

Bienvenid@s

WEBINAR



Sigue el Webinar

2



#WebinarsAEMAC





Prof. Juan Carlos Suárez Bermejo

Centro de Investigación en Materiales Estructurales (CIME). Departamento de Materiales. ETSI Navales
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

Materiales compuestos e híbridos para aplicaciones marinas en el siglo XXI

23 de Julio de 2019, 16:00 (Madrid, GMT+2)



Materiales compuestos e híbridos para aplicaciones marinas en el siglo XXI



1. El ambiente marino y los materiales para ingeniería
2. Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas
3. Uso eficiente de los materiales compuestos en estructuras marinas
4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas
5. Materiales híbridos Fibra-Metal en estructuras marinas
6. Protección frente a impactos de *slamming* con capas viscoelásticas
7. Recubrimientos bioinspirados para la reducción de la resistencia viscosa

1.

6

El ambiente marino y los materiales para ingeniería

1. El ambiente marino y los materiales para ingeniería

7

- El ambiente marino es muy exigente para con los materiales tradicionales de ingeniería debido a la corrosión de los metales y el biodeterioro de los materiales naturales
- El uso de materiales compuestos de matriz polimérica y refuerzo de fibra ha experimentado un enorme crecimiento en aplicaciones marinas y oceánicas
- Diversidad de componentes, tamaño de las estructuras y volúmenes de producción



La gran ola de Kanagawa
Katsushika Hokusai

1. El ambiente marino y los materiales para ingeniería

8

- Estructuras más ligeras
- Formas hidrodinámicas óptimas
- Mayor velocidad de navegación
- Aumento de la carga de pago
- Disminución de la emisión de gases de efecto invernadero



1. El ambiente marino y los materiales para ingeniería

9

- Sin embargo, las soluciones adoptadas en otros tipos de industrias —como la aeroespacial o la automoción— no son directamente aplicables a las estructuras marinas
- Los requerimientos sobre los materiales y las estructuras difieren mucho de los que se encuentran en esos otros campos de aplicación
- Es necesario buscar materiales compuestos e híbridos específicamente seleccionados para las aplicaciones marinas, tanto en ingeniería naval como en ingeniería oceánica



1. El ambiente marino y los materiales para ingeniería

10

- La entrada de agua en la parte sumergida del casco de las embarcaciones (obra viva)
- Resistencia al fuego de los materiales compuestos en estructuras marinas
- Acción de la radiación UV en la superestructura y cubiertas de intemperie
- Impactos repetidos del casco sobre la superficie libre del agua durante la navegación (*slamming*)



1. El ambiente marino y los materiales para ingeniería

11

- Durabilidad condicionada por el alto contenido en humedad, la temperatura y la presencia de iones agresivos
- Efecto de fatiga debido a la acción continua del oleaje (100M de olas a lo largo de la vida en servicio)
- Bioensuciamiento (*fouling*) por organismos marinos adheridos
- Tamaño de las estructuras navales (buques) y oceánicas (aerogeneradores eólicos offshore). Métodos de fabricación



1. El ambiente marino y los materiales para ingeniería

12

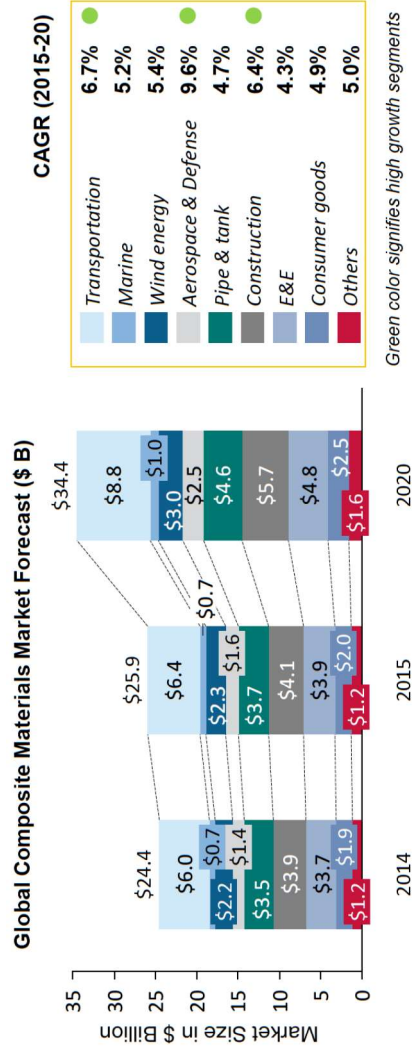
- Efecto de la degradación de los polímeros en el hábitat marino. Reciclado al final de la vida útil
- Solo el 20% de las embarcaciones son actualmente parcial o totalmente recicladas al final de su vida útil
- Es necesario desarrollar vías de reciclado de grandes estructuras marinas construidas en materiales compuestos
- La Unión Europea ha identificado el problema y ya ha emitido disposiciones legales para regular el destino final de estas embarcaciones



1. El ambiente marino y los materiales para ingeniería

13

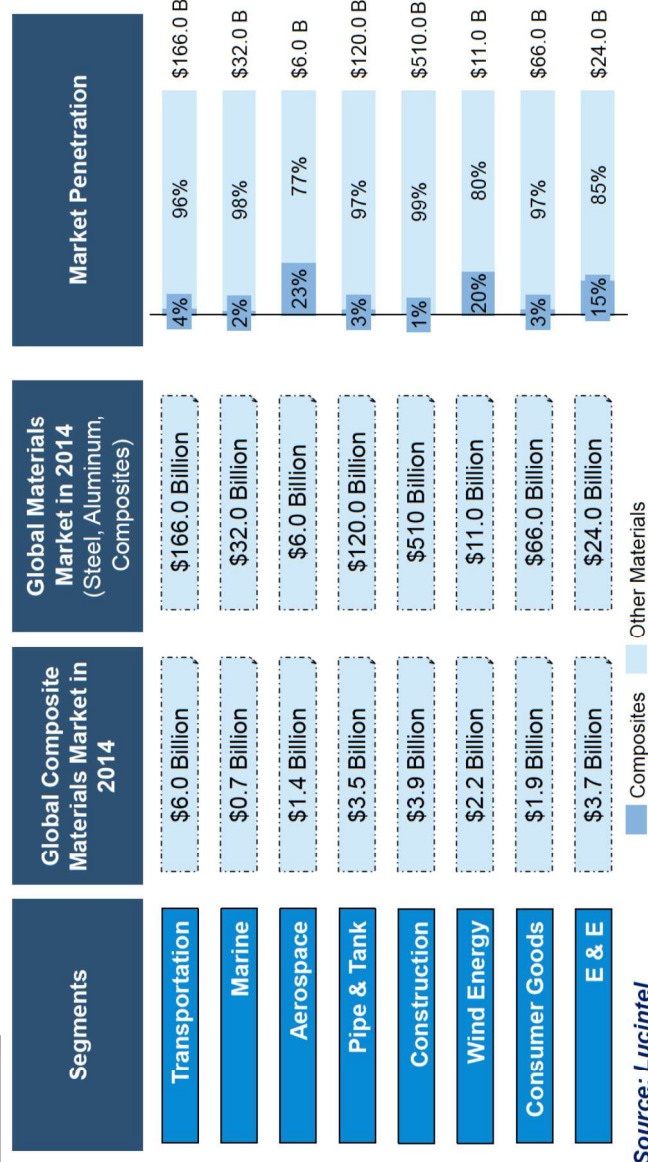
- Mercado de materiales compuestos por segmento de aplicación



