Estudi i anàlisi sobre els materials compostos utilitzats per a la construcció d'embarcacions d'esbarjo

Treball Final de Grau

Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:
Sergio Ros Durán

Dirigit per:
Jordi Torralbo

Grau en Enginyeria de Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, 10 de Maig de 2016

Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques

Agraïments

M'agradaria mostrar el meu agraiment primer de tot a la meva familia, pel seu recolzament i per donar-me la oportunitat d'estudiar tot aquest temps, per ajudar-me a trobar el meu camí.

Al meu tutor, Jordi Torralbo, per la infinita paciència i pels seus importants consells, sense els que aquest treball no hagués estat possible.

I per últim, a Núria, perquè sense les teves paraules, la teva companyia, els teus consells i la teva insistència fa molt i molt de temps que m'hauria rendit. Sense tu aquest treball no estaria acabat, mil gràcies.

Taula de continguts

Agraïments iii
Taula de continguts v
Llistat de figures x
Llistat de taules xiv

Capítol 1. Introducció 2

Capítol 2. Història i evolució dels materials compostos en la navegació d'esbarjo 4

Capítol 3. Els materials compostos 6

3.1 Introducció als materials compostos 6
3.1.1 Concepte matriu-reforç 6
3.1.2 Classificació segons la matriu 7

3.2 Matrius per materials compostos 9
3.2.1 Els polímers 9
3.2.2 Classificació dels polímers 9
3.2.2.1 Termoplàstics 9
3.2.2.2 Elastòmers 10
3.2.2.3 Termostables 10
3.2.3 Funció de la matriu polimèrica al material compost 10
3.2.4 Matrius termostables 11
3.2.4.1 Procés de curat o reticulació 11
3.2.4.2 Tipus de resines 12
3.2.4.2.1 Resina de polièster 12
3.2.4.2.2 Resina de vinilèster 13
3.2.4.2.3 Resina epoxi 14
3.2.4.2.4 Resines fenòliques 15
3.2.5 Càrregues i additius 15
3.2.6 Recobriments 16
3.2.6.1 Gelcoat 16
3.2.6.2 Topcoat 18

3.3 Materials de reforç 18
3.3.1 Introducció als materials de reforç 18
3.3.2 Fibres inorgàniques 19
3.3.2.1 Fibra de vidre 19
3.3.2.2 Fibra de carboni 20
3.3.3 Fibres sintètiques 22
3.3.3.1 Fibres aramídiques 22
3.3.4 Estructures tèxtils dels reforços 23
3.3.4.1 Feltres 23
3.3.4.2 Sistemes no mallats 24
3.3.4.2.1 Teixits 24
3.3.4.2.2 Acoblats 26

3.3.4.2.3 Trenats 27
3.3.4.3 Mallats i encadenats 27

3.4 Materials de nucli 28
3.4.1 Construcció monolítica i *sàndwich* 28
3.4.2 Materials emprats com a nucli 30
3.4.2.1 Fustes naturals 30
3.4.2.2 Espumes sintètiques 31
3.4.2.3 Espumes sintàctiques 33
3.4.2.4 Niu d'abella 34
3.4.2.5 Fire Coremat® 35

3.5 Motlles 35
3.5.1 Materials emprats per la construcció de motlles 36
3.5.1.1 Fusta 36
3.5.1.2 Acer 36
3.5.3.2 Materials compostos 37
3.5.2 Gruix recomanat del motlle 37
3.5.3 Aspectes sobre plecs i vores del motlle 37
3.5.4 Simetria en motlles de material compost 38
3.5.5 Desemmotllament 38
3.5.6 Grans superfícies planes 38
3.5.7 Aplicació de reforços per mantenir la integritat del motlle 39
3.5.8 Color dels motlles 40
3.5.9 Particions 41
3.5.10 Utilització i conservació del motlle 41

Capítol 4.Processos de fabricació 44

4.1 Introducció als processos de fabricació 44
4.1.1 Introducció 44
4.1.2 Classificació dels processos 44
4.1.3 Concepte de buit 44
4.1.4 Emissions de compostos orgànics volàtils 45
4.1.5 Efectes de les variacions del gruix del laminat 46

4.2 Tècniques d'emmotllament per contacte 47
4.2.1 Laminació manual 47
4.2.1.1 Procediment 47
4.2.1.2 Eines 48
4.2.3.2 Materials 49
4.2.1.4 Entorn de treball 50
4.2.1.5 Anàlisi d'avantatges i inconvenients 51
4.2.2 Projecció simultània 52
4.2.2.1 Procediment 52
4.2.4.2 Eines 52
4.2.2.3 Materials 54
4.2.2.4 Entorn de treball 54
4.2.2.5 Anàlisi d'avantatges i inconvenients 55

4.2.3 Impregnadors 55

4.2.3.1 Procediment 56
4.2.3.2 Eines 56
4.2.3.3 Materials 57
4.2.3.4 Entorn de treball 57
4.2.3.5 Anàlisi d'avantatges i inconvenients 57

4.3 Tècniques d'emmotllament assistit per buit 59
4.3.1 Per contacte assistit per buit 59
4.3.1.1 Procediment 59
4.3.1.2 Materials fungibles 60
4.3.3.2 Materials 62
4.3.1.4 Entorn de treball 63
4.3.1.5 Anàlisi d'avantatges i inconvenients 64
4.3.2 Pre-impregnats 64
4.3.2.1 Procediment 65
4.3.2.2 Materials 65
4.3.4.3 Entorn de treball 66
4.3.2.4 Anàlisi d'avantatges i inconvenients 67
4.3.3 Pre-impregnats parcials 67
4.3.3.1 Procediment 67
4.3.3.2 Anàlisi d'avantatges i inconvenients respecte pre-impregnats tradicionals 68

4.4 Tècniques d'emmotllament per via líquida 68
4.4.1 Infusió 69
4.4.1.1 Procediment 69
4.4.1.2 Eines 70
4.4.3.2 Materials 71
4.4.1.4 Distribució de la resina 71
4.4.1.5 Anàlisi d'avantatges i inconvenients 73

4.4.2 RTM 74
4.4.2.1 Procediment 74
4.4.2.2 Eines 75
4.4.2.3 Materials 76
4.4.2.4 VARTM 76
4.4.2.5 Entorn de treball 77
4.4.2.6 Anàlisi d'avantatges i inconvenients 77

4.5 Autoclau 78
4.5.1 Procediment 78
4.5.2 Materials 78
4.5.3 Entorn de treball 79
4.5.4 Anàlisi d'avantatges i inconvenients 79

Capítol 5. Situació comercials de materials compostos i auxiliars 80

5.1 Proveïdors 80
5.1.1 Plastiform, S.A. 80
5.1.1.1 Materials de reforç 81
5.1.1.2 Resines 82
5.1.1.3 Altres auxiliars 88

5.1.2 Resinas Castro, S.L. 89
5.1.2.1 Materials de reforç 89
5.1.2.2 Resines 94
5.1.2.3 Altres auxiliars 99
5.1.3 Feroca, S.A. 101
5.1.3.1 Materials de reforç 101
5.1.3.2 Resines 104
5.1.3.3 Altres auxiliars 106
5.1.4 TF3P, S.L. 107
5.1.4.1 Materials de reforç 107
5.1.4.2 Resines 109

5.2 Taules comparatives dels materials 111
5.2.1 Taula comparativa de preus de materials de reforç 112
5.2.2 Taules comparatives de propietats i preus de resines de polièster 112
5.2.3 Taules comparatives de propietats i preus de resines de vinilèster 112
5.2.4 Taules comparatives de propietats i preus de resines epoxi 113

Capítol 6. Conclusions 114

Capítol 7. Bibliografia 117

Llistat de figures

Capítol 3. Els materials compostos

Figura 3.1 Comparativa de la relació tensió/deformació en cada component i el material compost.
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 6
Figura 3.2 Comparativa de dos compòstis amb les fibres amb diferent orientació.
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 7
Figura 3.3 Tipus de reforç per matrius metàl·liques.
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 8
Figura 3.4 Exemple de estructura molecular d'un termoplàstic.
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 9
Figura 3.5 Exemple de estructura molecular d'un elastòmer.
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 10
Figura 3.6 Exemple de estructura molecular d'un termostable.
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 10
Figura 3.7. Exemple de càrregues per resines.
Font: *Atmosferis* 15
Figura 3.8 Embarcació amb una zona pintada de gelcoat (blava) i una sense pintar (gris).
Font: *My costa brava* 17
Figura 3.9. Rotllo de filament de fibra de vidre
Font: Nautic Expo (http://img.nauticexpo.com/images_ne/photo-g/roving-fiberglass-39124-3698495.jpg) 19
Figura 3.10 Rotllo de tela de fibra de carboni
Font: Easy Composites(http://www.easycomposites.co.uk/images/products/large/Carbon-Fibre-8HS-375g-Full-100m-Roll.jpg) 21
Figura 3.11 Rotllo de filament de fibra aramídica.
Font: *Smart Rigging (http://www.smartrigging.com/upload/images/fibres3.jpg)* 22
Figura 3.12 Feltre de fibra de vidre (*mat*)
Font: Yatlantico (http://www.yatlantico.es/sites/default/files/imagecache/product_full/images/242.jpg) 24
Figura 3.13 Exemple de teixit de fibra de vidre.
Font: Difacom(http://files.difacomcr.com/200000181-3b8223c788/Fiberglass-20fabric-20224-20g-20plain-20weave_1.jpg) 25
Figura 3.14 Configuració de la trama i l'ordit en una tela.
Font: *Bon Drap (http://www.bondrap.com/archivos/noticias/esquemaTU.jpg)* 25
Figura 3.15. Configuració de la trama i l'ordit en una sarja.
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 25
Figura 3.16 Configuració de la trama i l'ordit en un setí.
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 26
Figura 3.17 Configuració de la trama i l'ordit en un ras.
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 26
Figura 3.18 Exemple de teixit acoblat de fibra de vidre.
Font: VitroFibras(http://www.vitrofibras.com/imagenes-productos/BIAXIAL%2090.JPG) 26
Figura 3.19 Esquema de la fixació d'un teixit acoblat amb més d'una orientació.
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 27
Figura 3.20 Mallat
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 28
Figura 3.21 Encadenat
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 28
Figura 3.22 Esquema estructura sándwich *(1-1' Material compost / 2 Material de nucli)*
Font: Patentados.com(http://patentados.com/img/2005/panel-sandwich-para-la-construccion.png) 29
Figura 3.23 Exemple d'esforç i deformacions en estructura sandwich
Font: NetComposites(http://www.netcomposites.com/images/Fig_4-0a.jpg) 29
Figura 3.24 Fusta de balsa
Font: Iber Hobby (http://iberhobby.com/images/Balsa.jpg) 30
Figura 3.25 Cedre vermell
Font: Tocamos madera(https://tocamosmadera.files.wordpress.com/2012/05/wrc.jpg?w=510) 31
Figura 3.26 Contraxapat marí
Font: Maderas Gavejo(http://www.maderasgavejo.com/wp-content/uploads/freshizer/781d63a0ace5471e7a7159b2f6c83572_marine1-863-430-c.jpg) 31

Figura 3.27 Esquemes cel·la oberta/tancada
Font: ZFoam(http://zfoam.es/_zfoam/wp-content/uploads/2012/10/cerrada.jpg) 32
Figura 3.28 Bloc d'escuma de PVC
Font: Nidodeabeja.com(http://www.nidodeabeja.com/img_ins/images/big/alveolari_schiume/Schiuma-in-PVC-espanso.jpg) 32
Figura 3.29 Escumes sintàctiques
Font: E-Syntactic(http://www.esyntactic.com/wp-content/uploads/2014/08/IMG_0321-e1408736800660.jpg) 34
Figura 3.30 Estructura niu d'abella
Font: Sitio Solar (http://www.sitiosolar.com/wp-content/uploads/2014/01/muro-nido-de-abejareducido.jpg) 34
Figura 3.31 Fire Coremat®
Font: Indiamart (http://3.imimg.com/data3/VQ/IK/MY-742007/lantor-core-mat-250x250.jpg) 35
Figura 3.32 Motlle construït en fusta
Font:(http://lh3.googleusercontent.com/ferhatunsalan/RzI4s8dFqvI/AAAAAAAAAE0/dbtdncoyEI4/s512/Dscn1653.jpg?imgmax=512) 36
Figura 3.33 Motlle metàl·lic
Font: Arqhys Arquitectura (http://www.arqhys.com/construccion/fotos/construccion/Materiales-para-la-Construccion-de-barcos.jpg) 36
Figura 3.34 Motlle construït en material compost
Font: Coam Internacional (http://ww2.coam-internacional.com/modulos/noticias_noticias/img/la-division-naval-de-coam-comienza-con-la-construccion-de-embarcaciones-20120329112846.jpg) 37
Figura 3.35 Transformació de vora viva en radi
Font: Incominex (https://incomimex.files.wordpress.com/2015/01/cantos.jpg?w=620) 38
Figura 3.36 Transformació de peça no apta en apta pel desemmotllament
Font: *Autodesk help (http://help.autodesk.com/cloudhelp/2014/ENU/Inventor/images/GUID-E23C6CC3-83F1-4382-9B9D-D68146C94F6A.gif)* 38
Figura 3.37 Superfície plana i possibles solucions
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 39
Figura 3.38 Exemple de reforços a un motlle
Font: Servimg (http://i60.servimg.com/u/f60/13/10/00/81/anuevo26.jpg) 39
Figura 3.39 Possibles configuracions dels reforços
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 40
Figura 3.40 Motlle de color en contrast amb el compòsit
Font: Javiercoterillo.com(http://www.javiercoterillo.com/wp-content/uploads/2012/11/FOTOS-16111.jpg) 41

Capítol 4.Processos de fabricació

Figura 4.1 Exemple de variació de temperatura entre ambdues fases
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 45
Figura 4.2 Exemple de emssions de COV en ambdues fases
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 45
Figura 4.3 Comparativa de corbes exotèrmiques amb gruixos d'1 mm i 30 mm
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 46
Figura 4.4 Esquema laminació manual
Font: Blog "Tecnología de los plásticos" (http://4.bp.blogspot.com/-xYZtsqMHOpw/Tq_WCXWK_yI/AAAAAAAABI4/RBer4myO_gk/s1600/handlay+esp.jpg) 47
Figura 4.5 Rodets de diferents materials
Font: Amig / Planeta Huerto / Mercamania (http://www.amig.es/datos/fotos/1355/rodillo_lana_4320.gran.jpg) 48
Figura 4.6 Brotxes rodones i planes
Font: Madera i ferreteria San Miguel / Decopraktik (http://www.decopraktik.com/images/thumbs/0003120_300.jpeg) 49
Figura 4.7 Tisores per fibra de vidre / Cúter elèctric / Cúter convencional
Font: Mercamania / Viral Surf (http://www.viral-surf.com/shaper/2271-4258-large/cutter-electrico.jpg) 49
Figura 4.8 Operari fent servir un equip de projecció simultània.
Font: Direct Industry (http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/maquina-proyeccion-simultanea-39130-3244691.jpg) 52
Figura 4.9 Esquema equip de projecció simultània (mescla interna / mescla externa)
Font: *Llibre "Materiales Compuestos, Nomenclatura básica"* 53
Figura 4.10 Esquema procés per impregnadors
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 56
Figura 4.11 Acció del diferencial de pressió produït per l'equip de buit
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 60

Figura 4.12 Distribució dels materials fungibles
Font: Nexus Projectes (http://www.nexusprojectes.com/Portal/_Imagenes/Tecnologias-09-Vacuum.gif) 61
Figura 4.13 Exemple de material pre-impregnat
Font: *Fiberglast* 64
Figura 4.14 Material pre-impregnat mitjançant impregnació selectiva
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 68
Figura 4.15 Esquema de la configuració de la laminació per infusió.
Font: Bright Composites 70
Figura 4.16 Infusió amb subministrament de resina puntual
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 72
Figura 4.17 Infusió amb subministrament de resina lateral
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 73
Figura 4.18 Infusió amb subministrament de resina perifèric
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"* 73
Figura 4.19 Esquema de procediment RTM
Font: Home Made Composites (www.composites.ugent.be) 75
Figura 4.20 Esquema procediment VARTM
Font: *Molded fiberglass* 77

Capítol 5. Situació comercials de materials compostos i auxiliars

Figura 5.1 Gama de colors disponibles pel Gelcoat Cronogel
Font: *Plastiform (http://www.plastiform.es/plastiform/productos/)* 7
Figura 5.2 Gama de colors disponibles pel Topcoat Cronotop
Font: *Plastiform (http://www.plastiform.es/plastiform/productos/)* 7
Figura 5.3. Mat de fibra de vidre
Font: *Feroca (http://www.feroca.com/es/)* 101
Figura 5.4 Vel de superfície de fibra de vidre
Font: *Feroca (http://www.feroca.com/es/)* 102
Figura 5.5 Teixit de fibra de vidre
Font: *Feroca (http://www.feroca.com/es/)* 102
Figura 5.6. Teixit de fibra de carboni
Font: *Feroca (http://www.feroca.com/es/)* 103
Figura 5.7 Teixit de fibra de carboni i aramida
Font: *Feroca (http://www.feroca.com/es/)* 103
Figura 5.8 Envàs de cera desemmotllant 34D
Font: *Feroca (http://www.feroca.com/es/)* 106

Llistat de taules

Capítol 5. Situació comercials de materials compostos i auxiliars

Taula 5.1 Comparativa de preus de materials de reforç
Font: *Pròpia* 111
Taula 5.2 Comparativa de propietats de resines de polièster
Font: *Pròpia* 112
Taula 5.3 Comparativa de preus de resines de polièster
Font: *Pròpia* 112
Taula 5.4 Comparativa de propietats de resines de vinilèster
Font: *Pròpia* 112
Taula 5.5 Comparativa de preus de resines de vinilèster
Font: *Pròpia* 113
Taula 5.6 Comparativa de propietats de resines epoxi
Font: *Pròpia* 113
Taula 5.7 Comparativa de preus de resines epoxi
Font: *Pròpia* 113

CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ

Durant tota la història l'ésser humà ha buscat millorar i adaptar a les seves necessitats les eines de que disposava i els materials amb que aquestes eren construïdes. Amb el pas del temps la complexitat d'aquests materials i les tècniques per la seva manipulació han anat en augment, arribant a la elevada especialització en cada tipus de material que trobem avui dia.

