

I Congreso Internacional de Formación Profesional

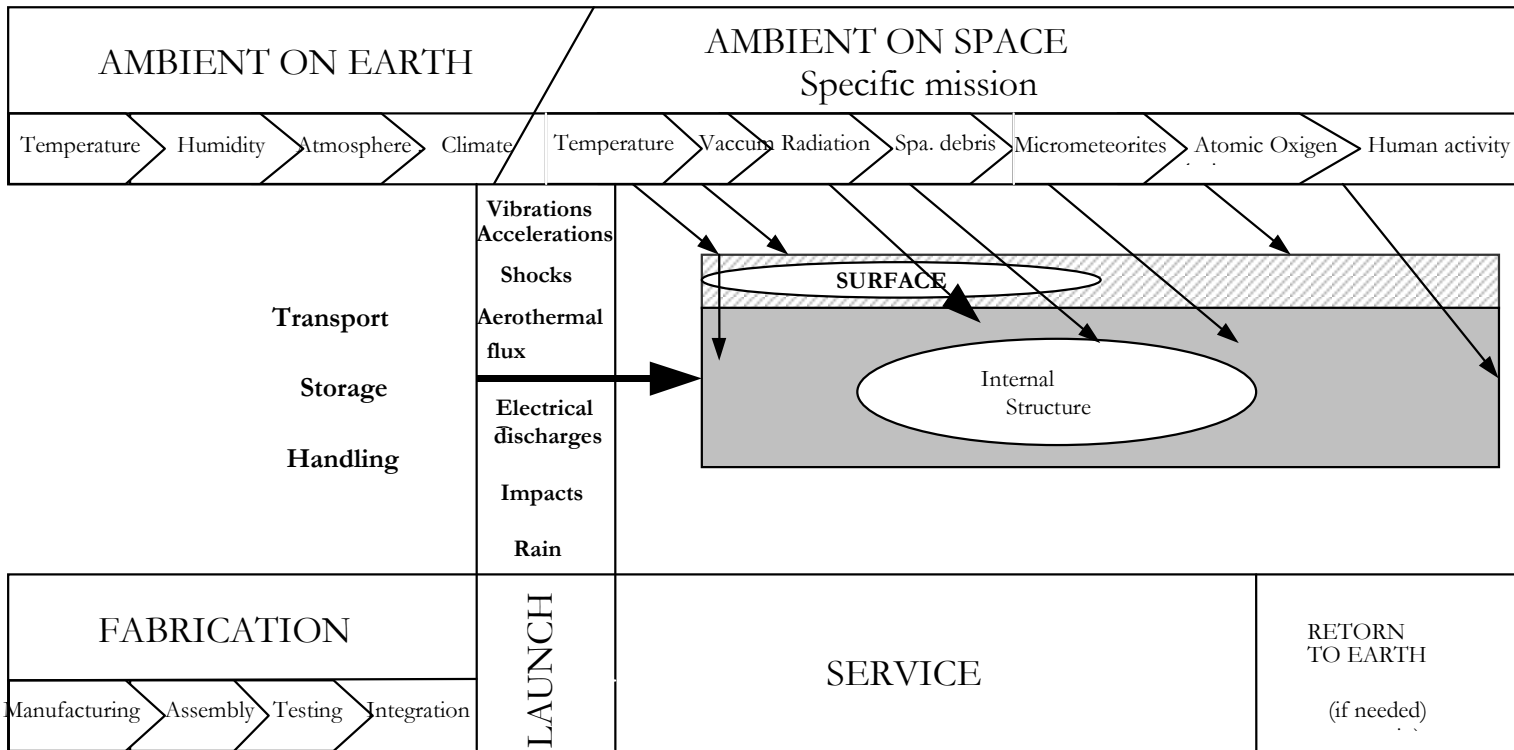
Materiales en la industria aeroespacial

Índice de contenido

- 1. Especificidades (técnicas y no-técnicas) de los materiales empleados en aplicaciones aeroespaciales.**
- 2. Composites con matrices de resinas termoestables.**
- 3. Procesos de fabricación (manuales y automáticos).**
- 4. Técnicas de inspección (destruktivas y no-destruktivas).**
- 5. Perfiles profesionales relacionados con estas tecnologías.**

1 Especificidades (técnicas y no-técnicas) de los materiales empleados en aplicaciones aeroespaciales

Ambiente en tierra, durante el lanzamiento y en órbita



1 Especificidades (técnicas y no-técnicas) de los materiales empleados en aplicaciones aeroespaciales

Ambiente en tierra, durante el lanzamiento y en órbita

Humedad

➤ En tierra:

- Encogimientos y solicitaciones mecánicas en las interfaces de los materiales con alta higroscopía.
- Aparición de corrosión galvánica.

➤ En órbita (alto vacío) :

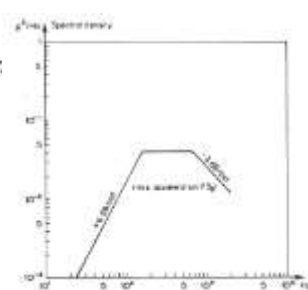
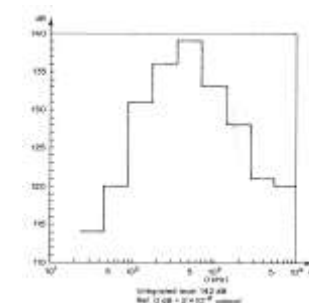
- En algunos metales (Cd, Zn, etc.), sublimación a temperaturas moderadas y aparición de “whiskers” (Sn puro).
- Cambios de algunas propiedades mecánicas y físicas por la posterior evacuación que se producirá en los materiales con alto CME. Por ejemplo, rigidez dieléctrica de espumas PMI.
- En materiales orgánicos disminuye de la temperatura de transición vítrea (Tg) con la consiguiente alteración de las propiedades mecánicas dominadas por la matriz, es decir:
 - Coeficiente de Expansión Térmica (CTE).
 - Resistencia a Cortadura Interlaminar (ILSS).
 - Resistencia a Cortadura en el Plano.
 - Resistencia a Compresión.

Ruido y vibraciones

- Producido por los motores, turbulencias aerodinámicas y acoplamientos dinámicos (coincidencia de la frecuencia de resonancia) entre distintos elementos.
- El ruido es especialmente crítico para elementos ligeros y de gran superficie de exposición (antenas, paneles, etc.).
- Las vibraciones aleatorias lo son para elementos pequeños, más pesados y con holguras (mecanismos).
- Se estudian y ensayan las cargas estructurales y las deformaciones que se generan.

COMPATIBLE COUPLES FOR BIMETALLIC CONTACTS

Order No.	Metallurgical Category Full names listing the grades, temper, finish, etc. (if not listed in column 2 or 3)	1st 1st Material 015 005 0001	2nd 1st Material 015 005 0001	Surface Finish Surface finish reference for 015 005 0001	Surface Finish Surface finish reference for 015 005 0001
1	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
2	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
3	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
4	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
5	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
6	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
7	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
8	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
9	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
10	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
11	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
12	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
13	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
14	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
15	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
16	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
17	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
18	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
19	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015
20	Aluminum alloy components (015 005 0001 or other grades as applicable - specify plate)	015	015	015	015

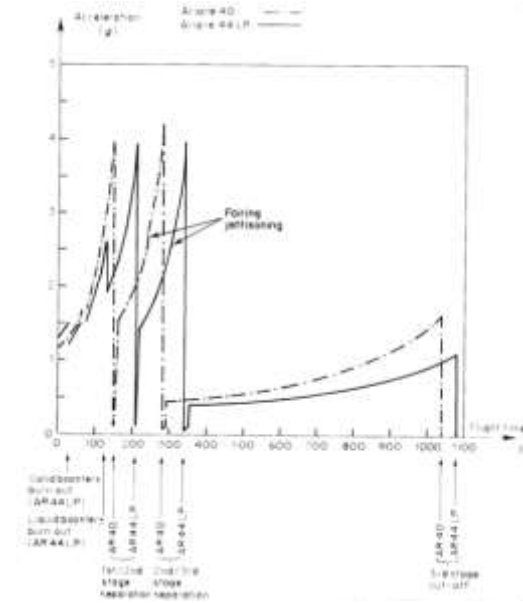


1 Especificidades (técnicas y no-técnicas) de los materiales empleados en aplicaciones aeroespaciales

Ambiente en tierra, durante el lanzamiento y en órbita

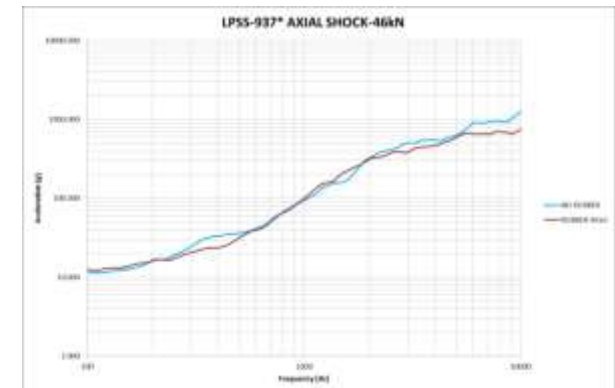
Aceleraciones

- La aceleración vertical debe ser continua y capaz de producir un incremento de velocidad de 9,5 Km/s.
- Varían en función del lanzador y la fase del lanzamiento (típicamente, 3 g's en vehículos tripulados y hasta 13,5 g's en misiles).



