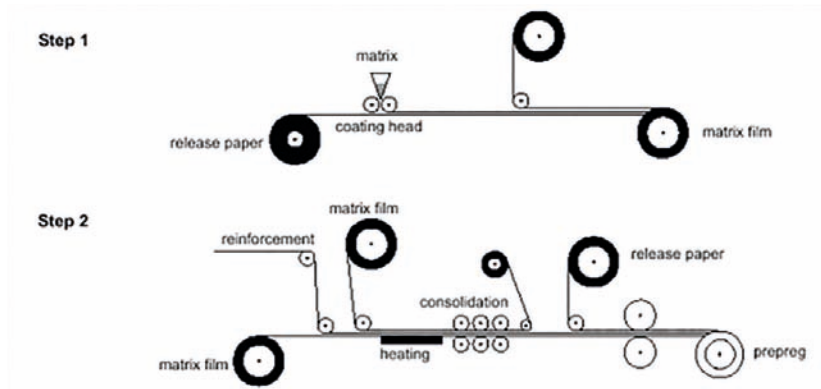


Figura 21. Materiales pre-impregnados. Fusión a caliente

Y la denominada **impregnación en disolución** (figura 22) donde el refuerzo (tejido) se impregna en resina, al pasar por un baño con esta en disolución y en unas condiciones de temperatura determinadas. Hay que aclarar que este proceso no se utiliza en la impregnación de cintas.

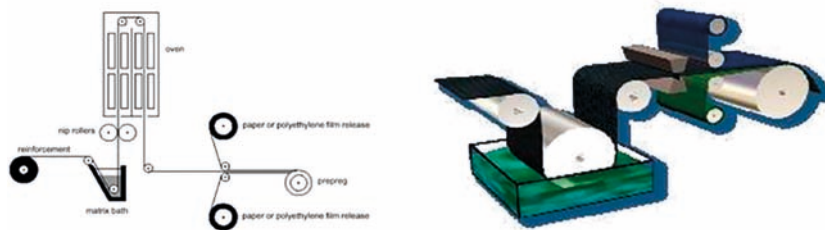


Figura 22. Materiales pre-impregnados. En disolución

Esta figura, muestra como el proceso de impregnación está totalmente optimizado y por tanto en él se controlan estrictamente todos los parámetros, viscosidad, temperatura, tensión de los hilos y/o tejidos, espesores de la película de resina, etc. que van a influir en la calidad final del material pre-impregnado. Los suministradores principales de materiales compuestos pre-impregnados son: Hexcel, Toho-Tenax, Cytec, AGG, MRC, Toray, Gurit, S&P y Tencate.

También destacamos los **TEJIDOS SECOS** que se utilizan en procesos de infusión con resina líquida (RTM, RLI, VARTM...) o con film de resina (RFI). Existe una gran variedad de tejidos y preformas en el mercado aunque los más empleados son parecidos a los estilos usados en forma pre-impregnada, satenes y tejidos unidireccionales. Estos permiten optimizar la orientación de las fibras antes de la impregnación con resina y pueden conseguirse preformas complejas con refuerzos tridimensionales que facilitan la integración del componente y la reducción del número de partes. Su uso aún no está muy extendido en la industria aeronáutica aunque está creciendo a buen ritmo

Dentro de los tejidos secos merecen especial mención los **tejidos non-crimp fabric** (NCFs) que son paquetes de fibras en diferentes orientaciones cosidas entre sí. Generalmente se usan biaxiales, triaxiales y cuadriaxiales. Figura 23.

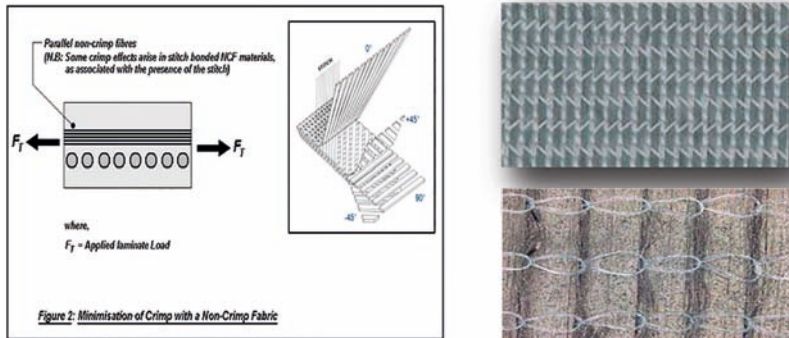


Figura 23. Tejidos secos, non-crimp fabric

En la figura 23, se aprecian los **tejidos secos tridimensionales** y preformas a medida.