Moltes vegades aquesta evolució dels materials ve donada per la necessitat, tot i que moltes altres la motivació principal no és més que la voluntat característica de l'ésser humà de descobrir i millorar. Actualment trobem que la elevada competència comercial que impera en el món és la principal, i pràcticament única, motivació per trobar nous materials o millorar els ja existents.

Si entrem en el món de la navegació trobem que els materials de construcció han evolucionat de forma similar amb el temps, passant de materials simples com la fusta a materials més complexes com els materials compostos. En l'actualitat, si centrem el nostre estudi en la nàutica d'esbarjo, veurem que la major part del volum total d'embarcacions d'esbarjo es troben construïdes en materials compostos de matriu polimèrica, deixant un volum més petit a les construïdes amb acer o fustes.

En aquest sentit, aquest treball es centrarà en els anteriorment esmentats materials compostos de matriu polimèrica. De manera anàloga a les proporcions en que podem trobar aquests materials a la flota mundial de embarcacions d'esbarjo, comptarà amb major volum d'informació els formats per fibra de vidre i resines de polièster, tot i que també trobarem informació referent a fibres de carboni i aramida i resines vinilèster i epoxi.

En una època marcada per la constant evolució de la tecnologia i per la immesurable quantitat d'informació que podem trobar amb un grapat de *clicks*, trobem que no és gens fàcil filtrar quina d'aquesta informació pot resultar útil, està contrastada o si es troba al dia de les novetats més recents en l'àmbit que hi pertoqui. És per això que aquest treball tindrà com a principal objectiu la realització d'una recollida d'informació sobre materials compostos i els mètodes amb que poden ser conformats, per la seva posterior contrastació i ordenació, buscant sempre facilitar a qualsevol lector la comprensió de les seves propietats i les tècniques per fer-los servir.

Amb la voluntat de donar al lector una idea sobre la actual situació comercial d'aquests materials, s'exposarà també en aquest treball un recull de propietats i preus, tant de fibres com de matrius, proporcionats per part dels distribuïdors i, en alguns casos, fabricants dels mateixos. Amb això es busca que un cop llegit aquest treball, el lector sigui capaç de conèixer mínimament un rang de preus raonables a l'hora de cercar aquest tipus de materials al mercat actual.

CAPÍTOL 2. HISTORIA I EVOLUCIÓ DELS MATERIALS COMPOSTOS EN LA NAVEGACIÓ D'ESBARJO

Des de l'inici de la seva existència, l'èsser humà ha buscat millorar la seva adaptació al seu entorn, amb l'objectiu d'aprofitar al màxim les seves possibilitats. Una d'aquestes adaptacions va ser la utilització de superfícies que suraven a l'aigua per transportar objectes, animals o persones d'un lloc a un altre, donant lloc a una mena de navegació molt rudimentària, i que es pot suposar va ser iniciada amb la utilització de basses molt senzilles.

Com és evident, el pas del temps va donar lloc a una immesurable evolució en aquest àmbit, passant d'aquestes rudimentàries basses, a embarcacions més elaborades per part de civilitzacions com la egípcia, la fenícia o la grega, i arribant a la elevada complexitat i varietat que trobem avui dia.

De manera simultània i altament lligada ha evolucionat els materials emprats per la construcció d'aquestes embarcacions. S'ha passat de materials com les fustes sense treballar de les basses, a fustes mecanitzades, materials metàl·lics i compòsits que es fan servir actualment. Com es pot observar, la complexitat a l'hora de conformar aquestes embarcacions ha crescut exponencialment a cada passa que es donava en la evolució dels materials.

En l'actualitat trobem que la major part de les embarcacions esportives o d'esbarjo estan construïdes en materials compostos de matrius polimèrica.

El descobriment d'aquest tipus de materials té el seu origen al s.XX, amb l'aparició de les primeres matrius polimèriques termostables. Concretament al 1907, Leo Baekeland descobreix la *bakelita*, iniciant un procés en el que durant les següents decades van anar apareixent successivament les matrius polimèriques que serien utilitzades en la fabricació de materials compostos. Per altra banda, els materials de reforç, com les fibres de vidre, ja eren coneguts en l'antiguitat, fent-se servir en alguns objectes a la civilització Egípcia, entre d'altres. És per això que és la aparició de les matrius el fet que marca l'inici dels compòsits.

Tot i ser descoberts, aquests materials no van ser de gran aplicació fins entrada la dècada dels 40, després d'haver patit una gran evolució respecte als mètodes de fabricació. Es va passar dels mètodes més senzills com l'emmotllament per contacte, a mètodes més complexes com la infusió, els pre-impregnats o l'RTM, entre molts altres, utilitzats actualment.

Als últims anys les variacions més significatives han estat respecte a l'automatització dels processos i la optimització dels processos de curat. Respecte l'automatització, la evolució ha donat lloc a un gran creixement per part de processos de fabricació com l'RTM o el VARTM, que fan possible la producció de una quantitat major de peces que la resta. Mentre que en l'apartat de l'optimització, s'ha vist una gran millora i tecnificació en la utilització d'autoclaus, combinant-los amb altres mètodes com el buit o els pre-impregnats.

El principal repte que presenta el futur a aquests materials és el de ser capaços d'abordar el gran augment de la demanda que és previsible en un món cada cop més opitimitzat i que busca materials capaços de mantenir el ritme de la evolució tecnològica, deixant als materials compostos com la única via de millora possible i fent més que necessaria una forta aposta per aquests.

CAPÍTOL 3. ELS MATERIALS COMPOSTOS

3.1 Introducció als materials compostos

3.1.1 Concepte matriu-reforç

Quan parlem de material compost parlem de la combinació de materials a partir de la unió física (no química) amb la finalitat d'obtenir un de nou amb unes propietats superiors a les dels dos materials inicials, anomenat també compòsit. Els reforços donen al compòsit les propietats mecàniques i la matriu la resistència tèrmica i ambiental.

Trobem el material compost diferenciat en dues fases: la fase contínua o matriu, i la fase discontínua o reforç. Ambdues fases han de ser insolubles l'una amb l'altre, sent possible la diferenciació per mitjans mecànics d'ambdues. La principal característica d'aquests materials és que un d'ells envolta la resta, de forma que els dos materials treballen com a un sol, tot i mantenir les seves estructures originals per separat.

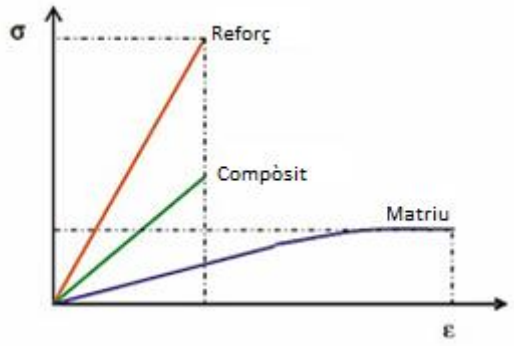

Figura 3.1 Comparativa de la relació tensió/deformació en cada component i el material compost
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"

Les propietats que obtindrem dependran de diversos factors:

- Propietats inicials del reforç i la matriu
- Contingut de reforç
- Orientació del reforç
- Procés de producció del compòsit.

Cal dir que s'han de tenir en compte les condicions en que treballarà el compòsit un cop finalitzat el procés de construcció, ja que una inadequada configuració dels factors anteriorment esmentats podria donar com a resultat unes propietats inferiors a les inicials dels materials. Per exemple, una orientació transversal del reforç respecte de l'esforç que rebrà dona com a resultat un compòsit de propietats pèssimes per aquesta situació. Si en canvi les fibres s'orienten longitudinalment respecte de l'esforç el resultat és el contrari.

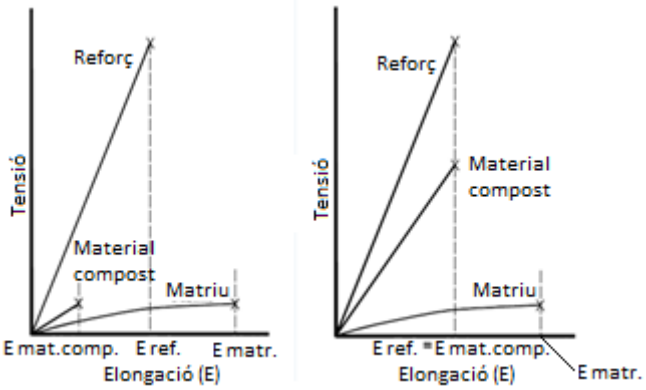

Figura 3.2 Comparativa de dos compòstis amb les fibres amb diferent orientació
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"

3.1.2 Classificació segons la matriu

La matriu d'un material compost ha de dur a terme les següents funcions:

- Protegir el reforç de l'ambient exterior (humitat, temperatura, aire...).
- Assegurar la unió solidària dels elements que formen el compòsit.
- Repartir i transmetre les càrregues a que estaran sotmesos els reforços.

En funció de la naturalesa d'aquest material que actua com a matriu podem classificar en:

- Matriu metàl·lica:

  Els materials compostos amb matriu metàl·lica s'han desenvolupat majoritàriament per obtenir materials d'alta resistència, rigidesa i mòdul específic (utilitzats habitualment per aplicacions estructurals en la indústria aeroespacial i automotriu) i per aplicacions de tall i desgast. Els més utilitzats avui dia són els aliatges lleugers d'alumini, titani i magnesi (alta resistència, rigidesa i mòdul específic) i els metalls de transició com cobalt, ferro i níquel (tall i desgast).

  El reforç d'aquests materials pot trobar-se en forma de fibres contínues, fibres discontínues/whiskers o en partícules. Les fibres contínues són les menys utilitzades degut a possibles atacs químics per part de la matriu, a canvis estructurals per la elevació de la temperatura, a la possible dissolució de les fibres a la matriu i a la relativament fàcil oxidació de les fibres de metalls refractaris. Les fibres discontínues acostumen a ser barreges d'òxids que donen propietats inferiors a les fibres contínues, reduint-ne per tant el seu cost. I per últim, les partícules són el reforç de menor cost i el que dona una major isotropia de les propietats.

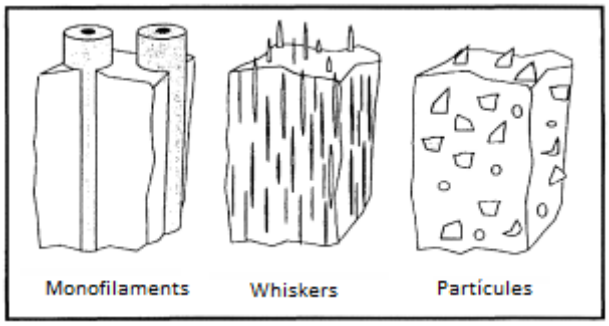

Figura 3.3 Tipus de reforç per matrius metàl·liques
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"

- Matriu ceràmica:

  Els materials compostos de matriu ceràmica han estat desenvolupats per superar la fragilitat intrínseca i la falta de confiança causada per la alta variabilitat en les propietats mecàniques dels materials ceràmics utilitzats habitualment en la enginyeria i, sobretot, per introduir compòsits ceràmics amb aplicacions a condicions molt extremes. La majoria de les aplicacions dels materials compostos de matriu ceràmica es basen en la utilització de carbur de silici, nitrur de silici, òxid de silici i òxid d'alumini, amb punts de fusió superiors a 1700^{o}C. Les principals aplicacions són com aïlants termics en motors aeronautics, elements estructurals en turbines de gas de plantes generació o frens de vehicles de competició.

- Matriu polimèrica:

Els compòsits de matriu polimèrica són actualment els més utilitzats i estan formats per un polímer incorporat a una fase de pols o fibres de vidre, bor, carboni o altre polímer. Els grans avantatges d'aquests compòsits es que aprofiten les bones propietats dels polímers com la resistència a l'oxidació, reduït pes i ductilitat, i les grans resistències mecàniques i rigidesa dels reforços que se li incorporen. Principalment s'utilitzen tres tipus de polímers bàsics: termoplàstics, termostables i elastòmers. Els més utilitzats són els termostables.

La primera generació de compòsits de matriu polimèrica van ser generalment termostables epòxids i relativament fràgils, amb poca resistència al impacte i susceptibles a la delaminació. Durant els últims anys s'han investigat les matrius polimèriques amb l'objectiu de millorar aquests factors. Aquests materials són de bones propietats mecàniques, resistents a la corrosió i als agents químics, i que degut a les seves característiques poden ser conformats amb total llibertat. Aquest últim és un factor clau en la seva gran utilització, ja que fa possible la obtenció de geometries difícils o que no són a l'abast d'altres materials.

3.2 Matrius per materials compostos

3.2.1 Els polímers

La paraula polímer prové del grec: *poly* (molts)i *mero* (parts, segments), tot i que químicament es defineixen els polímers com macromolècules formades per la unió de molècules més petites anomenades monòmers.

La reacció que dona lloc als polímers a partir dels monòmers s'anomena polimerització. Depenent del mecanisme pel qual es produeixi la polimerització, aquesta serà classificada com "polimerització per passos" o com "polimerització en cadena". Sigui quin sigui el mecanisme, la mida de la cadena de monòmers que obtindrem dependrà de paràmetres tals com la temperatura o el temps de reacció. Degut a que cada cadena tindrà una mida diferent i, per tant, un pes molecular diferent, parlarem de massa promig del polímer.

Per altra banda, els polímers poden ser lineals, formats per una única cadena de monòmers, o bé aquesta cadena pot presentar ramificacions. Les propietats que presentin els monòmers, com la massa molecular o possibles encreuaments entre cadenes, determinen diferents característiques per cada polímer. Per exemple, un polímer amb un encreuament serà més difícil de fondre que un que no en tingui cap.

3.2.2 Classificació dels polímers

Els polímers poden classificar-se en funció de molts i diferents paràmetres, però des del punt de vista de la construcció naval estudiarem la classificació segons el comportament que presentin aquests quan elevem la temperatura.

3.2.2.1 Termoplàstics:

Els termoplàstics són polímers que al escalfar-se a determinades temperatures passen a comportar-se com fluids, fent possible la obtenció de la forma desitjada quan es refredi. A nivell comercial són els polímers més utilitzats i de major importància. La seva estructura pot ser lineal o ramificada, pel que li es possible fluir amb l'aportació de calor.

