

Análisis del impacto ambiental del reciclaje de las embarcaciones construidas en fibra de vidrio

Trabajo Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
Toni Marí Dell'Olmo

Dirigido por:
Santiago Ordás

Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval

Barcelona, 9 de julio de 2019

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náuticas



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat de Nàutica de Barcelona



Agradecimientos

A Santiago Ordás, quien ha mostrado desde el primer día su más absoluta profesionalidad.

A Xavier Martínez García por su ayuda y conocimiento en lo que refiere a los materiales compuestos.

A los profesores y profesoras que siguen creyendo que su profesión es algo más que un simple trabajo.

A mis abuelos. Mis padres. Mi hermana. Doménica. Mis pocos, pero sobresalientes amigos.

A quien quiero y me quiere.

Gracias.

Resumen

La fibra de vidrio se encuentra en las embarcaciones de recreo en forma de material compuesto. Esto significa que, por ejemplo, el casco de una embarcación estará formado por láminas de distintos tipos de tejidos, posiblemente distintos tipos de fibras, como pueden ser el carbono o el vidrio, tejidos, recubrimientos y resinas, entre otras posibilidades.

La problemática, por tanto, de convertir el ciclo de vida de un material como la fibra de vidrio en cíclico, se torna a día de hoy desafiante legal, tecnológica y económicamente. Resulta desde un punto de vista ecológico un asunto de primer orden para la industria naval.

Existen distintos métodos para reciclar este material compuesto. La pirólisis es la estrategia más común para materiales similares, como es la fibra de carbono, obteniendo un material de unas propiedades lo suficientemente buenas como para que el reciclado sea lógico.

Sin embargo, la fibra de vidrio es un material mucho más barato, lo cual inclina la balanza hacia la compra de este material de primera mano. Se llega a la conclusión, por tanto, de que en el ámbito nacional, la problemática es principalmente legal, ya que la fibra de vidrio reciclada no tendrá cabida en el mercado a menos que se beneficie su uso desde organismos competentes o legalmente vinculantes, dando prioridad a una economía circular, como sucede en algunos países del norte de Europa.

En la actualidad, numerosas son las embarcaciones que quedan abandonadas en tierra por parte de sus dueños, los cuales para desguazarlas deben pasar por una serie de trámites burocráticos y económicos por los cuales no están dispuestos, como queda demostrado con su actuación. El abandono de barcos tiene un impacto ambiental y económico indirecto desastroso.

Abstract

Boats are constructed with fiberglass as composite material. This means that, for example, the hull of a yacht is built by laminates of different types of fibers and weaves, like carbon, glass, and resins.

There is a difficult challenge nowadays: to convert life cycle of a material like fiberglass to cyclical. It is challenging on terms of legacy, technologically and economically. Furthermore, it is a first order issue environmentally for naval industry.

There are many ways to recycle this composite. Pyrolysis is the main strategy for similar materials like carbon fibre, obtaining a material of relatively good properties making recycling a logical thing.

However, fiberglass is a really cheap material. This means that is cheaper to buy it virgin instead of recycling it. In Spain, it is a legal issue, because no one will buy it if there are no benefits from organisations, giving priority to a circular economy.

Currently, there are many abandoned boats on land. This is a problem because it is needed to do long legal and economic procedures, which never happens. The abandon of boats has a terrible environmental and economic impact.

Tabla de contenidos

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
TABLA DE CONTENIDOS	VI
LISTADO DE FIGURAS	VIII
LISTADO DE TABLAS	X
1.INTRODUCCIÓN	11
1.1 DEFINICIÓN EMBARCACIÓN DE RECREO	12
1.2 INDUSTRIA NÁUTICA	12
CAPÍTULO 2. MATERIALES COMPUESTOS	15
2.1 DEFINICIÓN MATERIAL COMPUESTO	15
2.2 MATRICES	16
2.2.1 POLÍMERO TERMOESTABLE	17
2.2.1.1. RESINAS DE POLIÉSTER	17
2.2.1.3. RESINAS VINILÉSTER	18
2.2.1.3. RESINA EPOXI	19
2.2.1.4. PROCESO DE CURADO DE LA RESINA	21
2.3 CARGAS Y ADITIVOS	23
2.4 RECUBRIMIENTOS	24
2.4.1. GELCOAT	24
2.4.2. TOPCOAT	24
2.5 REFUERZOS	25
2.5.1 MATERIALES DE REFUERZO	25
2.5.2 TIPOS DE FIBRAS DE REFUERZO	26
2.5.2.1 FIBRA DE VIDRIO	26
2.5.2.2 FIBRA DE CARBONO	29
2.5.2.3 KEVLAR	30
2.5.3 DISPOSICIÓN DE LAS FIBRAS	31
2.5.3.1 FIELTROS	31
2.5.3.2 SISTEMAS NO MALLADOS	32
2.6 NÚCLEOS	34
2.6.1 MATERIALES PARA NÚCLEOS DE SÁNDWICH	34
2.6.2 FIRE COREMAT	35
2.6.3 NIDO DE ABEJA	35
2.6.4 MADERAS NATURALES	36

2.6.4.1 MADERA DE Balsa	36
2.6.4.2 CEDRO ROJO	37
2.6.4.3 CONTRACHAPADO MARINO	37
2.6.5 ESPUMAS PLÁSTICAS	37
CAPÍTULO 3. MÉTODOS DE RECICLAJE	39
3.1 AMOLADO SIMPLE DEL SMC	39
3.1.1 MECANISMO DE MOLIENDA	41
3.2 DEGRADACIÓN QUÍMICA SELECTIVA DE FRAGMENTOS DE SMC	42
3.3 PIRÓLISIS DE FRAGMENTOS DE SMC	43
3.4 INCINERACIÓN CON RECUPERACIÓN DE ENERGÍA	44
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL	45
4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS	47
4.2 ANTECEDENTES	48
4.3 DESGUACE	49
4.3.1 PROYECTO BOATCYCLE	51
4.4 EFECTOS	52
4.4.1 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV)	55
4.5 PROPUESTAS MEJORA	58
4.5.1 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN	59
4.5.2 POLÍMEROS COMPUESTOS DE FIBRA NATURAL REFORZADA	62
4.5.2 GLOBAL REPORT ON THE DEVELOPMENT OF ECO-REINFORCEMENTS	63
4.6 EXPERIENCIAS TÉCNICAS CON LA FIBRA DE VIDRIO	67
4.6.1 CONCLUSIONES	69
5. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	73
6. CONCLUSIONES	75
BIBLIOGRAFIA	79

Listado de Figuras

FIGURA 1. NÚMERO DE MATRICULACIONES ANUALES – INFORME DE DIAGNÒSI I PROSPECTIVA DEL SECTOR DE LA NÀUTICA ESPORTIVA I D’ESBARJO A CATALUNYA (GENERALITAT DE CATALUNYA). ELABORACIÓN PROPIA.	13
FIGURA 2. EMBARCACIÓN DE RECREO ATRACADA EN EL PUERTO DEPORTIVO DE SANTA EULALIA (IBIZA). FUENTE PROPIA.	14
FIGURA 3. RESINAS POLIESTER, VINILESTER Y EPÓXICA. FUENTE: WWW.NAVALCOMPOSITES.COM	19
FIGURA 4. CURVA EXOTÉRMICA CARACTERÍSTICA DE UNA RESINA – MATERIALES COMPUESTOS (ALEJANDRO BESEDNJAK)	22
FIGURA 5. APLICACIÓN DEL TOPCOAT – FUENTE: WWW.NAVALCOMPOSITES.COM	24
FIGURA 6. EJEMPLO DE ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS – TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS	25
FIGURA 7. PROCESO DE MANUFACTURA DE SMC – SMC RECYCLING TECHNOLOGY (TOYOTA MOTOR CORPORATION).	27
FIGURA 8. EMBARCACIONES DE RECREO COMPUESTAS DE FIBRA DE VIDRIO - FUENTE PROPIA.	28
FIGURA 9. FIELTRO DE FIBRAS CORTADAS (IZQUIERDA) Y FIELTRO DE FIBRAS CONTINUAS (DERECHA) – MATERIALES COMPUESTOS (ALEJANDRO BESEDNJAK).	30
FIGURA 10. DE IZQUIERDA A DERECHA: TEJIDO CONVENCIONAL, SARGA Y SATÉN – MATERIALES COMPUESTOS (ALEJANDRO BESEDNJAK).	32
FIGURA 11. ENAMBLADO BIAxIAL – MATERIALES COMPUESTOS (ALEJANDRO BESEDNJAK)	33
FIGURA 12. DIFERENCIAS ENTRE TEJIDOS Y ENSAMBLADOS. FUENTE WWW.NAVALCOMPOSITES.COM	33
FIGURA 13. ELEMENTOS ESTRUCTURA SANDWICH – NAFEMS BENCHMARK COMPOSITE TEST R0031/3.	34
FIGURA 14. COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA SEGÚN ESPESOR – MATERIALES COMPUESTOS (ALEJANDRO BESEDNJAK)	35
FIGURA 15. FIRE COREMAT – MATERIALES COMPUESTOS (ALEJANDRO BESEDNJAK)	36
FIGURA 16. EJEMPLO DE NÚCLEO “NIDO DE ABEJA” – MATERIALES COMPUESTOS (ALEJANDRO BESEDNJAK)	37
FIGURA 17. MADERA Balsa ” – MATERIALES COMPUESTOS (ALEJANDRO BESEDNJAK)	38
FIGURA 18. ESPUMAS – MATERIALES COMPUESTOS (ALEJANDRO BESEDNJAK)	40
FIGURA 19. PROCESO DE RECICLAJE DE UN VEHÍCULO – SMC RECYCLING TECHNOLOGY (TOYOTA MOTOR CORPORATION).	40
FIGURA 20. TECNOLOGÍA DE RECICLAJE DE LA RESINA – SMC RECYCLING TECHNOLOGY (TOYOTA MOTOR CORPORATION).	40
FIGURA 21. EQUIPAMIENTO DE GRANULARIDAD – SMC RECYCLING TECHNOLOGY – (TOYOTA MOTOR CORPORATION).	41
FIGURA 22. GRANULARIDAD DEL MATERIAL SMC - SMC RECYCLING TECHNOLOGY – (TOYOTA MOTOR CORPORATION).	42
FIGURA 23. PROCESO Y RESULTADOS DE APLICAR LA PIRÓLISIS EN UN ALA DE UN MOLINO DE VIENTO. FUENTE: WWW.REFIBER.COM	43
FIGURA 24. INCINERADORA EN ALEMANIA – FUENTE WWW.SOGAMA.GAL	44
FIGURA 25. DERRAME DE HIDROCARBUROS EN LA COSTA DE CHILE. FUENTE: WWW.RADIODELMAR.CL	46
FIGURA 26. EMBARCACIÓN DE RECREO ABANDONADA EN LA ISLA DE IBIZA - FUENTE PROPIA.	48
FIGURA 27. BARCO ABANDONADO EN IBIZA - FUENTE PROPIA.	49
FIGURA 28. DESGUACE DE UN VELERO EN PORT MARINA PALAMÓS (GIRONA). FUENTE: WWW.FUNDACIONMAR.ORG	50
FIGURA 29. DESGUACE DE UNA EMBARCACIÓN SEMIRRÍGIDA EN TORDERA EN 2011. FUENTE: WWW.FUNDACIONMAR.ORG	51
FIGURA 30. EMBARCACIONES DE RECREO ATRACADAS Y EN MARINA SECA, IBIZA, DONDE CON UN SISTEMA DE ELEVACIÓN NÁUTICO FORKLIFT, SE IZAN BARCOS DE HASTA 10 TONELADAS - FUENTE PROPIA.	53

FIGURA 31. DESTRUCCIÓN PARA EL POSTERIOR RECICLAJE DE UNA EMBARCACIÓN DEDICADA A LA PESCA. FUENTE: DRASSANES NICOLAU.	54
FIGURA 32. EMBARCACIÓN DE RECREO ABANDONADA - FUENTE PROPIA.	55
FIGURA 33. EMBARCACIONES DE RECREO ABANDONADAS EN LA ISLA DE ÍBIZA - FUENTE PROPIA.	59
FIGURA 34. COMPARATIVA DE ACCIONES POSIBLES CUANDO FINALIZA EL CICLO DE VIDA DE UNA EMBARCACIÓN DE RECREO – ELABORACIÓN PROPIA.	60
FIGURA 35. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS POR CÓDIGO LER. FUENTE: WWW.BOE.ES	61
FIGURA 36. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS POR CÓDIGO LER. FUENTE: WWW.BOE.ES	62
FIGURA 37. FIBRA DE LINO (IZQUIERDA) Y FIBRA DE CARBONO RECICLADA (DERECHA). FUENTE: GLOBAL REPORT ON THE DEVELOPMENT OF ECO-REINFORCEMENTS.	64
FIGURA 38. ESTRUCTURA SUPERFICIAL TÍPICA DE FIBRA DE LINO Y DE CARBONO OBTENIDA EN EL LABORATORIO DLR MEDIANTE UNA MÁQUINA DE CARDADO EN SECO. FUENTE: GLOBAL REPORT ON THE DEVELOPMENT OF ECO-REINFORCEMENTS.	65
FIGURA 39. VELERO ABANDONADO EN IBIZA, ISLAS BALEARES - FUENTE PROPIA.	67
FIGURA 40. FIBRA DE VIDRIO CON COMPUESTO PP EXTRUIDO. FUENTE: WWW.FUNDACIONMAR.ORG	68
FIGURA 41. DESTRUCCIÓN DE UNA EMBARCACIÓN PARA SU POSTERIOR RECICLAJE. FUENTE: DRASSANES NICOLAU.	69
FIGURA 42. TRANSPORTE DE UNA EMBARCACIÓN DESGUAZADA PARA SU POSTERIOR RECICLAJE. FUENTE: DRASSANES NICOLAU.	70
FIGURA 43. PARTE DEL EQUIPO DE THERMAL RECYCLING OF COMPOSITES PONIENDO A PRUEBA SU TECNOLOGÍA. FUENTE: WWW.TRCSL.COM	71
FIGURA 44. RESIDUOS DE FIBRA DE CARBONO. FUENTE: WWW.TRCSL.COM	72
FIGURA 45. FIBRA DE CARBONO OBTENIDA MEDIANTE LA TECNOLOGÍA REFIBER. FUENTE: WWW.TRCSL.COM	72
FIGURA 46. IMAGEN DEL PUERTO DE IBIZA. FUENTE PROPIA.	77

Listado de Tablas

Tabla 1. Comparativa entre las principales propiedades de las resinas epoxis más utilizadas – Miravete (1990)	20
Tabla 2. Tabla comparativa de las resinas anteriores – Fuente propia.	21
Tabla 3. Comparativa de las propiedades según espesor. Elaboración propia.	35
Tabla 4. Precio medio para desguazar una embarcación de recreo.	52
Tabla 5. Valoración económica del proyecto. Fuente: Elaboración propia.	73

1. Introducción

La humanidad está haciendo uso de los recursos naturales como si no hubiera un mañana. Pero la imposibilidad de tener un crecimiento infinito en un planeta finito se está volviendo cada vez más presente en nuestra vida cotidiana. En los dos últimos siglos, el ser humano ha tratado al medio ambiente como un sistema de abastecimiento ilimitado. Sin embargo, la naturaleza nos recuerda, poco a poco, que esto no es posible.

El desarrollo de la sociedad se ha logrado mediante la búsqueda de nuevas técnicas y conocimiento científico. El sistema económico contemporáneo está basado fuertemente en el consumismo. Las acciones gubernamentales y privadas deben tomarse con el fin de incrementar la conciencia sobre la reducción, reutilización y reciclaje de los recursos de la Tierra. No es suficiente con el uso de recursos renovables para obtener material medioambientalmente amigable. Cualquier material primario de la agricultura también está relacionado con una huella ecológica, requiriendo de agua limpia, fertilizantes, y tierra en condiciones.

Considerando que los plásticos están expandidos en nuestras vidas, se debe llevar a cabo una eliminación de desechos plásticos del medio ambiente. Este hecho sería relevante para la preservación de la vida en la Tierra y aseguraría la supervivencia de las generaciones venideras. Podemos encontrar esfuerzos en esta dirección en la industria automotriz, por ejemplo. Diversos autores establecen que la industria del automóvil, en el año 2000, estimó ser el mercado más amplio de materiales compuestos.

La industria naval siempre ha sido pionera en cuanto a materiales compuestos se refiere. Este hecho se debe a los retos a los que se ha debido enfrentar un ingeniero naval por ser el medio marino absolutamente distinto al terrestre.

Esta particularidad, junto con todas las que conlleva, han requerido de innovaciones técnicas que han provocado un claro avance para el resto de industrias que usan materiales compuestos.

Sin embargo, el gran crecimiento de la industria automovilística, entre otros, ha avanzado una problemática la cual era cuestión de tiempo que llegase: el fin del ciclo de vida de un material compuesto.

La economía lineal triunfante del siglo XX no es aceptable ni permisible en un mundo de grandes avances tecnológicos los cuales permiten llevar a cabo ideas que hace escasos lustros eran sueños.

La preocupación social por la sostenibilidad es, además de lógica, considerable, y los materiales compuestos, entre los que se encuentra la fibra de vidrio, no quedan exentos de este fenómeno.

Estos materiales presentan una serie de particularidades que los hacen más difícilmente reciclables. Además, las embarcaciones de recreo no están amparadas por una ley a nivel estatal que obligue al reciclaje de éstas. Como se verá más adelante, estas circunstancias, entre otras, presentan un panorama desafiante tecnológica, económica y legalmente.

1.1 Definición embarcación de recreo

Se conoce como embarcación de recreo a cualquier tipo de embarcación, con independencia de sus medios de propulsión, destinada a fines deportivos o de ocio.

Estas embarcaciones pueden tener ánimo de lucro cuando son alquiladas por terceros. Sin embargo, no podrán realizar actividades de transporte de carga o pasajeros, ni de pesca comercial.