Choques

- Aceleraciones puntuales, de muy alta frecuencia, producidas por separación de etapas, dispositivos pirotécnicos y golpes de fin de carrera de elementos desplegados.
- Se producen en milisegundos niveles de aceleración extremadamente altos (>2000 g's) en frecuencias superiores a 1 KHz que afectan en los elementos próximos al lugar donde se han generado.



1 Especificidades (técnicas y no-técnicas) de los materiales empleados en aplicaciones aeroespaciales

Ambiente en tierra, durante el lanzamiento y en órbita

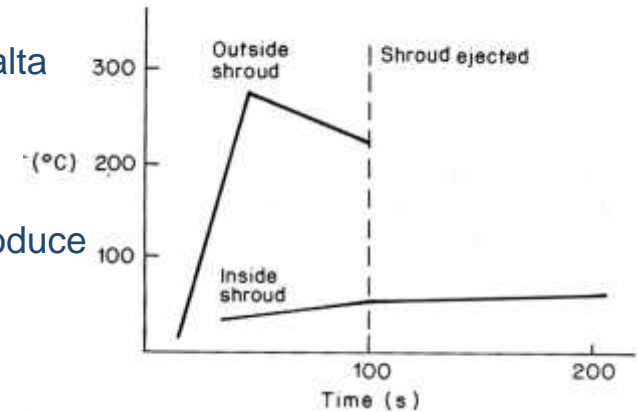
Ambiente Térmico

❑ Durante el lanzamiento:

- La resistencia aerodinámica del vehículo lanzador, al desplazarse a alta velocidad en la atmósfera, eleva la temperatura que se alcanza en la envoltura exterior de los cohetes.
- La temperatura que alcance la cubierta externa (típicamente 280 °C) dependerá del calor específico del material y del equilibrio que se produce entre el calor generado por la fricción y las pérdidas por radiación y convección.

❑ En operación:

- En órbitas bajas (LEO): -90°C / +90°C, 169.000 ciclos.
- En órbitas geoestacionarias (GEO): -180°C / +160°C, 110.000 ciclos



Despresurización

- En la zona destinada a la carga de pago, la velocidad con que se producirá la despresurización dependerá de la mayor o menor hermeticidad de la cubierta y de su volumen. Típicamente, la presión estática desciende a una velocidad de 10 mbars/s, generando importantes cargas estáticas en los elementos estructurales de los satélites.
- Generalmente, las sollicitaciones mecánicas asociadas a la despresurización, se evitan (o minimizan) con el uso de respiraderos o zonas de ventilación.

1 Especificidades (técnicas y no-técnicas) de los materiales empleados en aplicaciones aeroespaciales

Ambiente en tierra y en órbita

Radiaciones

- El ambiente existente en el sistema solar está gobernado por el Sol . En este enorme reactor de fusión termonuclear, se alcanzan temperaturas del orden de 2 millones de grados, y se emiten enormes cantidades de radiación (rayos X y γ) y viento solar (plasma magnetizado empujado a altas velocidades por la propia radiación del Sol).
- El tipo de radiación a la que se verán sometidos los materiales será ultravioleta (que degrada especialmente las fibras de aramida), partículas de alta energía (protones y electrones), rayos cósmicos y erupciones solares.
- Provocan calentamiento, polimerizaciones cruzadas, rotura de cadenas orgánicas y de enlaces químicos y, finalmente, daños estructurales.

Oxígeno atómico (OA)

- En órbitas bajas (300 – 900 Km.), las moléculas de O₂ se disocian por la acción de la radiación, y el oxígeno aparece en forma de átomos. El alto nivel que alcanza el flujo de OA, existente provocará daños por oxidación directa de las cadenas de polímeros orgánicos que formarán y liberarán volátiles, con la consiguiente pérdida de masa.

Material	Reaction Efficiency † x 10 ⁻²⁴ (cm ³ atom ⁻¹)
Kapton	3.0
Mylar	3.4
Tedlar	3.2
Polyethylene	3.7
PMMA*	3.1
Polyimide	3.3
Polysulphone	2.4
1034C epoxy	2.1
5028/T300 epoxy	2.6
Teflon, TFE	0.05
Teflon, FEP	0.05

Note: * PMMA: polymethylmethacrylate
† : Estimated accuracy: 30% to 50%

- La sensibilidad de los composites a este ambiente vendrá determinada por la reactividad, tanto de la fibra de refuerzo como de la matriz.



Kapton (left: not exposed, right: exposed)

1 Especificidades (técnicas y no-técnicas) de los materiales empleados en aplicaciones aeroespaciales

Requisitos a tener en cuenta para estructuras primarias, secundarias y reflectores de antenas

Técnicos

- Resistencia.
- Rigidez.
- Densidad.
- Conductividad térmica y eléctrica.
- Expansión térmica (CTE).
- Expansión higoelástica (CME).
- Resistencia a la corrosión, incluida tenso-corrosión (SCC).
- Ductilidad.
- Tolerancia al daño.

No técnicos

- Facilidad de fabricación.
- Versatilidad en la posibilidades de unión.
- Disponibilidad en el mercado.
- Coste.

1 Especificidades (técnicas y no-técnicas) de los materiales empleados en aplicaciones aeroespaciales

Evolución histórica de los materiales y conceptos estructurales usados en vehículos lanzadores



Payload adaptor



Inter-stage skirt



ARIANE 4

1 Especificidades (técnicas y no-técnicas) de los materiales empleados en aplicaciones aeroespaciales

Evolución histórica de los materiales y conceptos estructurales usados en vehículos lanzadores



ARIANE 5, versión inicial

1 Especificidades (técnicas y no-técnicas) de los materiales empleados en aplicaciones aeroespaciales

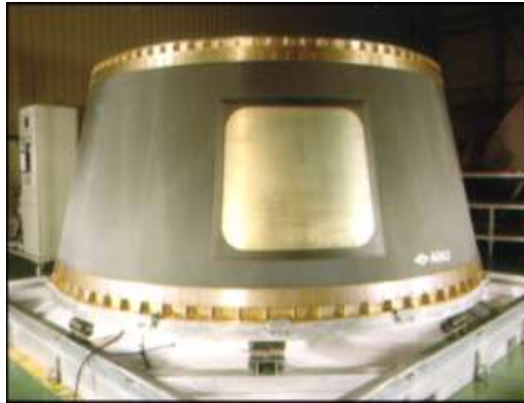
Evolución histórica de los materiales y conceptos estructurales usados en vehículos lanzadores



ARIANE 5, versión criogénica

1 Especificidades (técnicas y no-técnicas) de los materiales empleados en aplicaciones aeroespaciales

Evolución histórica de los materiales y conceptos estructurales usados en vehículos lanzadores



Soyuz, Atlas, Falcon, etc.