Figura 3.4 Exemple de estructura molecular d'un termoplàstic
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"

3.2.2.2 Elastòmers

Els elastòmers son polímers amb cadenes amb molta llibertat de moviment molecular, és a dir, són materials flexibles. Presenten dobles enllaços per tota la cadena, però reticulats en menor grau. Per això presenten un estat elàstic o com una goma a temperatura ambient.

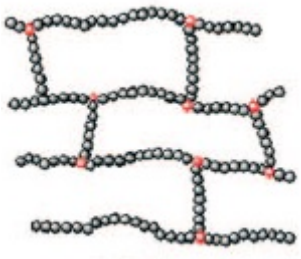

Figura 3.5 Exemple de estructura molecular d'un elastòmer
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de

3.2.2.3 Termostables

Els termostables són polímers que no poden fluir per efecte de la temperatura per tal d'adoptar una nova forma. Respecte a la seva estructura molecular són polímers amb molts encreuaments, dificultant la seva fusió. Acostumen a ser resines amb molta rigidesa i en escalfar-los es promou la descomposició química del polímer (carbonització). A temperatura ambient són durs i fràgils, tot i que acostumen a associar-se amb altres materials de reforç, donant lloc a un material compost amb unes propietats diferents de les dels dos materials que el formen.

Figura 3.5 Exemple de estructura molecular d'un termostable
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de

3.2.3 Funció de la matriu polimèrica al material compost

Les matrius, juntament amb els materials de reforç, són els elements bàsics del material compost. Entre les funcions principals de les matrius trobem les següents:

- Transmetre esforços a les fibres de reforç a través de la interfase.
- Protegir les fibres dels esforços de compressió.
- Unir les diferents fibres de reforç mitjançant forces adhesives.
- Asseguren la posició desitjada de les fibres de reforç.

- Protegeixen les fibres d'atacs externs com la humitat, temperatura o altres agents químics.

3.2.4 Matrius termostables

3.2.4.1 Procés de curat o reticulació:

S'anomena curat al procés pel qual la resina passa del seu estat líquid inicial a l'estat sòlid desitjat. Per tal que es pugui produir aquest canvi seran necessàries substàncies addicionals com el catalitzador o l'accelerador. Tant bon punt fem la barreja podem dir que s'ha iniciat el procés de curat.

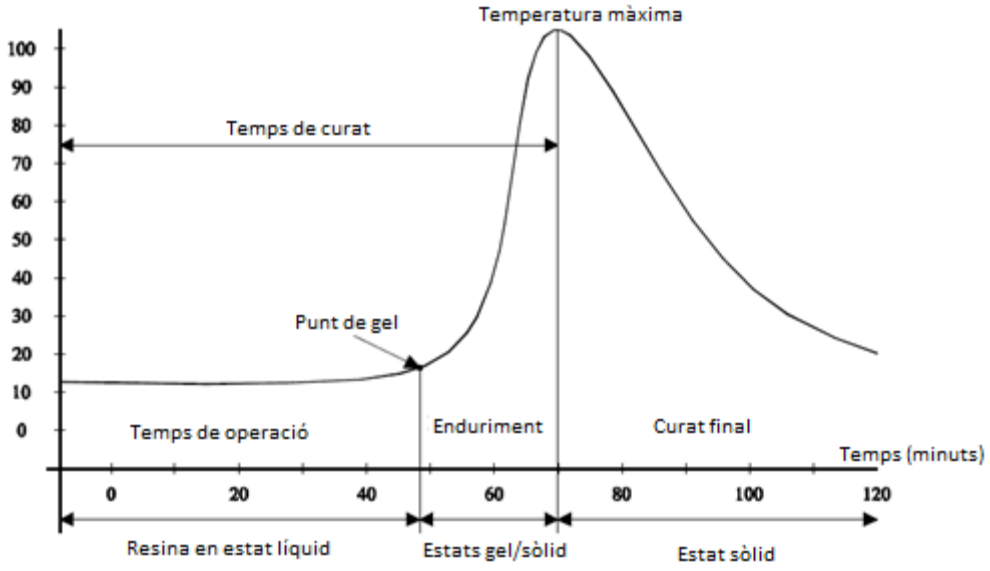

Figura 3.6 Corba exotèrmica característica de les resines durant el procés de curat.
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"

A la primera part del gràfic mostrat a la figura 3.6 podem observar que no hi ha un increment notable de la temperatura de la barreja, tot i que aquesta va augmentant la seva viscositat fins arribar al punt de transformar-se en un gel que fa impossible continuar impregnant els reforços: aquest s'anomena punt de gel, i determina el *temps de treball*[1] de la resina. A partir d'aquest punt comença la fase de enduriment de la resina. Aquest procés de la reacció genera calor de forma exotèrmica, pel que augmenta notablement la temperatura. Tant el temps de treball de la resina com la duració i la temperatura màxima de la fase d'enduriment depenen del percentatge de catalitzador aplicat, de la temperatura ambient i, de manera significativa, del gruix del laminat. La temperatura ideal per treballar es troba entre els 17^{o} i 22^{o}C, no laminant mai per sota de 10^{o}C ni per sobre de 30^{o}C. Un cop sobrepassada la temperatura màxima, aquesta comença a disminuir lentament de nou fins a la temperatura ambient.

[1] Període durant el qual la resina es troba en un estat líquid que fa possible la seva manipulació i la impregnació dels reforços. Abans del punt de gel i després d'afegir el catalitzador.

Aquesta etapa s'anomena de *curat final*, a la qual la resina es troba ja en estat totalment sòlid. Podem accelerar el curat final afegint temperatura al laminat un cop superat el pic exotèrmic, procés conegut com *postcurat*. Si aquest procés es realitza a temperatura ambient s'anomenarà *maduració del laminat*. La duració d'aquest procés dependrà de les propietats de la resina, tot i que com a valor aproximat, una resina de polièster necessita entre 24 i 48 hores per arribar a un 90% del curat, suficient per l'extracció del motlle. Tot i així, no s'arribarà al 100% de curat fins passades varies setmanes o mesos.

3.2.4.2 Tipus de resines:

3.2.4.2.1 Resina de polièster:

Són les més utilitzades en la fabricació de compòsits d'ús general, comptant amb més del 90% del volum de consum entre les matrius termostables. Tenen el cost més baix de totes les matrius termostables. La obtenció es produeix en dues passes:

- Policondensació: Es produeix per la reacció d'un diol i dos àcids dicarboxílics. Un dels àcids ha de presentar insaturacions i si l'altre es saturat la resina serà més flexible.
- Dissolució a un medi reactiu: El polímer resultant és dissolt habitualment en estirè per tal de disminuir la viscositat i facilitar la impregnació. Serà el medi promotor de la estructura reticulada rígida un cop iniciada la reacció d'enduriment. Trobarem entre un 40-45% d'estirè al producte final.

El curat es duu a terme amb un iniciador i un accelerador. Els iniciadors son molècules que es descomponen per acció de calor o llum donant especies molt reactives i nomenades radicals. Aquests reaccionen amb una molècula de polièster o estirè donant lloc a nous radicals, produint-se una reacció en cadena.

Com a avantatges d'aquestes resines trobem que són fàcils de processar, ja que poden curar fins i tot a temperatura ambient, que gaudeixen d'una bona resistència química i que el seu cost es relativament baix. Per altra banda trobem que durant la reticulació es produeix una contracció important, que la reacció de curat es altament exotèrmica podent produir danys al material, que durant la reticulació es produeixen grans emissions d'estirè i que les seves propietats mecàniques no són les millors.

Habitualment trobarem que no serà necessari afegir personalment per part de l'usuari el diluent i l'accelerador, ja que acostumen a trobar-se ja afegits als recipients a les botigues especialitzades. La funció del diluent és disminuir la viscositat de la resina o el gelcoat i eliminar la brutícia i grassa dels motlles. Per altra banda l'accelerador s'encarrega de donar més velocitat a la reacció química que produeix el curat de la resina i s'ha d'escollir en funció del catalitzador. El catalitzador o iniciador habitualment s'haurà d'afegir a la resina abans de la seva utilització, ja que serà l'encarregat d'iniciar la reacció química en cadena d'enduriment. La combinació catalitzador-accelerador més habitual és la de Peròxid de *metiletilcetona* i *naftalat de*

cobalt. És molt important la proporció en que s'aplicarà ja que la falta de catalitzador pot fer que no arribi a curar del tot el compòsit i l'excés produirà una molt perillosa reacció exotèrmica excessiva que pot arribar a fer malbé el compòsit, a més de dificultar la seva aplicació degut al ràpid enduriment que patirà.

En funció del tipus d'alcohols i àcids que utilitzem per obtenir la resina trobem diferents tipus de resines de polièster, classificades segons els seus monòmers constituents en:

- Ortoftàliques:Són les més freqüents i les de menor cost entre les resines de polièster. Provenen d'una combinació d'anhídrid maleic i anhídrid ftàlic amb glicols. Absorbeixen fins un 2.5% d'aigua en immersions de llarga durada. D'ús general.
- Isoftàliques: Gaudeixen de millors propietats mecàniques que les ortoftàliques i millor resistència a entorns marins. Es substitueix l'anhídrid ftàlic per àcids isoftàlics, fet que augmenta la resistència a l'aigua. La major part de gelcoats d'ús naval tenen base isoftàlica.
- Bisfenòliques: Tenen millors propietats mecàniques i químiques que les resines ortoftàliques i isoftàliques, tot i tenir un cost elevat. Són les més adients entre les resines de polièster a medis corrosius.

3.2.4.2.2 Resina de vinilèster

Les resines de vinilèster van tenir el seu origen en la fabricació de compòsits resistents als atacs d'agents químics. Aquesta resistència ve donada pels escassos grups de ester que conté la seva cadena, ja que aquests són els més susceptibles de ser atacats per aquests agents. Podrien definir-se com unes resines intermèdies entre les epoxi i les de polièster. De les primeres en té les bones propietats físico-químiques amb cicles de curat curts similars als de les resines de polièster.

S'obtenen a partir de una reacció de poliaddició d'una resina epoxi sobre un àcid insaturat acrílic o metacrílic. Igual que a les resines de polièster, el material obtingut es dilueix en estirè per reduir la viscositat i facilitar el seu ús. Aquesta vegada el monòmer reactiu es trobarà en una proporció d'un 30-40% de la dissolució. Els monòmers simples presents fan possible un enduriment mitjançant una polimerització de radicals. Aquest procés es duu a terme fent servir el mateixos peròxids emprats a les resines de polièster.

Les resines de vinilèster tenen millors propietats mecàniques, químiques i tèrmiques que les de polièster i tenen un alt grau de resiliència, bona resistència a la fatiga i la contracció durant el curat es bastant menor que la de les resines de polièster (1%). El fet de contenir un menor percentatge de dissolvent les fa adients per aquells processos als que sigui necessària una reducció significativa de les concentracions d'estirè a l'entorn. Tenen unes viscositats similars a les de les resines de polièster, aspecte que facilita la impregnació i manipulació durant el laminat. Presenten també

una bona adhesió sobre les fibres de reforç i, tot i no ser autoextinguibles sense modificar-se, una bona resistència al foc.

El seu preu es aproximadament 1,5-2 vegades el de els de polièster, provocant el seu principal inconvenient. A la indústria naval s'utilitza sobretot per la construcció de cascs o peces que es troben contínuament submergides. També s'utilitzen barrejades amb resines de polièster a les primeres capes de laminat per evitar osmosis, i en la fabricació de dipòsits, tancs, tubs i altres peces que requereixin una alta resistència química.

3.2.4.2.3 Resina epoxi

Les resines epoxi tenen el seu origen al 1938 i són les més utilitzades als materials compostos d'alta qualitat, ja que compten amb millors propietats físiques i mecàniques que les resines de polièster i vinilèster. A més a més compta amb una gran capacitat d'adhesió sobre una gran quantitat de materials de reforç, afavorint a elevar el contingut de fibra del compòsit resultant.

La seva formulació està basada en epòxids, habitualment bisfenol A, que curen per reaccions de poliaddició al reaccionar amb iniciadors polifuncionals com fenols, amines o poliàcids. La reacció és controlada mitjançant catalitzadors i acceleradors. Les característiques finals de la resina dependran del tipus d'epòxid i de l'agent de curat. El procés de curat és similar al de les resines de polièster i vinilèster, tot i que en aquest cas, a diferencia dels altres dos tipus de resines, les resines epoxi no compten amb un marge d'acció respecte al percentatge de catalitzador, el fabricant fixa una proporció fixa a afegir. Un percentatge inferior de catalitzador provocarà una reacció incompleta, i un de superior una reacció diferent, donant com a resultat un compòsit amb propietats finals inferiors a les desitjades. La majoria de resines epoxi precisen d'aportació de calor extern a través d'un procés de curat o postcurat per tal de curar completament. Si es volen obtenir bones propietats a temperatura ambient seran necessaris agents catalítics específics per tal funció.

La viscositat de les resines es molt elevada, dificultant la seva aplicació i processat. Hi ha la possibilitat d'afegir diluents, però sempre sota les recomanacions del fabricant. Aquest tipus de resina compta amb les millors propietats mecàniques, una major resistència tèrmica, una bona resistència a la abrasió, bones propietats elèctriques i una bona resistència als atacs químics. A més a més, un dels seus principals avantatges és la pràcticament nul·la contracció durant el curat, podent arribar a no existir amb additius o una correcta configuració de les fibres de reforç. Altre dels seus grans avantatges, sobretot en l'àmbit naval, és la seva escassa absorció d'aigua, pel qual són ideals per estructures marines. El seu principal inconvenient és el seu elevat preu.

La seva utilització és freqüent a estructures que sol·licitin una màxima resistència amb un mínim pes, com embarcacions de regata, d'alta velocitat, aplicacions militars, etc.

Fora de l'àmbit naval s'utilitzen en aplicacions aeroespacials, elèctriques, electròniques, eines, adhesius, etc.

3.2.4.2.4 Resines fenòliques

Les resines fenòliques van ser les primeres en utilitzar-se per la obtenció de materials compostos i s'obtenen mitjançant una reacció de condensació d'un grup fenòlic amb un formaldehid, a la qual es genera aigua com a residu que s'haurà d'eliminar per evitar possibles problemes durant l'emmotllament. Aquestes resines necessiten aplicació de calor i pressió per tal de curar. Com a resultat s'obté un compòsit dur, insoluble i infusible.

La principal aplicació d'aquest tipus és principalment a sector que demandin un bon comportament enfront el foc i les elevades temperatures, com l'interior de mitjans de transport col·lectius. Les seves principals propietats a destacar són la elevada resistència a la temperatura, bona resistència al foc i la abrasió, excel·lents característiques elèctriques, bona resistència als atacs d'agents químics, baixa contracció durant el curat, bona adhesió a altres resines termostables i resistència als impactes.

Es presenten en forma de pols d'emmotllament, resines líquides i resines de resolució. També poden trobar-se per emmotllar a alta, mitjana o baixa pressió.

3.2.5 Càrregues i additius

Durant la utilització d'aquest tipus de resines es habitual l'aplicació de càrregues o additius a la mateixa; les càrregues s'utilitzen per donar alguna propietat al compòsit final, mentre els additius son útils per modificar alguna característica de la resina però en un percentatge menor que les càrregues.

Figura 3.7. Exemple de càrregues per resines
Font: Atmosferis

Les càrregues poden ser:

- *Reforçants*: són microesferes de vidre que ajuden a repartir regularment els esforços i a reduir el pes de la peça final.
- *No reforçants*: baixen el preu, augmenten la viscositat, el pes i la rigidesa i disminueixen la resistència a la torsió i a la tracció.
- *Altres tipus:* com ignifugants o conductores de calor/electricitat.

Per altra banda, els additius poden ser, entre d'altres:

- *Tixotròpic:* espessa la resina per tal de no gotejar, evita la mala impregnació i la concentració al fons en aplicacions verticals.
- *Sistemes catalítics:* inclouen inhibidor, enduridor, estabilitzadors tèrmics i antioxidants.
- *Lubrificant*: poden ser interns, per disminuir la viscositat, o externs, per facilitat l'extracció del motlle.
- *Absorbidor UV*: protegeix dels raigs de sol.
- *Reològic:* reforça l'acció tixotròpica.
- *Anivellant: ajuda a obtenir capes de gelcoat uniformes.*
- *Humectant:* millora la absorció a la fibra.
- *Desairejant*: evita bombolles d'aire.
- *Reductor d'emissió d'estirè*.
- Pigments: substàncies sòlides d'origen mineral o orgànic utilitzades com colorants.
- Colorants: substàncies solubles en dissolvents o aigua. Poc emprats per baixa resistència tèrmica i química.
    - Pastes colorants: pigments adherits a una base pastosa que s'afegeixen a les resines per modificar la seva coloració.
    - Antirretracció: per processos de emmotllament en calent, busquen millorar l'aspecte superficial del compòsit.
    - Parafines: afegits a resines o gelcoats emprats a la última capa del laminat per afavorir al curat.