A nivel estatal, toda embarcación debe disponer de su correspondiente matrícula para estar sujeta a la legislación española. Dichas matrículas, entre otras, se componen de listas según su actividad a desarrollar. Para uso recreativo o deportivo se clasifican en:

- Lista 6ª: se registrarán las embarcaciones deportivas o de recreo que se exploten con fines lucrativos.
- Lista 7ª: se registrarán los buques y embarcaciones cuyo uso exclusivo sea la práctica del deporte o recreo, sin propósito lucrativo o la pesca no profesional.

Quedan exentas de matriculación las embarcaciones de recreo menores de 2,5 metros y los artefactos flotantes con independencia de su eslora.

Toda embarcación comprendida entre los 2,5 metros y 24 metros de eslora destinada al recreo debe matricularse en el Registro General de Buques en una de las dos listas disponibles. El proceso de matrícula asigna al barco un código alfanumérico único que lo liga a un puerto de matrícula.

1.2 Industria náutica

El sector de la náutica de recreo se divide principalmente en dos negocios en su perspectiva industrial:

- Construcción de embarcaciones.
- Repair y refit (reparación, mantenimiento y transformación).

En Cataluña, este sector está compuesto por 66 empresas, las cuales facturan 150 millones de euros, dando trabajo a unas 2.000 personas. De estas cifras, 30 empresas, 800 trabajadores y 67 millones de euros corresponden a la construcción de embarcaciones.

El mercado mundial de la náutica de recreo, pese a ser muy dependiente de los ciclos económicos, se encuentra en auge y con previsiones de mantener su tendencia alcista, tanto en mercados consolidados como Estados Unidos y Europa, como en mercados emergentes, como América Latina, Europa del Este, África o los Emiratos Árabes.

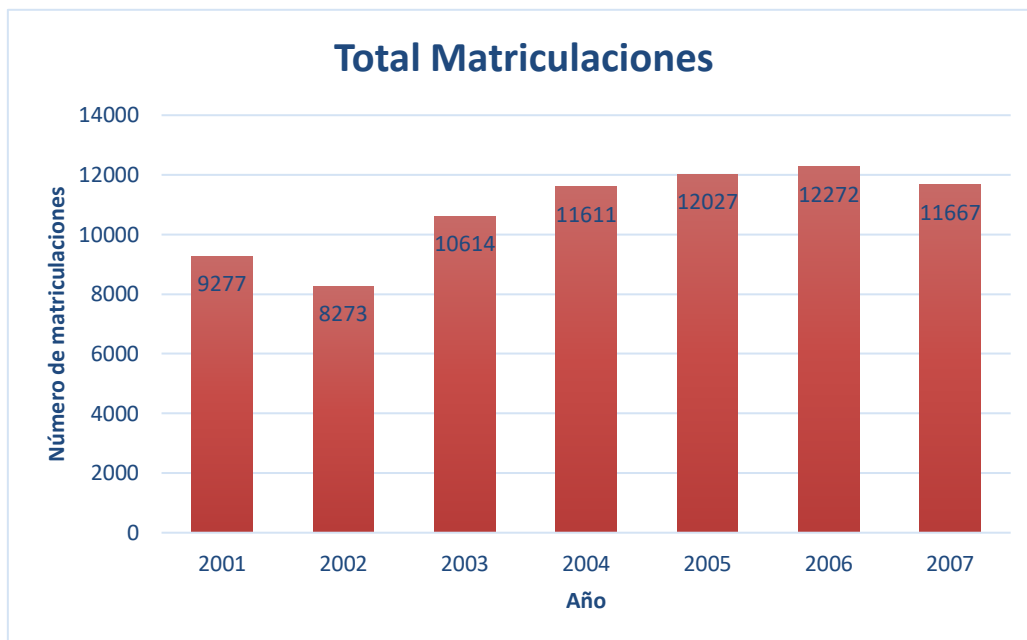


Figura 1. Número de matriculaciones anuales – Informe de diagnòsi i prospectiva del sector de la nàutica esportiva i d'esbarjo a Catalunya (Generalitat de Catalunya). Elaboración propia.

Del total de embarcaciones matriculadas, se calcula que en España el 80% de éstas son embarcaciones rígidas. Del 20% restante, el 12% aproximadamente consiste en embarcaciones neumáticas y el 8% en embarcaciones semirrígidas.



Figura 2. Embarcación de recreo atracada en el Puerto Deportivo de Santa Eulalia (Ibiza). Fuente propia.

España tiene 7.880 km de costa. Sin embargo, tiene escasez de amarres. El litoral cuenta con aproximadamente 330 puertos deportivos y 110.000 amarres, mientras que la flota total de embarcaciones llega a las 200.000 unidades.

Entre Baleares (21%), Valencia (14%) y Cataluña (14%) ocupan prácticamente la mitad de puertos deportivos a nivel estatal.

Capítulo 2. Materiales compuestos

2.1. Definición material compuesto

Se define un material compuesto como la combinación de dos o más materiales a través de una unión, química o no, formando una composición que mejora las propiedades que presenta cada material por sí mismo.

Cada material es heterogéneo, lo cual se traduce en que esta composición no se encuentra mezclada ni disuelta completamente, sino que cada material se identifica físicamente. La heterogeneidad de los materiales hace que puedan ser anisotrópicos, es decir, que sus propiedades varíen en función de la orientación del material de refuerzo.

Cabe destacar que un material compuesto debe estar formado por dos o más fases física o químicamente distintas, en una disposición adecuada y separados por una interfase. Valga como ejemplo un material cerámico, el cual, pese a estar compuesto por distintos elementos, no es un material compuesto ya que es homogéneo.

Al estudiar un material compuesto, se distinguen dos fases. Por una parte, la fase continua, la cual se constituye de la *matriz*, que actúa como ligante. Por otra parte, la fase discontinua o *refuerzo*, la cual actúa como elemento resistente.

En la industria naval, los materiales compuestos combinan las fibras de refuerzo con resinas, resultando sus propiedades en una combinación de las propiedades de estos componentes.

Las propiedades de los materiales compuestos se definen según las características de la fibra, de la matriz, de la orientación y forma de las fibras en el compuesto, así como de la proporción de fibra y resina, entre otras.

Entre las características principales de los materiales compuestos, destacan su elevada resistencia mecánica y baja densidad, permitiendo la elaboración de estructuras resistentes a la vez que ligeras.

En cuanto a los **tipos de materiales compuestos**, en función de su matriz, los materiales se clasifican en:

- Materiales compuestos de matriz metálica (MMC).
- Materiales compuestos de matriz cerámica (CMC).
- Materiales compuestos de matriz polimérica (PMC).

En lo que a construcción de embarcaciones de recreo se refiere, se utilizan los materiales compuestos de matriz polimérica. Se destacan las siguientes características de ellos:

- Excelentes propiedades mecánicas.
- Alta resistencia a la corrosión.
- Gran resistencia frente a agentes químicos.
- Elevada capacidad de moldeo.

En este tipo de material compuesto, la matriz la forma un polímero, mientras que el refuerzo consiste en algún tipo de fibra, pudiendo ser orgánica o inorgánica.

También se pueden dividir en termoestables, los más utilizados en la industria naval, y termoplásticos.

Los materiales compuestos también se pueden clasificar según la **forma del refuerzo**. Estos serían:

- Compuestos reforzados por partículas.
- Compuestos reforzados por fibras.
- Compuestos estructurales.
- Compuestos reforzados con partículas.

2.2 Matrices

Se conocen distintos tipos de matrices, entre las que destacan las metálicas, cerámicas, y poliméricas. En la industria naval y, específicamente, en el sector de las embarcaciones de recreo, las matrices ampliamente extendidas son las matrices poliméricas.

Estas matrices son utilizadas tanto para la construcción de cascos como para cubiertas e incluso mástiles.

Las matrices poliméricas están formadas por polímeros que se pueden clasificar según:

- Polímeros naturales: celulosa, seda, caucho natural, y lana, entre otros.
- Polímeros sintéticos: destacan los plásticos, pinturas y recubrimientos, resinas y pegamentos, entre otros.

Los polímeros también pueden clasificarse según su comportamiento térmico:

- Termoplásticos: son aquellos que al aumentar su temperatura se transforman en fluidos. Resultan interesantes si se busca cierto grado de maleabilidad, volviendo a su estado sólido previo con una nueva forma.
- Elastómeros: son aquellos formados por cadenas moleculares con un elevado grado de movimiento molecular, es decir, con gran flexibilidad.
- Termoestables: son materiales que, una vez finalizado el proceso de fusión y solidificación, se convierten en materiales rígidos que no vuelven a fundirse. No permiten, por tanto, ser moldeados, ya que su estructura molecular resulta más rígida. A temperatura ambiente tienen gran dureza y fragilidad.

Las matrices poliméricas termoestables son las más utilizadas en el sector naval. Uno de los principales motivos es económico, ya que las resinas curan a temperatura ambiente, por lo que estas matrices no requieren de grandes inversiones en moldes o controladores de temperatura.

Las matrices poliméricas termoplásticas son utilizadas en determinadas ocasiones en el sector naval, como puede ser la fabricación de piezas pequeñas.

2.2.1 Polímero termoestable

Es aquel que no fluye ni reblandece una vez curado por más que aumente su temperatura, llegando antes a un estado de descomposición que de fluidez. Se caracteriza, también, porque no hay una sustancia química capaz de disolverlo.

Inicialmente, una matriz termoestable se encuentra en forma líquida viscosa y, tras una reacción de endurecimiento, transcurre por un estado de gel, convirtiéndose finalmente en sólido. Esto se conoce como estado de reticulación, el cual define la resistencia y fragilidad a la temperatura final.

El grado de reticulación es un factor a tener muy en cuenta cuando se va a transformar un producto compuesto por matrices termoestables, ya que a mayor grado de reticulación, mayor resistencia térmica y mayor fragilidad, así como menor capacidad de alargamiento a la rotura, de absorción de energía y resistencia química.

Las ventajas más importantes que ofrece una matriz termoestable en un material compuesto son:

- Elevada rigidez.
- Bajo peso.
- Alta estabilidad térmica.
- Gran estabilidad dimensional.
- Resistencia a la fluencia.
- Resistencia a la deformación bajo carga.
- Excelente aislante térmico y eléctrico.

Existen distintos tipos de matriz termoestable. Las resinas más comunes en la industria naval son las siguientes:

- Resinas poliéster.
- Resinas viniléster.
- Resinas epoxi.

2.2.1.1. Resinas de poliéster

La resina de poliéster es la más extendida dentro del grupo de las matrices termoestables. Es, además, la más utilizada en la construcción de embarcaciones en serie. Referente al resto de matrices, es la que resulta más barata, razón por la cual se encuentra tan extendida.

La resina de poliéster se presenta como una resina con una baja temperatura de transición vítrea, entendiendo este concepto como la temperatura a la que se da una especie de transición termodinámica donde el polímero disminuye su densidad, dureza y rigidez, siendo un punto intermedio entre el estado fundido y rígido del material.

Como desventaja, cabe destacar que, durante el endurecimiento, éstas resinas se contraen entre un 6% y un 10%.

Su viscosidad a temperatura ambiente es de 300 cPs para resinas de laminados manuales, y alrededor de 100 cPs para resinas de infusión. El acelerador es conocido como octoato de cobalto, mientras que al catalizador se le denomina mek (metil-etil-cetona) peróxido.

La resina de poliéster tiene su punto de ebullición alrededor de los 60°C. El estireno, su disolvente, inflama a los 33°C. Por ello, se aconseja guardar las resinas lejos de cualquier punto potencialmente inflamable. La resina de poliéster caduca alrededor de los seis meses. Al abrir el envase, la vida del producto disminuye en gran medida. Es conveniente evitar altas temperaturas, así como la exposición al Sol directa y la humedad.

La resina poliéster puede clasificarse en distintos tipos, según la naturaleza de sus monómeros o, lo que es lo mismo, el tipo de ácidos y alcoholes que la fundamentan. Se distingue en:

- Ortoftálica: es la que tienen un menor coste, así como la más común. Pueden llegar a absorber hasta un 2,5% de agua en inmersiones prolongadas. Tiene un uso general.
- Isoftálica: con mejores propiedades mecánicas y mejor resistencia a ambientes marinos que la ortoftálica. En el ámbito naval, los *gelcoats* son un ejemplo de resina de poliéster isoftálica.
- Bisfenólicas: es la que tiene mejores propiedades, tanto mecánicas como químicas, de las resinas de poliéster. Resultan ser las más caras. Es la resina más preparada para ambientes corrosivos.

2.2.1.3. Resinas viniléster

En cuanto a propiedades se refiere, este tipo de resina se encuentra entre la de poliéster y la de epoxi, ya que tiene un tiempo de curado corto (propiedad de la resina poliéster) a la vez que buenas propiedades físico-químicas (como la resina epoxi).

Se elabora a través de una reacción de poliadición, en la que una resina epoxi se mezcla con un ácido insaturado acrílico o metacrílico, generando una insaturación en su cadena.

Al igual que sucede con la resina de poliéster, el material resultante se disuelve en estireno, reduciendo así su viscosidad con el fin de obtener mayor facilidad de uso.

La resina viniléster mejora en propiedades mecánicas, químicas y térmicas a la de poliéster, gozando además de un elevado grado de resiliencia, entendiendo el concepto como la energía de deformación que puede ser recuperada de un cuerpo deformado cuando cesa el esfuerzo que la causa. Además, su propiedad de resistencia a la fatiga resulta excelente y la contracción durante el curado es de un 1%, mucho menor que en la resina poliéster.

Al igual que sucede con la resina de poliéster, durante el proceso de moldeo, la impregnación y manipulación de esta resina es posible gracias a su grado de viscosidad. También presentan buenas características de adhesión sobre las fibras de refuerzo y, aunque no son auto-extinguibles por naturaleza, presentan buena resistencia al fuego.

Su uso se encuentra ampliamente extendido en la industria naval en la construcción de embarcaciones de recreo, así como en la construcción de pequeñas piezas en constante contacto con el agua de mar.

Esta resina, en combinación con la de poliéster, se aplica en las primeras capas de laminado con el fin de evitar osmosis. También se aplica en la fabricación de tanques, depósitos, tuberías y demás elementos que demanden buena resistencia química.

Sin embargo, cabe mencionar que esta resina es menos utilizada que la de poliéster, al resultar más cara.

2.2.1.3. Resina epoxi

Comparativamente a las anteriores, es la que mejores propiedades físicas y mecánicas tiene. Estas características se producen gracias a sus materiales compuestos de excelente calidad.

Su buena capacidad de adhesión facilita mejores laminados con un elevado porcentaje de fibra.

Esta resina es termoendurecible. Se basa en los epóxidos (habitualmente bisfenol A), los cuales endurecen por poliadición al reaccionar con los agentes de curado, estos normalmente, anhídridos difuncionales o aminas. Por ello, según el tipo de epóxido y el agente de reticulación, la resina tendrá unas características finales determinadas.

Tiene mayor dureza que la resina de poliéster, pudiendo por tanto operar a mayor temperatura. Necesita aportación de calor externo para que cure, mediante un proceso de curado o pos-curado.



Figura 3. Resinas Poliester, Vinilester y Epóxica. Fuente: www.navalcomposites.com

La resina epoxi se clasifica según su estructura química:

- TGMDA (tetraglicidil metilen dianilina): con una elevada densidad de endurecimiento da lugar a un alto valor del módulo de Young, así como a una alta temperatura de servicio.
- DGEBA (diglicidil éter de bisfenol A): la más utilizada en la actualidad. Se elabora por reacción de bisfenol A con epiclorohidrina. Su curado tiene mayor deformación a rotura, así como menor absorción de agua.
- Fenol-formaldehído epoxi novolaca: cura a mayor densidad de entrecruzamiento que TGMDA. La adición de Novolaca a la formulación de la resina incrementa su Tg al tiempo que disminuye la deformación de rotura.

La principal diferencia entre las moléculas es que las TGMDA y las novolacas curan a una densidad de entrecruzamiento mayor que la de epoxi Bisfenol A, la cual presenta altos valores de módulo de Young y temperatura de transición vítrea (Tg), pero bajos valores de deformación de rotura.

Tipo de resina epoxi	Propiedad característica
TGMDA	Alto módulo de elasticidad Baja deformación a rotura Alta temperatura de servicio
DGEBA	Menores propiedades mecánicas que la TGMDA Mayor deformación a rotura Menor absorción de agua
Fenolformaldehído epoxi novolaca	Menor deformación a rotura

Tabla 1. Comparativa entre las principales propiedades de las resinas epoxis más utilizadas – Miravete (1990)

Propiedades a destacar de la resina epoxi:

- Excelentes propiedades mecánicas a temperaturas inferiores a los 180°C.
- Elevada resistencia a los agentes químicos.
- Buena resistencia a los agentes corrosivos.
- Baja concentración durante el curado (0-1%).
- Buenas propiedades eléctricas y térmicas.
- Buen aislante eléctrico.

- Viscosidad elevada.
- Humectación y adherencia óptima.

A continuación se muestra una tabla comparativa de las características principales de los distintos tipos de resina termoestable.

Resina	Densidad	Resistencia a la tracción	Módulo de elasticidad	Contracción volumétrica	Alargamiento a la rotura	Resistencia térmica	Viscosidad
Poliéster	1,22	60/85 Mpa	4,2/4,8 Gpa	7-9%	2,5%	60/130 °C	350/1000 cps
Viniléster	1,12	81 Mpa	3,3/3,5 Gpa	3-6%	6%	100/140 °C	350/500 cps
Epoxi	1,10	90 Mpa	7 Gpa	1,5%	1,5%	60/200 °C	350/900 cps

Tabla 2. Tabla comparativa de las resinas anteriores – Fuente propia.

2.2.1.4. Proceso de curado de la resina

El proceso de curado de la resina es aquel método de cambio de estado de ésta. Es decir, la alteración de un estado líquido a uno sólido.

Para que este proceso se realice es necesario activar el proceso de endurecimiento de la resina. Con este fin se añaden el catalizador y el acelerador.