1. El ambiente marino y los materiales para ingeniería

14

- Penetración de los materiales compuestos por segmento de aplicación

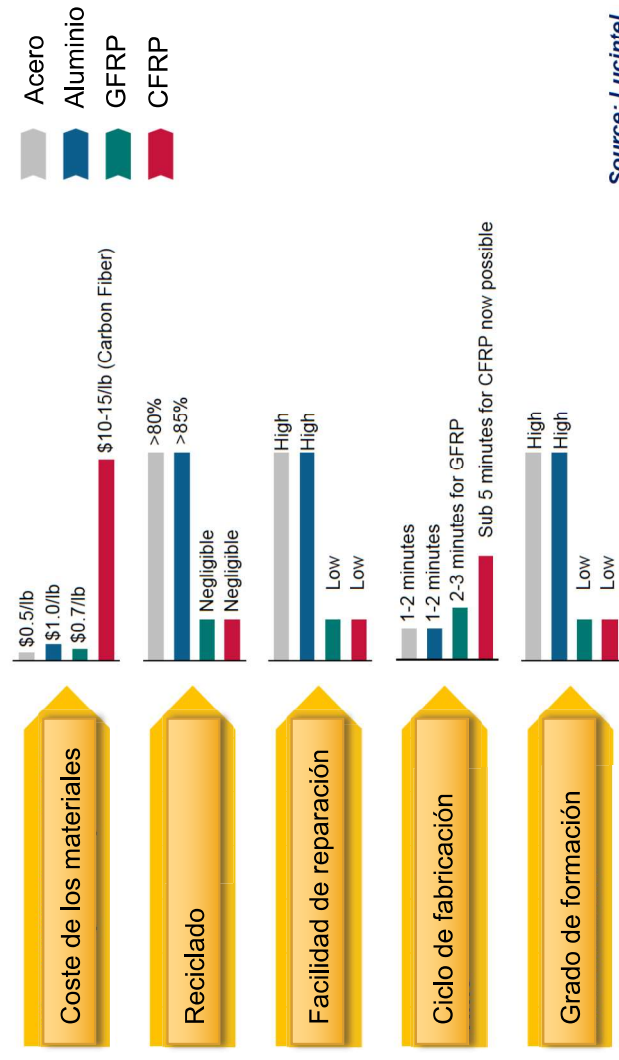


Source: Lucintel

1. El ambiente marino y los materiales para ingeniería

15

- Carencias clave de los materiales compuestos frente a acero y aluminio



2.

16

Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas

2. Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas 17

- **Necesidades del sector**
 - Estructuras más ligeras
 - Más resistentes
 - Mayor velocidad de desplazamiento
 - Menor consumo de energía

2. Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas 18

- **Necesidades del sector**
 - Bajo coste
 - Facilidad de conformado y mecanizado
 - Buena soldabilidad / tecnologías de unión
 - Propiedades conocidas
 - Muy tenaz y resistente a impactos

2. Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas 19

- **Acero, material estructural tradicional en construcción naval e ingeniería oceánica**
 - Elevada densidad
 - Corrosión
 - Tensiones residuales
 - Abolladuras por pandeo de las planchas individuales
 - Fatiga

2. Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas 20

- **Materiales estructurales alternativos para construcción naval**
 - Aceros de alta resistencia: mayor resistencia y rigidez en comparación con los aceros convencionales, permitiendo la construcción de estructuras más ligeras; por otra parte, son más difíciles de soldar y propensos a la fractura
 - Aleaciones de aluminio de alta resistencia: tienen menor densidad, pero son menos rígidas que las secciones equivalentes fabricadas en acero; mayor dificultad en la soldadura, sufren problemas de corrosión-fatiga
 - Materiales compuestos: alta resistencia específica; procesos de fabricación más caros; resistencia al impacto menor que en los materiales metálicos; problemas de absorción de agua (ósmosis) y la resistencia al fuego está sensiblemente disminuida

2. Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas 21

- Ningún material alternativo ha logrado, hasta el momento, desplazar el uso del acero como el principal material estructural para construcción naval e ingeniería oceánica
- Solo han logrado un uso limitado en aplicaciones específicas

2. Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas 22

- El empleo de materiales compuestos en aplicaciones marinas requiere una selección adecuada de materias primas y de procesos de fabricación, que en general son específicos para este sector
- Han de ser resistentes a la acción de la sal/agua, de los organismos biológicos, altas temperaturas y acción de la radiación UV
- El comportamiento frente al fuego es de vital importancia

2. Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas 23

- La mayoría de los materiales compuestos estructurales marinos están fabricados con fibra de vidrio y matriz de poliéster insaturado
- Cuando la aplicación lo requiere, y el coste es asumible, las estructuras pueden estar fabricadas con materiales compuestos con refuerzo de fibra de carbono y matriz de resina epoxi
- Otras combinaciones de matrices y fibras de refuerzo son aceptables para aplicaciones específicas

2. Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas 24

- No obstante, las fibras y matrices seleccionadas para aplicaciones marinas tienen que estar especialmente diseñadas para este medio
- Por ejemplo, las resinas de poliéster isoftálicas son la opción preferida (frente a las ortoftálicas) en aplicaciones marinas debido a su mayor resistencia a la absorción de agua, mejor resistencia medioambiental y a los productos químicos, elevada resistencia mecánica y capacidad de deformación antes del fallo, además de temperaturas de deformación más elevadas

2. Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas 25

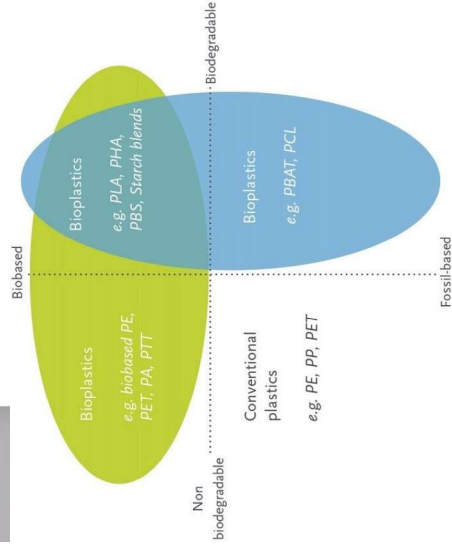
- Sin embargo estas buenas prestaciones no se consiguen sin un coste marginal más elevado. El componente clave de las resinas poliéster premium es el neopentilglicol (NPG: 2,2-dimetilpropano-1,3-diol)
- Una forma habitual de reducir los costes es utilizar resinas poliéster ortoftálicas en el espesor de los laminados y reservar la resina isoftálica para las capas más externas, en contacto directo con el agua

2. Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas 26

- Una alternativa en auge es el empleo de matrices basadas en resinas viniléster. Tienen una estructura química similar a las resinas epoxi, pero con la introducción de ciertos lugares reactivos insaturados en los extremos de la molécula se logra reducir la susceptibilidad a la hidrólisis
- Esta estructura química produce una matriz polimérica más resiliente/tenaz que la de las resinas poliéster, pero a un coste más asequible que lo que se puede obtener con matrices de base epoxídica

2. Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas 27

- Las resinas epoxi suelen reservarse a aplicaciones donde las exigencias sobre las prestaciones del material compuesto son muy elevadas, como por ejemplo palos de veleros, cascos de embarcaciones rápidas y de competición
- Existe una tendencia actual al empleo de biopolímeros como matrices para la fabricación de biocomposites, como por ejemplo: poli(succinato de butilenglicol), PBS; polihidroxialcanoatos, PHA; poli(ácido láctico), PLA. Se consigue mejorar la biocompatibilidad y la biodegradabilidad



2. Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas 28

- En cuanto a las fibras de refuerzo, también los temas de sostenibilidad han reavivado el interés en el empleo de fibras naturales, de origen animal, mineral o vegetal
- Las fibras vegetales más estudiadas con este propósito han sido el lino, el cáñamo y la ortiga (para climas suaves) junto con el yute, el fique, el kenaf y el ramio (para climas tropicales)
- Por lo demás, distintos tipos de fibra de vidrio, carbono y aramida pueden ser empleos en materiales compuestos para aplicaciones marinas, en una amplia gama de presentaciones

- **Degradación de materiales compuestos marinos**
 - Los niveles de saturación en agua varían para cada polímero
 - <0,1%: polímeros no hidrofílicos (PE, PP, siliconas)
 - <3%: grupos moderadamente hidrofílicos (poliester, policarbonato)
 - <7%: redes poliméricas fuertemente hidrofílicas (epoxi curada con aminas)
 - <10%: termoplásticos cristalinos fuertemente hidrofílicos (poliamidas)
 - Termoplásticos amorfos fuertemente hidrofílicos solubles en agua (alcohol polivinílico, poliacrilamida)