Figura 24. Tejidos secos tridimensionales

Las resinas utilizadas en la infusión suelen ser epoxi, benzoxacinas y bismaleimidias. A veces se utilizan velos o polvos termoplásticos para asegurar la unión entre telas en procesos automatizados.

3. Defectología

La tipología y niveles admisibles de defectos en materiales preimpregnados vienen recogidas en las Especificaciones Técnicas AIMS05-0X-000 Parte 1 y en la I+D-P-230 donde se enumeran los defectos típicos que se recogen en la figura 25.

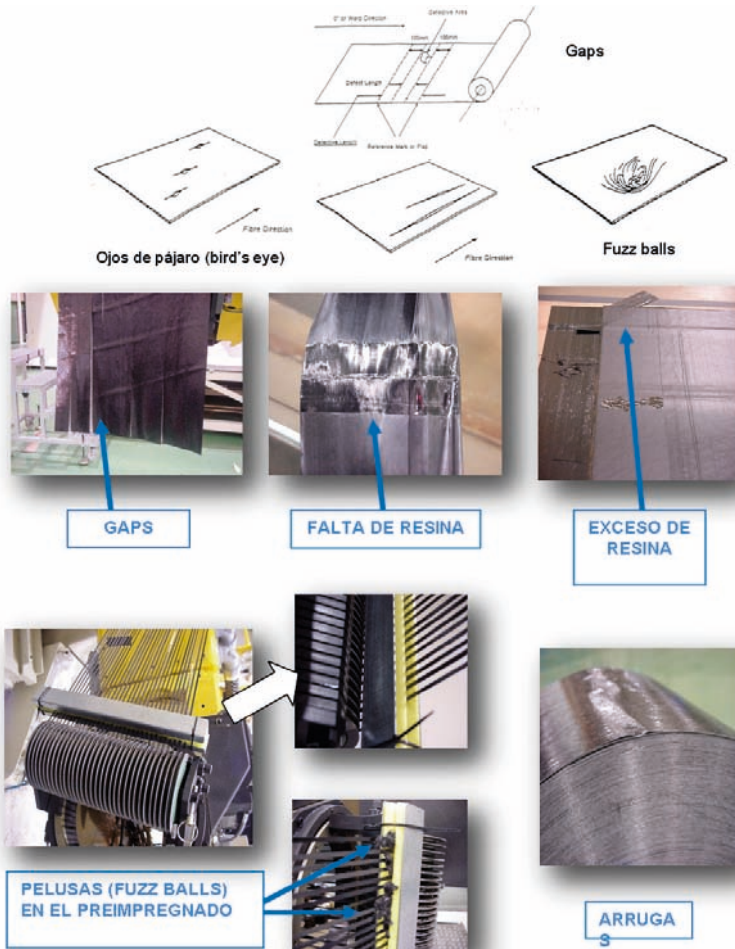


Figura 25. Algunos defectos típicos de las materias primas

4. Procesos

Antes de comenzar el capítulo relacionado con los procesos de fabricación les mostraremos en la figura 26 una variedad de piezas características en las estructuras aeronáuticas actuales.

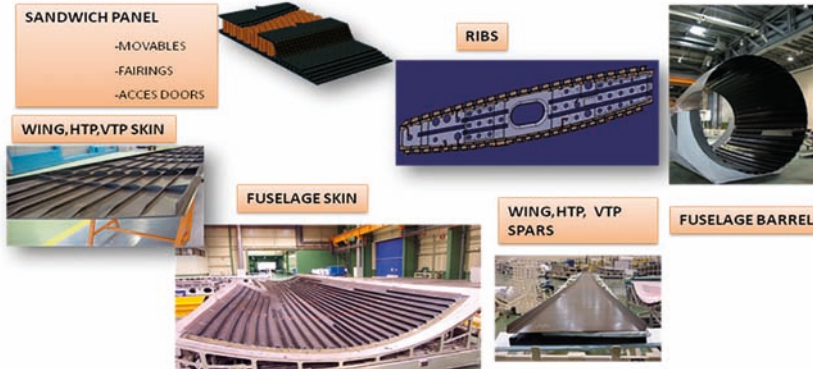
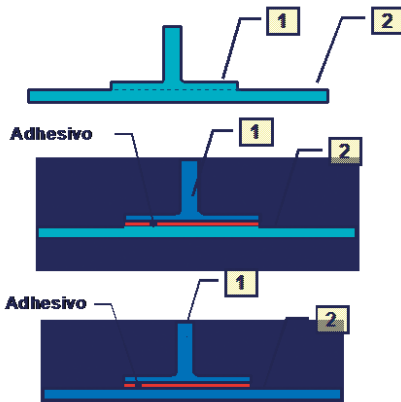


Figura 26. Componentes característicos en las estructuras aeronáuticas.