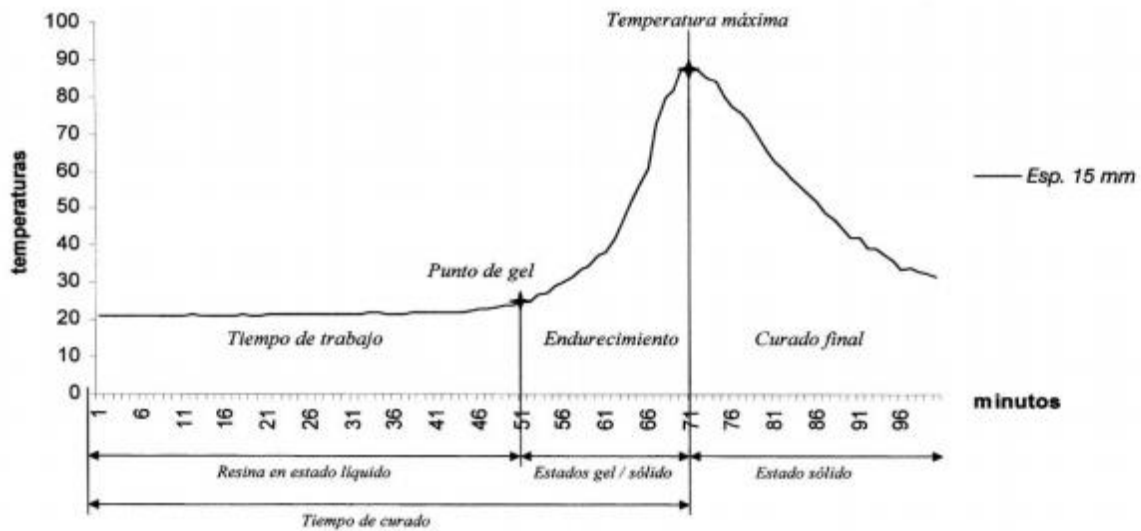


Figura 4. Curva exotérmica característica de una resina – Materiales compuestos (Alejandro Besednjak)

Seguidamente se describen las distintas fases por las que atraviesa una resina durante el proceso de curado:

- Primera fase: **Tiempo de trabajo**. Esta fase empieza con la añadidura del catalizador a la resina. Al mantener la resina un buen grado de fluidez, se debe aprovechar esta situación para distribuir convenientemente la resina por el molde durante la técnica de laminado de la pieza. La viscosidad irá en aumento a medida que avance el tiempo, hasta llegar al **punto gel**. Este punto es el momento en el cual la resina se encuentra en un estado que no permite la impregnación del molde.
- El tiempo de trabajo está limitado por diversos factores, como son: el porcentaje de catalizador aportado en la mezcla, la temperatura ambiente y el espesor del laminado.
- **Fase de endurecimiento**. En esta fase la mezcla se endurece al tiempo que el material desprende calor de manera exotérmica hasta que alcanza la máxima temperatura.
- **Curado final**. La temperatura desciende progresivamente hasta igualarse con la temperatura ambiente. La mezcla finaliza en estado sólido.

Durante el curado intervienen diversos factores. Se destacan:

- Tipo de resina.
- Temperatura ambiente de trabajo (se aconseja 17-22°C).
- Naturaleza y cantidad de catalizador y acelerador.
- Espesor del laminado.
- Procesos de curado o postcurado.
- Humedad relativa ambiente.
- Presencia o ausencia de cargas.
- Luz solar.

Cabe destacar que la **vitrificación** es un fenómeno que ocurre durante el proceso de curado de una resina termoestable. En él, el material pasa de un estado líquido o de gel elástico (si se produce después del punto de gel) a uno vítreo. Sucede cuando la temperatura de transición vítrea del material se hace igual a la del curado. A partir de entonces, debido a la rigidez del material, la reacción progresa muy lentamente. Esta transformación es reversible y el termoestable puede desvitrificarse si es calentado, con lo que la reacción puede continuar.

2.3. Cargas y aditivos

Las cargas y aditivos consisten en productos que se añaden a las resinas con el objetivo de aportar propiedades específicas, entre las que destacan:

- Mejora del producto final. A través de:
 - Cargas reforzantes que permiten reducir el peso de la pieza.
 - Cargas de coste reducido para economizar el producto final.
 - Cargas ignífugas.
 - Cargas conductoras y antiestáticas.
 - Colorantes, pigmentos.
 - Agentes anti-ultravioletas, los cuales protegen el producto de la acción de los rayos UV.
 - Agentes anti-retracción, con los que se obtiene mayor calidad del acabado superficial.
 - Mejora del proceso de moldeo del material compuesto:
 - Sistema catalítico. Consiste en productos necesarios para el curado de la resina. Está formado por el endurecedor, el inhibidor, estabilizantes térmicos y antioxidantes.
 - Lubrificantes internos. Modifican la viscosidad de la resina manteniendo sus propiedades iniciales.
 - Agentes de desmoldeo (lubrificantes externos). Reducen la tendencia de la resina a pegarse a la superficie de los moldes.
 - Agentes de flujo.
 - Agentes tixotrópicos. Evitan el descuelgue de resina en paredes verticales.

Es importante mencionar que la adición de estas cargas y aditivos debe realizarse siguiendo las recomendaciones del fabricante de la resina, ya que ésta verá sus propiedades afectadas.

2.4. Recubrimientos

Los recubrimientos son aplicativos que emplean en la superficie del laminado con el fin de obtener un buen acabado, así como protegerlo de problemas medio ambientales, como el agua, humedad o ataques químicos. Destacan el gelcoat y el topcoat como recubrimientos utilizados en la industria naval.

2.4.1. Gelcoat

Consiste en una resina de poliéster, comúnmente isoftálica, con pigmentos y aditivos en suspensión. Se aplica como primera capa en el molde, siendo por tanto el acabado de una de las superficies del laminado. Proporciona la protección previamente mencionada.

Su uso es opcional ya que se puede obtener el color deseado de la pieza a tratar siguiendo otros procedimientos. Sin embargo, si se requiere un acabado superficial de buena calidad, estabilidad de color, excelente resistencia al agua e intemperie, resistencia a la abrasión, sin poros y brillante, el uso del gelcoat se convierte en más que recomendable.

2.4.2. Topcoat

El topcoat es una resina de poliéster o viniléster combinada con pigmentos y aditivos en suspensión. Sus características son similares a las del gelcoat. Se aplica también en la última capa del laminado, evitando por tanto que la superficie de interfase se encuentre en contacto con la humedad.

El topcoat está compuesto por **parafina**, a diferencia del gelcoat. Esta sale al exterior durante el proceso de curado, formando una capa fina la cual impide el contacto de la resina con la humedad del aire. De esta manera el topcoat asegura el curado de la última capa.

Es importante saber que, para realizar un nuevo laminado sobre una superficie con topcoat, debe eliminarse la capa con el fin de garantizar una buena adhesión al laminado base. La capa de topcoat suele eliminarse mediante abrasión.



Figura 5. Aplicación del topcoat – Fuente: www.navalcomposites.com

2.5 Refuerzos

2.5.1 Materiales de refuerzo

Las fibras son el material de refuerzo empleado en la industria naval para la producción de material compuesto. Al reforzar un material compuesto mediante fibras se permite la variación de sus propiedades mecánicas, ya que éstas pueden seleccionarse según su longitud, diámetro y orientación, entre otras posibilidades.

Aportan resistencia mecánica, dureza y rigidez al material.

Entre las características principales de las fibras a tener en cuenta para obtener el material de refuerzo deseado destacan:

- **Longitud y diámetro.** La resistencia es proporcional a la relación Longitud/Diámetro de las fibras. Se debe tener en cuenta el punto de longitud de fibra crítica (LC) donde la resistencia y rigidez del material compuesto es máxima.

De la variable LC se dividen dos tipos de fibras: fibras continuas, cuando $L > 15LC$; y fibras discontinuas cuando $L < 15LC$.

- **Orientación.** Según su orientación respecto de la matriz, las fibras se clasifican en:



Figura 6. Ejemplo de orientación de las fibras – Tecnología de los plásticos

Una de las ventajas que se observa en los materiales compuestos reforzados con fibra es su potencial de diseño según la condición de carga a soportar requerida.

Se encuentran diseños tales como fibras continuas orientadas perpendicularmente entre sí con el fin de obtener una mejor resistencia; fibras dispuestas en ángulos de 45° , aumentando el refuerzo; e inclusive fibras dispuestas en función de las direcciones donde se producen las tensiones máximas en la estructura.

- **Cantidad de fibras**

El número de fibras es proporcional a la resistencia y rigidez del material. Sin embargo, un porcentaje mayor al 80% no resultará óptimo, ya que las fibras no quedarán envueltas en su totalidad por la matriz, perdiendo calidad en la transferencia de las cargas.

- **Propiedades de las fibras**

Las fibras suministran las propiedades mecánicas al producto final. Por tanto, se deben tener en cuenta las características de cada tipo de fibra (vidrio, carbono, kevlar).

- **Propiedades de la matriz**

La matriz transfiere la carga soportada a las fibras, a la vez que las mantiene en su posición adecuada. Proporciona las propiedades químicas, térmicas y eléctricas al laminado final. La **matriz polimérica** es la más utilizada en la construcción naval.

2.5.2 Tipos de fibras de refuerzo

2.5.2.1 Fibra de vidrio

La fibra de vidrio se empezó a usar en la industria naval en 1930, aunque su *boom* se produjo en la década de los cincuenta, motivado por la reducción de su precio y el desarrollo de nuevos procesos de fabricación. Es la fibra de refuerzo más utilizada en la construcción de embarcaciones.

La fibra de vidrio está formada por sílice combinado con distintos óxidos, como la alúmina, los alcalinos y los alcalinotérreos. Cada tipo de óxido proporciona unas características distintas al material final.

Debido a los enlaces covalentes entre el silicio y los radicales de oxígeno, la fibra de vidrio tiene una elevada resistencia. Además, al disponerse los átomos formando una estructura amorfa, se obtiene un material de características isotrópicas.

Existen dos principales métodos de obtención de la fibra de vidrio.

El primero, a partir de bolas, consiste en meter la materia prima en un horno y, tras varios procesos, obtener bolas de 20 mm de diámetro, las cuales son introducidas nuevamente en un horno y se hilan entre ellas. Las fibras se pueden obtener por estirado mecánico, obteniendo fibras continuas (*Sillionne*); o por estirado por fluido, obteniendo fibras discontinuas (*Verrane*).

El segundo método, por fusión directa, consiste en hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza de agujeros muy finos en dirección vertical. Transcurrido un tiempo, el vidrio se solidifica, manteniendo la suficiente flexibilidad para ser usado como fibra.

Entre las principales ventajas de la construcción en fibra de vidrio cabe destacar:

- Fácilmente filable en fibras de alta resistencia.
- Fácilmente obtenible y aplicable en la producción de plástico reforzado con vidrio mediante una gran variedad de técnicas de fabricación de compuestos.

- Reducido coste de los materiales y de la materia prima.
- Concentrada en una matriz plástica produce un compuesto de una elevada resistencia específica.
- La no necesidad de mano de obra especializada.
- Tamaño de la pieza ilimitado.
- Moldes baratos: deben resistir el peso del barco más el tránsito.
- Ideal para producciones cortas y grandes piezas.
- No requiere de procesos térmicos posteriores.
- Permite el aislamiento de conductores eléctricos a elevadas temperaturas gracias a sus propiedades dieléctricas.

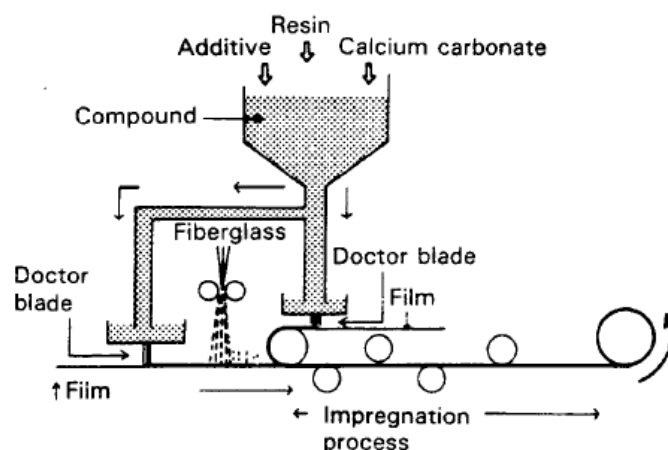


Figura 7. Proceso de manufactura de SMC – SMC Recycling Technology (Toyota Motor Corporation).

Se conoce como GRP (Glass Reinforced Plastic) o GFRP (Glass-Fiber Reinforced Plastic) al material compuesto consistente en fibras continuas o discontinuas de vidrio concentradas en una matriz plástica. Se trata de un material de gran valor en el mercado, debido a sus características superiores en términos de peso y durabilidad.

Entre los distintos tipos de fibra, a continuación se detallará la fibra de tipo E, debido a su uso en la construcción naval.

Tipo E

La fibra de vidrio tipo E consiste en un tipo de fibra inorgánica compuesta básicamente de borosilicato de calcio y aluminio junto con una pequeña proporción de potasio y sodio.

El vidrio tipo E tiene un peso específico de 2,6 g/cm³.

En cuanto a sus especificaciones técnicas, destacan las siguientes:

Aspectos mecánicos

- Tenacidad (N/tex): 1.30
- Fuerza a la tracción (MPa): 3400
- Elongación hasta rotura (%): 4.5

Aspectos térmicos

- Conductividad Térmica (W/m °K): 1
- Resistencia termomecánica: 100% después de 100 h a 200 °C

Aspectos eléctricos

- Resistividad (ohm x cm): 10¹⁴ – 10¹⁵
- Factor de disipación dieléctrica: 0.0010 - 0.0018 a 106 Hz

Aspectos químicos

- Absorción de humedad a 20 °C y 60% de humedad relativa (%): 0.1
- Resistencia a los disolventes: alta
- Resistencia a la intemperie y los rayos UV: alta
- Resistencia a microorganismos: alta



Figura 8. Embarcaciones de recreo compuestas de fibra de vidrio - Fuente propia.

Todo ello se resume en una excelente resistencia a la tracción, a la humedad, al ataque de agentes químicos, alto grado de maleabilidad, bajo peso, buen aislamiento eléctrico y térmico, propiedades isotrópicas, incombustibilidad e imputrescibilidad.

Además, la fibra de vidrio destaca por su reducido coste, entre 1€ y 1,5€ por kg.

2.5.2.2 Fibra de carbono

La fibra de carbono tuvo su desarrollo en la década de los sesenta, especialmente empujada por el auge de la industria aeronáutica.

Este material se suele obtener del poliacrilonitrilo (PAN) combinado con un pequeño porcentaje de metil acrilato, metil metacrilato, vinil acetato, ácido itacónico o cloruro de vinilo. Sin embargo, también puede obtenerse de los hidrocarburos o de la hulla.

El proceso de obtención consiste en una pirólisis controlada por fases. En función de la temperatura alcanzada (entre 1.200°C y 3.000°C) se obtendrá un material con determinadas características de resistencia y módulo elástico. Se diferencian, por ello, tres tipos de fibra de carbono:

- Fibras de alta tenacidad (*HT*): poseen mayor resistencia y tenacidad que la fibra de vidrio y tienen un coste moderado.
- Fibras de alto módulo (*HM*): presentan un elevado módulo de elasticidad y bajo alargamiento a la rotura. Sin embargo, su coste es elevado y pueden provocar fácilmente corrosión de tipo galvánico.
- Fibras de módulo intermedio (*IM*): se presentan como una opción entre las HM y las HT, ya que tienen mejoras tanto en la resistencia como en la rigidez.

Entre las múltiples cualidades de este material, se destacan las siguientes:

- Excelentes propiedades mecánicas. Si se realiza una correcta combinación matriz-refuerzo, se obtiene un compuesto con una elevada estabilidad dimensional. Es decir, sin deformaciones térmicas.
- Características invariables pese al contacto con agua de mar.
- Elevada resistencia y rigidez.
- Buena conductividad eléctrica y térmica.
- Resistencia a altas temperaturas y a vibraciones.
- Resistencia química a ácidos, disolventes y alcálisis.



Figura 9. Embarcación con capas de fibra de carbono - Fuente propia.

Es un material que, habitualmente combinado con matrices epoxies, tiene una gran resistencia y elasticidad, a la vez que tiene un muy bajo peso.

La desventaja principal de este material se encuentra en su precio, de unos 40-50€/kg. Es por ello que su uso en la construcción naval queda relegado a embarcaciones con fines exclusivos (barcos de regata) o a la combinación de éste con otras fibras de refuerzo.

2.5.2.3 Kevlar

Las fibras aramídicas, más conocidas comercialmente como kevlar, se desarrollaron en la década de los setenta.

Se trata de una poliamida aromática que se repite unida mediante enlaces de puentes de hidrógeno, creando una cadena en dirección transversal.

Debido a su composición, este material tiene una elevada resistencia en dirección longitudinal, mientras que una baja resistencia en dirección transversal. Se trata además de un material muy rígido y con una elevada resistencia a la tracción y al impacto. Su uso se encuentra extendido en los sectores aeronáutico, balístico, espacial y naval.

Se distinguen dos tipos de kevlar, el kevlar 29 y el 49. El kevlar 49 es el utilizado en la construcción naval, ya que resulta fácilmente combinable con otras matrices, y entre sus características destacan una elevada resistencia, alto módulo y baja densidad.

El kevlar tiene, además, un buen comportamiento ante la corrosión, buenas propiedades dieléctricas, resistencia a las llamas, buena resistencia térmica y a la fatiga.

Como desventajas del uso de este material se destacan su baja resistencia a la compresión, sensibilidad a la humedad y su coste, similar al de la fibra de carbono.

2.5.3 Disposición de las fibras

Las estructuras textiles son materiales ubicados en capas intermedias dispuestos de forma plana. Su función principal es favorecer el procesado de las fibras, es decir, la uniformidad de espesores, la correcta disposición geométrica e impregnación.

Los distintos tipos de estructuras textiles utilizados en la construcción naval en el proceso de laminado de piezas son:

- Fieltros.
- Sistemas no mallados.
- Sistemas mallados.

Los sistemas mallados requieren de máquinas de género de punto y suelen presentar problemas de impregnación debido al gran volumen de fibras presente.