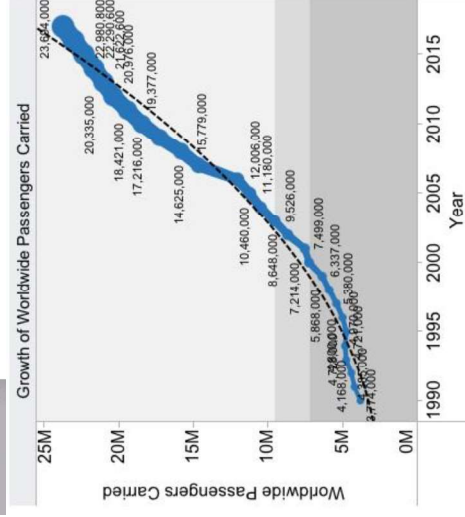
- **Degradación de materiales compuestos marinos**
 - En resinas epoxi, para cada 1% de incorporación de agua supone una caída de 20°C en la temperatura de transición vítrea
 - Osmosis y ampollamiento
 - Concentración de tensiones medioambiental
 - Bioensuciamiento
 - Cavitación erosión (1000 Mpa, 2~3 μ s)
 - Corrosión galvánica

2. Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas 31



■ Consideraciones sobre el ciclo de vida

- Implicaciones económicas y medioambientales
- Elección de los materiales no solo en base a razones técnicas, también es importante minimizar la huella ecológica
- Considerar la carga ecológica a lo largo de todo el ciclo de vida (desde la producción hasta el destino final de la embarcación) como un sobre coste que ha de ser tenido en cuenta (*Life Cycle Assessment, LCA*)



- **Consideraciones sobre el ciclo de vida**

- Microplásticos
- Materiales extraídos de fuentes marinas: algas, exoesqueletos y colágeno
- Existe un conflicto entre el diseño enfocado a la fabricabilidad y la durabilidad frente al diseño enfocado a conseguir un impacto medioambiental mínimo (especialmente al final de la vida de los materiales compuestos)



- **Comportamiento frente al fuego**

- Es uno de los principales motivos de que el empleo de los materiales compuestos se haya visto limitado en aplicaciones marinas
- Se necesitan nuevos planteamientos para abordar el tema del comportamiento global frente al fuego de las estructuras marinas fabricadas en materiales compuestos



- **Comportamiento frente al fuego**

- Un fuego en un buque o en una estructura offshore es muy peligroso –por la amenaza que supone de pérdidas económicas y de vidas humanas– debido a la naturaleza aislada de estas estructuras
- Naturaleza combustible de las matrices poliméricas
- Diseño de medidas activas/pasivas para proteger la estructura



- **Comportamiento frente al fuego**

- Ensayos de fuego para materiales compuestos para estructuras marinas, exigidos por IMO (Organización Marítima Internacional):
 - Ensayo de cono calorimétrico ISO 5660 para la evaluación de la inflamabilidad y de la emisión de humos
 - Ensayo de laboratorio, no representativo de un fuego a escala real



- **Comportamiento frente al fuego**

- Ensayos de fuego para materiales compuestos para estructuras marinas, exigidos por IMO (Organización Marítima Internacional):

- Ensayo de combustibilidad ISO 1182 para la evaluación de la inflamabilidad y de la emisión de vapores volátiles a 750°C de materiales compuestos. Aplicable a cada capa del laminado
- Ensayo de laboratorio, no representativo de un fuego a escala real



- **Comportamiento frente al fuego**

- Ensayos de fuego para materiales compuestos para estructuras marinas, exigidos por IMO (Organización Marítima Internacional):
 - Ensayo de resistencia a la llama ASTM E119 aplicable a grandes componentes de buques
 - Ensayo de inflamabilidad superficial ASTM E84
 - Ensayo de toxicidad de humos ASTM E662



■ Comportamiento frente al fuego

- Ensayos de fuego para materiales compuestos para estructuras marinas, exigidos por IMO 2010 FTP Code, Annex 1, Part 10:
- Ensayo de “esquina de recinto” ISO 9705 para la evaluación de la propagación del fuego y de la emisión de humos a escala real
- Valor máximo de la tasa de emisión calorífica menor de 500 kW durante un periodo de 30 s, valor promedio de la tasa de emisión calorífica 100 kW sin goteo, llamas de menos de 0,5 m de altura, baja emisión de humos, etc



■ Comportamiento frente al fuego

- La amenaza del fuego en las aplicaciones marinas es triple: propagación de las llamas; emisión de humos y gases tóxicos; pérdida de capacidad portante de los paneles estructurales
- La pérdida de rigidez a flexión tras la acción del fuego sobre un elemento portante puede oscilar entre el 50% y el 80% tras 600 s de exposición (fuego de keroseno)



2. Elección de materiales compuestos para aplicaciones marinas 40

- **Mejora del comportamiento frente al fuego en materiales compuestos para aplicaciones marinas**
 - La fibra de vidrio tiene una elevada conductividad térmica y conduce el calor rápidamente a capas profundas del laminado
 - La fibra de vidrio actúa como capilares que alimentan la pirólisis de la matriz polimérica (efecto “mecha de vela”)



- **Mejora del comportamiento frente al fuego en materiales compuestos para aplicaciones marinas**
 - Retardantes de llama:
 - Cargas inorgánicas retardadoras de la llama
 - Polímeros halogenados
 - Polímeros formadores de depósitos carbonosos protectores
 - Mezclas de polímeros con resistencia intrínseca a las llamas
 - Materiales híbridos fibra-metal (*Fiber-Metal Laminates*, FML)

3.

42

Uso eficiente de los materiales compuestos en estructuras marinas

3. Uso eficiente de los materiales compuestos en estructuras marinas

43

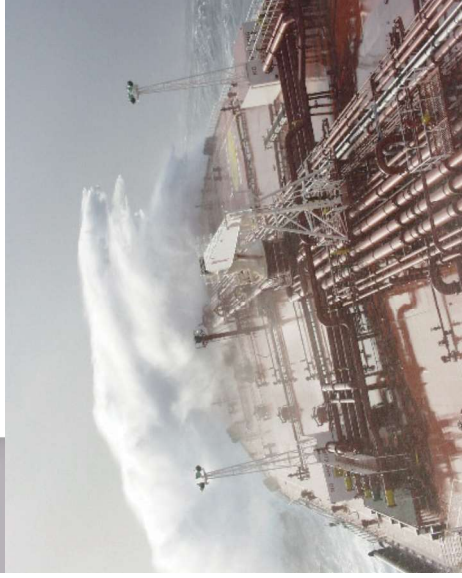
- Los costes de adquisición de una estructura marina fabricada en material compuesto son, en general, más elevados que la estructura equivalente fabricada en acero o en aluminio
- La motivación económica para usar materiales compuestos en una embarcación o artefacto marino hay que buscarla en los beneficios obtenidos a lo largo de todo el ciclo de vida (*Life Cycle Cost Analyses*, LCCA)
- Menor consumo de fuel, menores costes de mantenimiento, menores costes operativos, aumento de la carga de pago, menores emisiones de gases de efecto invernadero, etc.