1 Especificidades (técnicas y no-técnicas) de los materiales empleados en aplicaciones aeroespaciales

Evolución histórica de los materiales y conceptos estructurales usados en vehículos lanzadores

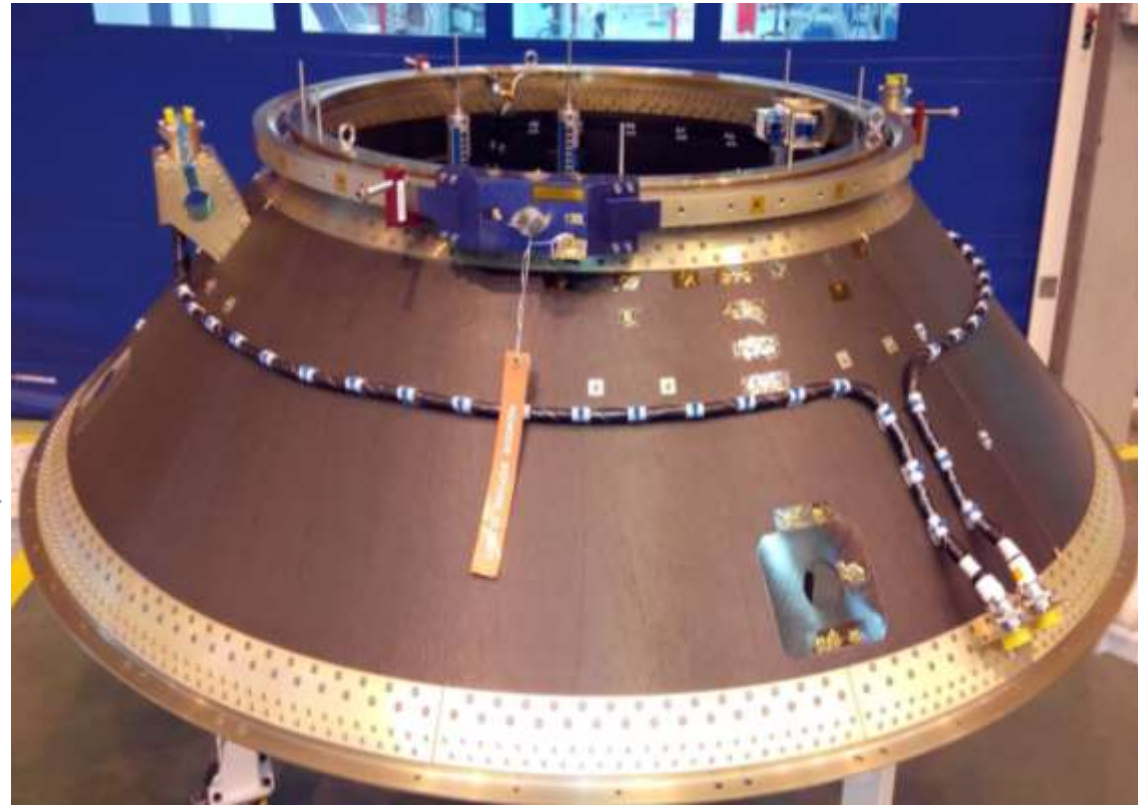
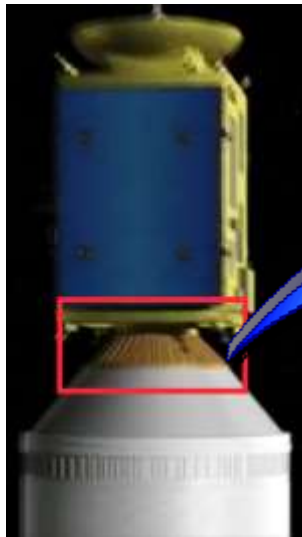


VEGA



1 Especificidades (técnicas y no-técnicas) de los materiales empleados en aplicaciones aeroespaciales

Evolución histórica de los materiales y conceptos estructurales usados en vehículos lanzadores



HII-A

1 Especificidades (técnicas y no-técnicas) de los materiales empleados en aplicaciones aeroespaciales

Desarrollos actuales para vehículos lanzadores

Estructuras monolíticas con refuerzos co-curados



Varias estructuras en un solo ciclo



Tanques criogénicos



2 Composites con matrices de resina termoestable

Ventajas

- Excelentes propiedades específicas.
- Buen comportamiento anticorrosión.
- Resistencia a fatiga.
- Difícil propagación de grietas.
- Anisotropía mecánica y térmica (flexibilidad para el diseño = optimización).
- Bajo CTE.
- Posibilidad de fabricar grandes piezas (reducción de piezas elementales y operaciones de montaje).

	RESISTENCIA ESPECÍFICA (10 ⁴ cm)	RIGIDEZ ESPECÍFICA (10 ⁴ cm)	DENSIDAD (Kg/m ³)
CARBONO/EPOXI			
<input type="checkbox"/> Alta resistencia	14	1020	1500
<input type="checkbox"/> Alto módulo	5	1780	1700
ARAMIDA/EPOXI	3	200	1400
VIDRIO/EPOXI	2	1100	1800
ALUMINIO	2	250	2800
TITANIO	3	250	4400

Material Properties	RELATIVE ADVANTAGE				
	Metals	Thermosetting Polymer Composites	Thermoplastic Polymer Composites	Metal Matrix Composites	Ceramic Matrix Composites
Corrosion Resistance	X	XXX	XXX	X	XXX
Creep	X	XXX	XX	XX	XXX
Damage Resistance	XXX	X	XX	XX	X
Design Flexibility	XX	XXX	XXX	XXX	XXX
Fabrication:	XX	XX	XX	XX	XX
Time	X	XX	XX	X	X
Final Part Cost	XX	X	X	X	X
Moisture resistance	XXX	X	XX	XXX	XXX
Physical Properties	XX	XX	XX	XX	XX
Processing Cost	X	XX	XX	X	X
Raw Material Cost	XXX	XX	X	X	X
Reusable scrap	XXX	0	XX	0	0
Shelf Life	XXX	X	XXX	XXX	XXX
Solvent resistance	XX	X	XX	XX	XX
Specific Strength	X	XXX	XXX	XX	XX
Strength	X	XXX	XXX	XXX	XXX
Stiffness	X	XX	XX	XX	XX
Mass-saving	0	XX	XX	X	XX
Space Tolerance:					
Out/Off gassing	XXX	X	XX	XXX	XXX
Radiation	XXX	X	XX	XXX	XXX
Vacuum	XXX	X	XX	XXX	XXX
Dimensional Stability	X	XXX	XXX	XX	XXX
Thermal Cycling	XXX	XX	XX	XX	XX
Limits for Max. Service Temperature	Alloy	Matrix type	Matrix type	Alloy matrix + fibre stability	Matrix + fibre stability

KEY: XXX- Best, XX-Good, X-Fair, 0-Not Applicable

2 Composites con matrices de resina termoestable.- FIBRAS

Uso

Fibras de vidrio: Alta densidad, buen aislante térmico y eléctrico, bajo precio, transparente a algunas señales radioeléctricas, bajo módulo de elasticidad.

Fibras de cerámicas: Idóneas para alta temperatura, soportan choques térmicos, alto precio.

Fibras de boro: Excelentes propiedades de resistencia y rigidez, alto coste de fabricación.

Fibras de aramida: Buena resistencia a tracción, buena resiliencia, buen aislante térmico y eléctrico, bajo CTE y alto CME, transparente a algunas señales radioeléctricas, bajo módulo a tracción, baja resistencia a compresión.

- Circuitos impresos (tipo S con resina epoxi).
- Aislamiento térmico.
- Protecciones térmicas.
- Mejorantes de aleaciones metálicas.
- Refuerzo de matrices de aluminio y titanio.
- Revestimientos de sándwiches y núcleos radiotransparentes.
- Protecciones exteriores anti-impactos.

2 Composites con matrices de resina termoestable.- FIBRAS

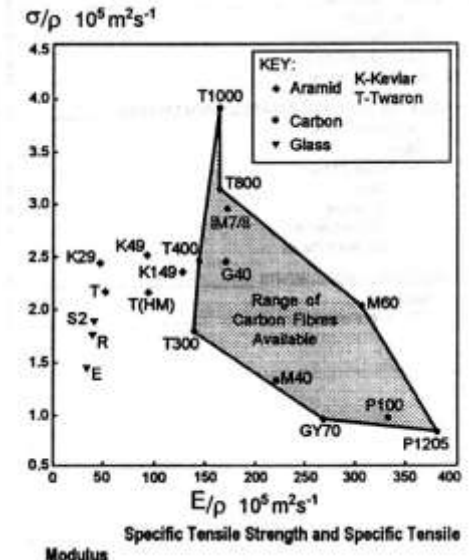
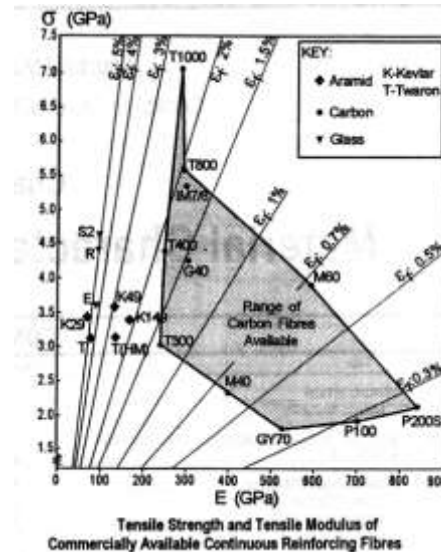
• **Fibras de carbono y grafito (diferente temperatura de carbonización y pureza):** Baja densidad, buenas conductoras térmicas y eléctricas, precio razonable, bajo CTE y moderado CME, permiten optimizar resistencia o rigidez, aunque no a la vez, insensibles a combustibles.