La orientación de las fibras no resulta óptima para la confección de laminados. Además, las fibras de vidrio y de carbono tienen una baja resistencia al entrelazamiento y a las flexiones que se someten durante el proceso de confección, por lo que no es el sistema más recomendado.

A continuación, se detallarán los dos primeros.

2.5.3.1 Fieltros

También conocido como *mats* o velo de superficie, consiste en un fieltro de vidrio C de gramaje bajo (entre 25 y 80 gr/m²). Con el objetivo de proporcionar resistencia a la capa de gelcoat, se dispone en contacto con el mismo. Al tener un gramaje tan bajo, absorbe más resina, dotándolo de mayor resistencia química frente al ambiente.

Para la fabricación de fieltros de fibra de vidrio se suelen utilizar hilos de sillionne. Su función principal consiste en mejorar la adherencia interlaminar.

Los fieltros pueden encontrarse de fibras continuas, permitiendo realizar formas con un alargamiento regular en todas las direcciones; o fibras cortadas, genéricamente con una longitud de unos 50 milímetros, aglomeradas entre sí mediante un ligante químico. Sin embargo, sus características principales son similares en ambos casos.

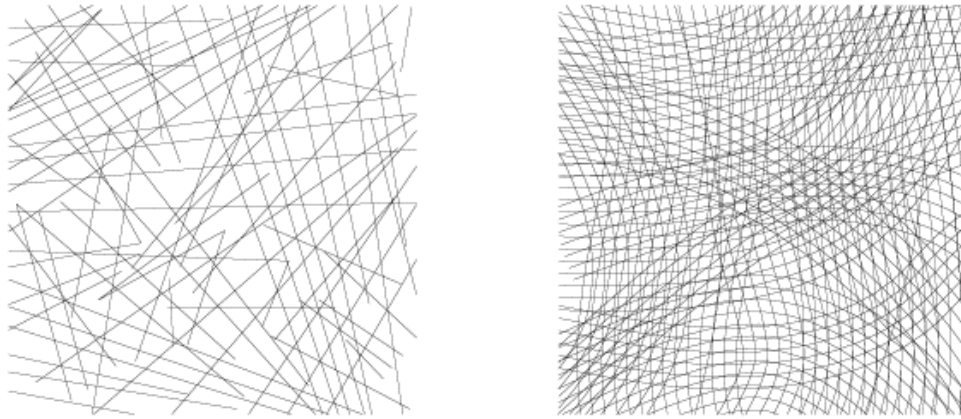


Figura 9. Filtro de fibras cortadas (izquierda) y filtro de fibras continuas (derecha) – Materiales Compuestos (Alejandro Besednjack).

2.5.3.2 Sistemas no mallados

Entre los sistemas no mallados, se distinguen los tejidos, los ensamblados y los trenzados. Por su escasa aplicación en el ámbito que incumbe por parte de éstos últimos, solamente se detallarán los restantes.

Tejidos

Muy utilizados en la construcción naval, especialmente en laminados manuales. Consisten en estructuras textiles compuestas de distintas fibras cruzadas de manera perpendicular. Estas fibras se conocen como trama y urdimbre.

Los hilos de urdimbre se posicionan horizontalmente al rollo, mientras que los de trama se ubican perpendicularmente. Los puntos de cruce se conocen como ligamentos. Por tanto, las direcciones donde la resistencia es mayor serán aquellas igualmente orientadas a la trama o urdimbre (0° y 90°).

Los tejidos más utilizados son tela o tafetán, sarga o satén.

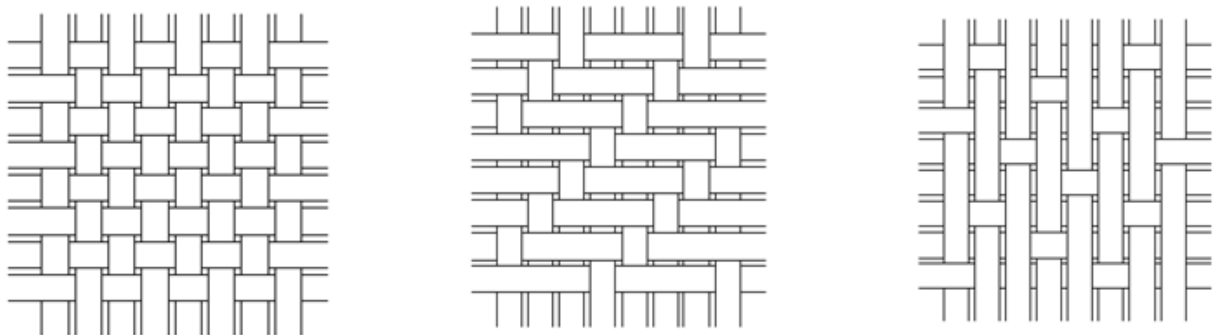


Figura 10. De izquierda a derecha: tejido convencional, sarga y satén – Materiales compuestos (Alejandro Besednjack).

Ensamblados

Son aquellos donde los hilos de trama y urdimbre no se entrecruzan, sino que las fibras paralelas se ubican en superposición con distintas orientaciones. Para evitar su deformación se cosen con una fibra auxiliar ligera, manteniéndolas unidas.

Los ensamblados se dividen en función de la orientación de las fibras en unidireccionales, biaxiales, triaxiales, cuatriaxiales y multiaxiales. Son el tipo de estructura textil más utilizado cuando se requieren buenas propiedades mecánicas.

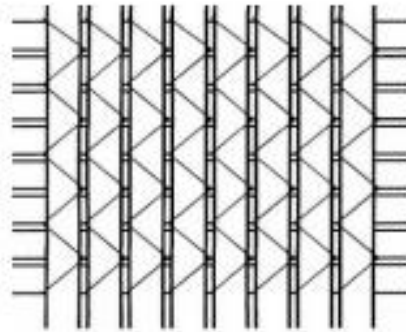


Figura 11. Ensamblado biaxial – Materiales compuestos (Alejandro Besednjack)

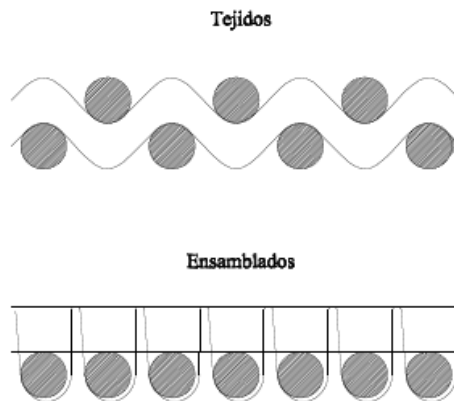


Figura 12. Diferencias entre tejidos y ensamblados. Fuente www.navalcomposites.com

2.6 Núcleos

2.6.1 Materiales para núcleos de Sándwich

La estructura sándwich está formada por:

- Alas. Son láminas finas y resistentes, con buenas propiedades mecánicas.
- Núcleo. Acostumbra a ser ligero, separa físicamente las alas del sándwich y transmite los esfuerzos cortantes entre las alas. Los tipos de núcleo más comunes son el nido de abeja, madera de balsa, espumas y fire coremat.
- Interfase de unión. Se trata de un adhesivo que mantiene juntos el núcleo con las alas.

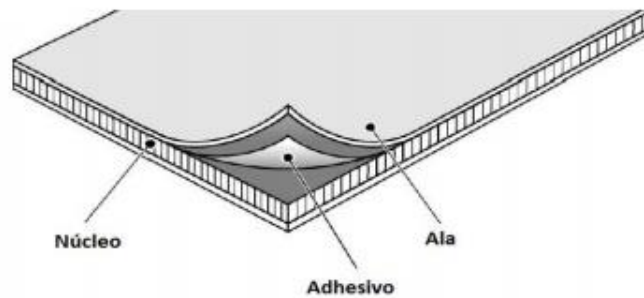


Figura 13. Elementos estructura sandwich – NAFEMS Benchmark Composite Test R0031/3.

Este tipo de estructura dota al material compuesto de gran resistencia a la compresión y flexión, así como una mayor rigidez, con la gran ventaja de no aumentar prácticamente el peso de éste. Se puede observar seguidamente el hecho de que un aumento del espesor de la estructura sándwich no tiene efectos significativos en el peso.

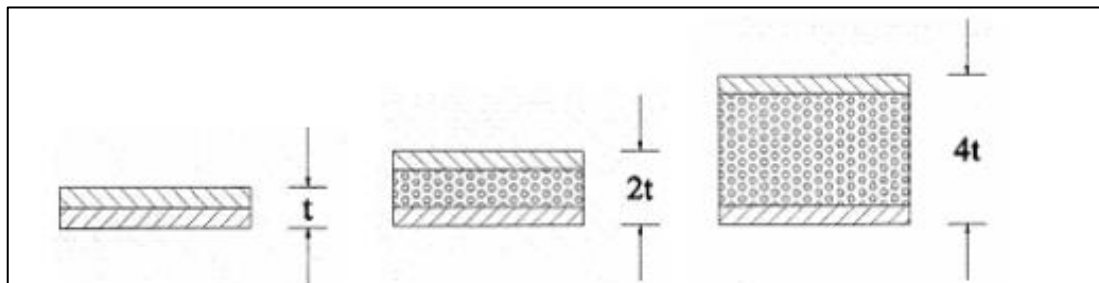


Figura 14. Comportamiento de la estructura según espesor – Materiales Compuestos (Alejandro Besednjak)

Se observa seguidamente las características principales según espesor:

Espesor	t	2t	4t
Rigidez (D)	18,22 kg·m	139,33 kg·m	710,04 kg·m
Peso	29 kg/m ³	30 kg/m ³	30 kg/m ³
Valores relativos	1,00	1,03	1,06

Tabla 3. Comparativa de las propiedades según espesor. Elaboración propia.

2.6.2 Fire Coremat

Se trata de un compuesto de fibras plásticas no tejidas de poliéster, orientadas aleatoriamente, con micro esferas cerradas de plástico a base de cloruro de polivinilideno (PVDC). Cuando la estructura requiere rigidez a un precio más económico que las espumas plásticas, resulta una buena opción como material de núcleo.

Se emplea para cascos, cubiertas y moldes de embarcaciones de producción en serie.



Figura 15. Fire Coremat – Materiales Compuestos (Alejandro Besednjak)

2.6.3 Nido de abeja

Formado por finas láminas de, habitualmente, aluminio, fibra de vidrio o papel de aramida impregnadas con resina fenólica, papel y polipropileno. Se denomina así debido a que las láminas quedan unidas mediante adhesivos o soldadura, formando estructuras repetitivas y similares, generalmente hexágonos.

Se consiguen estructuras sándwich muy livianas. Su uso se encuentra limitado para cubiertas y mamparos de embarcaciones de alta velocidad debido, principalmente, a su elevado coste y su dificultosa técnica de encolado.



Figura 16. Ejemplo de núcleo “Nido de abeja” – Materiales Compuestos (Alejandro Besednjak)

2.6.4 Maderas naturales

2.6.4.1 Madera de balsa

Históricamente, la madera es el elemento más utilizado como núcleo en este tipo de estructuras. Ésta será tratada previo a su uso, reduciendo el nivel de humedad hasta un 10% y expulsando cualquier organismo presente.

La reducción del nivel de humedad es necesaria para evitar la hinchazón y podredumbre de la madera, lo cual puede ocasionar delaminaciones en ésta.

La madera tiene una capacidad de absorción de resina muy alta debido a su elevada porosidad. Es por ello que se deben sellar las superficies previamente al proceso de laminado. Se utiliza únicamente en cubiertas, mamparos y divisiones interiores y no en superficies que se encuentren en contacto con el agua o humedad.

Tiene una elevada rigidez, lo que la hace difícilmente deformable. Por ello se utiliza en pequeños bloques unidos entre sí por un material de soporte, generalmente tejido de poco gramaje.



Figura 17. Madera balsa " – Materiales Compuestos (Alejandro Besednjak)

2.6.4.2 Cedro rojo

Se trata de una madera blanda, con una densidad de 370 kg /m³, la cual se utiliza en la construcción de embarcaciones unitarias sin molde.

La técnica de montaje de éste material es sencilla, tratándose de listones fresados (*strip-plank*).

2.6.4.3 Contrachapado marino

Consiste en chapas estructurales unidas confeccionado con colas fenólicas (en el caso del grado marino) con el fin de resistir la humedad el ataque de hongos.

Se utiliza como complemento de las espumas sintéticas en áreas donde se dan esfuerzos de tracción o compresión.

2.6.5 Espumas plásticas

Las espumas plásticas o sintéticas son plásticos con algún gas introducido en forma de burbujas. El volumen del gas llega a alcanzar el 95% del total de la espuma.

Existen las espumas de celda abierta, donde las burbujas de gas están intercomunicadas, y las espumas de celda cerrada, cuando sucede lo contrario. También se encuentran en la industria espumas plásticas mixtas.

Las propiedades de las espumas dependen en gran medida de:

- Composición del polímero.
- Estado del polímero.
- Densidad de la espuma.
- Estructura de las celdas.
- Composición del gas espumante.

Las espumas más comunes en estructuras sándwich son las siguientes:

- Espumas de cloruro de polivinilo (PVC). Su gran adaptabilidad a superficies curvas, así como sus excelentes propiedades, las convierten en las más utilizadas en la industria naval.
- Espumas de poliuretano (PU). Se utilizan como material aislante y de flotación, así como núcleo de estructuras sándwich en embarcaciones de muy pequeña eslora.
- Espumas de poliestireno (PS). Su uso se limita como material aislante o reserva de flotabilidad.
- Espumas de estireno-acrilonitrilo (SAN). De características similares al PVC.
- Espumas de polimetacrilímid (PMI). Se utilizan en estructuras sándwich fabricadas a partir de materiales preimpregnados, debido a su elevada estabilidad térmica.



Figura 18. Espumas – Materiales Compuestos (Alejandro Besednjack)

Capítulo 3. Métodos de reciclaje

Los métodos de reciclaje se escogen según el tipo de refuerzo del material compuesto y el tipo de resina, como factores principales, debido a las distintas propiedades de cada elemento.

Por ser los más comunes, se divide el método de reciclado de la forma siguiente:

- Materiales compuestos de fibra de vidrio y matriz termoestable.
- Materiales compuestos de carbono/epoxi.

Los compuestos SMC (Sheet Molding Compound) tienen una gran presencia en la industria, especialmente naval y automovilística. Su elevado uso tiene como consecuencia la generación de una elevada cantidad de desechos, los cuales son potencialmente reciclables.

Los compuestos SMC se forman por:

- Un 70% de contenido en peso de material inorgánico (carbonato de calcio y fibra de vidrio, principalmente).
- Un 20% de contenido en peso de resina termoestable.
- Un 10% de contenido en peso de aditivo termoplástico, el cual proporciona superficies más suaves.

Se conocen cuatro procesos principales para el reciclaje de este tipo de materiales:

- Amolado.
- Degradación química selectiva.
- Pirólisis.
- Incineración en recuperación de energía.

3.1 Amolado simple del SMC

En este proceso se reutilizan las fibras, el carbonato cálcico y las resinas poliméricas, sin una separación previa del compuesto.

El compuesto es triturado y tamizado en pequeños fragmentos, los cuales son usados como relleno de un nuevo producto. Cabe destacar que el nuevo producto conservará las mismas propiedades físicas y de resistencia al impacto que el compuesto previo.

Lo que diferencia el SMC reciclado del resto de materiales utilizados como relleno es su gravedad específica, la cual es menor, obteniendo consecuentemente piezas de mayor ligereza y resistencia.

Una tecnología desarrollada por *Toyota Motor Corporation* permite moler los desechos de SMC en diminutas partículas e introducir las en SMC virgen como relleno. Las propiedades mecánicas del SMC reciclado resultan similares al del material original y se aplica a día de hoy a partes de automóviles.

Dada la importancia de reducir las emisiones de CO2 como solución a los problemas ambientales globales, el desarrollo de partes ligeras ha ganado importancia dada su relación con el consumo de fuel.

Además, el reciclaje se ha convertido en un sujeto de elevada importancia no solo para los problemas ambientales sino para la conservación de recursos naturales.

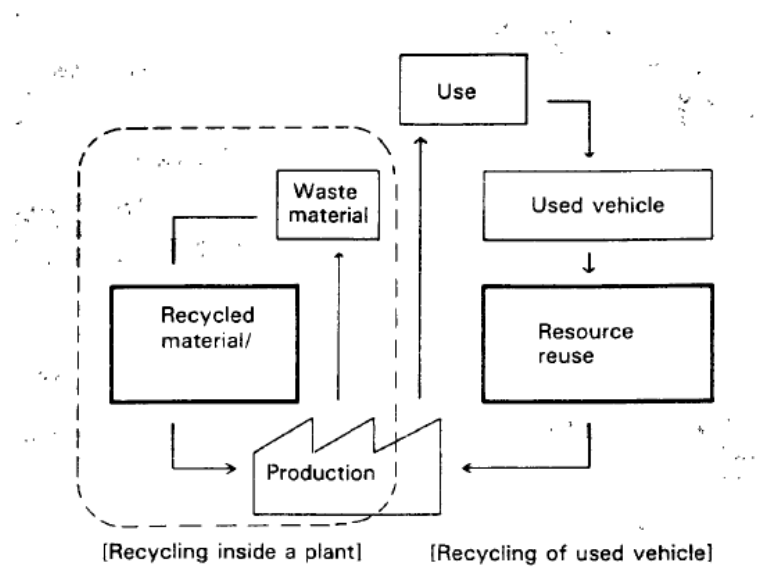


Figura 19. Proceso de reciclaje de un vehículo – SMC Recycling Technology (Toyota Motor Corporation).

La figura previa muestra el desarrollo donde se dispone el reciclaje de SMC en la planta y se recicla a partir de vehículos usados.

La figura siguiente muestra el método general de reciclaje de resina. Si este método se aplica a SMC, el resultado será como el mostrado en la figura.