3. Uso eficiente de los materiales compuestos en estructuras marinas

44

- **Objetivos generales y metodología de diseño**

- Las estructuras marinas son diseñadas tradicionalmente con procedimientos rápidos y simples, junto con factores de seguridad grandes, debido a restricciones de tiempo y coste
- En consecuencia, este planteamiento conservador de los diseños da lugar a estructuras robustas: estructuras sobredimensionadas con un nivel de seguridad mucho más elevado que el estrictamente necesario

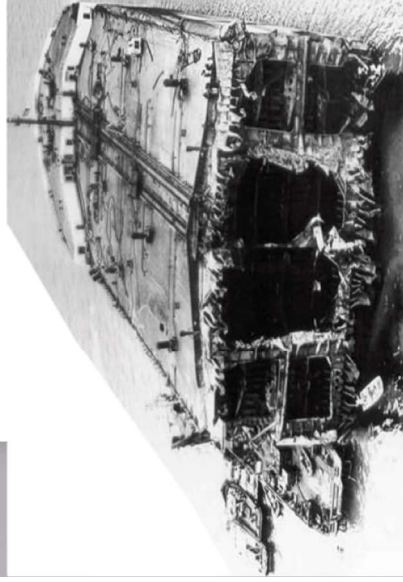


3. Uso eficiente de los materiales compuestos en estructuras marinas

45

- **Objetivos generales y metodología de diseño**

- Se identifican tres áreas donde existe la oportunidad de aumentar la eficiencia de los materiales compuestos
 1. Factores de seguridad de los materiales
 2. Caracterización de los materiales
 3. Optimización numérica de grandes estructuras en materiales compuestos
- Los tres factores están interrelacionados



3. Uso eficiente de los materiales compuestos en estructuras marinas

46

- **Objetivos generales y metodología de diseño**

- Reglas de la sociedad de clasificación de buques DNV (*Clasification of High Speed Light Craft and Naval Surface Craft*) para el “método de cálculo de laminados”

$$\varepsilon_i \leq \frac{\varepsilon_{uf}}{R}$$

Donde ε_i es la deformación en un laminado de material compuesto en la dirección i , ε_{uf} es la deformación a rotura de las fibras (un valor de diseño del material) y R es el factor de seguridad

3. Uso eficiente de los materiales compuestos en estructuras marinas

47

- **Objetivos generales y metodología de diseño**
 - En consecuencia, el cociente ε_{uf}/R representa la deformación máxima admisible (un límite operativo) que no debe ser superado por ε_i
 - Si la desigualdad no se verifica en algún punto de la estructura, el diseñador tiene tres alternativas:

3. Uso eficiente de los materiales compuestos en estructuras marinas

48

■ Objetivos generales y metodología de diseño

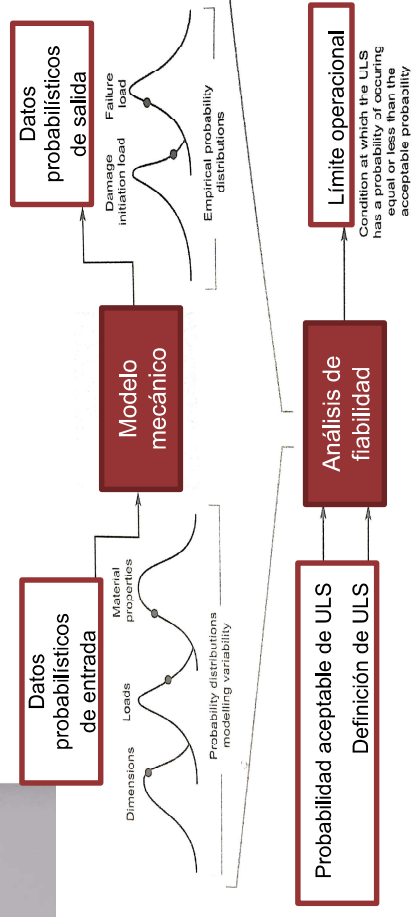
1. Modificar el diseño de la estructura para reducir ε_i : puede suponer un incremento del peso de la estructura y de los costes
2. Seleccionar un material diferente, con un valor mayor de ε_{uf} : puede suponer un incremento del peso de la estructura y de los costes
3. Demostrar que se pueden utilizar factores de seguridad, R , menores: no supone incrementos de peso o de costes, pero puede implicar tiempos de diseño y certificación más largos

3. Uso eficiente de los materiales compuestos en estructuras marinas

49

■ Factores de seguridad relacionados con los materiales

- Por la propia naturaleza de los materiales compuestos existen incertidumbres acerca de las propiedades de estos materiales
- Los factores de seguridad, R , deben ser calibrados en base a análisis de fiabilidad y modelos mecánicos. El comportamiento probabilístico de los materiales se traduce en la necesidad de amplias campañas experimentales de certificación



3. Uso eficiente de los materiales compuestos en estructuras marinas

50

- **Caracterización de materiales**

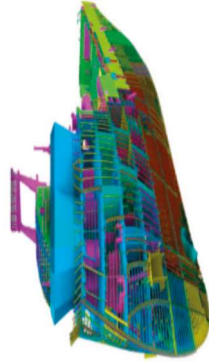
- El valor de ε_{uf} es una propiedad de diseño del material seleccionado determinada experimentalmente, con técnicas adecuadas, una amplia base de ensayos y un análisis probabilístico de los resultados
- Si las propiedades obtenidas (para cada nivel de fiabilidad buscado) no se adaptan a nuestras necesidades es necesario cambiar de material

3. Uso eficiente de los materiales compuestos en estructuras marinas

51

■ Diseño estructural

- El valor de ε_i es el resultado obtenido del análisis estructural
- Puede reducirse tanto más el valor cuanto más preciso sea el análisis realizado utilizando, por ejemplo, cálculos mediante FEM de detalles estructurales
- Puede rebajarse atendiendo al diseño cuidadoso de la estructura, buscando el diseño más ligero pero que satisfaga todos los requerimientos funcionales y económicos
- Es un problema de optimización con restricciones
- Para reducir el peso de una gran estructura realizada en materiales compuestos, ¿es más adecuado buscar diseños alternativos (optimización) o modificar las restricciones del diseño?



4.

52

Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

- **Superestructura en materiales compuestos de la fragata (La Fayette) y cascos de cazaminas**
 - Menor agrietamiento por fatiga
 - 15%-70% más ligeros que las estructuras equivalentes fabricadas en acero
 - Bajo mantenimiento/costes de reparación y alta disponibilidad del buque

- **Hélices fabricadas en material compuesto** (en comparación con las fabricadas en broces de níquel-aluminio)
 - Ahorro de peso, se reduce la corrosión y se mejora la fatiga
 - 25% de reducción en la magnitud de las vibraciones de resonancia en los motores
 - 50% de mejora en las tensiones de flexión y cortadura
 - Menores costes de mantenimiento

- **Propulsores en material compuesto** (en comparación con los fabricados en metal)
 - Menores costes en el ciclo de vida
 - Menor masa y reducción de la firma eléctrica/magnética
 - Resistencia a la corrosión mejorada
 - Mejores prestaciones a fatiga
 - Menor ruido radiado

- **Ejes de material compuesto** (en comparación con los fabricados en acero, de igual tamaño)
 - Ahorro de peso entre el 40% y el 70%
 - Menor transmisión de ruidos desde la maquinaria
 - Se reduce la firma acústica
 - Menores problemas de corrosión y corrosión fatiga
 - 25% de reducción en los costes totales en el ciclo de vida

- **Estructuras navales secundarias para maquinaria y componentes del motor** (en comparación con los fabricados en acero, de igual tamaño)
 - 10% al 40% de reducción en los costes de adquisición del motor
 - 5-20 dB de atenuación en ruido estructural/aéreo
 - Menor firma electromagnética
 - Resistencia mejorada a la fatiga y la corrosión

- **Aletas de proa, de maniobra y timones para submarinos fabricados en materiales compuestos** (en comparación con los fabricados en aluminio)
 - Más ligeras
 - Sin corrosión
 - Fabricación de formas complejas sin necesidad de mecanizado
 - Posibilidad de incorporar materiales absorbentes de la señal radar

4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

59

- **Compuertas estancas** (en comparación con los fabricados en aluminio)
 - Estancas al agua y resistentes al fuego
 - Operación electrónica y bloqueo inteligente
 - Acero inoxidable/aluminio/composite

4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

60

■ Mástiles integrados para megayates

- Alojan los equipos de ayuda a la navegación y el sistema de escape de gases de los motores
- Mástil de 10 x 10 x 10 m para un megayate de 156 m de eslora
- Dos pilares formando una T y cuatro plataformas (tres adelante una hacia atrás)
- Fabricado en fibra de vidrio y matriz viniléster
- 30% de reducción de peso respecto al diseño en aluminio