Uso

- Estructuras primarias.
- Revestimientos de sándwiches.
- Tubos.
- Reflectores.
- Tanques de combustible o helio.
- Baffles (tubos de telescopios).

Clasificación:

- Base utilizada (PAN o PITCH).
- La temperatura final alcanzada durante la carbonización o grafitización: HTT (High Thermal Treatment), IHT (Intermediate Heat Treatment) y LHT (Intermediate Heat Treatment).
- Las **propiedades mecánicas** que ofrecen: UHM (Ultra High Modulus), HM (High Modulus), IM (Intermediate Modulus), HT (High Tensile Strength).



2 Composites con matrices de resina termoestable.- RESINAS

•Matrices :

- ✓ Definirán el proceso de fabricación (precio, complejidad, equipos, etc.).
- ✓ Protegerán a las fibras, las mantendrán correctamente orientadas y evitarán la propagación de grietas.
- ✓ Transferirán las cargas de unas fibras a otras, evitando su micropandeo.
- ✓ La resistencia a compresión y la cortadura interlaminar del laminado final serán propiedades dominadas por la resina.
- ✓ Establecerán la temperatura máxima de servicio.

•Resinas termoestables:

•Epoxi:

- ❖ Son las más ampliamente utilizadas. Sus ventajas son la procesabilidad (temperatura de curado entre 120°C y 180 °C), moderada absorción de agua, precio asumible, buena resistencia a la fatiga y buena cortadura interlaminar.
- ❖ En las nuevas formulaciones, extremando el control de la humedad ambiental, se obtienen valores de Tg de 220°C).

•**POLIIMIDAS Y BISMALIMIDAS**

- ❖ Características similares a las epoxi en cuanto a procesabilidad, manejabilidad y propiedades finales del laminado, pero con peor resiliencia que las epoxi.
- ❖ Temperaturas de uso del orden de 280°C.
- ❖ Desprenden más volátiles al curar: mayor riesgo de porosidad.
- ❖ Menos productos en el mercado y mayor precio que las epoxi.

2 Composites con matrices de resina termoestable.- RESINAS

Resinas termoestables:

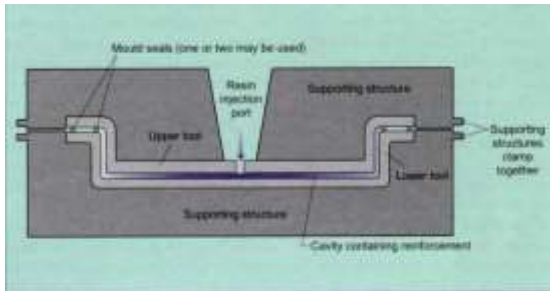
•CIANO-ESTER:

- ❖ Las últimas aparecidas en el mercado (aproximadamente 13 años).
- ❖ Características del laminado similares o superiores a las epoxi.
- ❖ Con temperaturas de curado de 170°C se consiguen Tg's de hasta 290°C.
- ❖ Son menos higroscópicas que las epoxi (mayor estabilidad dimensional en vacío).
- ❖ Menor tendencia a la formación de microgrietas.
- ❖ Poca variedad en el mercado (principalmente existen versiones de cinta unidireccional UHM o HM, ideal para reflectores de antenas).
- ❖ Precio similar a las epoxi.

3 Procesos de fabricación (manuales y automáticos)

Moldeo por transferencia de resina (RTM):

- ❑ La fabricación por transferencia de resina consiste en inyectar (a presión) una cantidad de resina dentro de un molde en el que previamente se ha colocado la fibra seca (preforma) que constituirá el componente. Posteriormente, cuando la resina ha polimerizado, se extrae el elemento que, con unas sencillas operaciones de mecanizado, quedará terminado.
- ❑ Las principales características del procesos son: Baja necesidad de inversión, baja dispersión entre los elementos fabricados y simplicidad de almacenamiento de los elementos.



∅ = 2 m

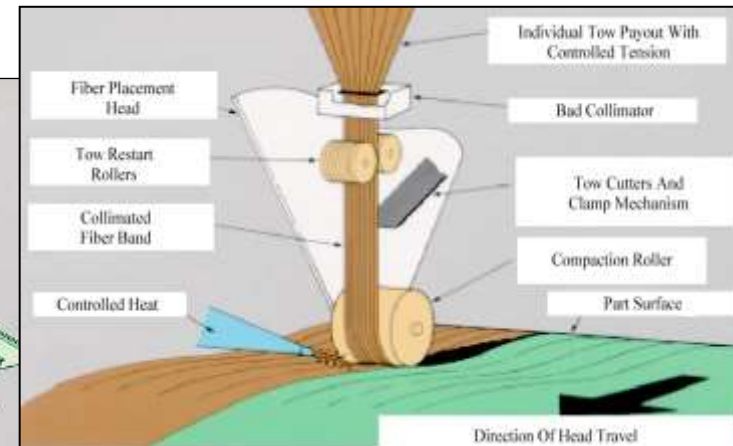
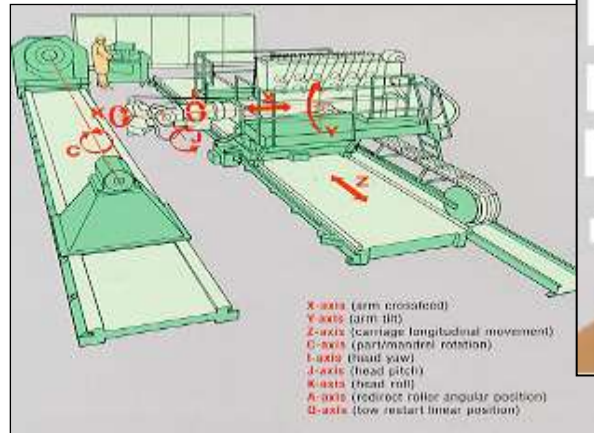
3 Procesos de fabricación (manuales y automáticos)

Encintado manual (hand lay-up):

- ❑ Las cintas o tejidos que configuran las distintas capas del laminado, se cortan con un sistema automático. Posteriormente, se colocan a mano sobre un molde, en la orientación requerida, ayudados por plantillas o siguiendo el contorno definido por una proyección laser.
- ❑ El laminado se compacta con bolsa de vacío y se cura en autoclave a alta presión y alta temperatura. Durante el curado, se mantiene el vacío dentro de la bolsa para que la presión compacte al empilado y para eliminar el aire atrapado y los volátiles que se producen durante la polimerización de la resina.

Encintado automatico (ATL y AFP):

- ❑ Las tiras o cintas de preimpregnado se colocan, a la vez que se compactan, siguiendo una trayectoria predefinida y utilizando sistemas “robotizados” de hasta 7 ejes.



Change Tape Layers Setup



fiberplacement.mpy



ITER PCR's.mpl



4 Técnicas de inspección (destruktivas y no-destruktivas).- Ensayos de materiales compuestos.

Objetivo:

- ✓ Establecer las propiedades de la lámina, para el posterior análisis estructural multicapa.
- ✓ Comparar distintos materiales.
- ✓ Establecer las pruebas de aceptación de lotes (recepción).
- ✓ Confirmar predicciones analíticas de distintas opciones de diseño (resistencia de uniones, modos de fallos, etc.).
- ✓ Poner a punto los ciclos de curado y estimar las dimensiones finales de la pieza a producir (sobre todo si son cerradas).
- ✓ Pruebas de control de calidad sobre los componentes fabricados.

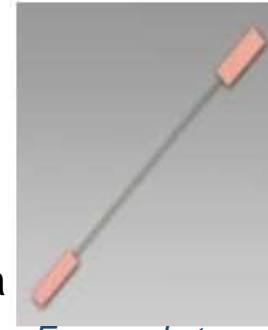
Tipos:

- ❖ Caracterización de elementos constituyentes.
- ❖ Determinación de propiedades de capa.
- ❖ Determinación de propiedades interlaminares.
- ❖ Comportamiento del composite bajo distintas condiciones de carga.