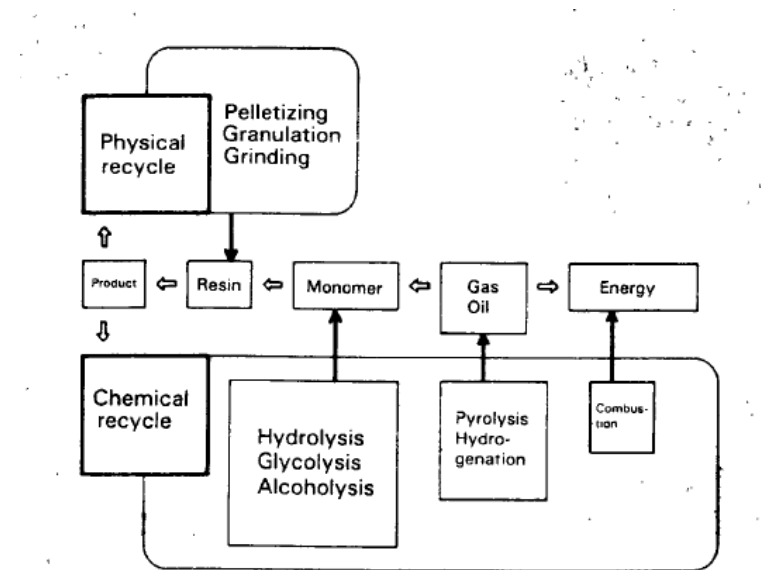


Figura 20. Tecnología de reciclaje de la resina – SMC Recycling Technology (Toyota Motor Corporation).

El reciclaje químico no es adecuado para aplicaciones en planta por distintas razones:

- SMC contiene tan sólo un 30% de la resina con posibilidades de ser recuperada.
- No hay suficiente material en una planta para reciclar eficientemente con este método.
- Los costes de inversión en equipo son elevados.

Por ello, el reciclaje físico con material desmenuzado y utilizado como relleno donde todo el contenido del compuesto (resinas, fibra de vidrio, rellenos inorgánicos) resulta el más adecuado.

3.1.1 Mecanismo de molienda

El método de molienda incluye la compresión, impacto, abrasión y cizalladura. Estos cuatro mecanismos combinados son el equipo de molienda. Para moler el material reciclable dejándolo en una finura de décimas de micrómetros, se aplican dos pasos de molienda consistentes en la granularidad y molienda, o tres pasos añadiendo la cizalladura en el segundo paso.

Se llevan a cabo tests de granularidad y del método de molienda que puedan afectar al proceso productivo del SMC y de las propiedades del material.

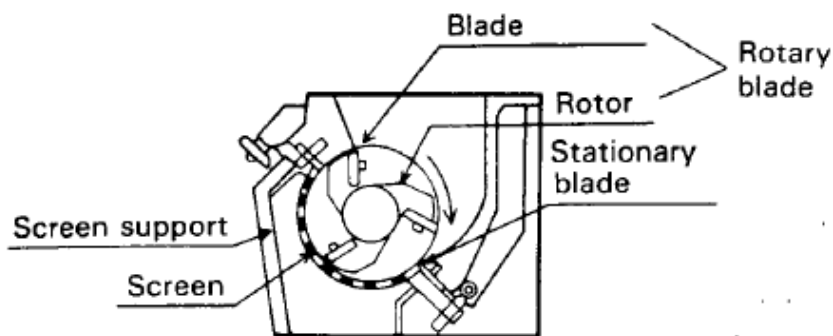


Figura 21. Equipamiento de granularidad – SMC Recycling Technology – (Toyota Motor Corporation).

El test de granularidad se lleva a cabo utilizando una pantalla clasificadora mediante un martillo moledor, tal y como se presenta en la figura anterior.

En la siguiente imagen se puede observar como la fibra de vidrio mantiene su forma original, con resina adherida a ella.

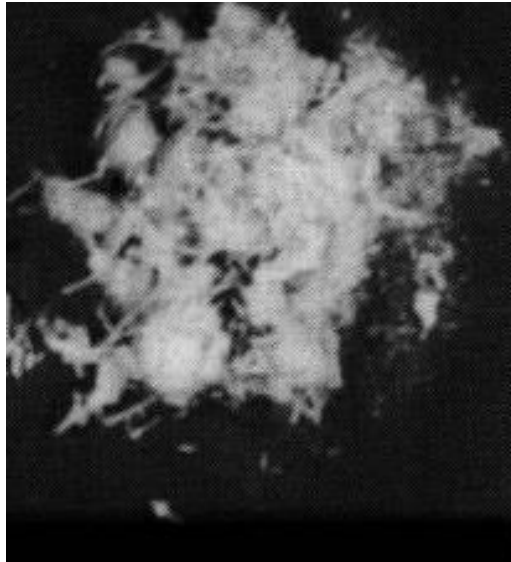


Figura 22. Granularidad del material SMC - SMC Recycling Technology – (Toyota Motor Corporation).

Tras los estudios realizados, se llega a la verificación de que un compuesto para aplicación general puede ser reemplazado con material reciclado para un máximo de un 20% de su peso, con una pérdida mínima de resistencia y propiedades comparables al material estándar.

Sin embargo, los materiales compuestos para paneles exteriores no podrán beneficiarse de ello debido a la limitación en impregnación, ya que la viscosidad habrá aumentado en el material por la resina aplicada y la degradación de la calidad de la superficie es evidente.

3.2 Degradación química selectiva de fragmentos de SMC

Consiste en el deterioro, mediante un proceso químico selectivo, de la red del polímero poliéster/estireno por reacción de los enlaces de éster con un apropiado nucleófilo.

Se basa en la obtención de productos solubles al reaccionar la resina de poliéster insaturada y en masa con nucleófilos (alcohol, hidróxido/benzil de potasio, hidracina o benzilamina).

Sin embargo, el uso de hidróxido de potasio como nucleófilo tiene un efecto degenerador sobre las fibras de vidrio que se recuperan del reciclado, lo cual limita la aplicación de este método.

Es importante señalar que, en el paso de neutralización del ácido, se puede descomponer el carbonato cálcico presente, evitando que pueda ser utilizado como material de relleno.

Debido a ello, se han encontrado agentes químicos menos agresivos con la fibra de vidrio, como las etanolaminas. Mediante este proceso se puede recuperar gran cantidad de fibra de vidrio. Además, existe la posibilidad de recuperar el agente por medio de la destilación.

El objetivo de este proceso es la recuperación de monómeros a través de la depolimerización química de las cadenas poliméricas. Los materiales recuperados son materiales potencialmente puros para el polímero y la industria del fuel.

3.3 Pirólisis de fragmentos de SMC

Consiste en un proceso de descomposición química de cualquier tipo de material, a excepción de metales y vidrios, a través del calentamiento a elevadas temperaturas en ausencia de oxígeno. Al calentarse tan intensamente, el proceso se suele realizar de manera anhidra, es decir, sin agua.

Si este proceso se realiza cuidadosamente, es capaz de separar los componentes inorgánicos del SMC sin reducir sus características, permitiendo su reutilización. Además, puede utilizar el contenido energético de la fracción de resina del SMC como combustible del proceso.

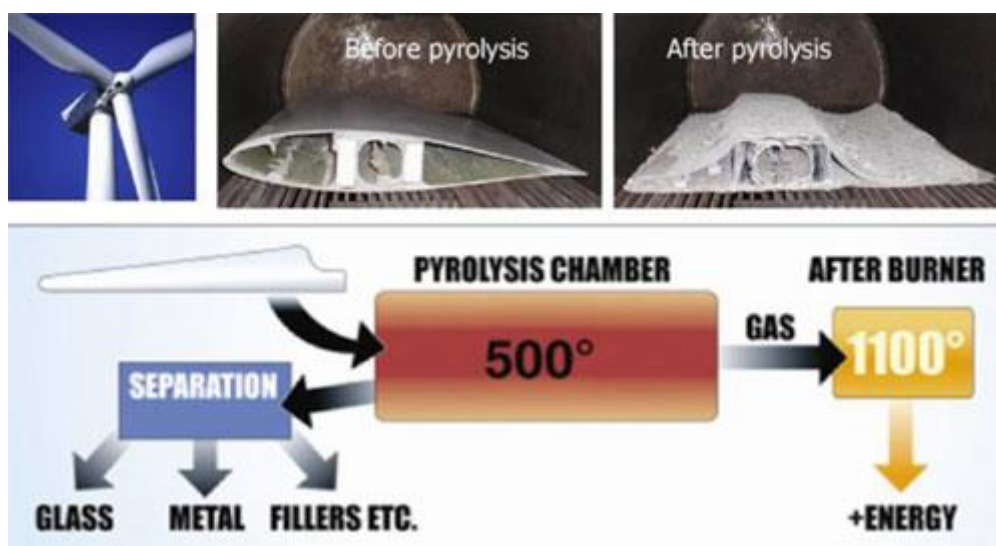


Figura 23. Proceso y resultados de aplicar la pirólisis en un ala de un molino de viento. Fuente: www.refiber.com

La pirólisis es una de las tecnologías avanzadas más reconocidas para el tratamiento de residuos. Pese a ello, éstos no son eliminados, sino transformados en agua, carbón, partículas, residuos líquidos o tóxicos, entre otros.

Estas transformaciones tienen en común la expulsión de aire de sustancias posiblemente tóxicas, reduciendo su volumen. Además, esta destilación destructiva hace inviable cualquier opción de reciclaje o reutilización de los materiales.

Este proceso se utiliza también para la reducción de volumen de residuos, la producción de combustibles como subproductos y la producción de combustible sintético para motores diésel (a partir de residuos plásticos).

3.4 Incineración con recuperación de energía

También conocido como recuperación energética, es básicamente la incineración de los desechos del material. El concepto se basa en transformar la energía que se encuentra en el polímero en otras formas de energía, como calor o electricidad, así como reducir el volumen del residuo. Es apropiado para materiales heterogéneos y para polímeros impregnados con químicos tóxicos, contagiosos y dañinos.

Los beneficios de éste método han sido reconocidos por gran parte de los colectivos ecologistas que ven en sus productos finales, energía eléctrica y calor, el auténtico valor de los residuos que no pueden ser sometidos a reciclado.

69 millones de toneladas de residuos urbanos se incineraron en el año 2008 en la Unión Europea, proporcionando electricidad y calor a 13 millones de habitantes. Esta producción energética se califica de renovable por la Directiva de Residuos 2009/28/CE y por el nuevo Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España 2010-2020. Con ello, se ha conseguido sustituir en Europa gran cantidad de combustible fósil (gas natural, carbón, fuel) convirtiéndose en el tratamiento finalista con menor impacto, así como una herramienta de interés para la lucha a favor del medio ambiente.

Cabe destacar que la Organización Mundial de la Salud (OMS) define la incineración como un “método higiénico para reducir el peso y volumen de los residuos que también reduce su potencial contaminante” así como “una de las estrategias que pueden emplearse para asegurar que los residuos se manejan de una forma ambientalmente sostenible”. Concluye que “debido a esto, resulta técnicamente posible ubicar las incineradoras cerca de áreas densamente pobladas”.



Figura 24. Incineradora en Alemania – Fuente www.sogama.gal

Cabe destacar que la nueva Directiva Marco de Residuos se marcó como objetivo para 2020 que el 50% de los desechos municipales fueran sometidos a reutilización y reciclado, pudiendo pasar por la valorización energética. La incineración y reciclaje resultan por tanto soluciones complementarias.

Capítulo 4. Análisis del impacto ambiental

Se entiende como impacto ambiental o impacto antrópico o antropogénico sobre el medio ambiente al *“efecto que produce la actividad humana sobre el medio ambiente”*.

La acción humana siempre provoca efectos colaterales sobre el medio ambiente. Una evaluación del impacto ambiental consiste en un método por el cual se identifican y evalúan los efectos de ciertos proyectos sobre el medio físico y social.

La Declaración de Impacto Ambiental (DIA) es un documento oficial que emite el órgano ambiental al final del procedimiento de Evaluación del Impacto Ambiental, el cual resume los principales puntos del mismo, concediendo o denegando la aprobación del proyecto desde un punto de vista ambiental.

La identificación y mitigación del impacto ambiental es el principal objetivo del procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental. La aplicación de acciones de mitigación, siguiendo la llamada “jerarquía de mitigación”, pretende contrarrestar los efectos negativos de los proyectos sobre el medio ambiente.

La preocupación por los efectos ambientalmente negativos de las acciones humanas surgió con el origen de la preocupación por la naturaleza, dentro del marco del movimiento conservacionista, sumándose a la ya existente preocupación por la salud y el bienestar humano, todos ellos afectados por la evolución económica y urbana. Todo ello se encuentra dentro de la dimensión conocida como medio social.

Se considera impacto cuando hay al menos tres tipos de contaminación: del agua, del aire y del suelo.

Se debe tener en cuenta que la mayor parte de la energía utilizada en el mundo proviene del **petróleo** y el **gas natural**. La contaminación de los mares debido al petróleo es un problema que preocupa a nivel mundial, especialmente a las empresas industriales vinculadas a la explotación y comercio de este producto. Existen previsiones técnicas y legales para evitar o disminuir la ocurrencia de estos problemas.

Los derrames de petróleo producen daños que se reflejan en la fauna marina y aves, así como en la vegetación y aguas, perjudicando, además, la pesca y actividades recreativas en la costa.

Pese a la volatilidad de los hidrocarburos, su persistencia y toxicidad provoca efectos fatales al medio marino. Cabe destacar que la mayor proporción de la contaminación oceánica no proviene de los derrames por accidentes de buques que transporten petróleo, sino del petróleo industrial o motriz, es decir, el aceite quemado que llega a los océanos por medio de los ríos y drenajes urbanos.

Se estima que, a nivel mundial, 3.500 millones de litros de petróleo usado se introducen al océano, y que 5.000 millones de litros de petróleo crudo o derivados son derramados.



Figura 25. Derrame de hidrocarburos en la costa de Chile. Fuente: www.radiodelmar.cl

Por otra parte, los gases contaminantes gaseosos expulsados en las refinerías provocan la alteración de la atmósfera, así como de las aguas, tierra, vegetación y animales. Uno de los desechos gaseosos más dañino es el **dióxido de azufre**, el cual provoca daños en el sistema respiratorio e irrita la piel y ojos.

La **energía radioactiva** genera muchos desechos radioactivos provenientes de las reacciones nucleares, de las plantas donde se refinan o transforman minerales radioactivos, de sus yacimientos y de las generadoras de electricidad que funcionan con esta materia prima. Cabe destacar que no se conoce un método para eliminar estos contaminantes sin riesgo para el ser humano.

La **contaminación acústica** es un impacto generado por la explotación de recursos energéticos. El ruido producido por la industria puede afectar significativamente los sistemas nervioso y circulatorio del hombre, así como disminuir su capacidad auditiva.

El procesamiento de minerales produce a menudo impactos ambientales negativos, pudiendo afectar, además, diversos sectores de la economía como el turismo o la radicación de nuevas poblaciones. Las empresas no se han visto siempre obligadas a remediar los impactos de estas actividades, siendo la ciudadanía local en muchos casos los subsidiarios de los costos de limpieza. Habitualmente, **el daño más costoso de reparar a largo plazo es el tratamiento del agua**. Debido a ello, han aparecido en los últimos tiempos **garantías financieras o seguros ambientales**, con el fin de asegurar que el causante de la contaminación pague por los costos.

La emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂, es otro aspecto relativo al impacto medioambiental de la obtención y consumo energéticos.

4.1 Clasificación de los impactos

La identificación de los impactos ambientales tiene como objetivo su correcta evaluación. Con ello, se analiza su magnitud e importancia. Esto se realiza teniendo en cuenta diversas características de los mismos, como son:

- **Naturaleza:** **positivos**, si provocan efectos beneficiosos en el medio, o **negativos**, si provocan efectos perjudiciales sobre éste.
- **Tipo de impacto:** **directo**, en el caso de que la propia ejecución de un proyecto provoque el impacto; **indirecto**, si son producidos por el propio proyecto, pero no suceden inmediatamente, sino con gran diferencia en tiempo o espacio; y/o **acumulativo**, si se producen por la suma de efectos resultantes de otros proyectos o actividades pasadas, presentes o previstas.

Cuando un impacto acumulativo termina afectando más que la suma de sus partes (por ejemplo, disminución de la fauna que acaba provocando la desaparición de una especie) se denomina impacto **sinérgico**.

- **Magnitud:** referente al tamaño o cantidad de elementos afectados por el impacto.
- **Extensión:** es el área afectada por un impacto.
- **Intensidad:** es la profundidad del daño causado sobre determinado elemento. Por ejemplo, el impacto sobre el suelo será mayor cuando se produce una excavación que cuando se desbroza la vegetación.
- **Duración:** pudiendo ser impacto **temporal**, el cual tras un espacio determinado de tiempo desaparece, volviendo el ambiente a su estado original (por ejemplo, el ruido); y **permanente**, siendo aquel que no desaparece del medio.

Un impacto temporal, además, se distingue por ser de **corta duración**, en el caso que desaparezca en los primeros nueve años; de **duración media** si desaparece entre los diez y diecinueve años; y de **larga duración**, en caso que desaparezca tras más de veinte años una vez el proyecto ha finalizado.

- **Frecuencia:** referente a la periodicidad con la que aparece determinado impacto, pudiendo ser **puntual**, si aparece una única vez, o **periódico**, si se repite en el tiempo.
- **Reversibilidad:** dividiéndose en impacto **reversible**, en el caso en que las condiciones originales del medio afectado se puedan recuperar, bien naturalmente o mediante la acción humana; e **irreversibles**, si no es posible su recuperación.
- **Certeza de la predicción:** se define como la probabilidad de que ocurra el impacto previsto.

4.2 Antecedentes

Varias son las organizaciones, tanto internacionales como nacionales, que llevan lustros enfocadas en la adopción de medidas para el desguace de grandes buques. Entre ellas destaca la Organización Marítima Internacional (OMI).

No obstante, poco se había analizado sobre las embarcaciones de recreo que llegan al final de su vida útil hasta hace pocos años.



Figura 26. Embarcación de recreo abandonada en la isla de Ibiza - Fuente propia.

La Federación Náutica Francesa – FIN (Fédération des Industries Nautiques) sí lleva desde 2002 con trabajos enfocados en las embarcaciones de recreo. Tanto es así que en 2009 creó la Association pour Plaisance Eco-Responsable – APER2, cuyo fin consiste en desguazar las embarcaciones al final de su vida útil.