4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

61

- **Mástiles integrados para megayates**

- Es importante diseñar para adaptarse a las solicitaciones estructurales y de servicio, pero también hacer un análisis modal para obtener las frecuencias de vibración
- Diseño según la reglamentación del Lloyd's Register (Londres, Reino Unido)
- Ensayos de las muestras de material a lo largo de todo el proceso constructivo, pues el material y la estructura se fabrican a la vez



4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

62

- **Mástiles integrados para megayates**
 - Fabricación de moldes
 - 10 moldes mecanizados por CNC para la estructura completa del mástil integrado



4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

63

- **Mástiles integrados para megayates**

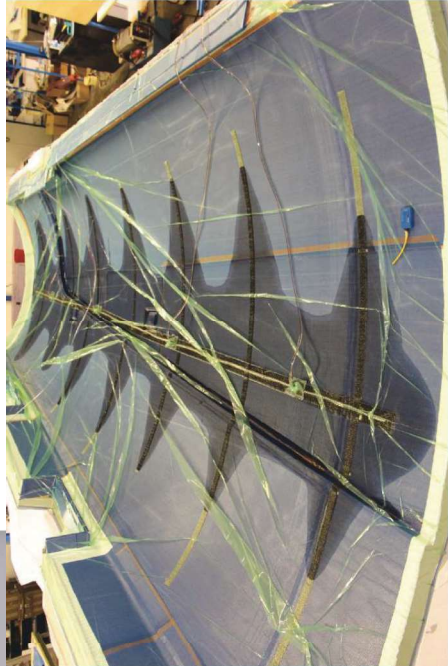
- Colocación de capas del refuerzos de fibra de vidrio (seca) y núcleo de espuma (perforada)



4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

64

- **Mástiles integrados para megayates**
 - Fabricación de la bolsa de vacío
 - Infusión de resina viniléster a vacío
 - Una sola etapa: piel-núcleo-piel
 - Curado a temperatura ambiente, sin poscurado



4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

65

- **Mástiles integrados para megayates**
 - Desmoldeo de las piezas de fibra de vidrio/viniléster obtenidas por infusión



4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

66

- **Mástiles integrados para megayates**
 - Refuerzos mecanizados por CNC, con los pasos necesarios para cables y sistemas de exhaustación de humos, a partir de paneles planos sándwich
 - Los refuerzos van pegados a la estructura del mástil



4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

67

- **Mástiles integrados para megayates**

- Transporte de piezas hasta la nave de montaje, anexa al astillero, para ensamblaje e instalación de sistemas



4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

68

- **Mástiles integrados para megayates**
 - Colocación de conductos de salida de humos y tubos para cableado



4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

69

- **Mástiles integrados para megayates**

- Erección del mástil y colocación sobre un utillaje deslizable por raíles
- Utilización de un andamiaje especial para la colocación de las cuatro plataformas del mástil



4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

70

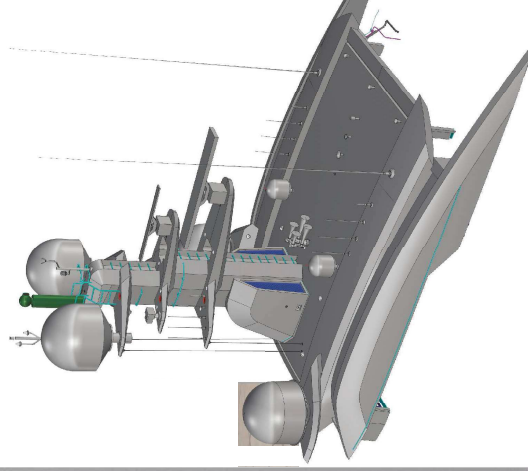
- **Mástiles integrados para megayates**

- Mástil integrado izado por una grúa para realizar labores de premontaje, instalación final de sistemas, pintura exterior y, finalmente, transporte hasta el astillero para su montaje definitivo en el yate



- **Mástiles integrados para megayates**

- Mástil integrado y toldo en fibra de carbono/epoxi, para un yate de 90 m de eslora
- El aluminio no era una alternativa viable, pues era necesario bajar el centro de gravedad para aumentar la estabilidad
- 50% de ahorro en peso



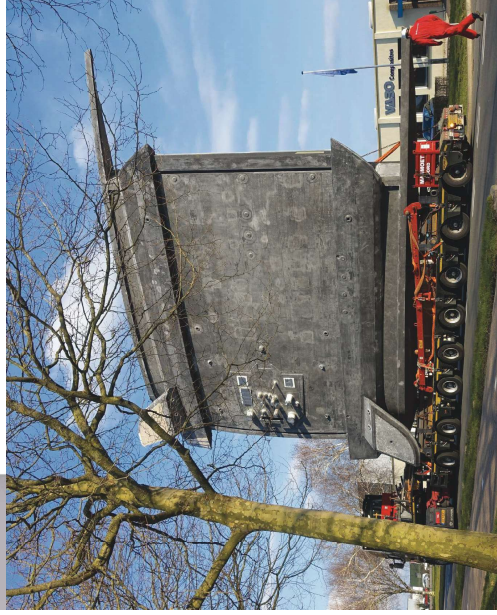
- **Mástiles integrados para megayates**

- No es posible hacer la infusión en una sola etapa, por dificultades en el flujo de resina
- Primero se fabrican las pieles con dos capas de fibra de carbono (tejido biaxial, cosidas) por infusión de resina epoxi en bolsa de vacío
- En una segunda etapa se pega el núcleo a las pieles con adhesivo epoxi
- Curado 6 h a 70°C. Necesidad de poscurado 2-3 h a 90-100°C



- **Mástiles integrados para megayates**

- Necesidad de reducir los costes de fabricación
- Series muy cortas
- Fabricar paneles planos de forma automatizada y luego cortar por CNC
- El utillaje supone más kilos de material que la propia estructura, que es usado en muy pocas unidades y que luego ha de ser reciclado
- Explorar útiles basados en materiales termoplásticos
- Estructuras impresas 3D recubiertas

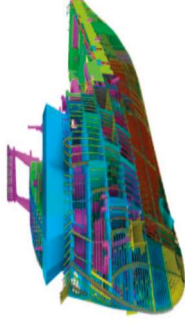
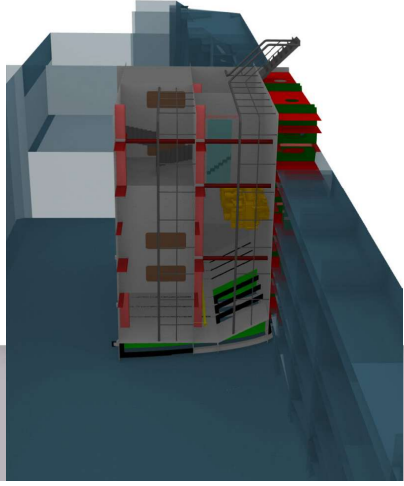


4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

74

■ FIBRESHIP

- Es uno de los proyectos de investigación más grandes financiados por la Comisión Europea, con un subvención de 9M de euros y un presupuesto total de 11M, a través del programa H2020
- Se trata de un buque diseñado de forma integral en materiales compuestos
- Se acaba de presentar un demostrador a escala real de una parte de la estructura



4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

75

■ FIBRESHIP

- Análisis de tres tipos de buque objetivo



CAT. 1: LIGHTWEIGHT COMMERCIAL VESSEL

- Buques RoRo
- Transporte de automóviles
- Multipropósito
- Congeladores
- LNG
- Transporte de madera...



CAT. 2: PASSENGER TRANSPORTATION & LEISURE

- Ferries
- Buques de pasaje
- Megayates...



CAT. 3: SPECIAL SERVICES

- Pesqueros
- Buques sísmicos
- Buques de suministro
- Buques de rescate...