4 Técnicas de inspección (destruictivas y no-destruictivas).- Ensayos de materiales compuestos.

Ensayos de fibras secas:

- Son realizados por los fabricantes de la fibra (fabricantes de la fibra \neq fabricante de resina o impregnador).
- Suelen incluir: Composición química, dimensiones (y uniformidad) de filamentos y mechas, dureza, resistencia a tracción, densidad lineal, etc.



Ensayo de tracción en filamentos individuales



Ensayo de tracción en mazos de filamentos

Ensayos sobre resinas y preimpregnados:

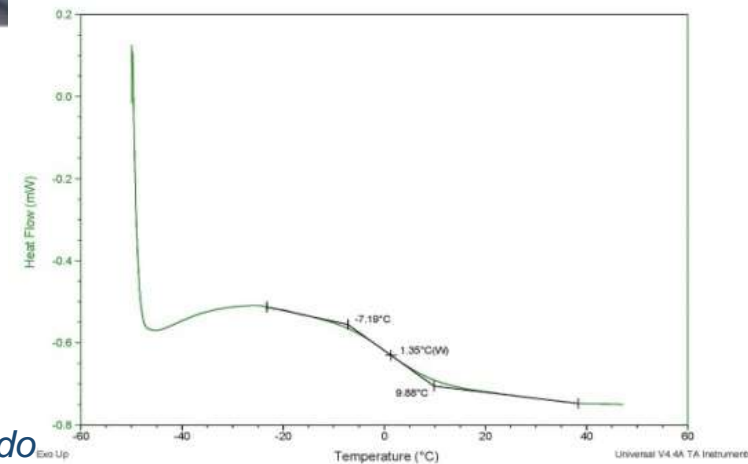
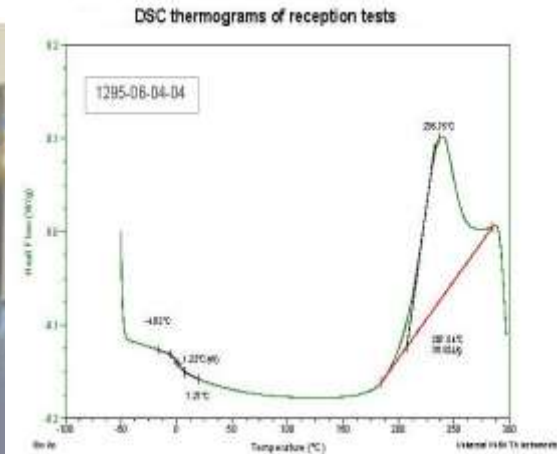
- Son realizados por los fabricantes de la resina (que, en general, serán también los impregnadores de las fibras secas) y por los usuarios del material preimpregnado.
- Las propiedades más importantes a determinar son:
 - ✓ **T_{g β}** . Temperatura de transición vítrea de la resina en estado B, antes de gelificación.
 - ✓ **Flow**. Fluidéz de la resina.
 - ✓ **Distribución de peso por unidad de superficie** de fibra y resina: **PAW** (Prepeg Areal Weight), **FAW** (Fiber Areal Weight), **RC** (Resin Content).
 - ✓ **VC** (Contenido en volátiles).
 - ✓ **Componentes** de la resina.
 - ✓ **Comportamiento reológico** de la resina.
 - ✓ **Exotermicidad** de la resina .

4 Técnicas de inspección (destruictivas y no-destruictivas).- Ensayos de materiales compuestos.

Técnicas empleadas:

DSC (Differential Scanning Calorimetry)

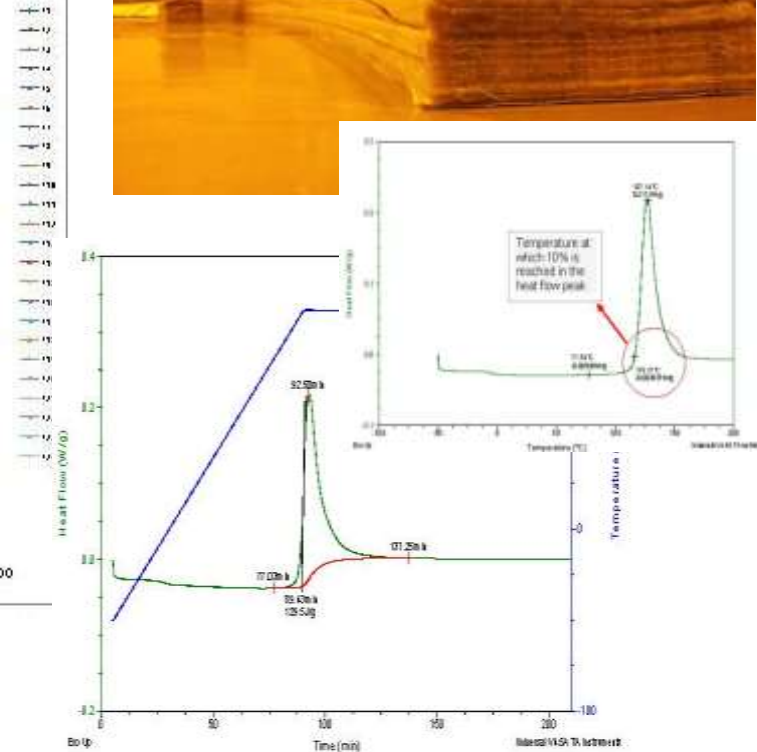
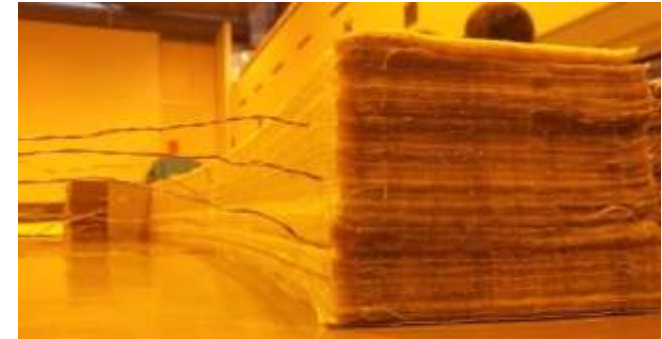
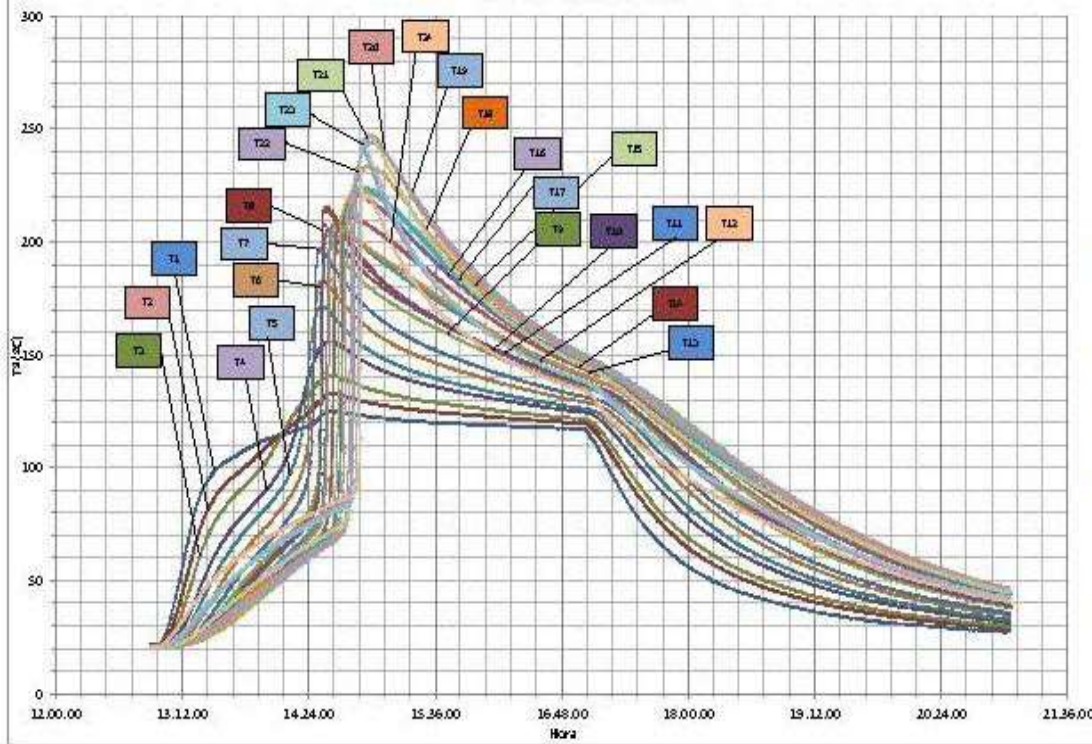
- El equipo consta de dos crisoles equipados con sensores (para la medida de la temperatura) y resistencias para el calentamiento, tanto de la muestra, como de una referencia estándar.
- Con esta técnica se mide el flujo de calor que hay que suministrar a la muestra para que siga el mismo programa de temperaturas que la referencia estándar.
- La variación en el flujo energético de la muestra determina la naturaleza y magnitud de la transición (exotérmica o endotérmica).