Países como Noruega, Suecia, España e Italia también abordaron esta problemática, sin gran éxito. Otras iniciativas a nivel europeo han sido el estudio *Recovery of Obsolete Vessels not used in the Fishing trade* (Estudio sobre la recuperación de embarcaciones obsoletas, excluyendo la pesca profesional). Este estudio fue realizado por COWI, RWEC y LEITAT en el año 2011.

4.3 Desguace

Diagnóstico sobre la situación de las embarcaciones en desuso en Europa realizado.

Se identifican las embarcaciones en desuso, tanto abandonadas como fuera de servicio.

Se inicia un proceso administrativo con el objetivo de obtener las embarcaciones y poderlas desguazar, descontaminar, gestionar sus residuos resultantes y valorizar la máxima fracción de estos residuos, así como extraer la fibra de vidrio, neopreno, PVC y madera.



Figura 27. Barco abandonado en Ibiza - Fuente propia.

Cada embarcación presenta singularidades que provocan una logística y desguace específicos. Es por ello que se deberá contar con un grupo de profesionales expertos en la materia. Los pasos a seguir son los siguientes:

- **Acondicionamiento y preparación** de la embarcación para su transporte. Se estudia la situación de la embarcación, analizando los riesgos y daños colaterales potenciales en caso de fragmentación de la misma, en caso de ser retirada del agua o ser transportada. Habitualmente una embarcación en desuso se encontrará en malas circunstancias, por lo que el proceso de transporte puede resultar complejo.

- **Transporte.** Se deberán tener en cuenta las características específicas de cada embarcación, ya que es posible que ésta requiera ser desguazada en las propias instalaciones del puerto donde se ubique debido a sus dimensiones o formas. Valga como ejemplo un velero.
- **Descontaminación** de la embarcación con el objetivo de eliminar los residuos peligrosos como las aguas de sentina, baterías y aceites.
- **Extracción de elementos externos y superficiales** como el mástil, velas, motores u otros elementos en el caso de que los hubiera. Se basa en una fragmentación de la embarcación que se puede llevar a cabo con un equipo técnico convencional consistente en sierras hidráulicas y martillos. Es importante que los operarios trabajen con el equipo de protección adecuado, como son las gafas y máscaras protectoras, para evitar cualquier efecto negativo en su salud por partículas de fibra de vidrio.



Figura 28. Desguace de un velero en Port Marina Palamós (Girona). Fuente: www.fundacionmar.org

- **Gestión y tratamiento de los distintos residuos,** depositándolos en los contenedores correspondientes. La fibra de vidrio se deposita en vertederos, mientras que los residuos metálicos son vendidos debido a su mayor valor económico. Este proceso, asumiendo que la fibra de vidrio tiene un porcentaje mayoritario en el peso total de la mayoría de embarcaciones, no supone rentable.
- Con el casco vacío, se aplasta, minimizando su tamaño mediante un pulpo hidráulico.

4.3.1 Proyecto BOATCYCLE

Este proyecto, que tiene como objetivos la “gestión, reciclaje y valorización de residuos procedentes del desguace de embarcaciones de recreo”, nace con el objetivo de analizar cómo las embarcaciones se desguazan en la actualidad, con el fin de ofrecer una guía dirigida al sector profesional. Con la idea de abrir un debate acerca de esta problemática europea real, estudiando sus puntos fuertes y débiles, pone en práctica el análisis del ciclo de vida para evaluar los impactos ambientales asociados a todas las etapas de una embarcación de recreo. Este análisis se conoce como “análisis de la cuna a la tumba”.

Se desarrolló entre los años 2009 y 2012 y fue implantado en Italia y España. Fue cofinanciado por LIFE+ Política y Gobernanza Medioambientales 2011.

El proyecto se centró en reducir el impacto de la industria náutica sobre el medio ambiente a través de nuevos métodos para el tratamiento, la gestión y la recuperación de embarcaciones de recreo cuyo ciclo de vida útil hubiera finalizado.



Figura 29. Desguace de una embarcación semirrígida en Tordera en 2011. Fuente: www.fundacionmar.org

Además, se abordó la problemática de la fabricación y sus procesos, focalizándose en el análisis del ciclo de vida y el eco-diseño.

Gracias a este proyecto se proporcionaron guías para una producción sostenible y el eco diseño, además de una serie de recomendaciones técnicas y estratégicas para la gestión de residuos. También se realizó un gran esfuerzo por difundir y sensibilizar al público objetivo (propietarios de embarcaciones, agentes públicos y usuarios) de esta situación.

Queda mucho trabajo por realizar tanto a nivel europeo como nacional.

Según datos de ICOMIA (International Council of Marine Industry Association), se estima que en la Unión Europea hay, aproximadamente, **seis millones de embarcaciones de recreo**, con una tasa de crecimiento

de un 4%. Cabe mencionar que la práctica totalidad de éstas embarcaciones están construidas con materiales compuestos.

Se corrobora, según la Asociación de Industria Náutica Europea (European Boat Industry), que las embarcaciones de recreo tienen una vida media de 30 años. Sin embargo, pueden alcanzar los 40 años si se dan las condiciones adecuadas para ello.

Suponiendo que un 1,5% de estas embarcaciones queda en desuso anualmente, se traduce en unas **noventa mil embarcaciones desguazadas al año**.

Una incorrecta gestión de estas embarcaciones produce impactos negativos sobre el medio ambiente. En el caso de los buques construidos en acero, al final de su vida útil se venden para ser reciclados por un precio de entre cien y doscientos euros por tonelada. Por lo que a las embarcaciones de recreo se refiere, el propietario de ella debe pagar para reciclar su embarcación, razón por la cual se decide abandonarla en vez de asegurar su adecuada gestión.

En la siguiente tabla se puede observar el precio medio de desguace de una embarcación.

Eslora	Precio medio para el desguace
<7 metros	800€
10-12 metros	1.500€
>15 metros	15.000€

Tabla 4. Precio medio para desguazar una embarcación de recreo.

4.4 Efectos

Las embarcaciones abandonadas que no han sido sacadas a tierra, sino que permanecen en el mar, tienen el riesgo de causar fugas o vertidos de residuos como aceites, hidrocarburos y líquidos de baterías, entre otros. A este posible impacto sobre el medio marino se añade un impacto visual para turistas y usuarios, ocupando además espacio en el puerto correspondiente. Todo ello se traduce, a fin de cuentas, en un impacto económico.

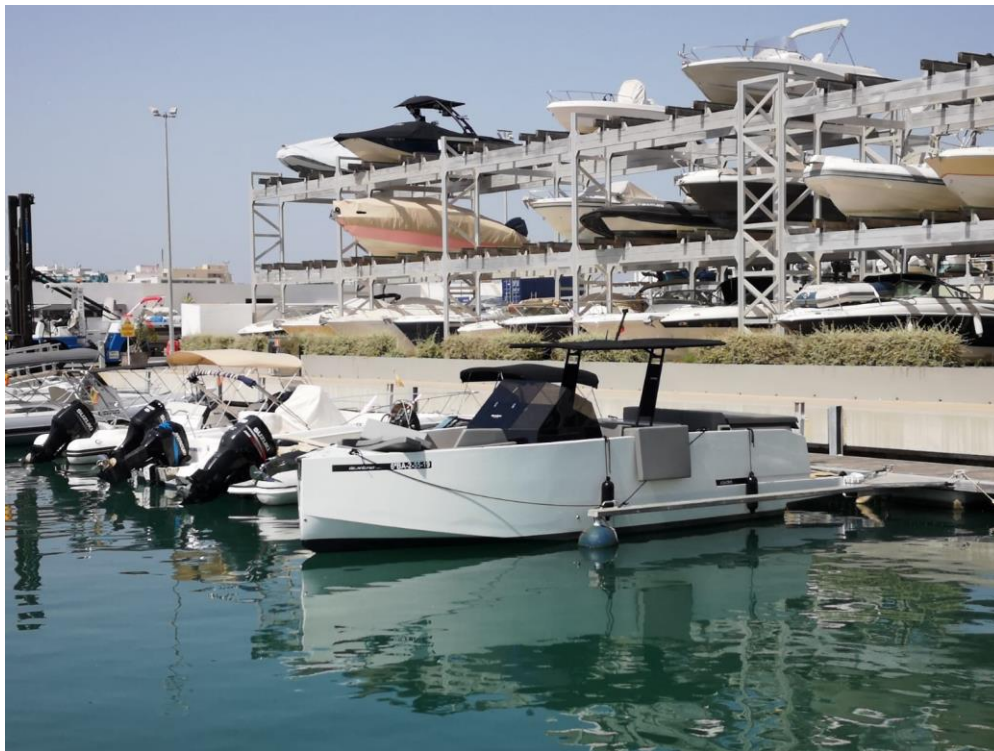


Figura 30. Embarcaciones de recreo atracadas y en Marina Seca, Ibiza, donde con un sistema de elevación náutico Forklift, se izan barcos de hasta 10 toneladas - Fuente propia.

Los riesgos que tiene una embarcación deteriorada en un puerto no se limitan a los mencionados anteriormente. Una embarcación en estas circunstancias puede causar daños colaterales a otras embarcaciones amarradas próximas a ella, como es el caso de un incendio. Ello provocaría, además, un impacto en la imagen del puerto en cuestión.

Es evidente que cuanto mayor es el tiempo de abandono de una embarcación, mayor es el riesgo de impacto ambiental.

Una embarcación abandonada tiene un coste económico y conlleva una serie de procedimientos judiciales tediosos.

Al analizar los impactos ambientales provocados por el desguace de embarcaciones y por el vertedero, se llega a la conclusión de que la vía del desguace tiene un impacto mucho menor en todas sus categorías.

Se requiere de la adopción de políticas de gestión adaptadas a las embarcaciones de recreo.

En la actualidad **no existe una normativa efectiva reguladora del tratamiento de embarcaciones en desuso** en España. La mayoría de embarcaciones abandonadas acaban en vertederos o hundidas en la mar.



Figura 31. Destrucción para el posterior reciclaje de una embarcación dedicada a la pesca. Fuente: Drassanes Nicolau.

En una embarcación de recreo de 8,5 metros, el 45% de su peso corresponde a material compuesto de fibra de vidrio y resina epoxi (datos de la Fundación Mar). Esto significa que el desguace de una embarcación de estas características genera **una tonelada de material potencialmente reciclable**.

Todo en su conjunto presenta una problemática ya que existe un residuo potencial y una metodología de gestión incierta, tanto en medios de identificación como en el reciclaje o valorización. Debido a que el destino de este producto suele ser el vertedero, merece la pena estudiar alternativas de gestión para alargar su ciclo de vida.



Figura 32. Embarcación de recreo abandonada - Fuente propia.

Contemplando el marco actual, donde resulta necesaria la aplicación de medidas sostenibles, así como alargar la vida útil de los residuos generados en la industria y otras actividades, la posibilidad de utilizar fibra de vidrio reciclada en vez de industrializada se vuelve en una opción interesante.

Sin embargo, esta propuesta tan sólo tendrá sentido si la fibra es separada de la resina, y ésta fibra es tratada para darle propiedades alcalino resistentes similares a las de las fibras industrializadas.

4.4.1 Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

Mediante un análisis del ciclo de vida se propone identificar el potencial impacto ambiental de una embarcación de recreo. El ACV incluye todas las etapas, desde la extracción de materias primas, la producción, distribución, uso (incluidos el amarre, mantenimiento y navegación) hasta el final de su vida útil. De esta manera se pueden observar las etapas que provocan un mayor impacto.

Además, se puede comparar el impacto ambiental de una embarcación que acaba en vertedero con el de una que va al desguace.

Los efectos a destacar producidos en el ciclo de vida de una embarcación son los siguientes:

Acidificación

Se conoce como acidificación de los océanos al descenso del pH de los océanos de la Tierra. El dióxido de Carbono es absorbido por el océano y genera un aumento de su acidez al combinarse con agua, formando ácido carbónico que se ioniza parcialmente en protones e iones bicarbonato.

La acidez del mar se determina en gran parte por la concentración de dióxido de Carbono disuelta en el mismo.

Este proceso químico es generado por sustancias como aceites lubricantes, grasas, anticongelantes y carburantes tras la combustión.

Agotamiento recursos abióticos

Los factores abióticos son aquellos que no tienen vida. Entre ellos destacan el agua, la temperatura, el pH, el suelo, la luz, el oxígeno, la humedad, y los nutrientes.

El método de estimación de este impacto ambiental es relativamente subjetivo, por lo que hay variedad de opciones. A grandes rasgos, puede referirse específicamente al agotamiento de recursos naturales en función de reservas físicas o económicas, o incluir en la ecuación las tasas de extracción de recursos.

Por tanto, según la metodología instaurada, las áreas de protección incluirán recursos naturales, entornos naturales y/o salud humana.

Eutrofización

Se conoce como eutrofización a la acumulación de nutrientes en un ecosistema acuático. Se suele referir al aporte masivo de nitrógeno y fósforo en el litoral marino. Este hecho provoca cambios en:

- La población de las especies.
- Un incremento en la producción de biomasa en los ecosistemas, lo cual conlleva una reducción de los niveles de oxígeno derivado de la oxidación (descomposición) de material orgánico vegetal.
- Una posible contaminación del agua.
- Emisiones de materiales orgánicos degradables.

Las superficies a proteger de la eutrofización son los recursos naturales, y el entorno natural y antropogénico.

Calentamiento global (GWP100)

El calentamiento global se conoce como el impacto de las emisiones humanas sobre la absorción de radiación de calor o forzamiento radiativo de la atmósfera.

La mayoría de estas emisiones provoca un aumento de la temperatura superficial de la tierra, lo cual provoca efectos negativos en la salud humana, así como en los entornos natural y antropogénico.

Entre las sustancias que más inciden en el calentamiento global se encuentran el dióxido de carbono, el metano, los óxidos de nitrógeno y los óxidos de azufre.

Agotamiento ozono estratosférico

Como consecuencia de las emisiones antropogénicas, la capa de ozono disminuye su grosor. Este concepto se conoce como agotamiento de la capa de ozono, y causa que una mayor fracción de radiación solar UV-B alcance la superficie terrestre, lo cual tiene impactos sobre los recursos naturales, el entorno natural y antropogénico y la salud humana.

Para analizar el potencial de reducción de la capa de ozono se utiliza el método basado en el efecto de las sustancias a tiempo indefinido. Sin embargo, existen otros métodos basados en el efecto a 5, 10, o 40 años.

Toxicidad humana

Los efectos de la fibra de vidrio sobre la salud, especialmente aquellos referentes a la piel, irritación en los ojos y vías respiratorias, se encuentran documentados.

Sin embargo, los riesgos crónicos no están tan bien definidos. Animales artificialmente expuestos a lana de vidrio y microfibras de vidrio han desarrollado fibrosis, cáncer pulmonar y mesotelioma.

Los estudios de inhalación no han demostrado ninguna evidencia de la carcinogenicidad de las fibras de vidrio en filamentos continuos.

Estudios in vitro demuestran que las microfibras de vidrio causan aberraciones cromosómicas y resultan citotóxicas.

Los datos epidemiológicos se basan en las plantas de fabricación de la fibra de vidrio.

Para la fibra de vidrio continua, no existe evidencia de cáncer de pulmón o de enfermedades respiratorias no malignas. Los datos de lana de vidrio muestran un aumento del riesgo de cáncer de pulmón, pese a que el riesgo no parece estar directamente vinculado ni a la duración de la exposición ni a la acumulación de la exposición.

También hay evidencia del aumento del riesgo de padecer enfermedades respiratorias no malignas, como rinitis, faringitis, bronquitis y obstrucciones pulmonares, por parte de los trabajadores en la producción de este material y de los usuarios finales.

Los resultados reportados por la exposición del personal de la industria de la manufactura y la fabricación de vidrio textiles y lana han sido inferiores a 1,5 fibras por centímetro cúbico de aire (f/cc). La fabricación de vidrio fino comporta elevadas exposiciones, hasta 4,38 f/cc. Las exposiciones del usuario final reportadas son de hasta 3,62 f/cc.

Ecotoxicidad

Se define la ecotoxicidad como el conjunto y alcance de efectos medioambientales, tóxicos para los seres vivos, que resultan de diversos procesos humanos o naturales.

Este tipo de impacto abarca el efecto de sustancias tóxicas sobre los ecosistemas acuáticos, terrestres y sedimentarios. La superficie de protección son los recursos naturales y el entorno natural.

El método estándar para evaluar la ecotoxicidad se basa en el efecto de las sustancias a tiempo indefinido a nivel global. Sin embargo, existen alternativas basadas en el efecto a 20 o 100 años a nivel global, o a tiempo indefinido a nivel continental.

Cabe destacar que la ecotoxicidad se produce tanto en agua dulce, marina como en el medio terrestre.

Oxidación fotoquímica

En referencia a la formación de compuestos químicos reactivos mediante la reacción de ciertos contaminantes en el aire con la luz. Pueden ser formados en la troposfera bajo la influencia de luz ultravioleta a través de la oxidación de monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles en presencia de óxidos de nitrógeno.

Los foto-oxidantes pueden ser dañinos para la salud humana y los recursos y entornos naturales, así como para el entorno antropogénico.

4.5 Propuestas mejora

Como se ha estudiado, la fibra de vidrio es un residuo inerte. Se necesita, por tanto, encontrar la manera más adecuada para alargar el ciclo de vida del producto.

Para ello se cuenta con dos fases: limpieza e impregnación.

El primer paso para llevar a cabo el tratamiento propuesto consiste en purificar y limpiar al máximo la fibra. Para ello, se procede a realizar una serie de tratamientos físicos y químicos. Se realiza una primera fase de limpieza física para eliminar el polvo y las impurezas y una segunda fase de limpieza química para eliminar la resina.

A continuación, se realiza un revestimiento de zirconio mediante un tratamiento superficial que protegerá las fibras ante un posible ataque alcalino de otro material. Finalmente, se realiza un proceso de cribado para obtener fibras que presenten una medida mínima.