3.2.6 Recobriments

3.2.6.1 Gelcoat

El gelcoat serà la primera capa de resina que protegirà al laminat dels agents externs. És la primera capa a aplicar al motlle, pel que al extreure la peça serà la superfície de contacte amb l'exterior i la que patirà el desgast de la mateixa.

La principal funció del gelcoat és ocultar i protegir les fibres de reforç de l'atac de la humitat i del medi extern, resultant també en una superfície exterior més atractiva i uniforme. La qualitat de la superfície exposada de la peça serà un important factor per la duració de la mateixa. A més a més té la utilitat de proporcionar les propietats estètiques a la peça, tals com

color o lluentor, resistència al calor , resistència a l'abrasió i una absència total de porositat superficial.

Figura 3.8 Embarcació amb una zona pintada de gelcoat (blava) i una sense pintar (gris)
Font: My costa brava

Els gelcoats són formulats a partir de resines, a les quals se'ls hi afegeixen pigments i additius en suspensió, diferenciant-les per colors, sistema de curat i viscositat.

Els principals defectes que originen els gelcoats són la formació de laminats desequilibrats i el fet de que la pròpia capa de gelcoat no tingui pràcticament fibres de reforç, produint esquerdes superficials, especialment a conseqüència d'esforços de tracció. Com a solució es pot emprar un vel de superfície, per tal de donar-li un suport.

A l'hora d'aplicar els gelcoats es recomanen un espessors entre 0,25 i 0,4 mm per peces, i entre 0,4 i 0,6 mm per motlles. Aquesta diferència entre ambdues aplicacions és deguda al major desgast dels motlles pel seu ús intensiu. Espessors menors als esmentats no asseguren la protecció i ocultació de les fibres, i espessors majors s'esquerdaran amb massa facilitat quan el laminat sigui sotmès a esforços, degut al poc suport amb que comptarà per part de les fibres de reforç.

Podem classificar els gelcoats en els següents tipus en funció de la seva utilitat:

- Gelcoats per motlles: baixa concentració i gran flexibilitat. Més resistents a l'abrasió i a la ratlladura superficial que els emprats per peces.
- Gelcoats industrials: els més utilitzats, bones propietats mecàniques però no adequats quan siguin requerides protecció química o mediambiental. Amplia gama de colors.
- Gelcoats per usos alimentaris: aquells que són aptes per estar en contacte amb aliments líquids sense perjudicar-los. No tots els pigments són vàlids per tal funció.
- Gelcoats resistents a l'abrasió: per superfícies exposades a molt trànsit. Incorporen càrregues de gran duresa.
- Gelcoats isoftàlics: formulats a partir de resines isoftàliques, produint gelcoats molt resistents al medi ambient, la humitat i l'aigua de mar. Excel·lent flexibilitat i lluentor. Els més adients per aplicacions navals.
- Gelcoats metal·litzats: gelcoats incolors als que s'afegeixen pigments metal·litzats de gra fi.

- Gelcoats sanitaris: elevada resistència al aigua calent.
- Gelcoats resistents al foc: gelcoats als que s'afegeixen càrregues ignífugues a base de compostos orgànics que al cremar alliberen aigua de la seva molècula.
- Gelcoats específics: tots els el realitzen funcions específiques, com resistència química, ignífugs, de serigrafia, de premsa, etc.

Comercialment podem trobar els gelcoats produïts de dos formes bàsicament: diluïts en acetona o estirè per ser aplicats amb pistola, o amb elevada tixotropia per ser aplicats amb brotxa o rodet. Els primers presenten una baixa viscositat entre 3000 i 3500 cPs, mentre els segons oscil·len entre 7500 i 12000 cPs.

3.2.6.2 Topcoat

Al finalitzar un laminat, la última capa de resina que apliquen mai arribarà a un curat complet, ja que es troba en contacte amb la humitat present a l'aire. Per evitar aquest fet s'ha d'aplicar sobre aquesta última capa algun recobriment que aïlli de la influencia de la humitat, assegurant un curat complet.

Aquesta funció la compleix el topcoat, que és un producte similar al gelcoat però una petita quantitat de parafina a la seva composició. Durant el curat aquesta parafina es disposa a la capa més externa del laminat, formant una fina pel·lícula que aïlla la resina de la humitat de l'ambient.

Altres utilitats dels topcoats són ajudar al compensat del laminat, equilibrant la presencia del gelcoat en l'altra cara del laminat, presentar una superfície més atractiva i protegir les fibres del laminat dels agents externs.

Són formulats a partir de resines de polièster o vinilèster a les quals s'afegeixen pigments i additius en suspensió. Compten amb una amplia gama de colors.

Cal tenir en compte que si es vol laminar sobre una superfície sobre la qual es va aplicar un topcoat, serà necessari tractar aquesta última amb medis abrasius per tal d'eliminar aquesta capa de parafina per garantir una bona adhesió del nou laminat a la base.

3.3 Materials de reforç

3.3.1 Introducció als materials de reforç

Fins ara hem parlat del primer component del material compost, la matriu, encarregada d'aportar la resistència tèrmica i ambiental entre d'altres. Ara toca parlar-ne de l'element encarregat de donar al compòsit les propietats mecàniques, com la resistència i la rigidesa, el material de reforç.

Les fibres són fabricades a partir de diferents materials com metalls, bor o materials ceràmics. En l'àmbit de la construcció naval els més estesos són la fibra de vidre, les fibres aramídiques o

kevlar i les fibres de carboni, presentant diferents estructures tèxtils per la seva comercialització i utilització. A la vegada, les fibres de vidre i carboni són classificades com a fibres inorgàniques, mentre les aramídiques ho són com a fibres sintètiques.

A continuació estudiarem en detall les diferents fibres esmentades i algunes de les estructures en que són comercialitzades actualment.

3.3.2 Fibres inorgàniques

3.3.2.1 Fibra de vidre:

Són les fibres de reforç més utilitzades mundialment en la construcció naval, iniciant-se la seva utilització massiva cap als anys 50 degut a la baixada de preu de la matèria primera i al desenvolupament de nous processos de fabricació.

El seu component bàsic és el Silici, que es combina amb diferents òxids en diferents proporcions en funció de les propietats que desitgem obtenir. La gran resistència de les fibres de vidre es deguda als enllaços covalents entre el silici i els radicals d'oxigen dels diferents òxids. Els àtoms de la fibra formen una retícula tridimensional amb estructura amorfa, donant lloc a unes característiques isotròpiques.

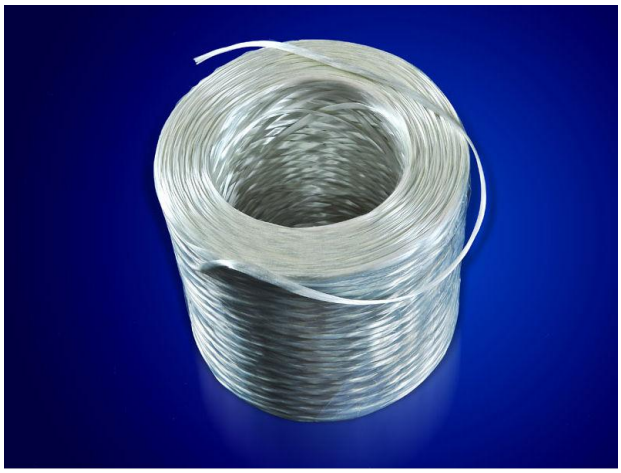

Figura 3.9. Rotllo de filament de fibra de vidre
Font: Nautic Expo

Tenim dos processos d'obtenció de les fibres de vidre:

- A partir de boles. S'introdueix la matèria primera (sorra, caolín o dolomita) en un forn i, després d'aplicar-li diferents processos tèrmics, s'obtenen unes boles d'uns 20 mm de diàmetre. Aquestes boles després hauran de ser filades mecànicament, donant lloc a fibres contínues o *Silionne*, o per estirat per fluid, obtenint fibres discontínues o *Verranne*.

- Per fusió directa. Es tracta de passar el vidre fos per uns forats perfectament dimensionats i distribuïts per una superfície de platí. Això donarà lloc a uns monofilaments de vidre, els quals al ser estirats donaran lloc a les fibres de vidre.

Per tal de facilitar la formació i manipulació de les fibres es realitza el nomenat ensimatge, que consisteix en l'aplicació d'una pel·lícula química sobre aquestes. Després s'hauran de configurar les fibres en forma de cordons, amb els quals podrem formar fils per estructures tèxtils complexes, o metxes per fer filaments continus o feltres.

Podem diferenciar els següents tipus de fibres de vidre en funció de les seves propietats:

- A (Alcalí): bona resistència a l'atac de solucions químiques i àcides; baixa resistència a l'aigua. Ha sigut substituït pel tipus E.
- B (Bor): molt bones propietats elèctriques i gran durabilitat.
- C (Chemical): molt elevada resistència química. Útil per estructures sotmeses a atmosferes molt agressives. Propietats mecàniques entre A i E.
- D (Dielèctric): pèrdues elèctriques molt dèbils; útils per components electrònics i telecomunicacions.
- E (Elèctric): desenvolupat principalment per aplicacions elèctriques, té el cost més reduït i bona resistència a la humitat. També emprat per la construcció naval i la fabricació de fibres contínues.
- R o S (Resistance/Strength): el tipus de fibra amb més elevada resistència. Principal àmbit d'aplicació al camp militar i aeroespacial. Relació resistència/pes superior al E. Major resistència a tracció i fatiga.

Entre les principals característiques de les fibres de vidre trobem:

a. Excel·lent resistència mecànica específica.
b. Resistència a la humitat.
c. Resistència als atacs químics.
d. Bones propietats com a aïllant elèctric.
e. Dèbil conductivitat tèrmica.
f. Bona estabilitat dimensional.
g. Baixa elongació.
h. Propietats isotròpiques.
i. Excel·lent adherència a la matriu.
j. Incombustibilitat.
k. Imputrescibilitat.

3.3.2.2 Fibra de carboni:

Aquest tipus de fibres tenen el seu origen en les indústries aeroespacial i aeronàutica, concretament a Gran Bretanya als anys 60. Es caracteritzen per ser unes fibres que combinades amb resines epoxi donen com a resultat un compòsit amb elevada

resistència i mòdul d'elasticitat, sense malmetre això la seva lleugeresa. Les principals matèries primeres per a l'obtenció de les fibres de carboni són el Poliacrilonitril (PAN), el quitrà i la hulla, sent les fibres obtingudes del PAN les més costoses.

Figura 3.10 Rotllo de tela de fibra de carboni
Font: Easy Composites

Per obtenir les fibres de carboni produirem una oxidació controlada i una carbonització de les fibres base escollides a altes temperatures. La temperatura final del procés determinarà la resistència i el mòdul d'elasticitat de la fibra resultant, definint d'aquesta manera el tipus de fibra obtingut d'entre els següents:

- Fibres d'alta tenacitat (HT): resistència i tenacitat superiors a les de les fibres de vidre, però inferior a la resta de fibres de carboni. Va ser el primer tipus de fibra de carboni en fer-se servir. Té un cost moderat, fent-les adequades per multitud d'aplicacions.
- Fibres d'alt mòdul (HM): gaudeixen d'un elevat mòdul d'elasticitat producte de la necessitat de rigidesa a les peces aeroespacials i aeronàutiques. Per contra el seu cost es veu incrementat, té una reduïda elongació al trencament i pot produir corrosió galvànica.
- Fibres de mòdul intermedi (IM): punt mig entre els dos tipus anteriors, són un tipus de fibra que millora resistència i rigidesa.

Una de les propietats més a tenir en compte de les fibres de carboni és el seu coeficient d'expansió tèrmica en el sentit de les fibres i positiu en el sentit transversal. Aquest fet fa possible, amb una adequada elecció de matrius i reforços, a més a més de la seva distribució, obtenir un material que no pateixi deformacions tèrmiques en un gran ventall de temperatures. És important tenir en compte que les millors propietats de les fibres de carboni s'obtenen en combinar-les amb resines epoxi.

Altres característiques importants són:

a. Gran resistència i rigidesa.
b. Alta resistència a la vibració.
c. Bon comportament a la fatiga.
d. Bona conductivitat tèrmica.

e. Bona conductivitat elèctrica.
f. Baix coeficient de dilatació tèrmica.
g. Resistència a altes temperatures.
h. Elevada resistència química a àcids, dissolvents i alcàlisis.
i. No els afecta l'aigua de mar.

És habitual fer servir les fibres de carboni combinades amb altres tipus de fibres, o com a reforç d'aquestes, degut al seu elevat cost, sent aquest el seu principal inconvenient.

3.3.3 Fibres sintètiques

3.3.2.1 Fibres aramídiques:

Les fibres aramídiques, més habitualment anomenades *Kevlar* pel nom comercial que Du Pont els va donar al 1965, van començar a ser comercialitzades a principis dels anys 70, des de quan van passar a ser considerades les fibres sintètiques més importants per darrere del nylon. Les seves principals virtuts són una alta resistència a la tracció amb reduït pes i elevada resistència a l'impacte. Troben el seu camp d'aplicació en les indústries aeronàutica, aeroespacial, balística i, en menor grau, en la construcció naval.

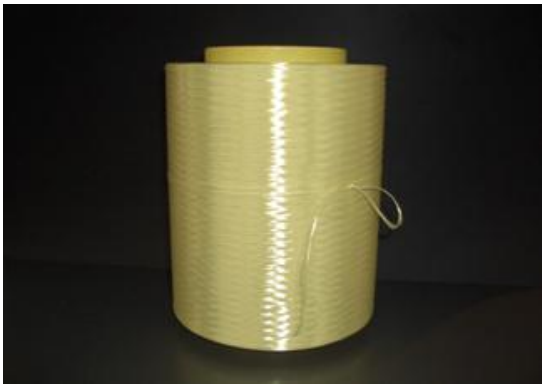

Figura 3.11 Rotllo de filament de fibra aramídica.
Font: Smart Rigging

La seva composició química es basa en grups d'amides i anells aromàtics, els quals li atorguen una gran estabilitat tèrmica. Químicament estan classificades com poliamides aromàtiques, que a la vegada en son la unitat de repetició de l'estructura. Els enllaços per ponts d'hidrogen són els encarregats de mantindre unides les cadenes en el sentit transversal. Analitzant el conjunt observem que les fibres aramídiques tenen una alta resistència en la direcció longitudinal i baixa en la direcció transversal. Els anells aromàtics li donen una gran rigidesa a les cadenes polimèriques.

Per produir aquest tipus de fibres es fa servir una solució d'amida aromàtica dissolta en àcid sulfúric que després serà estirada i filada. D'aquesta forma les cadenes moleculars s'orienten en la direcció de la fibra.

Actualment trobem dos principals tipus comercials de *Kevlar*:

- *Kevlar 29*: alta resistència i baixa densitat. S'utilitza principalment a la protecció balística i fabricació de cordes i cables.
- *Kevlar 49*: alta resistència, elevat mòdul i baixa densitat. El tipus adequat per fer servir com a material de reforç a materials compostos.

Com a principals propietats d'aquestes fibres podem destacar les següents:

a. Alta resistència específica a la tracció en comparació a la resta de materials.
b. Excel·lent resistència al impacte.
c. Densitat menor que la resta de fibres sintètiques utilitzades en compòsits.
d. Excel·lent comportament enfront la corrosió, sent només atacada per àcids molt forts.
e. Bona resistència a la fatiga.
f. Bones característiques d'esmorteïment de vibracions.
g. Bones característiques dielèctriques.
h. Resistència a les flames.
i. Elevada resistència tèrmica.
j. Coeficient de dilatació negatiu.
k. Trencament progressiu.