Tg_{β} del preimpregnado

4 Técnicas de inspección (destruyentes y no-destruyentes).- Ensayos de materiales compuestos.

Estudio del ciclo de curado



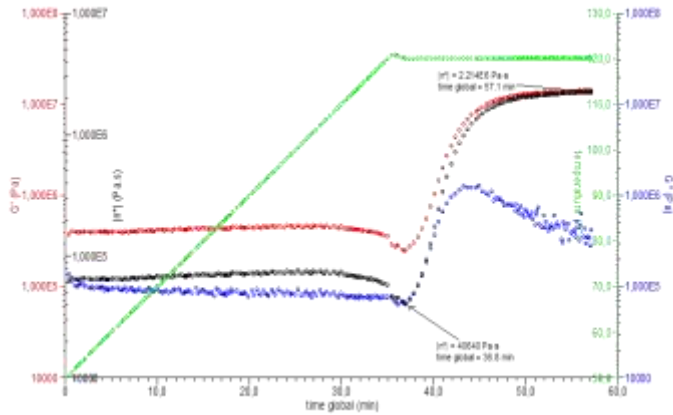
DSC thermogram of the nominal cure cycle

Temperature vs. time curve of the thermocouples across the panel.

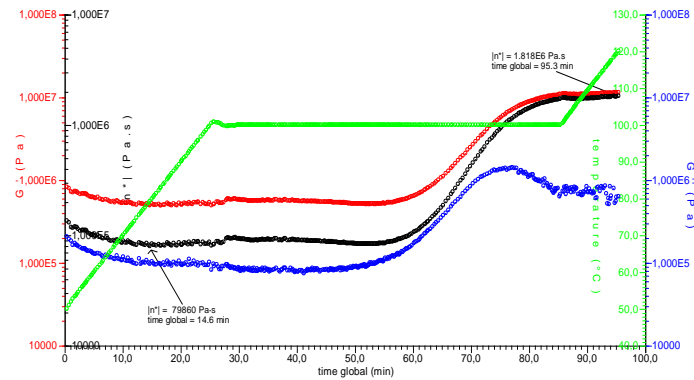
4 Técnicas de inspección (destruyivas y no-destruyivas).- Ensayos de materiales compuestos.

Técnicas empleadas:

- **Reometría:** Estudio del punto de mínima viscosidad y de gelificación de la resina.



Results of the Rheology test with nominal cure cycle



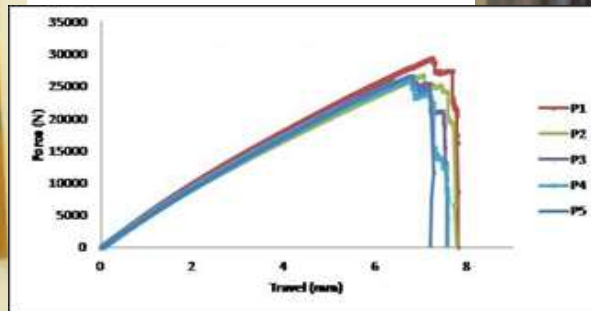
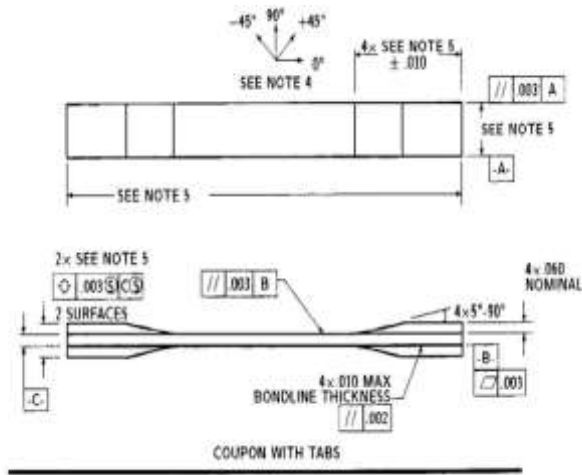
Results of the rheology test with alternative cure cycle .



- **HPLC (High-performance liquid chromatography):** Determinación de los componentes de la resina.
- **Métodos tradicionales** (hornos, prensa de platos calientes, balanza de precisión, etc.): empleados para determinar el peso por unidad de superficie de fibra y resina, el volumen de huecos, el contenido en volátiles, etc.

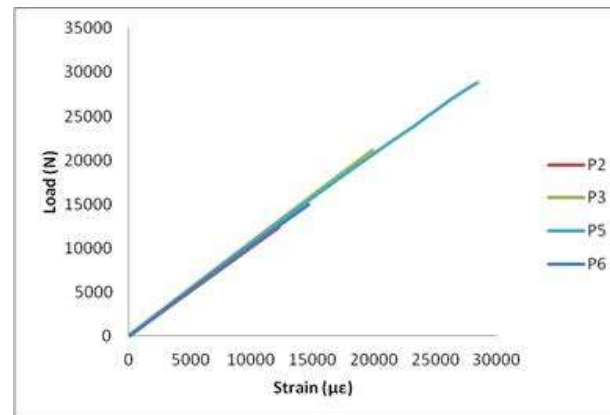
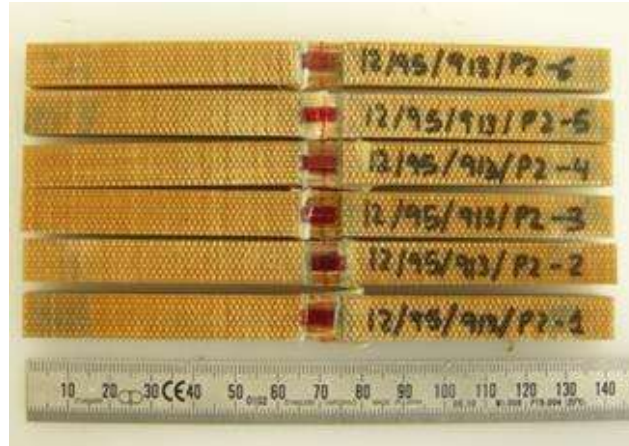
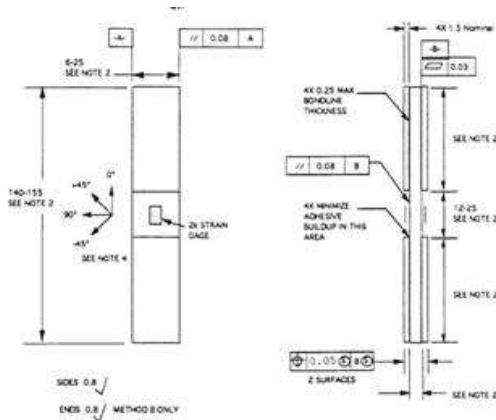
4 Técnicas de inspección (destruyivas y no-destruyivas).- Ensayos de materiales compuestos.