Existen cuatro procesos típicos de fabricación en función del estado (fresco, curado) de cada componente. Figura 27



COCURADO

- Componente 1 fresco
- Componente 2 fresco

COPEGADO1

- Componente 1 curado
- Componente 2 fresco

COPEGADO2

- Componente 1 fresco
- Componente 2 curado

PEGADO SECUNDARIO

- Componente 1

Figura 27. CFRP: Cuatro procesos de fabricación.

Para realizar el proceso de fabricación de laminados (componentes), tanto manual como automático, de acuerdo a las especificaciones técnicas, se debe disponer de una **sala limpia** que cumpla las restricciones de humedad relativa y temperatura que aparecen en la figura 28.

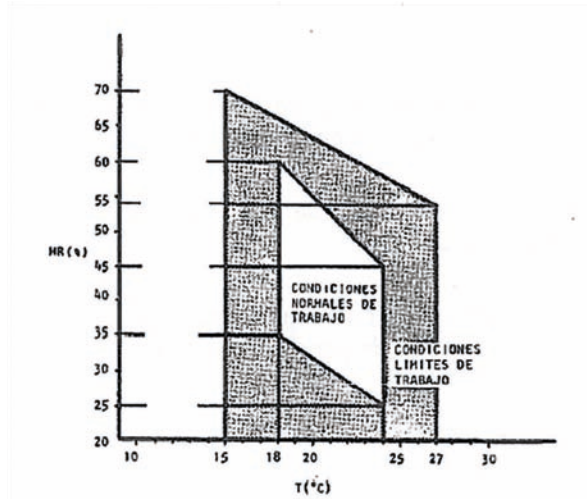


Figura 28. Condiciones de humedad y temperatura de la sala limpia.

En la siguiente ilustración se recoge un **proceso manual** mediante un molde macho. Figura 30.



Figura 29. Proceso de fabricación manual.

Otro proceso posible es de **conformado en caliente** a través de moldes y prensas apropiadas para ello junto con la aplicación de calor, como se puede observar en la figura 30.

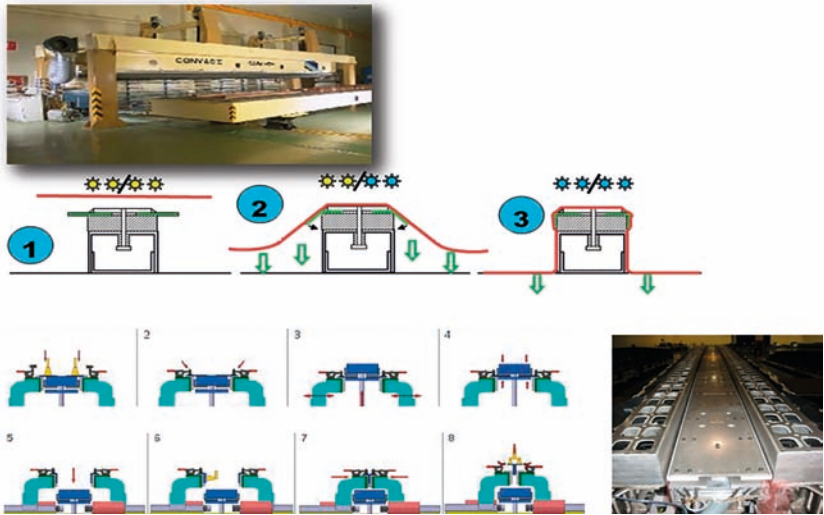


Figura 30. Conformado en caliente.

Si bien el proceso más utilizado actualmente por su calidad y productividad es el laminado automático. Existe por un lado el denominado **ATL**, donde se depositan cintas de 0.125 a 0.27 mm de espesor y 75,150 o 300 mm de ancho y deposición de 280 metros por hora. Figura 31.



Figura 31. Fabricación automática mediante ATL.

Y por otro el denominado **AFP**, utilizado para piezas de mayor curvatura y complejidad. En ambos procesos automáticos utilizamos robustas máquinas de control numérico de cinco ejes, pero en el caso

de AFP conseguimos una anchura de cinta similar a la anterior a través de hasta 32 tows de $\frac{1}{4}$ de pulgada de ancho como se aprecia en la figura 32.