Por otra parte, los fabricantes son una figura clave, ya que tienen el poder de producir no sólo pensando en las ventas a corto plazo, sino también teniendo en cuenta el futuro de esa embarcación (**ecodiseño**). Los usuarios resultan en otra figura importante, por lo que su concienciación es relevante en tanto que se fijen en la correcta gestión de su embarcación durante todo su ciclo de vida, así como del impacto que implica el abandono de la misma.

De su sensibilización y la de los usuarios depende que se trabaje rumbo a una producción sostenible.

El vertedero de residuos no es una opción viable a largo plazo para las embarcaciones que llegan al final de su vida útil, por lo que es indispensable abordar ésta problemática.



Figura 33. Embarcaciones de recreo abandonadas en la isla de Ibiza - Fuente propia.

4.5.1 Proceso de construcción

Todo proyecto debe seguir un proceso con la mínima cantidad de desperdicios así como con las mínimas emisiones posibles.

Por tanto, se deberán limitar todos aquellos procedimientos de fabricación que impliquen emisiones de polvo. Los moldes, por ejemplo, deberán suministrar los contornos de la pieza ya acabados. Evitar la definición de cortes perimetrales de material, así como aperturas, pudiendo además aprovechar el material sobrante.

Se deben evitar los lijados con la utilización de tejido pelable en las zonas que se requiera superficie de adhesión.

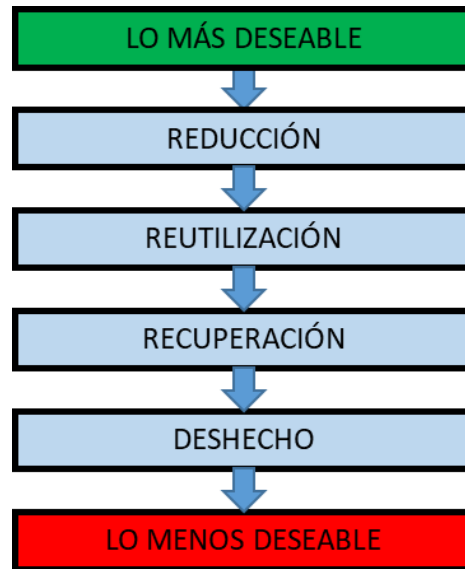


Figura 34. Comparativa de acciones posibles cuando finaliza el ciclo de vida de una embarcación de recreo – Elaboración propia.

En cuanto a los desperdicios de materia prima de una embarcación, se debe minimizar los retales, así como aprovechar los retales sobrantes para la construcción de pequeñas piezas.

Tecnológicamente se debería optar por una construcción con pre-impregnados de baja temperatura en contraposición a otras tecnologías de menor coste por su menor impacto ambiental. Pese a que pueda consumir algo más de energía, durante el proceso de curado se reduce drásticamente la cantidad de materia prima consumida, así como las emisiones.

En el proceso de limpieza, se tratará de realizar con jabones o limpiadores que minimicen el consumo de acetona, tratando de reciclarla siempre y cuando sea posible.

Con el objetivo de minimizar las emisiones de disolventes, los tratamientos desmoldeantes para moldes serán en base agua.

Las horas de trabajo de gestión de residuos se incluyen en concepto de mano de obra indirecta (MOI) en el precio final de la embarcación. También se incluye el coste de planta para recogida y tratamiento de residuos propios de la fabricación por parte de un gestor de residuos autorizado.

Durante el proceso productivo, se tendrá en cuenta lo siguiente:

Emisiones a la atmósfera: se evacuarán al exterior mediante chimeneas de 10 metros sobre el nivel del suelo.

Emisiones al agua: las purgas de calefacción, líquidos refrigerantes y compresores se tratarán mediante un equipo separador aceite/agua, provisto de pre-filtro oleófilo y filtro de absorción. Este deberá proporcionar un nivel máximo de hidrocarburos de 10mg/l, evacuándose el efluente final al colector de fecales del polígono donde se ubique.

Residuos: Clasificados por el código LER, de acuerdo al Anexo 2 de la Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero BOE nº43 de 19 de febrero de 2002, corrección de errores BOE nº61 de 12 de marzo de 2002.

Los residuos se ubican en la lista localizando la fuente que genera el residuo (capítulos 01 a 12 o 17 a 20) y buscando el código adecuado de seis cifras para el residuo.

Descripción del residuo	Código LER	Operación final de gestión
Residuos pastosos Pasta de pintura Polvo de pintura	080111	Recuperación material Regeneración Valorización energética Tratamiento fisicoquímico Incineración Depósito en vertedero
Recortes de pre-preg Resinas con disocianatos Catalizados	080409	Recuperación energética Depósito en vertedero
Disolventes no halogenados	140603	Valorización mediante regeneración o recuperación energética
Envases plásticos contaminados	150110	Recuperación material
Envases metálicos contaminados	150110	Recuperación material
Material contaminado Filtros pintura	150202	Recuperación energética Depósito en vertedero
Aerosoles	160504	Recuperación de material Valorización energética

Figura 35. Clasificación de los residuos por Código LER. Fuente: www.boe.es

Descripción del residuo	Código LER	Operación final de gestión
		Tratamiento físico-químico incineración
Aceite	130802	Valorización mediante recuperación energética Valorización mediante tratamiento físico-químico
Baterías, pilas	160601/160604	Recuperación material
Tóner	080318	Recuperación material
Papel y cartón	150101	Recuperación material
Chatarra	170405	Recuperación material
Madera	200138	Recuperación material
Plástico	200139	Recuperación material
Basura general	200301	Depósito en vertedero

Figura 36. Clasificación de los residuos por Código LER. Fuente: www.boe.es

Ruidos y vibraciones: La instalación deberá respetar los valores límite de inmisión de ruido establecidos en el Anexo III del Real Decreto 1267/2007, de 19 de octubre, por el cual se desarrolla la Ley 37/2003 de Ruido, respecto a la zonificación acústica, emisiones acústicas y objetivos de calidad, expresados en dBA.

4.5.2 Polímeros compuestos de fibra natural reforzada

La importancia de los compuestos poliméricos ha ido en aumento en distintos sectores industriales tanto para productos básicos como para ingeniería y materiales de alto rendimiento.

A pesar del buen rendimiento de los polímeros, las fibras sintéticas de origen orgánico (carbono) e inorgánico (vidrio, metálico o cerámico) todavía tienen un alto coste de producción, y su eliminación es un problema ambiental potencial.

Las fibras naturales originales de los vegetales, animales y minerales han estado siempre ligadas a la vida humana. Fibras como la celulosa, seda y lino han sido utilizadas para alimentar y vestir al ser humano durante siglos. Por encima de ello, las fibras vegetales tienen una importancia comercial significativa, gracias a sus propiedades específicas como baja densidad y coste, y buenas propiedades de aislamiento acústico y térmico.

Son consideradas materiales verdes debido a sus condiciones degradable y renovable absolutas. Además, su combustión no emite gases tóxicos.

Pese a que las fibras naturales de celulosa tienen una amplia variedad, como plantas, hojas y semillas, su morfología intrínseca les otorga unas propiedades mecánicas y físicas distintas.

El uso de las fibras naturales como complemento a los compuestos basados en polímeros empezó con motivo de la reducción de costes. La búsqueda de bajos costes, elevados ratios de producción, materiales no abrasivos y una baja demanda energética para procesarlos fueron motivos suficientes para ello. Están

disponibles alrededor del mundo, y, gracias a su elevada resistencia, rigidez, y baja deformación, son candidatos a reemplazar las fibras de vidrio y carbono como refuerzos poliméricos.

A día de hoy, el sector automotriz y la industria de almacenamiento están en búsqueda de materiales naturales, focalizándose en su reciclabilidad y biodegradabilidad tras completarse su ciclo de vida.

Debido a la diversidad de las fuentes vegetales, los refuerzos de fibras naturales pueden producirse ilimitadamente. Además de sus características físicoquímicas como polímeros, pueden ayudar a disminuir el daño ambiental.

La principal ventaja del uso de fibras naturales en compuestos poliméricos es su renovabilidad. Otras características como su baja densidad, actividad biológica, funcionalidad química, neutralidad en cuanto a emisiones de CO₂, baja abrasividad, modulo de elasticidad elevado y resistencia tensil hacen de ellos un producto final muy atractivo.

Todas estas particularidades juegan a favor de la importancia de las fibras naturales como relleno en compuestos poliméricos para aplicaciones industriales, así como para reemplazar al vidrio, gracias a su bajo peso, y elevada resistencia y módulo de elasticidad.

4.5.2 Global Report on the development of eco-reinforcements

El proyecto Eco-Compass, llevado a cabo recientemente y financiado por la Unión Europea (grant agreement No 690638) y la República Popular de China (grant agreement No [2016]92) tiene como principal objetivo mejorar el conocimiento acerca de los eco-compuestos con el fin de potenciar su introducción en estructuras secundarias e interiores de aeronaves.

Este estudio está basado en el creciente interés en la aplicación de biomateriales como fibras naturales en compuestos. Su objetivo principal es averiguar si un compuesto híbrido, hecho de fibra de carbono reciclada y fibras naturales, incrementa las propiedades mecánicas de flexión comparado con polímeros reforzados con fibra natural (NFRP).

¿Es posible reciclar fibra de carbono y aplicarla a la industria exitosamente?

Para ello se compara con laminados monolíticos hechos de fibras de lino y fibras de carbono recicladas y se compara con fibra de lino y refuerzos de fibra de carbono reforzada.

El test se basa en tres puntos de curvatura, los cuales muestran un incremento potencial de las propiedades mecánicas de flexión combinando rCF (reinforced Carbon Fiber) y fibra de lino en un híbrido sin tejido.



Figura 37. Fibra de lino (izquierda) y fibra de carbono reciclada (derecha). Fuente: Global Report on the development of eco-reinforcements.

La fibra de carbono consume mucha energía durante su fase de producción. Es por tanto muy interesante reducir el consumo de materiales sintéticos en favor de los biomateriales en ciertas aplicaciones.

La falta de experiencia y confianza en el comportamiento a largo plazo y las propiedades mecánicas de los compuestos que contienen fibras naturales resulta todavía en un obstáculo para el uso con seguridad en aplicaciones relevantes como estructuras.

Comparado con la fibra de vidrio, las fibras naturales ofrecen buena rigidez gracias a su baja densidad. Sin embargo, la capacidad resistente no es comparable incluso teniendo en cuenta la densidad de la fibra. Además, la longitud de las fibras naturales está limitado por la longitud de la planta.

Las propiedades mecánicas de la fibra natural reforzada con matriz polimérica son peores comparadas con las GRFP (Glass Fibre Reinforced Polymers) y especialmente con las CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymers).

Una manera de incrementar las propiedades mecánicas de la NFRP (Natural Fibre Reinforced Polymers) pasa por la hibridación con fibras sintéticas como el vidrio o el carbono.

Se encontró que las propiedades mecánicas a tracción de un híbrido fibra de vidrio o carbono compuesto con resina epoxi dependían en gran medida de lo dispersas y adecuadamente localizadas que se encontraran las fibras.

Desde una perspectiva ecológica, los compuestos como CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Plastic*) consume gran cantidad de energía durante su fase productiva. El elevado valor de las fibras de carbono las hace realmente interesantes para el reciclaje. Estas fibras se pueden obtener de desechos y de productos que han llegado al fin de su ciclo de vida.

Además, en diversos estudios se observa un ahorro en coste y consumo energético potenciales mediante el reciclaje de la fibra de carbono. Sin embargo, los procesos de reciclaje pueden ser incluso más caros comparados con la producción de fibra de carbono virgen. A día de hoy, los procesos de reciclado de CFRP con la tecnología más avanzada es la pirólisis.

Los desechos CFRP se depositan en la cámara de pirólisis a temperaturas superiores a los 600°C. Habitualmente, la calidad de las rCF (recycled carbon fibres) es menor comparada con la fibra de carbono virgen (vCF). Uno de los principales motivos es la longitud discontinua debido al triturado previo para reducir el tamaño de las partes del producto previo. Además, la adhesión de la fibra-matriz es otro contrapunto.

A pesar de todo, las propiedades mecánicas de la rCF (Fibra de Carbono reciclada) pueden considerarse muy buenas. Varios test de tensión en las fibras han mostrado resultados similares para rCF y vCF.

Debido a las desventajas mencionadas previamente, la rCF se aplica restrictivamente a casos de uso alternativos con baja demanda cualitativa.

Otro método para obtener fibra reciclada es reciclando los desechos de fibra de carbono de las fábricas productoras de compuestos.



Figura 38. Estructura superficial típica de fibra de lino y de carbono obtenida en el laboratorio DLR mediante una máquina de cardado en seco. Fuente: Global Report on the development of eco-reinforcements.

En este estudio, además, se cuestiona y avanza claramente en la problemática de la correcta distribución de los materiales con el fin de obtener un material con propiedades homogéneas a lo largo de toda su superficie.

Tras gran variedad de pruebas con la orientación y porcentaje de los materiales, se observa que el tipo de fibra y su distribución en laminados híbridos tiene un gran impacto en las propiedades mecánicas de flexión. Se llega a la conclusión de que la mezcla de fibras naturales con una pequeña aportación de fibra

de carbono reciclada (7,5% del laminado) puede llevar a un incremento en las propiedades mecánicas significativas.

La producción híbridos de lino y rCF abren un mundo de posibilidades para modificar las características de un material. El ratio de mezcla y distribución de las distintas fibras puede ser adaptado a los requerimientos que desee la aplicación en cuestión.

Se sacrifica la naturaleza biológica del material a cambio de una ganancia en características multifuncionales para competir con los materiales sintéticos.

Finalmente, se menciona que el impacto ambiental debe ser evaluado. Generalmente, no es posible reducir el impacto tan sólo sustituyendo las fibras sintéticas con fibras naturales. Las fases de uso en aplicaciones de transporte tienen un fuerte impacto en las propiedades ambientales.

Otro aspecto importante es el tratamiento cuando finaliza el ciclo de vida del material. La NFRP (Fibra natural de matriz polimérica) puede ser incinerada, mientras que al añadir rCF se deben realizar otros procesos. Un reciclaje del material híbrido es posible, sin embargo, un material “re-reciclado” perdería gran parte de su calidad. Es importante calcular los impactos ambientales de todas las fases del ciclo de vida de los compuestos, desde la extracción del material puro, su producción, los tratamientos desde su fase de uso hasta el fin de su ciclo de vida mediante un análisis del ciclo de vida (LCA) y comparar con los materiales con los que compiten.

4.6 Aspecto legal

La OMI instauró el Convenio de Hong Kong (HKC, Hong Kong Convention) el cual es el mecanismo internacional para el reciclaje de buques correcto en términos de seguridad y medio ambiente. En él se abordan los riesgos ambientales, de salud y seguridad relativos al reciclaje de buques, teniendo en cuenta las particularidades del transporte marítimo, así como la retirada de buques cuya vida útil termina.

Sin embargo, aplica a buques a partir de 500 GT, por lo que las “pequeñas embarcaciones de menos de 500 GT” entre las que se encuentran las embarcaciones de recreo, no están contempladas en este convenio.

En la actualidad, no se encuentra ningún documento legal o regulador a nivel europeo que reclame el reciclaje de embarcaciones de recreo ni su adecuada gestión cuando éstas son abandonadas.



Figura 39. Velero abandonado en Ibiza, Islas Baleares - Fuente propia.

A nivel estatal, Francia cuenta con una legislación específica dirigida a embarcaciones abandonadas en aguas territoriales e interiores.

España cuenta con una legislación que concede a las autoridades portuarias apartar las embarcaciones de recreo abandonadas o dejadas en algún lugar potencialmente peligroso para el medio ambiente, la seguridad o la salud.

Por su parte, Alemania y Holanda prohíben la colocación de fibra de vidrio en vertederos.

4.6 Experiencias técnicas con la fibra de vidrio

La fibra de vidrio, que proviene mayoritariamente del casco de la embarcación, así como de otros elementos estructurales, como el mástil en el caso de veleros, viene mezclada con varias resinas y cubierta de pinturas y barnices. Esta mezcla dificulta su posterior reciclaje dada su condición contaminante.

El proyecto BOATCYCLE desarrolla esta situación mediante el diseño y desarrollo de una nueva metodología para la separación y reciclado de la fibra de vidrio.

El proceso propuesto consiste en moler la fibra de vidrio, sin ser separada de las resinas, pinturas y barnices, para tratarla en partículas más pequeñas. De esta manera se consigue una distribución más homogénea que facilita su manipulación posterior.



Figura 40. Fibra de vidrio con compuesto PP extruido. Fuente: www.fundacionmar.org

Seguidamente, las partículas se disponen en una mufla y se carbonizan las resinas, pinturas y barnices (todos ellos con estructuras poliméricas). De ello se obtiene una fibra de vidrio limpia de impurezas. A continuación, pasa por un proceso de tamizado para homogeneizar el tamaño de las partículas, y se introduce en cuatro matrices de polímeros distintos (PE, PP, PET y PA) mediante un proceso de fusión-extrusión con el objetivo de obtener nuevos compuestos. Con estos resultados, se dio una indicación de las posibles usos industriales de estos compuestos.

Como se ha analizado previamente en este estudio, la fibra de vidrio destaca por sus excelentes propiedades de dureza y rigidez, obtenidas gracias a la matriz polimérica en la que se introduce. La introducción de cargas pesadas (hasta 40%) de fibra de vidrio en la matriz polimérica, como PE y PP, mejora sus propiedades mecánicas y de impacto. De esta manera se obtienen polímeros con un rendimiento más técnico, con cargas de 30%.

No obstante, con matriz polimérica de PET o PA, se observa que la inserción de fibra de vidrio implica la obtención de un compuesto de mala calidad. Esto se manifiesta por la degradación que la fibra de vidrio sufre durante su ciclo de vida en una embarcación, ya que se hidroliza el compuesto. La hidrolización imposibilita, en compuestos PET y PA, un compuesto con buenas propiedades.