3.3.4 Estructures tèxtils dels reforços

Un dels principals avantatges que presenten els materials compostos és la gairebé total llibertar de formes. Això és degut a que per conformar la peça es fan servir motlles que seran dissenyats en funció del resultat que esperem obtenir. Per tal de ser capaços d'adaptar les fibres a tot tipus de formes aquestes són disposades en forma d'ordenacions planes bidimensionals anomenades estructures tèxtils.

A la mateixa vegada, en funció de com trobem distribuïdes les fibres a l'estructura, a més a més de com es trobin connectades, obtindrem unes diferents propietats i característiques al material compost final. És per això que és molt important la correcta elecció i distribució d'aquestes estructures tèxtils a l'hora de fabricar la peça desitjada. Aquestes estructures poden classificar-se en les següents configuracions:

- Feltres
- Sistemes no mallats
- Sistemes mallats i encadenats

3.3.4.1 Feltres:

S'anomena d'aquesta forma a les estructures tèxtils, comercialment conegudes com *mats*, en que les fibres es troben disposades sense cap orientació preferent o de manera aleatòria. Per evitar la dispersió de les fibres abans de procedir a la impregnació amb la matriu se'ls hi aplica un lligant, el qual haurà de ser compatible amb la matriu a emprar posteriorment. Els feltres poden ser de fibres contínues,

embastats o de fibres tallades, generalment entre 40 i 50 mm. En aquesta estructura tèxtil habitualment són emprats fils de fibra *Silionne*.

Figura 3.12 Feltre de fibra de vidre (*mat*)
Font: Yatlantico

La seva configuració els hi aporta propietats bidimensionalment isotròpiques, amb resistències i rigideses no gaire elevades. Troben una de les seves principals utilitats en la millora de la adherència entre capes successives d'un compòsit.

Dintre d'aquest tipus d'estructura tèxtil trobem el "vel de superfície", consistent en un feltre de vidre tipus C de baix gramatge que es posarà en contacte amb el gelcoat durant el procés de laminació. Les seves principals funcions són la de millorar la resistència del gelcoat i la de formar una barrera química enfront l'atmosfera exterior, degut això a la elevada absorció de resina que en tindrà. Altres de les seves funcions són la de millorar la resistència al impacte i la de evitar que capes interiors del laminat quedin marcades a l'exterior.

3.3.4.2 Sistemes no mallats:

Dins aquesta classificació trobem tres diferents tipus de estructures tèxtils: els teixits, els acoblats i els trenats.

3.3.4.2.1 Teixits:

S'anomena d'aquesta forma a les estructures tèxtils que es conformen a partir de filaments de fibra entrecreuats entre si de manera perpendicular, donant lloc a la trama, fils perpendiculars al sentit del rotllo, i l'ordit, fils en el sentit longitudinal del rotllo. Els punts on es creuen són anomenats lligaments de l'estructura.

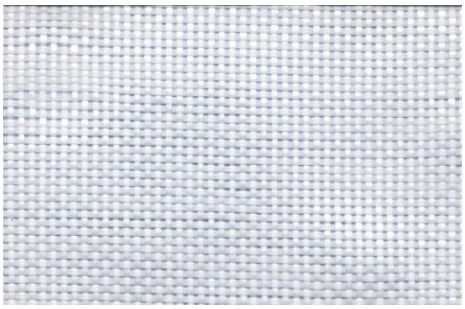

Figura 3.13 Exemple de teixit de fibra de vidre.
Font: Difacom

Un aspecte important a tenir en compte a l'hora de preparar el nostre laminat es que les direccions més resistents seran les de trama i ordit. Es habitual trobar aquests teixits quan hem de realitzar un laminat manual, a més de trobar-se molt estès a la construcció naval.

En funció de l'ordenació dels lligaments trobem la tela (o tafetà), la sarja, el setí i el ras:

- La tela és el teixit convencional, on cada fil d'ordit enllaça amb un de trama, que passa alternativament per sobre i per sota de l'ordit.

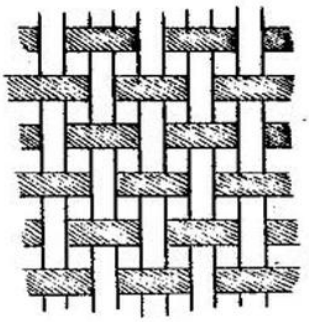

Figura 3.14 Configuració de la trama i l'ordit en una tela.

- La sarja presenta una configuració caracteritzada per unes línees diagonals a l'estructura. En aquesta configuració els fils de trama o ordit realitzen una *basta* de dos o més fils d'ordit o trama respectivament, amb una progressió d'un fil a la dreta en cada repetició. Cal tenir en compte que aquest teixit tindrà una orientació adequada concreta per la seva utilització (dret i revés).

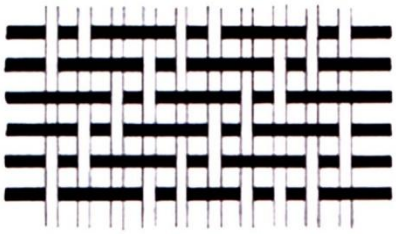

Figura 3.15. Configuració de la trama i l'ordit en una sarja.
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de

- El setí basa la seva configuració en la basta d'un fil d'ordit per cada 4 passades de trama amb una progressió de dos a dreta o esquerra.

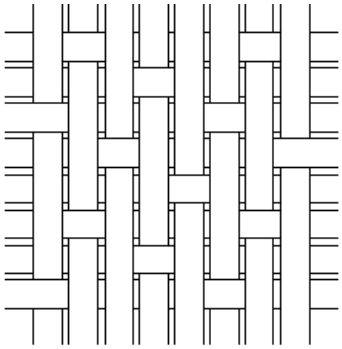

Figura 3.16 Configuració de la trama i l'ordit en un setí.
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"

- El ras consisteix en la mateixa configuració que el setí però en aquest cas les bastes les realitza la trama cada 4 passades d'ordit, és a dir, en sentit horitzontal en comptes de vertical.

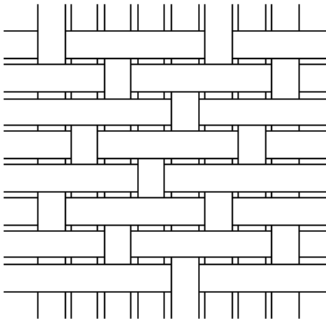

Figura 3.17 Configuració de la trama i l'ordit en un ras.
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"

3.3.4.2.2 Acoblats:

En aquest cas la trama i l'ordit no formaran lligaments, ja que en aquesta configuració trobarem fibres paral·leles superposades unes a altres amb diferents orientacions.

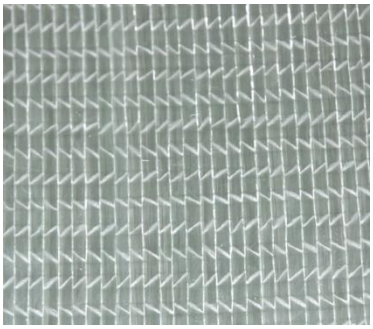

Figura 3.18 Exemple de teixit acoblat de fibra de vidre.
Font: VitroFibras

El seu principal avantatge és que al treballar totalment en el sentit de la càrrega gaudiran de millors propietats mecàniques. Aquesta situació ve donada pel fet de no comptar amb lligaments que deformen, encara que sigui molt lleugerament, la fibra. Això dona lloc a que siguin la estructura tèxtil més adient per peces amb alts requeriments estructurals.

Altra avantatge que presenta aquesta configuració és el fet de poder trobar-se conformada per capes de diferent gramatge i amb diferents orientacions, fent més fàcil el obtenir el teixit ideal per la peça a realitzar.

Depenent de les orientacions de les fibres podem obtenir teixits acoblats unidireccionals, biaxials, triaxials, quatriaxials o multiaxials.

Habitualment trobem que les capes de fibres paral·leles estan cosides entre elles, tot i que en el cas de les unidireccionals acostumen a fer servir una fibra lleugera auxiliar per possibilitar aquest tipus de lligam.

Figura 3.19 Esquema de la fixació d'un teixit acoblat amb més d'una orientació
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"

3.3.4.2.3 Trenats:

La seva principal diferència radica en el fet de que en aquesta estructura les fibres no es troben orientades en el sentit de l'esforç, formen un angle determinat respecte al mateix. Aquest angle pot definir-se en funció de les sol·licitacions de la peça desitjada. Acostumen a trobar-se comercialitzats en forma de cintes o "mitjons".

3.3.4.3 Sistemes mallats i encadenats:

Aquestes estructures tèxtils es basen en el mallat o encadenat d'una fibra o sistema de fibres a una altra fibra o sistema de fibres fent servir maquinaria especialitzada, anomenada del *gènere de punt*.

- *Mallats*: també nomenats teixits multiaxials. Són estructures tèxtils confeccionades mitjançant fibres de reforç en diferents orientacions que,

gràcies a l'acció de la màquina de teixir, es mantenen inalterables. Poden patir problemes d'impregnació pel gran volum de fibres habitualment existent.

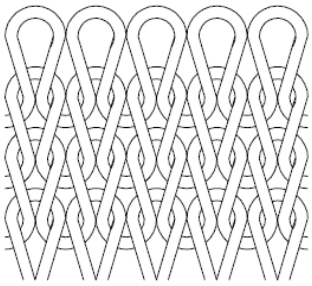

Figura 3.20 Mallat
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"

- *Encadenats:* a causa del procés de confecció compten amb orientacions poc adients pel suport de càrregues i, per tant, per la confecció de laminats. A més a més, les fibres de vidre i de carboni gaudeixen de poca resistència a la flexió i l'encreuament que pateixen durant aquest tipus de confecció.

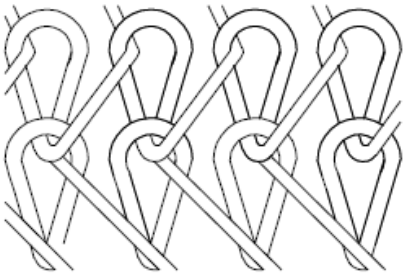

Figura 3.21 Encadenat
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de

3.4 Materials de nucli

3.4.1 Construcció monolítica i *sandwich*

A l'hora de preparar el laminat s'hauran de tenir en compte una sèrie de factors tals com les condicions de treball de la peça a obtenir, els requisits específics que desitgem o que ens hagi sol·licitat el client, les necessitats en funció de l'ús que tindrà o el pressupost màxim del que gaudim.

Un d'aquests factors seria la necessitat de rigidesa d'una peça o d'una zona específica del conjunt degut als esforços que patirà o l'orientació en que treballarà. Una solució a aquest requeriment seria la de fer servir una estructura *sandwich*, consistent en dues capes de material compost separades per un material lleuger ,i habitualment de baixa densitat, que augmentarà el gruix de la peça i, per tant, la rigidesa del conjunt, i tot sense gairebé augmentar el pes total. Cal tenir també en compte les interfases d'unió, que generalment en seran adhesius.

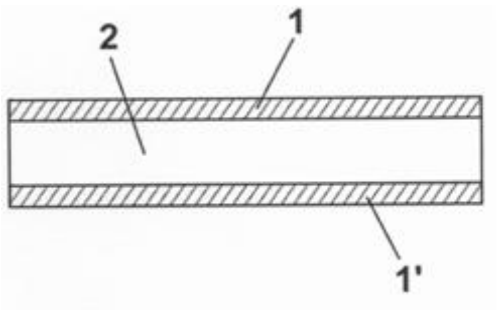

Figura 3.22 Esquema estructura sándwich
(1-1' Material compost / 2 Material de nucli)
Font: Patentados.com

Les pells exteriors realitzaran les funcions de material resistent, pel que habitualment les trobarem construïdes en millors materials que la resta. El material de nucli s'encarregarà de donar rigidesa al conjunt, així com de transmetre els esforços tallants d'una pell a l'altra. En alguns casos, i només si és necessari o recomanable, es possible trobar materials de nucli que realitzin funcions d'aïllament tèrmic. Per últim les interfases realitzaran la funció de mantenir tot el conjunt unit.

En el moment d'escollir el material de nucli cal tenir en compte els esforços a que la peça serà sotmesa i les deformacions que aquests en produiran, ja que la geometria de la estructura fa que les capes es comportin diferent l'una de l'altra.

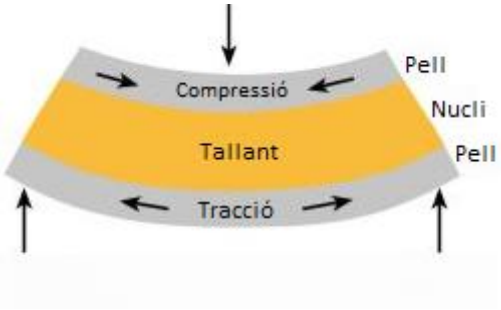

Figura 3.23 Exemple d'esforç i deformacions en estructura sandwich
Font: NetComposites

Serà important per tant que el material de nucli sigui capaç de mantenir fixa la distància relativa entre les pells i la distància entre les pells i la línea neutra del nucli, el qual es podria traduir com a un material de nucli i unes interfases que no permetin el lliscament longitudinal de les pells i que suficientment resistent com per suportar els tallants necessaris. A més de tot això, les pells hauran de ser capaces de resistir les flexions que patiran en aplicar els esforços corresponents.

3.4.2 Materials emprats com a nucli

3.4.2.1 Fustes naturals:

a) *Fusta de balsa:* Es tracta d'una fusta originaria del centre i sud d'Amèrica. La més tova i lleugera de entre les considerades dures. La seva rigidesa dificulta l'adaptació a formes corbades, pel que s'acostuma a fer servir en forma de petits blocs lligats entre sí per un teixit lleuger.

Figura 3.24 Fusta de balsa
Font: Iber Hobby

Cal tenir en compte que per obtenir les millors propietats mecàniques per part de la fusta aquesta haura de ser orientada amb les fibres perpendiculars al laminat de les pells exteriors, obtenint d'aquesta forma una elevada resistència a la compressió.

Altre aspecte important és la necessitat de tractaments abans de fer servir la fusta per tal d'eliminar materia orgànica i humitat de l'interior, evitant d'aquesta manera que la fusta es podreixi i que el laminat pateixi deslaminacions.

És adequada per l'ús amb pràcticament totes les resines emprades a la construcció naval, tot i que degut a la seva elevada absorció es recomanable segellar les superfícies abans de laminar les pells exteriors, fet que podria fer inútil el baix pes del nucli.

El seu ús es habitual a cobertes, mampars i divisions interiors, on no quedi permanentment exposat a aigua i humitat.

b) *Cedre vermell:* Fusta originaria de Nord-America, Regne Unit i Nova Zelanda, considerada com tova i aromàtica. De color vermellós, que pot evolucionar en gris platejat si queda exposat a la intemperie. Densitat aproximada de 370 Kg/m^3. Emprat en embarcacions unitàries sense motlle. Habitualment presentat en forma de llistons fresats molt fàcils i ràpids de muntar.

Figura 3.25 Cedre vermell
Font: Tocamos madera

c) *Contraxapat marí:* Tauler format per lamines primes de fusta, anomenades plaques o xapes estructurals. La orientació de les fibres de les plaques seran perpendiculars entre si alternativament, i la quantitat de lamines sempre serà impar (per finalitzar amb la mateixa orientació que s'ha iniciat el tauler).
Es diferencien en graus en funció de la cola emprada fer unir les plaques, sent el grau marí el que fa servir coles fenòliques, adients per la humitat de l'entorn marí.
És habitual la seva utilització com a complement *d'escumes sintètiques*[2], substituint-les a zones amb esforços de compressió o tracció excessius, com zones on s'instal·la ferramenta.

Figura 3.26 Contraxapat marí
Font: Maderas Gavejo

3.4.2.2 Escumes sintètiques:

Material plàstic al qual li és incorporat gas en forma de bombolles, podent aquestes arribar al 95% del volum de la escuma. Depenent de la connexió o aïllament entre les bombolles aquestes escumes poden ser de cel·la oberta o tancada. Una combinació d'ambdues configuracions en són les de cel·la mixta.