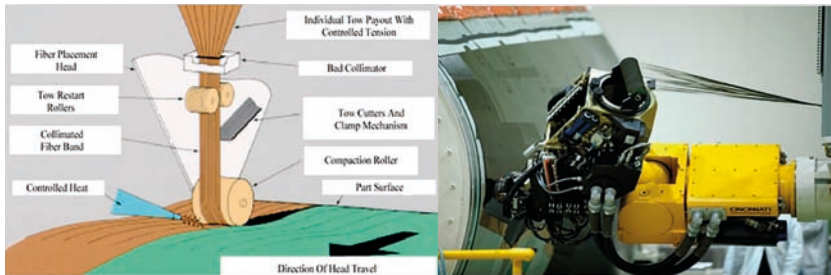


Figura 32. Fabricación automática AFP.

Otro elemento a considerar en el mencionado proceso de fabricación es la elaboración de la **bolsa de vacío** para conseguir una cierta compactación de las telas. Figura 33.

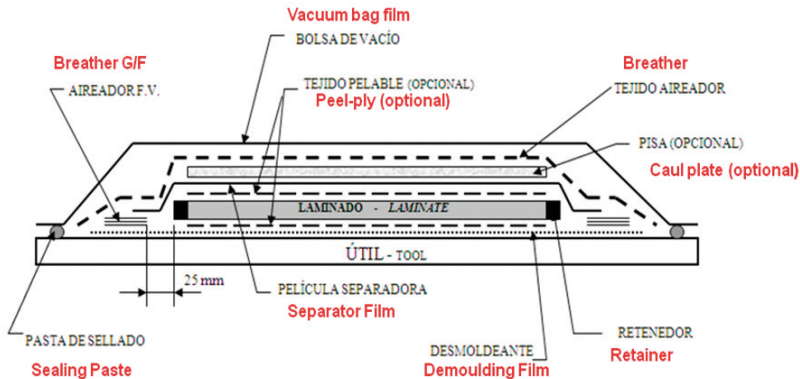
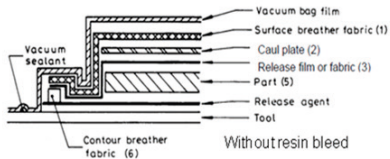
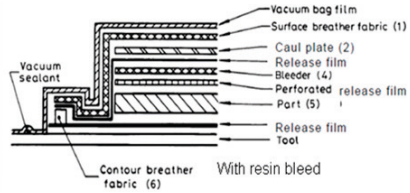
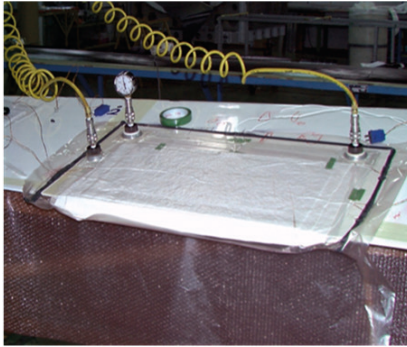


Figura 33. Proceso de elaboración de la bolsa de vacío.

A continuación introduciremos la pieza en su molde, con la bolsa de vacío instalada, en el **autoclave** donde aplicaremos presión para finalizar la compactación y temperatura para realizar el proceso de polimerización. Figura 34.

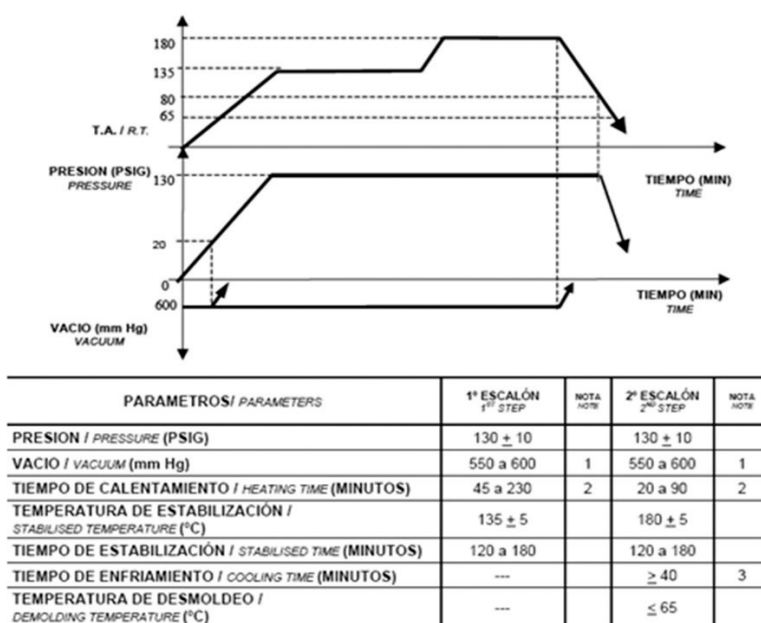


Figura 34. Autoclave y ciclo para la resina M21E. CFRP.