4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

76

- **FIBRESHIP**
 - Materiales, Componentes y Modelización
 - Selección y análisis de materiales compuestos con refuerzo de fibra
 - Desarrollo de modelos numéricos para los materiales seleccionados
 - Prestaciones frente al fuego y la fatiga, tecnologías de unión
 - Evaluación de soluciones innovadoras: recubrimientos intumescentes basados en arcillas de caolín con nanopartículas, biomateriales o FRP basados en fibras recicladas
 - Campaña experimental extensiva (naveña escala)

SECTOR NEEDS

FIBRESHIP – Thematic Areas

PROJECT OUTCOMES



4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

77

- **FIBRESHIP**
 - Diseño e ingeniería
 - Desarrollo y ajuste de análisis acoplados de navegabilidad y elementos finitos
 - Desarrollo e implementación de modelos FEM para análisis termomecánico y de colapso estructural
 - Estudios de ingeniería sobre los buques objetivo siguiendo las recomendaciones de las sociedades de clasificación
 - Campaña experimental extensiva (mediana y gran escala)



4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

78

- **FIBRESHIP**
 - Producción y gestión del ciclo de vida
 - Desarrollo y certificación de los procesos productivos, aprovechando las instalaciones actuales de los astilleros mediante técnicas de construcción por bloques
 - Establecer las estrategias de monitorización del estado de la estructura y control del daño a largo plazo
 - Desarrollo de nuevos sistemas de inspección, reparación y mantenimiento
 - Campaña ambiental preventiva (gran escala)



4. Conceptos y sistemas avanzados en aplicaciones marinas

79

- **FIBRESHIP**
 - Mercado de buques y análisis de negocio
 - Identificación de oportunidades en el mercado de nuevas construcciones de buques
 - Soporte de análisis económico para la toma de decisiones técnicas
 - Monitorización del negocio de FIBERSHIP
 - Análisis Coste-Beneficio para los diferentes accionistas del grupo



5.

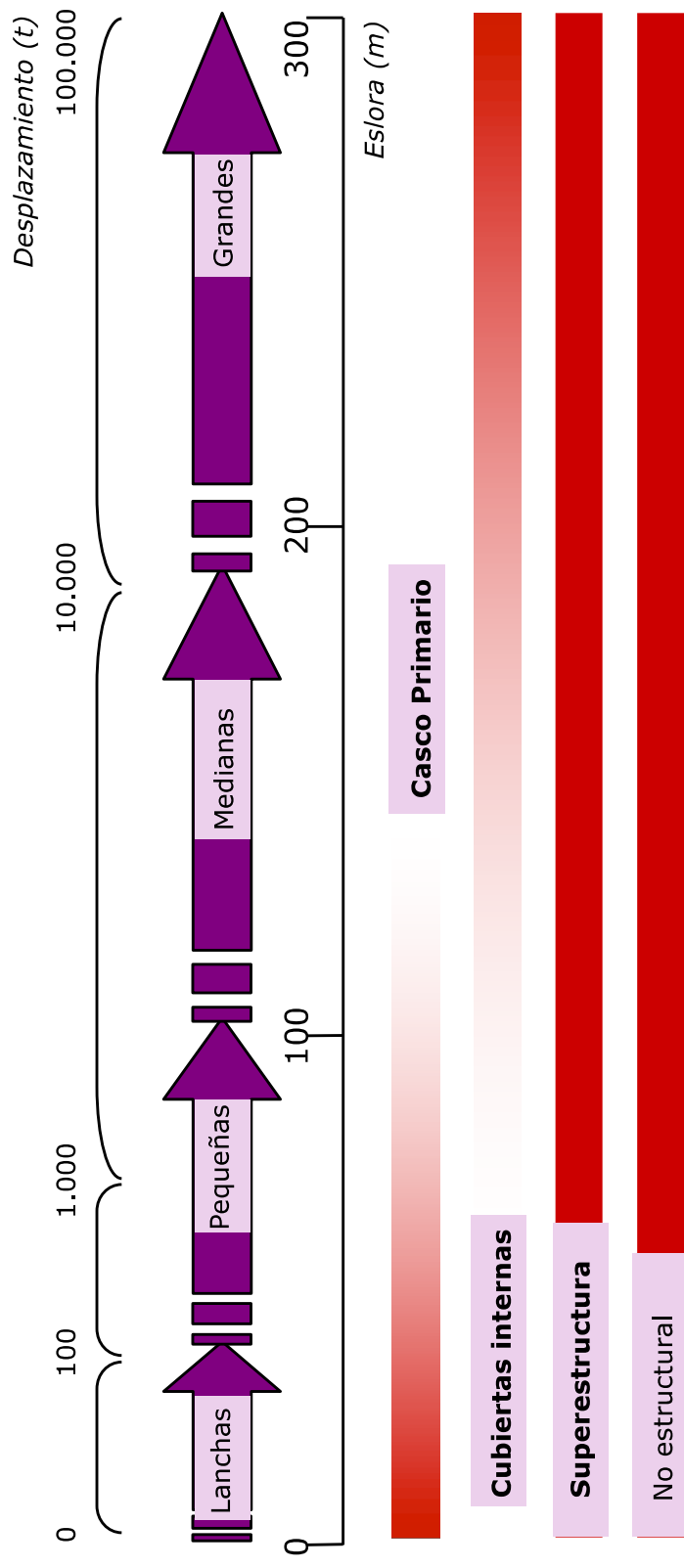
80

Materiales híbridos Fibra-Metal en estructuras marinas

5. Materiales híbridos Fibra-Metal en estructuras marinas

81

■ Limitaciones de los materiales compuestos en estructuras marinas



- **Factor crítico en el diseño:**
 - Para embarcaciones pequeñas: la resistencia a flexión. Mejora con construcciones tipo sandwich
 - Para buques medianos y grandes: resistencia en el propio plano. La construcción con paneles sandwich no ayuda

- **¿Qué son los materiales híbridos fibra-metal?**

- Materiales que combinan las ventajas de los materiales metálicos (acero, aluminio) y la de los materiales compuestos de matriz polimérica (GFRP, CFRP, ...)
- Minimizan los inconvenientes de cada material por separado
- Diseño a medida: se pueden optimizar para cada aplicación concreta

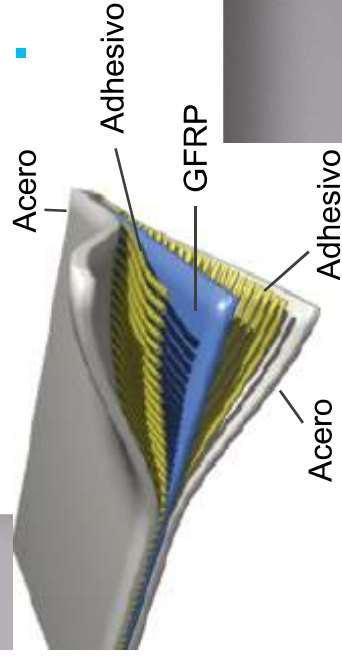
- **¿Qué propiedades se consiguen?**
 - Alta resistencia al agrietamiento por fatiga
 - Elevada resistencia residual del material dañado
 - Resistencia superior frente a impactos
 - Resistencia al fuego mejorada
 - Alivia los problemas de corrosión

- **Antecedentes en construcción naval**
 - Cascos híbridos
 - SPS, Metawell, Materiales estructurales celulares ...