[2] Veure 3.4.2.2

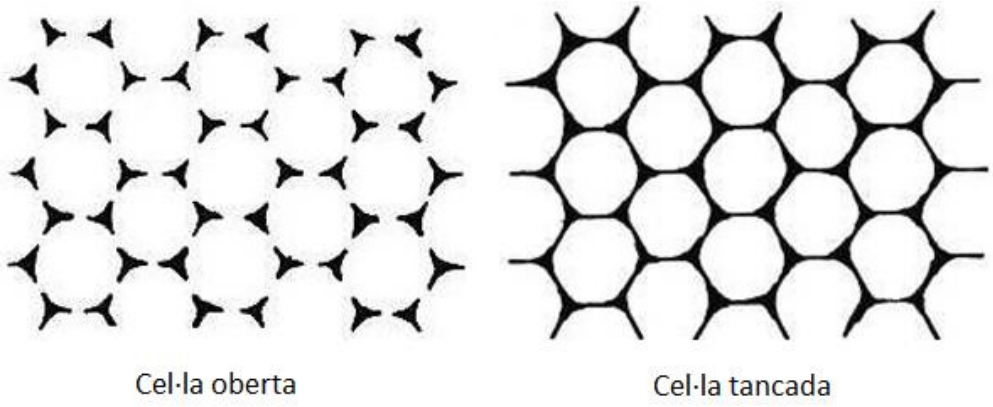

Figura 3.27 Esquemes cel·la oberta/tancada
Font: ZFoam

El ventall de plàstics a partir dels quals podem obtenir aquestes escumes és molt divers, tot i que només un grup reduït en són adequats per aquest procediment per causes tècniques, econòmiques i pràctiques. Els següents en són alguns dels exemples més estesos al món de la construcció naval:

- *Escumes de PVC:*

  Obtingudes mitjançant l'activació tèrmica per iniciar la reacció. La mescla es escalfada a un motlle baix sota pressió per iniciar l'encreuament, per després submergir-lo en aigua calenta per continuar el procés fins obtenir la densitat desitjada. Les esferes poden anar des dels 0,254 mm fins als 2,5 mm. Són classificades en densitat alta, mitja o baixa (40-210 kg/m^3) i en funció de la seva estabilitat tèrmica.

Figura 3.28 Bloc d'escuma de PVC
Font: Nidodeabeja.com

Entre les seves propietats destaquen la bona resistència mecànica, bona resistència tèrmica, aïllament acústic i alta resistència a la penetració d'aigua. Tot això, sumat a la bona adaptació a superfícies de doble curvatura, les fa les escumes amb millors propietats i les més utilitzades de entre les sintètiques.

- *Escumes de poliuretà (PU):*

  Obtindrem diferents propietats en funció del tipus de cel·la: oberta ens donarà com a resultat una escuma de característiques flexibles, mentre amb cel·la tancada obtindrem estructures rígides. El ventall de densitats pot anar de 10 fins a 900 Kg/m^3.

  Tot i comptar amb propietats inferiors a les escumes de PVC, destaquen per una bona resistència mecànica i tenacitat, resistència a la abrasió, bona resistència química, baixa conductivitat tèrmica i alta resistència elèctrica. Gaudeixen de millor comportament que les escumes de PVC a temperatura ambient i més resistents a elevades temperatures.

  Útils a la construcció naval com a material aïllant, reserva de flotabilitat, material de suport a estructures internes i com a nucli d'estructures sandwich en embarcacions d'esbarjo de petites eslores.

- *Escumes de poliestirè (PS):*

  Escumes de característiques molt lleugeres, resistents a l'absorció d'aigua a microorganismes. La seva principal feblesa és que són solubles en estirè, pel que no són adients per fer servir amb resines de polièster o vinilèster. Reduïda resistència mecànica i baixa conductivitat tèrmica. Densitats entre 10 i 45 Kg/m^3. Útils en la construcció naval com a material aïllant o de flotació.

- *Escumes de estiré-acrilonitril (SAN):*

  Millor resistència química, tèrmica i rigidesa que el poliestirè. Comportament similar al PVC lineal respecte a l'absorció d'impactes i al PVC encreuat respecte la capacitat estàtica.

- *Escuma de polimetacrilímida (PMI):*

  Plàstic cel·lular rígid amb estructura homogènia i tancada. Compten amb millors propietats mecàniques que la resta de escumes sintètiques, destacant per la elevada resistència tèrmica, resistència a fluir i un baix pes. La estabilitat tèrmica les fa les més adients per fer servir en estructures sandwich per materials pre-impregnats. Diferents graus en funció de la densitat.

3.4.2.3 Escumes sintàctiques:

La seva diferència respecte de les sintètiques és que les bombolles no són produïdes per generació de gas a l'interior del material, sinó que ho són per la incorporació de microesferes buides de diferents materials. El cas més comú és el de microesferes de vidre amb resina fenòlica o de polièster, tot i haver-hi també de metàl·liques i de carboni.

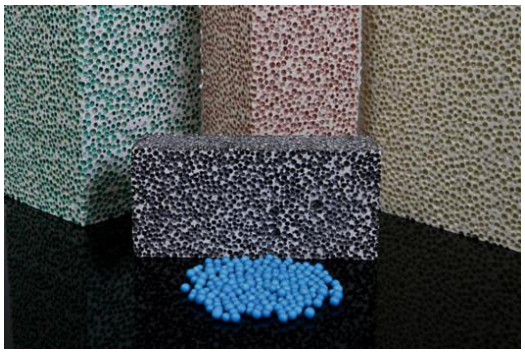

Figura 3.29 Escumes sintàctiques
Font: E-Syntactic

S'obtenen escumes amb elevadíssima resistència a la compressió, fet que les fa ideals per elements destinats a la immersió profunda com submarins, bolles i aparells de rescat submarí.

3.4.2.4 Niu d'abella:

Estructura de forma similar a la d'un niu d'abella amb fines lamines de diferents materials, molt útils en estructures sandwich. La morfologia del nucli queda definida per propietats tals com la mida de la cel·la, la densitat del material, la zona d'adhesió entre cel·les, altura del nucli, gruix del material i direcció de les plaques. Els materials més comuns en són l'alumini, el paper, el polipropilè i la fibra de vidre o el papel d'aramida impregnats amb resina fenòlica.

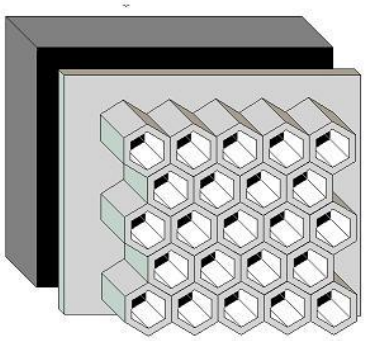

Figura 3.30 Estructura niu d'abella
Font: Sitio Solar

La seva utilització dona com a resultat estructures sandwich molt lleugeres. Útils en la construcció naval en embarcacions d'esbarjo, sobretot en cobertes i mampares, degut al perill d'absorció d'aigua en zones submergides. La seva reduïda utilització ve donada pel seu elevat preu i la complexitat de la seva producció.

3.4.2.5 Fire Coremat®:

Material format per fibres sintètiques no teixides de polièster, amb una orientació totalment aleatòria, al que li són incorporades microesferes tancades com a càrregues amb un lligant soluble en estirè. Útil com a material de nucli de estructures amb un elevat requeriment de rigidesa però amb un cost inferior al de les espumes sintètiques.

Es diferencia de la resta de materials de nucli per produir la seva aplicació mitjançant la estratificació, mentre la resta en són encolats. Aquest fet resulta en una gran conformabilitat amb reduïts gruixos. Per millorar la seva adhesió es recomanable la seva laminació en estructures planes tipus feltre.

Figura 3.31 Fire Coremat®
Font: Indiamart

Hi ha dos de principals:

- *Coremat® XM:* 55% de contingut de microesferes. Adient per resines de polièster i vinilèster. Utilitzat en laminats manuals per contacte i projecció simultània.
- *Coremat® XX:*45% de contingut de microesferes. Adient per resines de polièster i vinilèster. Utilitzat en laminats manuals per contacte i projecció simultània. Hi ha una variant amb *mat* afegit per reduir el temps d'aplicació.

3.5 Motlles

Un dels principals avantatges que hem vist fins ara a l'hora de fer servir materials compostos és el fet de comptar amb total llibertat de formes, ja que aquesta es adquirida un cop s'ha produït la reacció de curat de la resina. Per tal d'adaptar el nostre material de reforç a la forma desitjada abans d'aplicar-li la matriu serà necessària la utilització de motlles, els quals hauran d'estar prèviament dissenyats tenint en compte factors tals com el material de la peça, la reproductibilitat de la mateixa, el lloc de treball o la complexitat de les formes. A continuació fem una descripció més detallada dels aspectes a tenir en compte a l'hora de preparar o escollir el motlle pel nostre compòsit.

3.5.1 Materials emprats per la construcció de motlles

3.5.1.1 Fusta

Proporcionen un acabat menys polit que la resta de materials. El seu principal avantatge radica en el seu baix cost i la no necessitat de mà d'obra específica. Són utilitzats principalment per peces de reduïda reproductibilitat o fins i tot de fabricació única. Per contra són susceptibles a ser atacats per agents externs com la humitat o la temperatura, pel que la seva durabilitat es molt reduïda.

Figura 3.32 Motlle construït en fusta
Font: Google user content (Ferhatun Salan)

3.5.1.2 Metàl·lics

La seva utilització es veu molt limitada pel seu elevat cost. Proporcionen el millor acabat i la seva durabilitat és la més gran, pel que només es fan servir per peces que requereixen una qualitat superior i on el preu no en suposi una limitació. Sempre serà necessari un estudi previ de la viabilitat econòmica de la seva utilització.

Figura 3.33 Motlle metàl·lic
Font: Arqhys Arquitectura

3.5.1.3 Materials compostos

Són els més habituals en la construcció naval. Proporcionen un molt bon acabat i la seva durabilitat n'és molt més extensa que els de fusta, ja que no es veuen afectats per humitat i temperatura en una rang de temperatures molt ample. A més a més la seva estabilitat dimensional, el seu menor degradat per l'ús i el seu preu inferior als metàl·lics els fa els més adients per produccions en sèrie. Lo més normal en aquest cas serà trobar els motlles construïts en el mateix material compost que la peça a produir.

Figura 3.34 Motlle construït en material compost
Font: Coam Internacional

3.5.2 Gruix recomanat del motlle

En el pla econòmic lo més recomanable seria reduir al mínim el gruix del motlle, ja que d'aquesta manera reduiríem el cost en material i temps de construcció. Però per contra necessitem garantir una integritat de les formes que obtindrem a la peça, fet que un gruix excessivament reduït pot fer perillar, a més de poder produir un refredament irregular del compòsit provocant distorsions. S'ha de tenir en compte també la uniformitat de gruixos del motlle, ja que de no fer-ho poden produir-se marques de contracció a la peça originades per gradients tèrmics. Una recomanació estesa a l'hora de dissenyar els motlles és la de fer servir un gruix de entre 1 i 1,5 vegades el gruix de la peça a obtenir.

3.5.3 Aspectes sobre plecs i vores del motlle

És recomanable no fer servir plecs i vores vives a l'hora de dissenyar el motlle, tot i que de vegades serà requeriment indispensable de la peça i no en serà possible evitar-los. El més adient seria convertir-lo en radis lo més amples possibles, ja que en aquests punts es produeixen concentracions de tensions que poden provocar la ruptura de la peça.

Cal tenir també en compte que a l'hora de realitzar el laminat, en cas de fer servir plecs o vores vives, la distribució de material de reforç i matriu en serà desigual, ja que la rigidesa de la fibra no fa possible la seva adaptació total a aquesta forma.

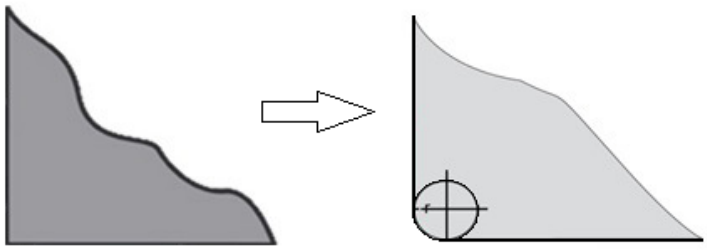

Figura 3.35 Transformació de vora viva en radi
Font: Incominex

3.5.4 Simetria en motlles de material compost

És molt important a l'hora de construir un motlle en material compost mantenir la simetria del laminat per tal d'assegurar la estabilitat dimensional del mateix durant el procés de fabricació de peça. Això ens evitarà patir deformacions a la peça final. Aquesta simetria haurà d'aplicar-se en les tres direccions de la forma del motlle.

3.5.5 Desemmotllament

Per tal d'evitar que la peça quedi bloquejada per la geometria del motlle un cop curat el compòsit, és recomanable afegir al disseny dels motlles pendents o conicitats que facin possible un desemmotllament fàcil i sense aplicar excessiva força que pugui fer malbé el laminat final. La recomanació és fer servir pendents d'un mínim aproximat d'1%.

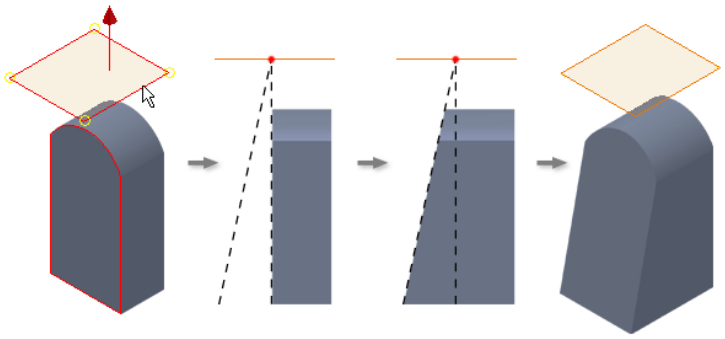

Figura 3.36 Transformació de peça no apta en apta pel desemmotllament
Font: Autodesk help

3.5.6 Grans superfícies planes

La presència de grans superfícies planes a les peces pot esdevenir un problema estètic, ja que per les característiques dels materials compostos aquestes acostumen a bombar-se o agafar formes irregulars, fet que farà malbé la imatge desitjada per la nostra peça.

Una solució habitual és la de fer servir línees de tall, canvis de pla, ressalts, forats, ranures o fer aquestes superfícies lleugerament corbes. Tot això amb la intenció de donar imatge de superfície plana sense ser-ho.

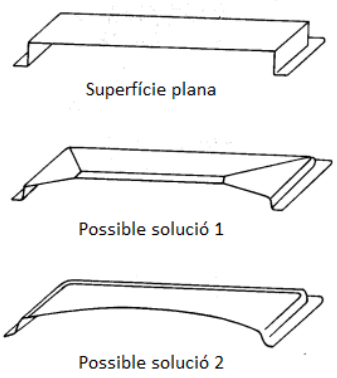

Figura 3.37 Superfície plana i possibles solucions
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de

Altre possible solució seria la de fer servir reforços estructurals a la peça que ajudin a mantenir la integritat de la superfície, augmentant la seva rigidesa i resistència a la torsió.

3.5.7 Aplicació de reforços per mantenir la integritat del motlle

Per complir correctament la seva funció un motlle necessita garantir que mantindrà la seva forma en qualsevol situació de treball. Qualsevol deformació que pugui patir donarà com a resultat imperfeccions a la peça, tant de estètics com funcionals.

Per tal d'assegurar la rigidesa del conjunt acostumen a fer-se servir estructures que actuen com a reforç i eviten qualsevol possible flexió, deformació o desplaçament de part o de la totalitat del motlle. Aquests reforços aniran distribuïts en funció de les dimensions i complexitat de formes del motlle, tot i que per una peça mitjanament gran una bona recomanació seria la de col·locar un reforç cada 500 mm.

Figura 3.38 Exemple de reforços a un motlle
Font: Servimg

En funció del servei que donarà el motlle, els reforços poden configurar-s'hi de forma fixa, mòbil o abatible, depenent de les necessitats per treballar i per adaptar-se a l'espai disponible.

La estructura més utilitzada és la de tubs metàl·lics soldats entre sí i fixats al motlle mitjançant un laminat, donant al conjunt una elevada rigidesa. Una alternativa seria la de fer servir preformes lleugeres laminades amb material compost, obtenint una elevada rigidesa amb un mínim augment del pes. També es habitual l'ús de fusta, tot i que és recomanable protegir-la de l'atac d'agents externs fent servir un laminat de material compost.