Resistencia a tracción (UTS) 0° y 90°



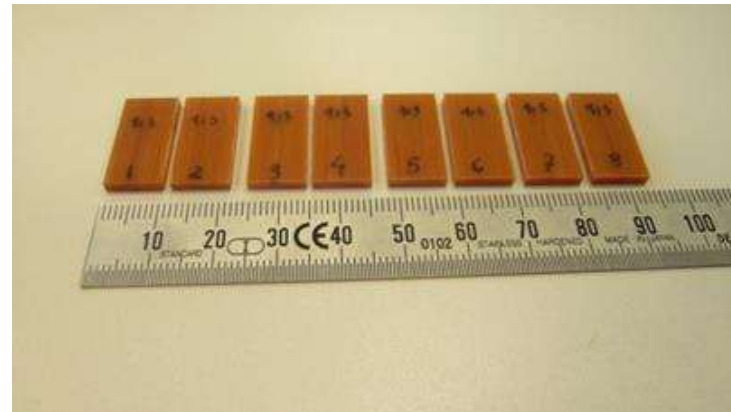
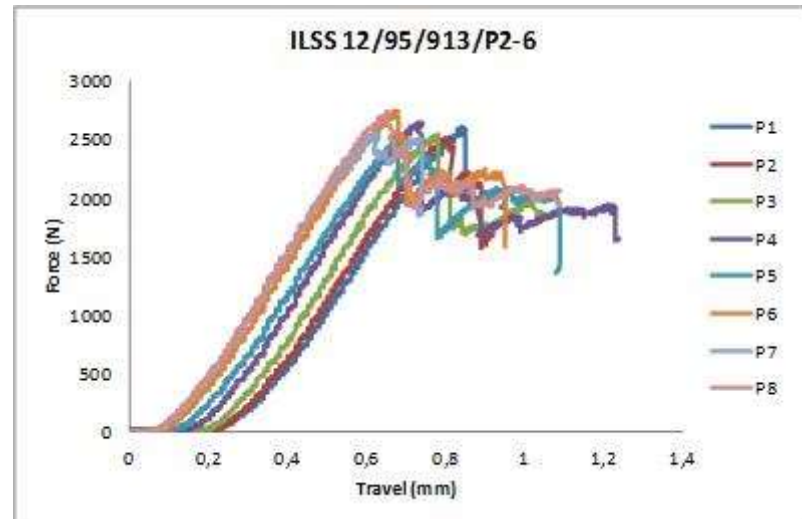
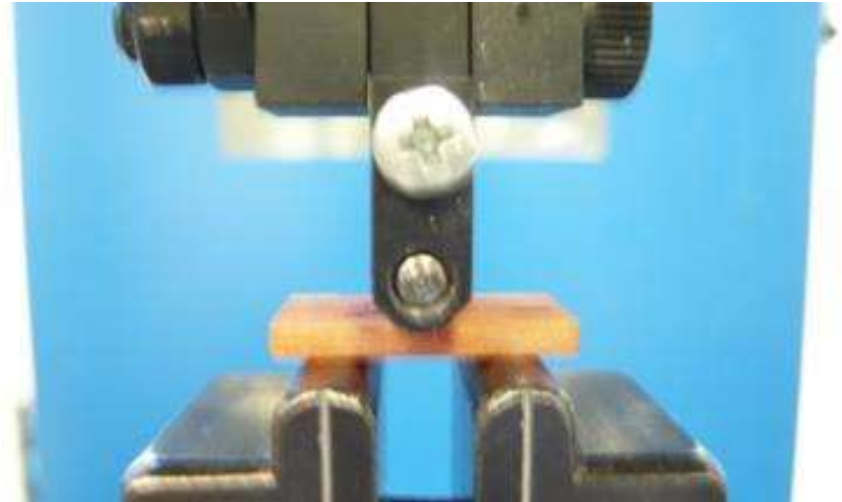
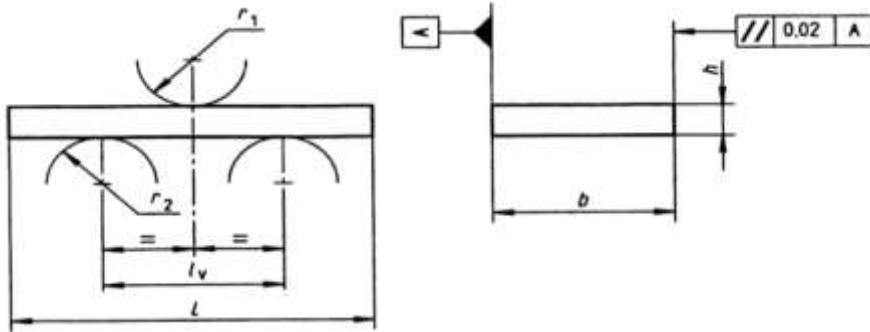
4 Técnicas de inspección (destruyivas y no-destruyivas).- Ensayos de materiales compuestos.

Resistencia a compresión (UCS)



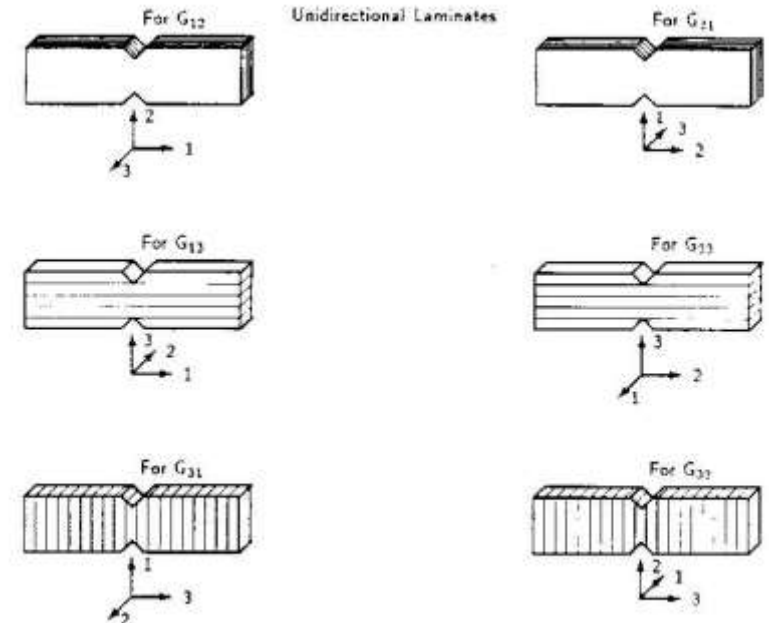
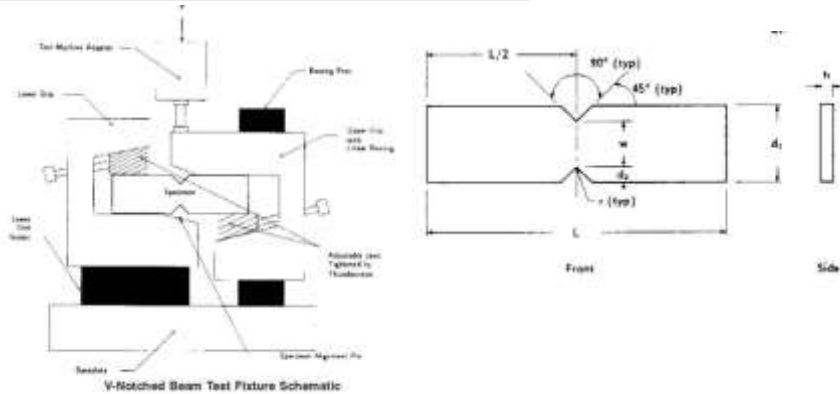
4 Técnicas de inspección (destruictivas y no-destruictivas).- Ensayos de materiales compuestos.

Cortadura Interlaminar (ILS o SBS)



4 Técnicas de inspección (destruyivas y no-destruyivas).- Ensayos de materiales compuestos.

Cortadura en el Plano (IPSS)



Flexión (3 ó 4 puntos)

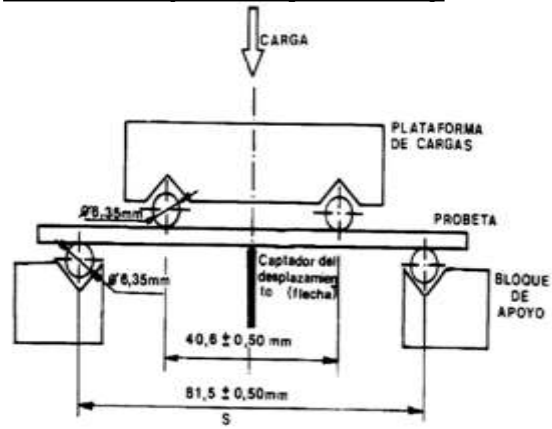
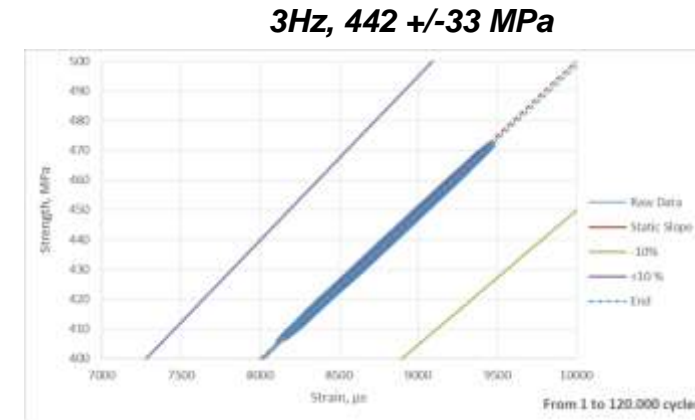
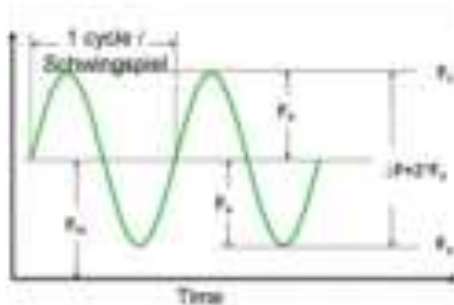