Se debe tener en cuenta la energía consumida durante el proceso, la cual puede asimilarse a la que una empresa de extrusión de polímeros necesita para el desarrollo de nuevos materiales compuestos poliméricos. El consumo energético para limpiar la fibra de vidrio es, además, inferior al consumo utilizado para obtener nuevas fibras de vidrio para las aplicaciones compuestas.

En cuanto al consumo de agua, resulta mínimo ya que sólo es necesario para refrigerar el equipo de extrusión.

4.6.1 Conclusiones

La fibra de vidrio se puede reciclar con relativa facilidad. La problemática principal se sitúa en los contaminantes, los cuales deben ser eliminados previamente, y la hidrolización, lo cual provoca que la fibra no pueda ser usada en polímeros sensibles a la humedad, como el PET y PA.

Las aplicaciones que tienen fibra reciclada abarcan un amplio abanico que va desde mobiliario urbano hasta nuevas embarcaciones, pasando por la creación de elementos para puertos e incluso para piezas de automoción, donde se estima que los plásticos reciclados serán obligatorios en un porcentaje por parte de la Comisión Europea.



Figura 41. Destrucción de una embarcación para su posterior reciclaje. Fuente: Drassanes Nicolau.



Figura 42. Transporte de una embarcación desguazada para su posterior reciclaje. Fuente: Drassanes Nicolau.

4.6.2 Entrevista con Oriol Grau (THERMAL RECYCLING OF COMPOSITES)

Thermal Recycling of Composites es una empresa española perteneciente al CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) dedicada al desarrollo y explotación de tecnologías para el reciclaje de residuos compuestos.

Se erigió como ganadora de la Competición Mundial NAUTIC TECH International Investment Forum, celebrada en el Salón Náutico de Barcelona, ganando un premio de 100.000€ ofrecido por Amazon Web Services, dando un paso importante para implementar su tecnología de reciclaje en el sector náutico.

Tras entrevistar al fundador de la empresa, Oriol Grau, se extrayeron distintas conclusiones.

Por una parte, es posible reciclar fibra de vidrio con muy buenas propiedades resultantes. Sin embargo, hoy en día no resulta económicamente viable ya que es un proceso prácticamente igual de costoso que la obtención de fibra de vidrio virgen.

Esto sucede porque la fibra de vidrio se vende en bobinas de 16 o 20 metros, por ejemplo, y determinados usuarios compran 12 metros. Los metros sobrantes de las bobinas se venden a bajo precio y siendo un material a estrenar.

El problema radica, además, en una regulación permisiva a nivel nacional que permite una economía lineal en el ciclo de vida de este material. Sin embargo, en otros países del norte de Europa, resulta obligatorio

seguir una economía circular, teniendo que reciclar y, en muchos casos, emplear fibra de vidrio reciclada para la construcción de cualquier material compuesto que lo requiera, teniendo consecuencias negativas para el propietario de la embarcación que no lo haga.

Viendo que económicamente no resulta viable, la única solución para que termine usándose fibra de vidrio reciclada pasa, a día de hoy, por cambiar la normativa vigente.



Figura 43. Parte del equipo de Thermal Recycling of Composites poniendo a prueba su tecnología. Fuente: www.trcsl.com

Thermal Recycling of Composites tiene el potencial de reciclar fibra de vidrio. Actualmente, sin embargo, se dedica al reciclaje de fibra de carbono ya que es un material mucho más caro de obtener de manera virgen, por lo que resulta rentable y es demandado por el mercado.

Además, tiene la patente para una tecnología de reciclaje de materiales compuestos única, la cual no ha podido ser detallada.

Esta tecnología les ha permitido la recuperación integral de hélices de turbinas y otros compuestos cubriendo una necesidad creciente de reciclaje de estos materiales. Un proceso altamente eficiente energéticamente permite obtener fibras de carbono y de vidrio de elevadísima calidad, junto con subproductos que pueden ser reutilizados como fuel durante el propio proceso, o para producir calor y energía.

Las fibras recuperadas pueden ser reutilizadas en el sector eólico o sus respectivos sectores originales, contribuyendo a una economía circular, enmarcada dentro de las prioridades de la Unión Europea.

Además, se centra en el suministro sostenible de materia prima. El crecimiento de la producción energética eólica hace de las palas de turbina un problema creciente que requiere ser solucionado mediante un método sostenible. Este proyecto comenzó su desarrollo en 2008, cumpliendo con las siguientes fases a día de hoy: idea, concepto, tests de laboratorio y validación en planta piloto.



Figura 44. Residuos de fibra de carbono. Fuente: www.trcsl.com



Figura 45. Fibra de carbono obtenida mediante la tecnología REFIBER. Fuente: www.trcsl.com

5. Valoración económica del proyecto

Seguidamente se muestra una tabla resumen del desglose de la carga de trabajo que ha requerido este proyecto así como su valoración económica.

El coste se ha calculado teniendo en cuenta el recurso de un analista y la tarifa por el que una consultora factura por ello, lo cual ronda los 60€ por hora. Debe tenerse en cuenta que, además, el analista en cuestión deberá tener conocimientos previos sobre materiales e ingeniería naval, ya que de lo contrario le tomaría más tiempo del que se muestra a continuación.

Fase del proyecto	Tiempo dedicado (h)	Coste (€)
Elección de la temática	15	900
Estudio de viabilidad	30	1.800
Análisis bibliográfico	80	4.800
Tutorías	15	900
Extracción de información	40	2.400
Búsqueda de contactos	30	1.800
Obtención de información de empresas y profesionales relacionados	120	7.200
Análisis de la información	200	12.000
Redacción del proyecto	140	8.400
Extracción de conclusiones	60	3.600
Redacción de conclusiones	40	2.400
TOTAL	770 h	46.200 €

Tabla 5. Valoración económica del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, por tanto, este proyecto está valorado en 46.200€.

6. Conclusiones

No existe ninguna medida adoptada para el desguace de embarcaciones de recreo por parte de la OMI. Además, el precio medio para desguazar una embarcación de recreo de 15 metros de eslora es de 15.000€, lo cual explica el principal motivo de abandono de embarcaciones, tanto en puertos deportivos como en tierra. El abandono tiene efectos potencialmente trágicos para el medio ambiente, como son el riesgo de fugas o vertidos de residuos como aceites, hidrocarburos y líquido de baterías. Noventa mil embarcaciones llegan al final de su vida útil al año en Europa, siendo todas ellas un reto en cuanto a gestión administrativa y medioambiental.

Cabe destacar que una embarcación de nueve metros de eslora genera una tonelada de material potencialmente reciclable. La dificultad se centra en que existe un residuo provisional así como una metodología de gestión incierta, tanto en su identificación como en el reciclaje o valorización.

Sólo un pequeño porcentaje de los polímeros termoplásticos es enviado a los procesos de reciclaje. Los compuestos tienen energía almacenada, por lo que la recuperación de los materiales que los constituyen puede producir beneficios económicos sustanciales. La inmensa mayoría de estos materiales es incinerado para producir energía, método que demanda un coste social y ambiental enorme debido a la emisión de gases tóxicos y de efecto invernadero, con sus consecuentes efectos sobre la salud humana, animal y marina. Resulta, por tanto, un método que, pese a dar una nueva vida en forma de energía al desecho, no resulta limpio.

Otro método claramente expandido hoy en día es el del amolado, el cual consiste en triturar el compuesto para obtener pequeñas partículas, las cuales se utilizarán como relleno en determinadas partes de un producto. Este método favorece la ligereza del material, repercutiendo en un menor consumo de fuel, en el caso de que sea un producto para el transporte, como un automóvil o un barco.

La pirólisis resulta en una de las tecnologías más avanzadas para el tratamiento de residuos. Sin embargo, éstos no se eliminan, sino que se transforman en agua, carbón, o partículas, entre otros, implicando una expulsión de sustancias tóxicas al aire al hacerlo. Además, no permite reutilizar los materiales para nuevos productos.

Sin embargo, cabe destacar que no existe un método de reciclaje absolutamente limpio, ya que incluso el reciclaje por medios mecánicos o amolado requiere de maquinaria, la cual necesita energía, obtenida a día de hoy de recursos finitos.

Varios estudios han abordado la problemática del reciclaje de embarcaciones de recreo a nivel nacional. Proyectos como el *BOATCYCLE*, centrado en reducir el impacto ambiental de la industria náutica, así como la búsqueda de alternativas de gestión para alargar el ciclo de vida de los compuestos. Otro más reciente, la empresa *Thermal Recycling Composites*, la cual se encuentra en posesión de una patente para reciclar compuestos mediante un método innovador, centrada a día de hoy en el reciclaje de fibra de carbono por motivos de rentabilidad económica. La fibra de vidrio podría ser perfectamente reciclada mediante el

mismo método, según el fundador de la empresa. Sin embargo, no es demandada por causas puramente económicas.

En la actualidad, hay una preocupación real por parte de la sociedad en la sostenibilidad en prácticamente cualquier ámbito posible. Las empresas se han hecho eco de ello y actúan en consecuencia con el fin de, al menos, mejorar su imagen pública. Es cierto que existe un avance, ya que cuando se pone el foco en un problema se pone el esfuerzo y los recursos necesarios para solventarlo. O al menos la intención.

Sin embargo, la sostenibilidad se está basando en una mejora de la fase final del ciclo de vida de los productos, y no en fases iniciales, que implica la manera en que se obtiene la materia prima y la producción del producto. Dar una orientación sostenible ecológicamente a ello solucionaría la parte más importante de la sostenibilidad. Este hecho puede darse mediante la utilización de recursos limpios para obtener la energía necesaria, ya que de poco sirve reutilizar productos si éstos han sido fabricados mediante un método no ecológico y, además, es reciclado de la misma manera. Son un ejemplo de ello el proceso productivo de las baterías eléctricas o, sin ir más lejos, de la fibra de vidrio, compuesto obtenido y aplicado en la producción mediante sistemas con impacto ecológico considerable.

Por tanto, la sostenibilidad debe darse en todas las fases del ciclo de vida de un producto.

Los avances tecnológicos se están dando para que cada vez resulten menos contaminantes los métodos de reciclaje, así como más eficaz el reciclaje de cualquier material compuesto, incluida la fibra de vidrio, material sobre el cual no se ha puesto el foco del reciclaje por motivos totalmente económicos. La explicación se da en que, a nivel nacional, es prácticamente igual de barato conseguir fibra de vidrio virgen que reciclada.

Sin embargo, sí es demandada en el mercado la fibra de carbono reciclada, la cual se obtiene con unas propiedades prácticamente idénticas a la fibra de carbono virgen. Esta demanda se debe a que la fibra de carbono virgen es mucho más cara que la reciclada.

Esto no sucede en otros países del norte de Europa, donde el reciclaje de embarcaciones de recreo tras finalizar su vida útil es de obligado cumplimiento. La solución, por tanto, pasa por imitar a estos países y, mediante la vía administrativa o legal, facilitar burocrática y económicamente al propietario de una embarcación de recreo que tenga el objetivo de finalizar con su ciclo de vida, así como castigar a quien abandone su embarcación, ya sea en tierra o mar.

Por otra parte, el uso de resinas recicladas puede llevar a un ahorro de costes debido a no necesitar herramientas para calentar el material, ciclos de fabricación más cortos, y la recuperación de materiales primarios de la parte retirada.

La utilización de fibras naturales resulta también realmente interesante y aplicable a la industria naval. Esta podría sustituir sin ningún tipo de problemas a la fibra de vidrio, siempre y cuando se aplique con la tecnología adecuada. Las fibras naturales presentan una gran ventaja ya que son degradables y no generan emisiones de gases tóxicos durante su incineración. Claramente el camino está marcado para que este tipo de material, procedente de la vegetación, sea combinado e incluso llegue a sustituir a los materiales sintéticos. Sin embargo, existe un obstáculo a superar: la falta de recursos en investigación y desarrollo de materiales.

Toda la problemática existente no puede detener a la sociedad ni a la industria en encontrar soluciones sostenibles. Los problemas para el reciclaje son complejos, implicando distintos sectores y escenarios,

6. Conclusiones

como la selección y desarrollo de los materiales, retos ingenieriles, limitaciones en cuanto a conocimientos y estudios de ciclos de vida. Además, resulta indiscutible que el factor económico tiene un poder soberano en cuanto a la toma de decisiones, no sólo para la industria sino también para laboratorios, donde muchas ideas o materiales son descartados por no ser efectivos en coste. Por ello, se debe recordar que muchas veces en la historia algo ha sido considerado inviable económicamente en un momento específico, hasta que se ha descubierto o logrado algún avance científico o tecnológico que lo ha hecho posible.

La ciencia y tecnología avanzan y se abre un mundo nuevo de posibilidades. El ser humano tropezará una y mil veces con distintas y, probablemente, similares piedras. Sin embargo, encontrará la solución a los problemas que se presentan gracias al trabajo en equipo y la suma de distintos conocimientos repartidos alrededor del mundo.



Figura 46. Imagen del Puerto de Ibiza. Fuente propia.

Bibliografia

- [1] García Espinosa, Julio. Apuntes de “Projectes de sistemes navals”. Facultat de Nàutica de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, BarcelonaTech. Barcelona, 2018.
- [2] Besednjack, Alejandro. Apuntes de “Construcción de embarcaciones de recreo”. Facultat de Nàutica de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, BarcelonaTech. Barcelona, 2018.
- [3] Rodrigo de Larrucea, Jaime. Apuntes de “Legislación marítima”. Facultat de Nàutica de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, BarcelonaTech. Barcelona, 2016.
- [4] Antonio Miravete. *Materiales Compuestos, Tomos I-II. 1ª ed.* España: Reverte, S.A., 2007. ISBN 978-84-921349-7-7.
- [5] Alejandro Besednjack. *Materiales Compuestos, procesos de fabricación de embarcaciones. 1ª ed.* España: UPC, 2005. ISBN 978-84-8301-820-0.
- [6] J. Lubliner, J. Oliver, S. Oller and E. Oñate. *A plastic-damage model for concrete.* International Journal of Solids and Structures. 1989, 25(3): 299-326
- [7] Swaroop Gharde, Balasubramanian Kandasubramanian. *Mechanothermal and chemical recycling methodologies for the Fibre Reinforced Plastic (FRP).* Environmental Technology & Innovation. 2019, 14.
- [8] M.K.Hagnell, M.Akermo. *The economic and mechanical potential of closed loop material usage and recycling of fibre-reinforced composite materials.* Journal of Cleaner Production. 2019, 223: 957-968.
- [9] Migel A. Jiménez, Luís Castejón, Antonio Miravete. *Materiales Compuestos realizados a partir de nuevas tecnologías textiles.* ICMA – Dpto. De Ingeniería Mecánica. Universidad de Zaragoza, 1997.
- [10] Takashi Inoh, Toshio Yokoi, Ken-Ichi Sekiyama, Norihisa Kawamura, Yasuhiro Mishima. *SMC Recycling Technology.* Toyota Motor Corporation, Research Article. 1994.
- [11] Sibeled Piedade Cestari, Daniela de Franc, Silva Freitas, Dayana Coval Rodrigues, Luis Claudio Mendas. *Recycling processes and issues in natural fiber-reinforced polymer composites.* Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano (IMA), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
- [12] A. Torres, I. De Marco, B. M. Caballero, M. F. Laresgoiti, M. J. Chomón, G. Kondra. *Recycling of the solid residue obtained from the pyrolysis of fiberglass polyester sheet molding compound.* Advances in Polymer Technology. 28(2): 141-149.
- [13] Ivan Grabovac. *Composite Reinforcement for Naval Ships: Concept Design, Analysis and Demonstration.* School of Applied Sciences, RMIT University, 2005.
- [14] Eugenio Sanhueza. *Oxidación fotoquímica de hidrocarburos clorados: una fuente importante de hcl en las lluvias tropicales remotas.* Interciencia. 2000, 25(4): 186-190.
- [15] Jesús Casas Rodríguez. *Industria naval y medio ambiente.* Grupo de trabajo “Medio ambiente y Desarrollo Sostenible”. Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos.
- [16] Jens Bachmann (DLR). *Ecological and Multifunctional Composites for Application in Aircraft Interior and Secondary Structures.* ECO-COMPASS. 2016.

- [17] R. A. Shenoj, J. M. Dulieu-Barton, S. Quinn, J. I. R. Blake, S. W. Boyd. *Composite Materials for Marine Applications – Key Challenges For The Future*. School of Engineering Sciences, University of Southampton.
- [18] www.trcsl.es (2019). Thermal Recycling of Composites [en línea] Disponible en: <https://www.trcsl.es/trc-ganadora-del-natic-tech/> [Consultado 15 de mayo de 2019].
- [19] www.incyt.org (2019). Recursos abióticos [en línea] Disponible en <http://incyt.org/indicadores/agotamiento-de-recursos-abioticos/> [Consultado 20 de abril de 2019].
- [20] www.rtbioenergia.org.mx (2019). Definiciones impactos ambientales [en línea] Disponible en <http://rtbioenergia.org.mx/wp-content/uploads/2017/12/Impactos-definiciones.pdf> [Consultado 25 de marzo de 2019].
- [21] www.fundacionmar.org (2019). Fundación Mar. Reporte Laymans [en línea] Disponible en <http://fundacionmar.org/wp-content/uploads/2014/01/laymans-report.pdf> [Consultado 30 de abril de 2019].
- [22] www.fundacionecomar.org (2019). Fundación Ecomar [en línea] Disponible en <https://fundacionecomar.org/category/medio-ambiente/> [Consultado 23 de junio de 2019].
- [23] www.fundacionmar.org (2019). Fundación Mar. Proyecto Boatcycle [en línea] Disponible en <http://fundacionmar.org/proyecto-boatcycle/> [Consultado 3 de mayo de 2019].
- [24] www.fundacionmar.org (2019). Fundación Mar. Proyecto Silmar 2 [en línea] Disponible en <http://fundacionmar.org/silmar-2/> [Consultado 5 de mayo de 2019].
- [25] www.ramonivilella.com (2019). Reciclaje de residuos [en línea] Disponible en https://www.ramonivilella.com/Gestion_residuos.aspx [Consultado 14 de mayo de 2019].
- [26] www.refiber.com (2019). Refiber [en línea] Disponible en <http://www.refiber.com/technology.html> [Consultado 21 de mayo de 2019].