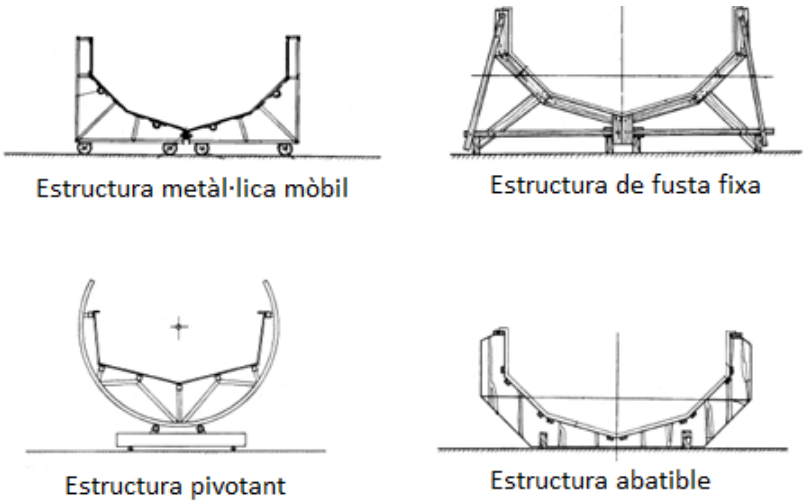

Figura 3.39 Possibles configuracions dels reforços
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"

3.5.8 Color dels motlles

És molt habitual trobar peces amb esquerdes superficials al gelcoat, degut a una excessiva aplicació d'aquest. Això ve provocat en gran part dels casos per la intenció per part del operari de cobrir la totalitat de la superfície, arribant a cobrir-la en excés.

Per tal d'evitar aquest problema podem fer servir eines d'aplicació del gelcoat que garanteixin la uniformitat de la capa resultant, com per exemple amb pistola, podent ajudar-se amb la utilització de galgues de mesurament del gruix obtingut.

Un altra alternativa és la de recolzar-nos en el contrast del gelcoat amb el motlle, pel que s'acostuma a construir motlles de colors poc comercials com negre o blau, o que exagerin el contrast com taronja, groc o colors fluor.

[37]

Figura 3.40 Motlle de color en contrast amb el compòsit
Font: Javiercoterillo.com

3.5.9 Particions

Depenent de la geometria de la peça podem trobar-nos que no serà possible extreure-la del motlle si el construïm sense cap divisió. Fent servir particions obtindrem un motlle desmuntable un cop hem finalitzat el laminat, fent possible la extracció de la mateixa.

Cal tenir en compte que les zones on es trobin aquestes particions seran zones on obtindrem una marca o una zona a mecanitzar, per tal de no fer malbé la estètica o fins i tot dificultar la funcionalitat de la peça.

3.5.10 Utilització i conservació del motlle

a. Rodatge del motlle. Consistent en l'aplicació d'un desemmotllant, projecció d'una capa de gelcoat, extreure-la (en cas de quedar trossos adherits, reparar i repetir el procés) i aplicar dos capes de desemmotllant. És molt recomanable la realització del rodatge per tal d'evitar l'excés d'adherència a la peça, marques de fibra i per tal de prolongar la vida útil del motlle.

b. Encerat del motlle. D'aquesta etapa dependrà en gran part la qualitat de l'acabat superficial de la peça, ja que de no realitzar-se correctament pot produir-se un excés d'adherència al motlle. La cera serà aplicada amb suaus moviments circulars i fent servir draps de mussolina, nets i suaus. És important també evitar l'excés de cera, ja que podrà provocar imperfeccions a la peça resultant.

c. Marques i deformacions. Les marques poden detectar-s'hi per la aparició de fibres a la capa superficial de gelcoat, mentre que les deformacions seran ondulacions visibles al mateix motlle. Acostumen a ser degudes per la diferencia de contracció entre resina i fibra de reforç. Per tal d'evitar-los es recomanable curar el motlle a temperatures superiors a la d'utilització, juntament amb un posterior polit de la zona on aparegui.

d. Recondicionament del motlle. Haurà de realitzar-se un estudi previ per tal de valorar si és viable un recondicionament del motlle o si, per contra, és més recomanable construir un de nou. En el cas del recondicionament els passos a seguir serien la neteja d'agents desemmotllants, polit, tornar a pintar i polir de nou; a partir d'aquí se li aplicaria el rodatge com a un motlle nou.

e. Manteniment. L'aplicació d'un programa de manteniment preventiu a un motlle acostuma a estar basat en la pròpia experiència dels fabricants, tot i que habitualment es tracta de conèixer el numero de peces a fabricar abans d'aplicar les accions preventives corresponents.

CAPÍTOL 4. PROCESSOS DE FABRIACIÓ

4.1 Introducció als processos de fabricació

4.1.1 Introducció

Un cop hem vist la naturalesa pròpia dels materials compostos podem entendre la importància que tindrà el procés de fabricació de la peça a obtenir. A diferència de la majoria, els materials compostos adquireixen la seva forma al mateix moment que es conforma el propi compòsit, pel que la correcta elecció del procés de fabricació serà de vital importància per les propietats de la peça final.

La varietat d'aquests processos és de gran extensió, tot i que en la construcció naval es veu dràsticament reduït per la magnitud de les peces a obtenir. A més d'això, cal tenir en compte altres condicions que determinaran la nostra elecció com ara l'espai, el pressupost o els propis requeriments del client.

4.1.2 Classificació dels processos

Amb l'objectiu de fer-nos una idea dels processos més utilitzats en la industria naval, procedim a realitzar una classificació dels mateixos en funció de la tècnica utilitzada:

- Tècniques d'emmotllament per contacte:
  - Per contacte o rodet
  - Projecció simultània
  - Impregnadors
- Tècniques d'emmotllament assistides per buit:
  - Per contacte assistir per buit
  - Pre-impregnats
  - Pre-impregnats parcials
- Tècniques d'emmotllament per via líquida:
  - Infusió
  - RTM
  - VARTM
- Emmotllament amb autoclau.

4.1.3 Concepte de buit

Quan es produeix un gradient de pressió, i per tant de la densitat de matèria, entre dos punts la tendència natural de les partícules es a ordenar-se de tal forma que la densitat entre ambdues zones s'equilibri, homogeneïtzant la pressió també. Si aquest gradient de pressió es produeix entre dues zones aïllades entre sí el resultat és que les partícules que tracten d'ocupar la zona amb una densitat menor troben la oposició d'aquest aïllant, produint una força uniforme sobre tota la superfície afectada.

Per tant, si dins un recipient estanc, que suposarem afectat exteriorment per la pressió atmosfèrica (P_0=101 325 Pa), produïm una pressió inferior a aquesta (que anomenarem de buit), el que obtindrem serà un gradient de pressió entre l'interior i l'exterior del recipient i, com a resultat, una força de *caràcter hidrostàtic*[3] a tota la superfície del recipient.

Entendrem, per tant, com a buit, tota situació de pressió inferior a la pressió atmosfèrica, que afectada per aquesta pot produir un gradient de pressió i la conseqüent força hidrostàtica.

S'ha de tenir en compte que aquesta força produïda pel gradient de pressió es directament proporcional a la diferència entre ambdues pressions, per tant, obtindrem forces proporcionalment majors a mesura que la pressió de buit sigui més baixa, incrementant d'aquesta manera la diferència amb la pressió atmosfèrica.

4.1.4 Emissions de compostos orgànics volàtils

Dins la composició de la majoria de les resines poden trobar-se compostos orgànics volàtils (COV) que tenen tendència a evaporar-se un cop s'ha realitzat el laminat, contaminant l'ambient de treball i afectant a la salut dels treballadors.

Poden diferenciar-se dues fases dins la emissió: fase *dinàmica* i fase *estàtica*. La fase dinàmica s'inicia quan la resina es troba en estat líquid i finalitza quan arriba al punt de gel, mentre la fase estàtica s'inicia quan finalitza la fase dinàmica, mentre la resina es troba en estat sòlid.

La fase dinàmica produeix un nombre molt més elevat d'emissions, ja que l'estat líquid de la resina facilita la vaporització dels compostos orgànics volàtils, i la contínua pertorbació de la superfície a causa dels processos a realitzar per obtindre el laminat provoca un difícil control de les emissions.

A la fase estàtica es produeix la reacció exotèrmica, que provoca un increment de la temperatura, facilitant l'evaporació del dissolvent i, a mesura que avança l'estat de curació, disminueixen les emissions.

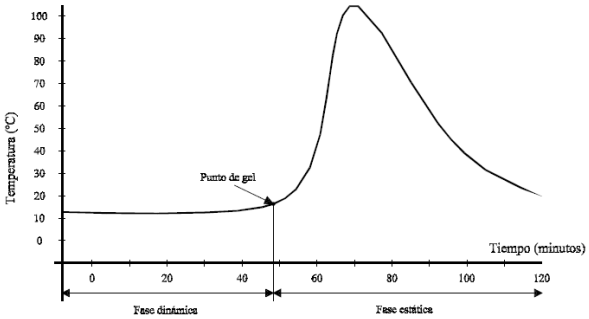

Figura 4.1 Exemple de variació de temperatura entre ambdues fases
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de

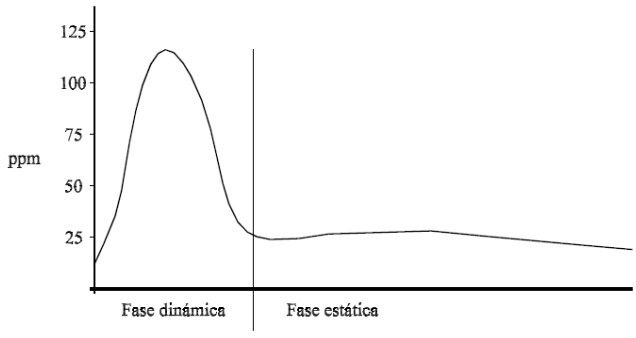

Figura 4.2 Exemple de emssions de COV en ambdues fases
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación

[3] Força que actua de forma uniforme i perpendicular a tots els punts de la superfície afectada per aquesta.

Podem observar com les emissions baixen dràsticament de la fase dinàmica a la fase estàtica, per tant, poder controlar les emissions d'aquesta primera fase tindrà com a resultat un control de la major part de les emissions, reduint notablement la contaminació de l'ambient de treball per COV's.

Hi han dues tendències orientades a reduir les emissions de COV a l'ambient de treball. La primera d'aquestes es basa en la recomposició de les resines substituint els COV per uns altres components menys contaminants. L'altra es basa en els mètodes de producció, utilitzant tècniques anomenades de motlle tancat, que utilitzen membranes o contramotlles que eviten la evaporació d'aquests COV a l'ambient. Segons el moment en que es tanqui el motlle es pot obtindre una reducció més o menys pronunciada de les emissions.

4.1.5 Efectes de les variacions del gruix del laminat

Sempre es recomanable laminar gruixos reduïts per tal d'evitar pics exotèrmics. Com ja sabem, la temperatura màxima que assolirà la resina durant la fase d'enduriment dependrà del percentatge de catalitzador afegit, de la temperatura ambient i, sobretot, del gruix del laminat. La escassa conductivitat tèrmica de les resines dificulta la dissipació del calor generat durant la reacció exotèrmica, i aquests excessos de temperatura poden fer malbé la peça i el motlle. A la figura 4.3 podem veure gràficament l'efecte que produeix sobre la temperatura el gruix del laminat.

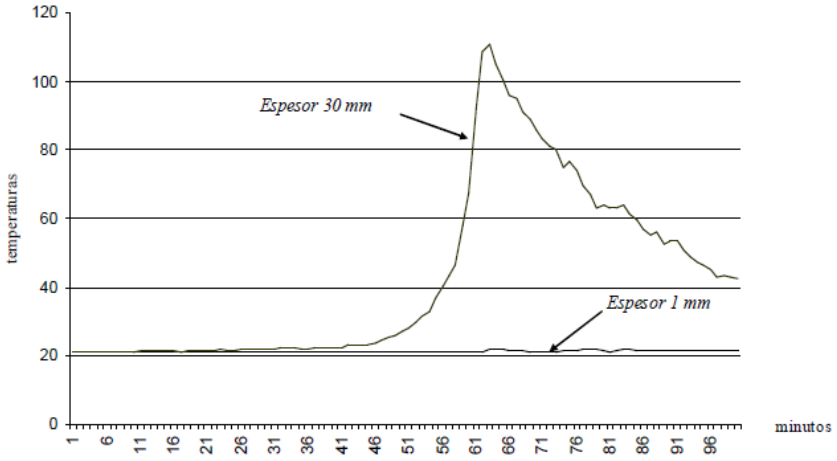

Figura 4.3 Comparativa de corbes exotèrmiques amb gruixos d'1 mm i 30 mm
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de

És per això pel que els laminats és realitzen en diferents etapes, per tal de que la superfície exposada pugui dissipar el calor produït a la reacció exotèrmica, evitant marques, esquerdes i decoloracions a la peça.

4.2 Tècniques d'emmotllament per contacte

Són aquelles a les quals la ma de l'operari durà a terme la major part del procés necessari per donar lloc al material compost, pel que la habilitat d'aquest en tindrà molta importància. Les propietats finals del compòsit resultant dependran en gran part de la cura que hi posi el treballador. El més habitual es trobar aquestes tècniques en combinació amb resines a les quals la seva reacció de curat es produeix a temperatura ambient. El seu principal avantatge és que són les tècniques més econòmiques, senzilles i artesanals de totes.

Procedirem a veure en detall les tècniques de laminació manual, projecció simultània i amb impregnadors.

4.2.1 Laminació manual

La més antiga i senzilla de entre totes les tècniques per contacte, basa la seva utilitat en l'aprofitament dels avantatges que ofereixen les resines de polièster i vinilèster: un procés de curat a temperatura ambient i la no necessitat d'elevada pressió d'emmotllament per la seva estratificació. Factors com el seu reduït cost, la senzillesa del seu procediment i la seva gran adaptabilitat a peces molt diferents han fet aquesta tècnica la més estesa de totes, tot i presentar una gran dependència de l'habilitat de l'operari.

4.2.1.1 Procediment:

Aquest mètode consisteix bàsicament en l'aplicació de capes de material de reforç successives sobre un motlle i impregnades amb resina, per després aplicar-les pressió mitjançant un rodet o una brotxa. L'objectiu d'aplicar aquesta pressió és el de afavorir la impregnació del reforç a la resina i la de evitar la possibilitat de que quedin bombolles d'aire a l'interior del laminat, fet que podria comprometre la qualitat del mateix.

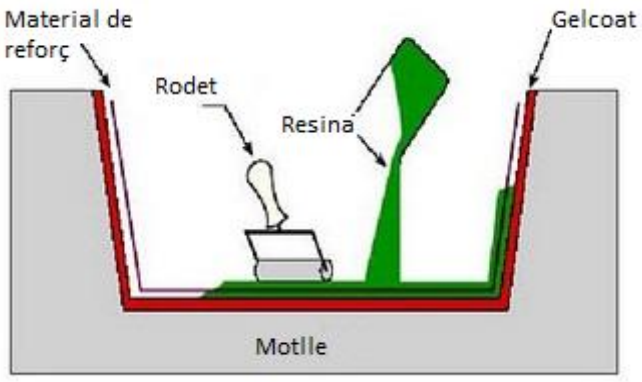

Figura 4.4 Esquema laminació manual
Font: Blog "Tecnología de los plásticos"

Per tant, tota la pressió que serà aplicada al laminat vindrà donada per la pròpia ma de l'operari, donant uns valors que oscil·laran entre 0 i 0,1 Kg/m^2. Cal tenir en compte que aquesta pressió dependrà de factors tant diversos com la geometria de la peça, la

posició del laminat, la viscositat de la resina o la pròpia actitud de l'operari (motivació, cansament, forma física, etc.).

4.2.1.2 Eines:

Un dels principals avantatges d'aquesta tècnica és el reduït nombre d'eines necessàries, fet que radica en la seva senzillesa i grau d'artesania. Tot i així podem diferencia dos grups principals d'eines: per la laminació i pel tall del material de reforç.

En el primer cas, tal i com hem explicat en paràgrafs anteriors, les eines troben la seva funció en la distribució uniforme i compacta de la matriu, a més de evitar la presencia de bombolles d'aire a l'interior del compòsit final. Amb aquest propòsit es fan servir rodets, brotxes i/o espàtules.