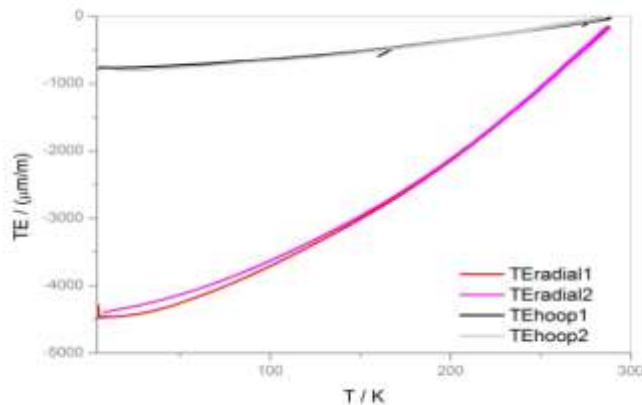
FIGURA-2: FIJACION DE LAS PROBETAS

4 Técnicas de inspección (destruyivas y no-destruyivas).- Ensayos de materiales compuestos.

Fatiga



Coefficiente de expansión térmica (CTE)



$$\epsilon_{tc} = \epsilon_{ac} - \epsilon_{ar} + \epsilon_{tr}$$

ϵ_{tc} = deformación real del compuesto

ϵ_{ac} = deformación aparente del compuesto

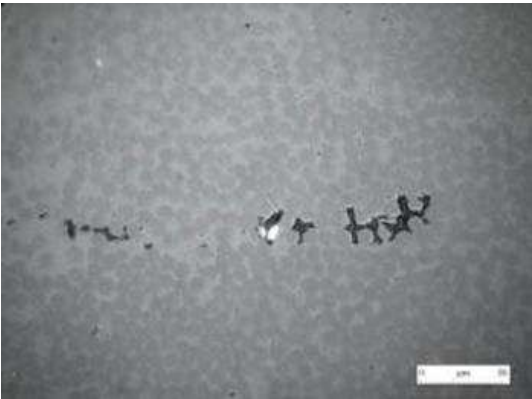
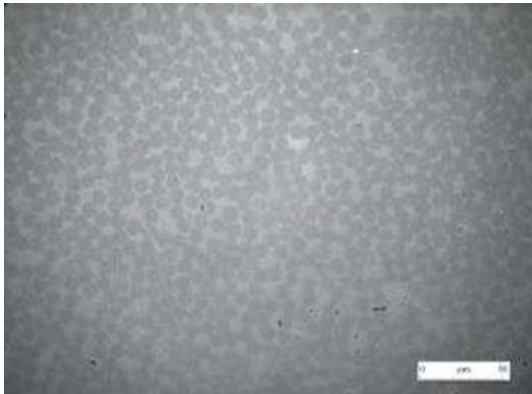
ϵ_{ar} = deformación aparente del material de referencia

ϵ_{tr} = deformación real del material de referencia

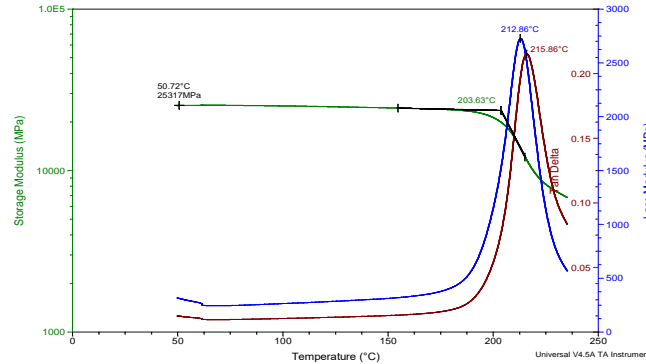
4 Técnicas de inspección (destruictivas y no-destruictivas).- Ensayos de materiales compuestos.

Otros ensayos

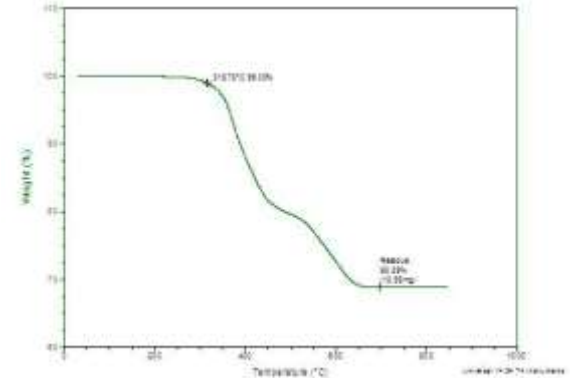
Volumen de Huecos ($V_h\%$) y Porosidad con Técnicas Metalográficas



Temperatura de Transición Vitrea (T_g) por DMA (Dynamic Mechanical Analysis)



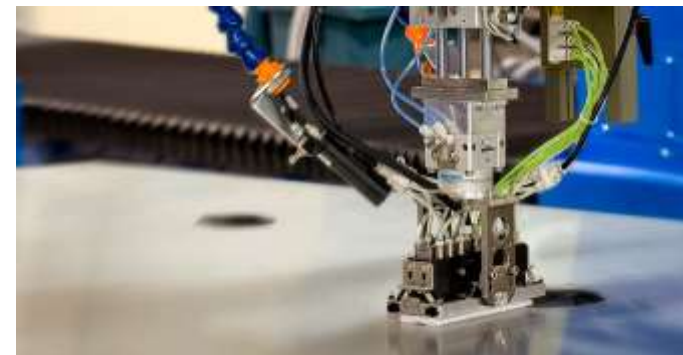
Degradación Térmica por TGA (Thermo Gravimetric Analysis)



4 Técnicas de inspección (destruktivas y no-destruktivas).- Ensayos de materiales compuestos.

Inspección Ultrasónica

- Las ondas ultrasónicas se generan con un transductor de cristal piezoeléctrico y se aplican al elemento a ser inspeccionado. La intensidad sónica se atenúa de manera exponencial con la distancia recorrida. Si el recorrido del haz ultrasónico coincide con el espesor de la pieza, el resultado es conforme. Por el contrario, si existen algún defecto en su interior, el haz se interrumpe antes de alcanzar la frontera del material y su menor trayectoria nos permitirá determinar la localización de la defectología.
- Pulso eco: el haz ultrasónico generado y el reflejado se encuentran en el mismo palpador.
- Transmisión: un palpador actúa de emisor y otro de receptor.
- Multielementos (*phased-arrays*): Contiene varios transductores (típicamente de 16 a 256) separados, pero con una única fijación (cuadrada, rectangular o circular), que trabajan con pulsos secuenciados, siguiendo un patrón programado. Pueden utilizar distintas zapatas de asiento y trabajar con contacto o en inmersión. Las frecuencias varían desde 1 hasta 10 MHz.



5 Perfiles profesionales relacionados con estas tecnologías

Técnicos de fabricación de composites para:

- Corte, empilado de capas y posterior preparación de bolsa de vacío.
- Preparación de programas y procesos de AFP y ATL y su posterior ejecución.
- Programación de autoclaves y control de la realización del ciclo de curado.

Técnicos de laboratorio para:

- Ensayos físicos: Inspecciones ultrasónicas por transmisión y puso eco. Con palpadores o multielementos (*phased-arrays*). En seco, con liquido o gel acoplante y por trasmisión en aire.
- Ensayos químicos:
 - Ensayos sobre preimpregnados o laminados sólidos con técnicas tradicionales (disolución de resina con acido, hornos, prensa de platos calientes, balanza de precisión, etc.) y equipos de metalografía.
 - Ensayos con equipos avanzados (DSC, TMA, HPLC, Reómetro, etc.).
- Ensayos mecánicos: Preparación y corte de las probetas, instrumentación con extensómetros y/o galgas extensométricas pegadas, ejecución de los ensayos e informes asociados.

¡ Muchas gracias por su atención !