- **¿Qué propiedades se busca igualar o mejorar?**
 - Peso de la estructura
 - Degradación medioambiental
 - Resistencia al fuego
 - Transmisión de vibraciones y ruidos
 - Agrietamiento por fatiga
 - Comportamiento frente a impactos y tolerancia al daño

■ Optimización de prestaciones y coste con materiales FML (*Fiber-Metal Laminates*)

- Los paneles sándwich son el epítome del concepto de material híbrido
- Proporcionar a la estructura una rigidez y resistencia elevadas con un peso lo más liviano posible
- Las caras soportan la mayoría de la carga, de manera que han de ser rígidas y resistentes
- El núcleo ocupa la mayor parte del volumen, debe ser ligero y lo suficientemente rígido y resistente para soportar las tensiones de cortadura
- El adhesivo acopla la diferencia de propiedades entre núcleo (GFRP) y caras (acero)



- **Optimización de prestaciones y coste con materiales FML (*Fiber-Metal Laminate*)**

- El material híbrido es más ligero que el acero debido a la sustitución parcial por FRP y, además, la reducción en peso es ajustable controlando el porcentaje de FRP
- Podemos controlar de manera independiente las propiedades a flexión y las propiedades en el propio plano
- Podemos diseñar el nuevo material de manera que sea isótropo o anisótropo, con propiedades reforzadas en ciertas direcciones preferentes

▪ **Objetivo de diseño de los híbridos FML (*Fiber-Metal Laminates*)**

- Específicos para cada zona de la estructura
- Por ejemplo, encontrar un material híbrido acero-composite con la misma rigidez a flexión que una plancha de acero empleada en la estructura del buque
- Representación de resultados en función del contenido en volumen de acero del material híbrido
- Resultados obtenidos para distintas combinaciones acero/composite:

- *Espesor total del laminado híbrido (d)*
- *Peso (P)*
- *Coste (C)*

- **¿Cómo se fabrican?**
 - El material metálico es conformado y sirve de molde de laminación
 - Se colocan los refuerzos de fibra en seco
 - Se introduce la matriz polimérica mediante infusión a vacío
 - Se utilizan adhesivos estructurales entre metal y compuesto

- **¿Cómo se fabrican?**
 - Se curan a temperatura ambiente o a temperaturas más elevadas, dependiendo de la resina empleada
 - Si es necesario se pueden someter a tratamientos de poscurado
 - Los bordes se rematan con piezas metálicas
 - Exteriormente solo se tiene metal
 - Protección contra la corrosión convencional

- **¿Cómo se fabrican?**
 - Posibilidad de introducir sensores basados en fibras ópticas (redes de Bragg)
 - Sistema distribuido de control de tensiones, deformaciones y daño en la estructura
 - Materiales y estructuras inteligentes

- **¿Cuáles son sus ventajas potenciales?**

- Reducción significativa del peso específico del material
- Reducción significativa del peso específico del material
- Mejora del comportamiento frente a la corrosión marina
- Mejora de la respuesta ante sobrecargas e impactos

5. Materiales híbridos Fibra-Metal en estructuras marinas

94

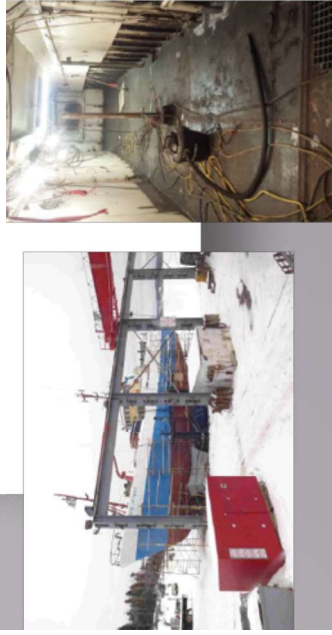
- **Intelligent engineering: SPS (Sandwich Plate System)**  intelligent engineering
 - Solitaire
 - Propietario: Allseas
 - Tipo buque: Cablero
 - Aplicación SPS: Parte alta de la bodega nº 6 de 550 m²



5. Materiales híbridos Fibra-Metal en estructuras marinas

95

- **Intelligent engineering: SPS (Sandwich Plate System)**  intelligent engineering
 - *Atlantic optimistic*
 - Propietario: Ueushuk Fisheries Ltd
 - Tipo buque: Pesquero
 - Aplicación SPS: Cubierta de 40m² severamente corroída



5. Materiales híbridos Fibra-Metal en estructuras marinas

96

- **Intelligent engineering: SPS (Sandwich Plate System)**  
 - *Aurora australis*
 - Propietario: P&O Maritime Services Pty Ltd
 - Tipo de buque: Oceanográfico
 - Problema de fatiga recurrente en la unión de un mamparo que separa tanque de combustible y de lastre.



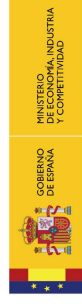
5. Materiales híbridos Fibra-Metal en estructuras marinas

97



- **Desarrollo de materiales híbridos FLM, Acero-GFRP, para aplicaciones marinas (ACERCOM)**

- Necesidad de determinar las propiedades más relevantes para la introducción de los materiales FML en la construcción naval y la ingeniería oceánica
- Proyecto RETOS-COLABORACIÓN 2016: *Laminados híbridos estructurales acero/material compuesto para aplicaciones marinas*



- **Desarrollo de materiales híbridos FLM, Acero-GFRP, para aplicaciones marinas (ACERCOM)**

- ✓ Optimización del diseño mediante la elección de la composición de FML idónea para cada zona
- ✓ Propiedades dependientes de la dirección, permite reforzar donde se necesita
- ✓ Atención especial al diseño de uniones mixtas soldadura /adhesivo

- **Desarrollo de materiales híbridos FLM, Acero-GFRP, para aplicaciones marinas (ACERCOM)**
 - ✓ Ensayos de degradación en cámara de niebla salina
 - ✓ Sin pérdida de resistencia en ensayos MMB tras 3000 h en cámara de niebla salina

- **Desarrollo de materiales híbridos FLM, Acero-GFRP, para aplicaciones marinas (ACERCOM)**

- ✓ Ensayos de resistencia al fuego. Realizados en laboratorio independiente
- ✓ Los resultados **satisfacen** los requisitos de la norma IMO MSC.307 (88) - (Código PEF 2010) Anexos 1, Partes 2 y 5 sobre niveles de producción de humo y toxicidad de los gases
- ✓ Continúan los ensayos de paneles completos

- **Desarrollo de materiales híbridos FLM, Acero-GFRP, para aplicaciones marinas (ACERCOM)**

- ✓ La seguridad frente al fuego se ve mejorada porque el material polimérico está encapsulado entre láminas metálicas, sin acceso de oxígeno, y las fibras de vidrio actúan como material refractario
- ✓ Posibilidad de introducir matrices poliméricas ignífugas
- ✓ Adhesivos para sellado y pegado específicos para la protección frente al fuego

- **Desarrollo de materiales híbridos FLM, Acero-GFRP, para aplicaciones marinas (ACERCOM)**

- ✓ Ruido y vibraciones
- ✓ Es posible conseguir una notable atenuación de ruidos y vibraciones, en comparación con planchas metálicas, introduciendo capas específicas con materiales absorbentes del sonido

- **Desarrollo de materiales híbridos FLM, Acero-GFRP, para aplicaciones marinas (ACERCOM)**
 - ✓ Resistencia a impactos
 - ✓ La resistencia al impacto es superior a la del material compuesto, ya que la cara externa es acero, con su plasticidad y tenacidad características
 - ✓ Es posible introducir además capas intermedias diseñadas específicamente para resistir

- **Desarrollo de materiales híbridos FLM, Acero-GFRP, para aplicaciones marinas (ACERCOM)**
 - ✓ Comportamiento a fatiga
 - ✓ El comportamiento a fatiga es superior debido al concepto de material multicapa, siempre que la intercara adhesiva entre las distintas capas sea diseñada
 - ✓ Las grietas de fatiga quedan puenteadas por las fibras

■ **Ventajas identificadas en los materiales híbridos FLM, Acero GFRP, para aplicaciones marinas (ACERCOM)**

- ✓ Reducción significativa del peso específico del material.
- ✓ Alargamiento de la vida a fatiga de la estructura.
- ✓ Mejora del comportamiento frente a la corrosión en ambiente marino.
- ✓ Mejora de la resistencia frente al fuego.
- ✓ Mejora de la respuesta ante sobrecargas e impactos.
- ✓ Mejora de la tolerancia al daño, mitigando los efectos de una colisión con una disipación de energía eficiente.
- ✓ Reducción de los costes de fabricación y reparación frente a los de un material compuesto convencional..

- **Fabricación de un demostrador de una estructura marina con materiales híbridos FLM, Acero-GFRP (ACERCOM)**
 - ✓ Demostrador de una estructura marina típica
 - ✓ Combinación de zonas con material híbrido FML (ACERCOM) con otras solo de acero
 - ✓ Diseño equivalente en prestaciones a la solución tradicional en acero
 - ✓ Comparativa de peso y coste

- **Fabricación de un demostrador de una estructura marina con materiales híbridos FLM, Acero-GFRP (ACERCOM)**
 - ✓ Demostrador diseño

- **Fabricación de un demostrador de una estructura marina con materiales híbridos FLM, Acero-GFRP (ACERCOM)**
 - ✓ Demostrador construcción
 - ✓ Ahorro de peso de un 43 % respecto a la estructura equivalente en acero

6.