Y finalmente procederemos a la inspección a través de ensayos no destructivos, normalmente **inspección ultrasónica**. Como muestra la figura 35 en su parte superior de forma automatizada o manual en la inferior.



**EQUIPO MINISCAN. Pulse-echo manual
Certificación por la AITM6-0013**

Figura 35. Inspección Ultrasónica

5. Innovación industrial

La búsqueda progresiva por la mejora continua, la investigación, el desarrollo y la innovación industrial ha hecho que la industria aeronáutica nacional, en lo relativo al mundo de los materiales compuestos, siga en la vanguardia mundial como se pone de manifiesto a través de la apuesta por la fundación público-privada para la investigación, el desarrollo y las aplicaciones de los materiales compuestos FIDAMC, siendo su principal actividad desde el punto de vista estratégico, la elaboración de PROYECTOS TECNOLÓGICOS en el campo de la de I+D+i cuya etapa final es la fabricación de demostradores o validadores orientados a aplicaciones industriales específicas, como se aprecia en la figura 36 donde se destaca que el 50% de los trabajos realizados se enmarcan en este ámbito.

Aparte de estas actividades consideradas como 'CORE', cabe indicar que la fundación también centra su actividad sobre materiales avanzados, estando también focalizada por tanto hacia el desarrollo de futuros materiales.

Además la FIDAMC lleva a cabo otros trabajos orientados a dar un adecuado soporte a la industria nacional en su conjunto, considerando, por tanto, cualquier necesidad en el campo de los materiales compuestos.



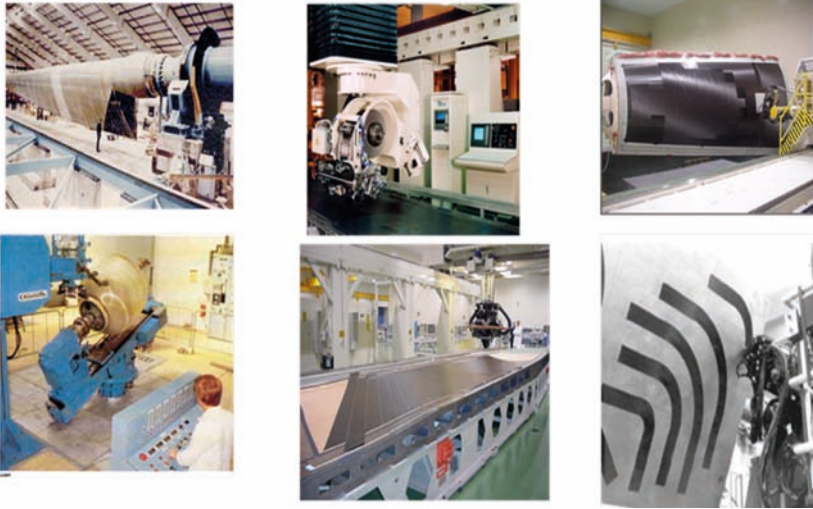
Figura 36. Orientación tecnológica de la FIDAMC

Desde el punto de vista del denominado ‘Technological Readness Level, ‘TRL’, se sitúa entre los TRL 4 y 6, dada su mencionada orientación hacia la fabricación de demostradores tecnológicos. Sin embargo, mantiene colaboraciones con Universidades, otros centros tecnológicos y la industria en su conjunto, lo que pone manifiesto que realiza también actividades en otros TRLs. Sus principios fundacionales fueron:

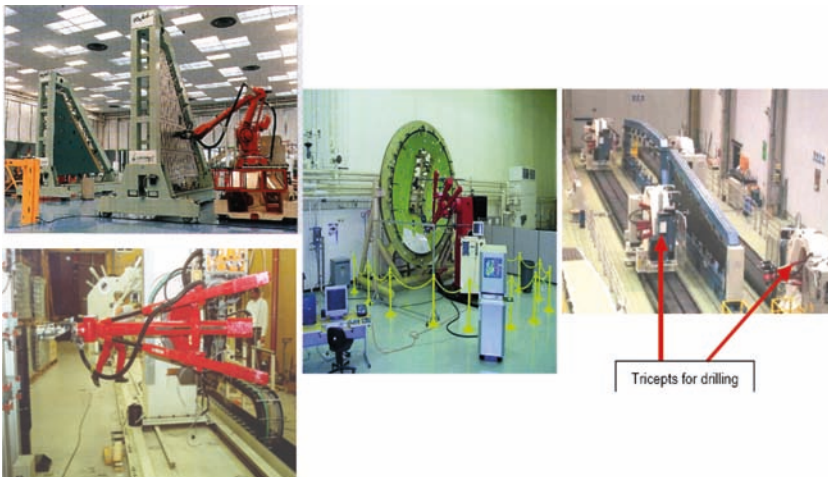
- Constituirse como Centro de Excelencia en I+d+i de las tecnologías de materiales compuestos en interés de la industria aeronáutica con la finalidad de consolidar la posición de vanguardia española en este ámbito tecnológico.
- Impulsar y promover una red de Colaboración con Universidades y Centros de Investigación y Desarrollo en tecnologías relativas a materiales compuestos.
- Mantener un alto nivel Tecnológico en el desarrollo y la aplicación de los materiales compuestos y nuevos materiales.
- Explorar las tecnologías emergentes de materiales compuestos con la finalidad de conseguir su rápida aplicación industrial.
- Incrementar el nivel tecnológico de empresas españolas colaborando en el desarrollo de tecnologías de materiales compuestos
- Incrementar el nivel tecnológico de empresas españolas colaborando en el desarrollo de tecnologías de materiales compuestos
- Ser un centro de difusión y formación en el área de las tecnologías de materiales compuestos.

- Tiene como vision ser una referencia internacional de los materiales compuestos entando abierta a otras iniciativas innovadoras en sectores industriales diferentes al aeroespacial.

Para finalizar este capítulo, dado que nos estamos refiriendo a las aplicaciones industriales, me gustaría indicar que el **“estado del arte”** en lo relativo a fabricación de componentes se encuentra en los diferentes procesos automáticos que se muestran a continuación:



Y el correspondiente a los procesos de montaje también está basado en procesos altamente automatizados, como los de abajo:



También me gustaría referirme al “estado del arte” estructural que como se observa en la figura 37, vemos como se pasa de la fabricación de componentes y su posterior integración en varios pasos a la integración total en un solo paso.

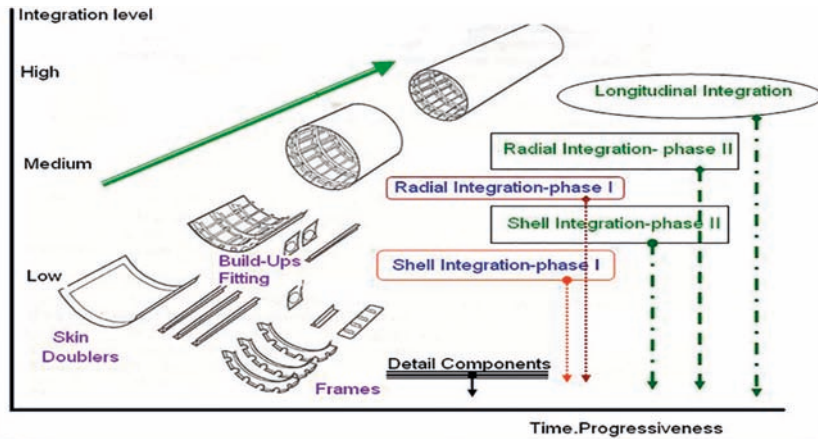


Figura 37. Hacia la integración total

Un ejemplo real de la evolución del proceso de integración llevado a cabo con el tiempo en el marco de la I+D+i se refleja en la figura 38.



Figura 38. Estructura de fuselaje súper-integrada

Y como reflexión final permítanme utilizar una expresión castiza gaditana, donde he desarrollado mi vida profesional durante veinte años, “camarón que se duerme se lo lleva la corriente” con lo que quiero expresar que si bien, no se puede achacar nada al desarrollo de los materiales compuestos en los últimos años donde se ha multiplicado por diez su uso en las estructuras aeronáuticas, debemos seguir a través de la I+D+i evolucionándolos e introduciéndolos en otros sectores industriales porque los metálicos y otros materiales se siguen desarrollando día a día.