109

**Protección frente a impactos de
slamming con capas viscoelásticas**

6. Protección frente a impactos de *slamming* con capas viscoelásticas

110

■ Impactos de baja energía debidos al *slamming*

- El fenómeno de *slamming* durante la navegación implica la aparición de fuerzas elevadas en el caso de las embarcaciones cuando éste entra en el fluido con un ángulo pequeño
- El *slamming* de una embarcación en un mar con olas es un tema de la máxima preocupación debido a cuestiones de seguridad en la navegación
- Es una causa de reducción de velocidad cuando la proa enfrenta las olas

6. Protección frente a impactos de *slamming* con capas viscoelásticas

111

■ Impactos de baja energía debidos al *slamming*

- El impacto que sufre la embarcación al golpear contra la superficie libre del agua provoca la aparición de un campo de presiones sobre la obra viva
- La estructura en su conjunto desarrolla tensiones importantes que varían rápidamente a lo largo de la navegación
- Las presiones máxima que se alcanzan en diversas partes del casco, en ciclos muy rápidos, pueden llegar a generar daños en el material compuesto



6. Protección frente a impactos de *slamming* con capas viscoelásticas

113

- **Daños debidos a *slamming* en paneles de GFRP**
 - Impacto único
 - Paneles fabricados con GFRP con curado OoA (*Out-of-Autoclave*)

6. Protección frente a impactos de *slamming* con capas viscoelásticas

114

- **Daños debidos a *slamming* en paneles de GFRP**
 - Impacto repetido
 - Paneles fabricados con GFRP con curado OoA (*Out-of-Autoclave*)
 - Dispositivo de ensayo: leva con movimiento excéntrico

6. Protección frente a impactos de *slamming* con capas viscoelásticas

115

- **Daños debidos a *slamming* en paneles de GFRP**
 - Impacto repetido
 - Evolución del daño
 - Cuantificación mediante UT C-Scan en inmersión

6. Protección frente a impactos de *slamming* con capas viscoelásticas

116

- **Daños debidos a *slamming* en paneles de GFRP**
 - Daño interno en el material
 - Grietas inter e intralaminares
 - Determinación capa a capa mediante infiltración de la zona dañada con líquidos penetrantes fluorescentes a la luz UV

6. Protección frente a impactos de *slamming* con capas viscoelásticas

117

- **Daños debidos a *slamming* en paneles de GFRP**
 - Tolerancia al daño de los materiales compuestos
 - Cambio de comportamiento detectado para presiones de *slamming* de aproximadamente 700 kN/m²
 - Esto afecta a unas ciertas zonas del casco

6. Protección frente a impactos de *slamming* con capas viscoelásticas

118

- **Protección de los paneles de GFRP mediante la inserción de capas viscoelásticas**
 - Capas obtenidas mediante tecnología aditiva, combinando dos polímeros de distinto comportamiento: uno rígido y otro viscoelástico
 - Material quasi-incompresible responde con una rigidez aparente muy elevada a medida que se comprime, cuando recibe el impacto de *slamming*

6. Protección frente a impactos de *slamming* con capas viscoelásticas

119

- **Protección de los paneles de GFRP mediante la inserción de capas viscoelásticas**
 - La capa viscoelástica se intercala durante la fabricación del laminado GFRP (OoA)

6. Protección frente a impactos de *slamming* con capas viscoelásticas

120

- **Protección de los paneles de GFRP mediante la inserción de capas viscoelásticas**
 - La capa viscoelástica protege las capas del laminado que están por debajo de ella
 - Reduce la extensión de la zona dañada

6. Protección frente a impactos de *slamming* con capas viscoelásticas

121

- **Protección de los paneles de GFRP mediante la inserción de capas viscoelásticas**
 - La velocidad de crecimiento de la zona dañada se reduce
 - La resistencia residual tras los impactos de *slamming* es superior con la protección de las capas viscoelásticas

6. Protección frente a impactos de *slamming* con capas viscoelásticas

122

- **Protección de los paneles de GFRP mediante la inserción de capas viscoelásticas: efecto de la presencia de agua**
 - Importancia de que el panel esté en inmersión cuando recibe los impactos de *slamming*
 - Cambia la distribución de presiones en la zona impactada
 - El agua penetra en las microgrietas y se modifican las propiedades del polímero

6. Protección frente a impactos de *slamming* con capas viscoelásticas

123

- **Protección de los paneles de GFRP mediante la inserción de capas viscoelásticas: efecto de la presencia de agua**
 - Reproducción realista del fenómeno de *slamming*
 - Masa de agua impactando contra el panel GFRP
 - Impulsada por un sistema neumático

7.

124

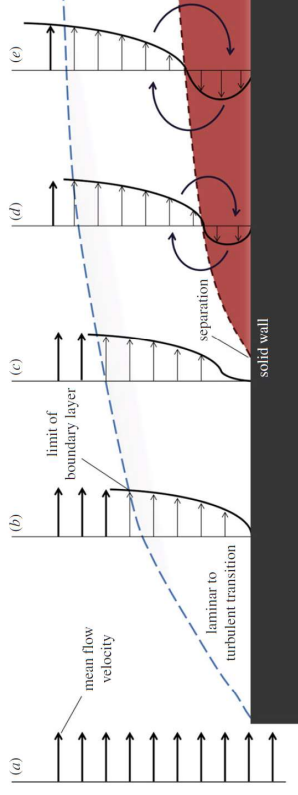
**Recubrimientos bioinspirados para la
reducción de la resistencia viscosa**

7. Recubrimientos bioinspirados para la reducción de la resistencia viscosa

125

- **Resistencia viscosa al avance de un buque durante la navegación**

- Masa de agua arrastrada por el casco del buque



7. Recubrimientos bioinspirados para la reducción de la resistencia viscosa

126

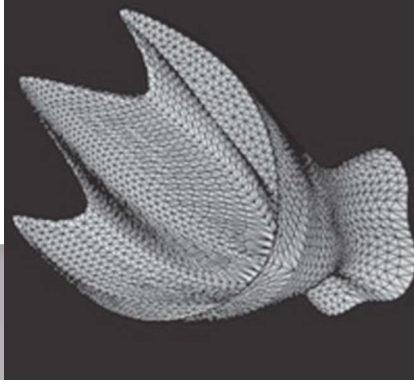
- **Estrategias para reducir la resistencia viscosa**
 - Materiales híbridos bioinspirados en la piel de los tiburones para recubrimiento de cascos



7. Recubrimientos bioinspirados para la reducción de la resistencia viscosa

127

- **Estrategias para reducir la resistencia viscosa**
 - Modelos de los denticulos para realización de cálculos fluidodinámicos



7. Recubrimientos bioinspirados para la reducción de la resistencia viscosa

128

- **Estrategias para reducir la resistencia viscosa**
 - Modelización mediante CFD del campo de velocidades del fluido alrededor de un denticulo

7. Recubrimientos bioinspirados para la reducción de la resistencia viscosa

129

- **Estrategias para reducir la resistencia viscosa**
 - Modelización mediante CFD del campo de velocidades del fluido alrededor de un denticulo

7. Recubrimientos bioinspirados para la reducción de la resistencia viscosa

130

- **Fabricación de recubrimientos bioinspirados para reducir la resistencia viscosa**
 - Preparación de dentículos mediante fabricación aditiva

7. Recubrimientos bioinspirados para la reducción de la resistencia viscosa

131

- **Fabricación de recubrimientos bioinspirados para reducir la resistencia viscosa**
 - Preparación de base de hidrogel



7. Recubrimientos bioinspirados para la reducción de la resistencia

viscosa

132

- **Fabricación de recubrimientos bioinspirados para reducir la resistencia viscosa**
 - Montaje de los dentículos sobre el hidrogel

**MUCHAS
GRACIAS**