Els rodets són enormement útils a l'hora de estendre la matriu polimèrica a grans superfícies, aportant a la tasca una agilitat i uniformitat molt elevades, tenint en compte que dependrà en tot moment de la feina de l'operari. A l'hora d'escollir els rodets que es faran servir és recomanable l'ús de rodets de llana, ja que aquest material no es veu afectat per l'atac químic de les matrius polimèriques, evitant així una possible degradació del rodet que podria afectar negativament a la qualitat del laminat. A més d'aquesta propietat, la llana aporta un poder de compactació més elevat que altres tipus de rodets com els de pèls o de nylon. Altre tipus de rodets emprats en aquesta tècnica són els rodets metàl·lics. Aquests en són útils per actuar sobre la matriu ja estesa i extreure qualsevol bombolla d'aire que pugui trobar-se a l'interior. És important mantenir els rodets amb una correcta higiene si no volem que puguin fer malbé o contaminar el nostre laminat, pel que acostumen a netejar-se amb dissolvents o acetona.

Figura 4.5 Rodets de diferents materials
Font: Amig / Planeta Huerto / Mercamania

Respecte a les brotxes és important tenir en compte que han de tenir un cost reduït i han de garantir la seva integritat. El primer és degut a que el seu temps d'amortització serà molt curt, a més de la incorrecta o insuficient higiene a que acostumen a trobar-se sotmeses. El segon té el seu origen en el fet de que moltes brotxes desprenen pèls que poden disminuir la qualitat del material compost, pel que hauran de fer-se servir

brotxes amb un adhesiu aglutinant compatible amb sistema de matrius utilitzat. El més habitual es fer servir brotxes rodones per espais estrets o petits, i brotxes planes o paletines per superfícies planes.

Figura 4.6 Brotxes rodones i planes
Font: Madera i ferreteria San Miguel / Decopraktik

Les espàtules veuen el seu ús reduït a matrius polimèriques que presentin una elevada dificultat per estendre-les, com les epoxi, sent les de plàstic les més utilitzades per la seva flexibilitat. Per altra banda, les rasquetes són únicament utilitzades per la mescla de productes amb una viscositat elevada, com massilla o pintures.

Respecte a les eines pel tall del material de reforç trobem principalment les tisores i els cúters. Les primeres es fan servir per tallar teixits que no volem que s'esfilagarsin. El principal problema que presenten es la necessita d'afilar-les regularment, ja que materials com la fibra de vidre produeixen una elevada abrasió a la zona de tall. Els cúters, per altra banda, són útils per tallar feltres, on no importa si s'esfilagarsen o no. A més la seva fulla intercanviable dona més llibertat a l'hora d'adaptar-se a diferents gruixos i elimina la necessitat d'afilar l'eina.

Figura 4.7 Tisores per fibra de vidre / Cúter elèctric / Cúter convencional
Font: Mercamania / Viral Surf

4.2.1.3 Materials:

A l'hora de seleccionar la matriu que farem servir a la nostra peça, tenint en compte que realitzarem una laminació manual, trobem que és habitual la utilització de resines

polimèriques de polièster, vinilèster i epoxi. Es recomanable que la seva viscositat es trobi compresa entre 300 i 600 cPs, per facilitar la seva impregnació, i que no en necessiti de procediments posteriors, com de curat o postcurat. És possible la utilització de càrregues i/o additius per tal de modificar alguna propietat de la matriu.

Tot i no trobar cap limitació a l'hora d'escollir el tipus d'estructura tèxtil (feltre, teixit, acoblats, etc.) que es farà servir com a material de reforç, si que en trobarem recomanacions a l'hora de configurar la seqüència de capes del laminat per tal d'obtenir un resultat el més òptim possible.

La primera recomanació serà la de fer servir un feltre de baix gramatge (o vel de superfície) com a primera capa en contacte amb el motlle (o el gelcoat), amb l'objectiu de garantir un millor acabat, evitar possibles marques i minimitzar la possible aparició de osmosi a peces en contacte amb aigua.

Quan per disseny la peça presenti un gruix considerable serà molt recomanable realitzar la laminació per parts, per evitar un excés de calor produït per la reacció exotèrmica de la matriu que podria afectar a la qualitat del producte final. En aquests casos serà molt important garantir l'adhesió entre les diferents parts amb que contarà el procés, pel que les superfícies de contacte hauran de ser lo més llises possibles. Això s'aconseguirà fent servir feltres en aquestes capes. Cal tenir en compte també la importància que en tindrà en aquestes divisions del procés la neteja d'aquestes superfícies, les quals hauran de trobar-se totalment lliures de pols i imperfeccions.

Si les dimensions i/o la geometria de la peça no fan possible la utilització dels teixits sencers, aquests hauran de ser col·locats unint-los amb un correcte solapament. Les dimensions d'aquest solapament dependran del material de reforç i de la matriu utilitzada, a més d'haver de trobar-se correctament distribuïts amb l'objectiu de obtindre un laminat el més uniforme possible.

4.2.1.4 Entorn de treball:

Cal destacar principalment dos factors en aquest aspecte, dels quals dependrà en part la qualitat i les propietats del compòsit final: temperatura i humitat.

La temperatura afecta directament al grau en que es produirà el curat de la peça i a la viscositat de la matriu. A temperatures baixes la viscositat de la matriu augmenta, fent més dificultosa la seva impregnació al material de reforç, donant com a resultat laminats amb un grau més elevat de resina. Per altra banda, la reacció de curat no finalitza del tot a temperatures baixes, afectant directa i negativament a les propietats de la peça.

En el cas contrari, una temperatura massa elevada, es produeix la evaporació de part dels dissolvents de la resina, fet que disminuirà les propietats del compòsit final. També es veurà afectat el temps de gel de que es disposarà a l'hora de treballar, dificultant la tasca dels operaris. Altre aspecte negatiu serà l'augment de calor en les reaccions exotèrmiques de la matriu, podent produir marques i distorsions a la peça.

Per tal d'evitar tots aquests possibles efectes negatius sobre el nostre laminat, és recomanable treballar sempre a una temperatura compresa entre 15^0C i 30^0C, obtenint els resultats òptims entre 17^0C i 22^0C. Quedarà totalment desaconsellat treballar per sota de 10^0C, sent recomanable l'aplaçament del laminat a quan les condicions siguin les adequades.

La humitat no afectarà directament al material compost ja conformat, ja que la majoria d'aquests en són de resistents a l'aigua, sinó que produirà efectes negatius actuant sobre el material de reforç en sec. La presència d'humitat en la zona d'interfase dificultarà l'adhesió de la matriu als reforços, afectant negativament a les propietats del producte final.

És recomanable establir com a valor límit d'humitat relativa a l'entorn de treball un 75%, fent aconsellable l'aplaçament de la feina a quan les condicions siguin les més adients.

Serà important també en aquest últim cas el lloc d'emmagatzematge del material de reforç, que haurà de mantenir-se en una zona seca i en dintre d'un embolcall tancat.

Per tal d'evitar que possibles impureses, pols o brutícia afectin negativament al procés de laminació o a les propietats del compòsit, serà aconsellable mantenir un nivell adequat de neteja i ordre a la zona de treball.

4.2.1.5 Anàlisis d'avantatges i inconvenients:

Un cop hem vist els principals aspectes relatius a la tècnica de laminació manual, podem realitzar un breu anàlisis del avantatges i inconvenients més destacables i a tenir en compte a l'hora de preparar el nostre procés de fabriació.

Per una banda trobem que es tracta d'un procés del qual la seva senzillesa és la principal qualitat, fet que té com a resultat la no necessitat de mà d'obra excessivament qualificada i la utilització de eines i equips molt bàsics que no suposen un elevat cost. A tot això li podem afegir el fet de comptar amb una matèria prima amb un preu reduït, la pràcticament total llibertat respecte a la mida de les peces a produir i el tipus de materials de reforç i resines, el cost dels motlles més reduït de entre tots els processos de fabricació, la possibilitat de realitzar estructures sàndwich i monolítiques i la no necessitat de processos tèrmics posteriors.

Per altra banda, la elevada dependència de la mà de l'operari dona com a resultat laminats de qualitat irregular, un contingut de reforç entre el 25 i el 35% i una única cara bona de la peça (la que està en contacte amb el motlle). En general, tot i que dependrà de la peça, necessita de nombrosa mà d'obra, la productivitat es baixa per la poca o nul·la automatització del procés i es veu molt afectat per factors de l'entorn com temperatura i humitat. Cal tenir en compte que a més d'això provoca elevades emissions de COV i que se'n produeix una gran quantitat de brossa.

4.2.2 Projecció simultània

Mètode amb origen als anys 50 a Estats Units, com a resultat del fort creixement que va experimentar la indústria dels plàstics reforçats amb fibra de vidre. Tot i ser en gran part artesanal, es caracteritza per ser una evolució de la laminació manual, amb la intenció d'obtenir un augment de la productivitat.

4.2.2.1 Procediment

Aquest procés es basa en la projecció de talls de fibra de vidre (habitualment fils de roving) juntament amb resina prèviament catalitzada, de manera que ambdues parts queden dipositades al motlle a la vegada. Serà necessària després la compactació del conjunt mitjançant rodets o brotxes, amb l'objectiu de millorar la impregnació dels reforços i extreure l'aire que hagi pogut quedar a l'interior del laminat.

Figura 4.8 Operari fent servir un equip de projecció simultània.
Font: Direct Industry

Veiem doncs que en aquest cas la impregnació dels reforços en resina es realitza mitjançant un equip de projecció especial, tot i que el posterior compactat continuarà fent-se manualment. Aquesta última etapa guanyarà importància respecte la laminació manual degut a que la quantitat d'aire atrapat a l'interior del laminat inicial en serà molt més elevada.

Respecte a la pressió de compactació podem observar que, al realitzar-se mitjançant el mateix procediment, en serà similar al cas de la laminació manual (0-0,1 Kg/m^2), veient-se aquesta afectada pels mateixos factors esmentats en l'*apartat 2.2.1*.

4.2.2.2 Eines

L'equip principal consistirà en una pistola de projecció alimentada per una bomba de resina prèviament catalitzada, a més d'un capçal de rodets tallants que s'encarregarà de dividir el fil de roving i projectar-lo en trossos petits.

Respecte a l'equip de projecció podem diferenciar dos tipus: de mescla interna i de mescla externa. En el primer cas, l'equip disposa de dos tubs que condueixen resina. Un d'ells transporta resina pre-accelerada, i l'altre resina pre-catalitzada. Ambdós tubs

finalitzen en l'orifici des del qual formaran un ventall al qual s'ajuntaran ambdues resines i els trossos de roving, per acabar dipositant-se tots al motlle corresponent.

Per evitar obstruccions als tubs de resina es molt important mai realitzar la mescla de resina pre-catalitzada i resina pre-accelerada a l'interior de l'equip. També és habitual afegir a aquests equips uns escalfadors en línea, amb l'objectiu d'evitar problemes per variacions de la viscositat de les resines a causa de la temperatura ambient.

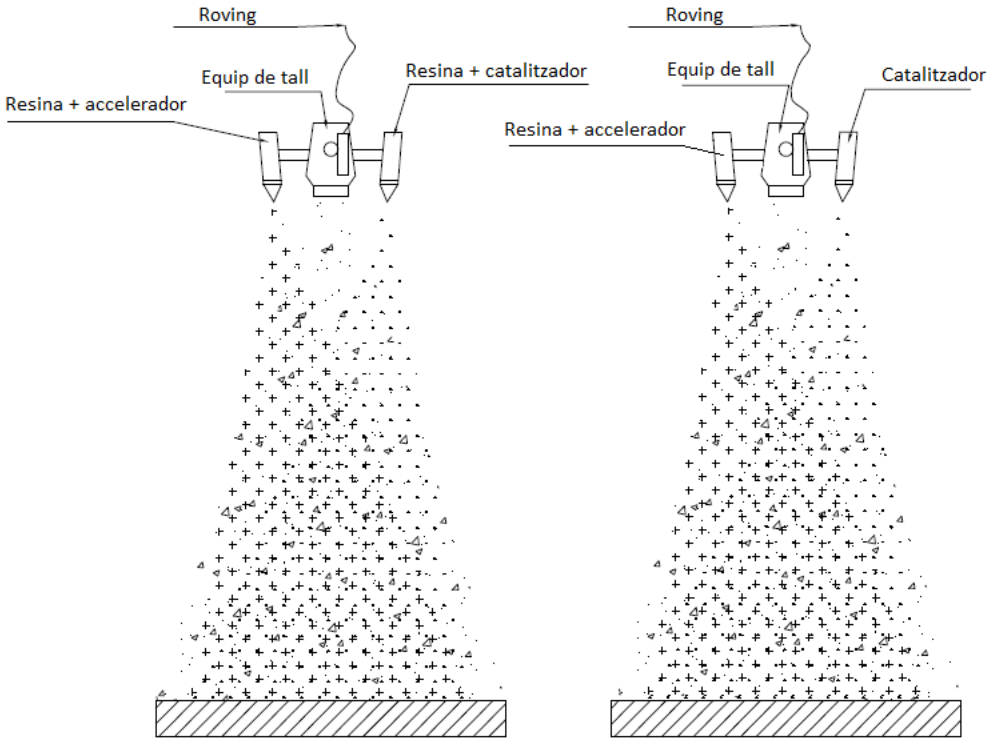

Figura 4.9 Esquema equip de projecció simultània (mescla interna / mescla externa)
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"

Abans de començar la operació serà necessari assegurar la correcta regulació del caudal de catalitzador. Habitualment aquests equips disposen de bombes esclaves que realitzen el mateix nombre de bombaments que la bomba de resina, assegurant una proporció regular i contínua.

Freqüentment seran necessàries parades de l'equip per netejar l'interior dels tubs de resina amb dissolvent, ja que de no realitzar-se podrien ocasionar problemes seriosos a l'equip de projecció.

El tallador del material de reforç té funcionament pneumàtic i té la possibilitat de tallar en diferents mides, en llargs compresos entre 20 i 50 mm en funció de les necessitats de la peça. El trobarem a la zona superior de l'equip de projecció, per facilitat la caiguda per gravetat dels trossos de roving a l'interior dels arcs o ventalls de resina anteriorment esmentats. L'elevat pes del conjunt fa que sigui habitual trobar aquests equips muntats en braços de suspensió, per tal de facilitar la feina dels operaris.

L'equip de projecció pot funcionar projectant resina i roving simultàniament o projectant resina de manera aïllada, passant a realitzar les funcions de *saturadora*. Aquesta funció pot ser seleccionada mitjançant un dispositiu disposat al lateral del capçal de tall.

4.2.2.3 Materials

Respecte a les matrius trobem que els equips de projecció simultània no en tenen limitacions, tot i que en seran diferents els dissenyats per funcionar amb resines de polièster o vinilèster dels dissenyats per funcionar amb resines especials com les epoxi. Això serà degut a les diferents viscositats i a les diferents proporcions de catalitzador necessàries a les resines especials com les epoxi.

És recomanable comptar amb resines d'entre 300 i 500 cPs de viscositat, per tal de facilitar l'impregnació dels reforços. Serà possible també l'addició de càrregues i/o additius a la resina, sempre que no se'n variï en excés la viscositat d'aquesta.

En l'apartat dels reforços aquests equips només són capaços projectar petits talls de roving, que un cop impregnats realitzaran la funció de feltres. El llarg dels talls podrà ser regulat, tot i que talls més llargs proporcionen laminats amb millors propietats mecàniques. Els equips de projecció simultània no permeten treballar amb estructures tèxtils, pel que si és necessària la seva utilització aquestes hauran de ser disposades sobre el motlle per projectar després la resina, fen servir l'equip de projecció com a saturadora.

Els equips de projecció simultània permeten regular el contingut de material de reforç entre el 20% i el 50%, tot i que cal tenir en compte que aquest serà el % de reforç projectat, i no el del laminat final.

4.2.2.4 Entorn de treball

Per tal de garantir la qualitat del laminat final seran necessàries similars a les esmentades per la laminació manual:

És recomanable treballar sempre a una temperatura compresa entre 15^0C i 30^0C, obtenint els resultats òptims entre 17^0C i 22^0C. Quedarà totalment desaconsellat treballar per sota de 10^0C, sent recomanable l'aplaçament del laminat a quan les condicions siguin les adequades.

És recomanable establir com a valor límit d'humitat relativa a l'entorn de treball un 75%, fent aconsellable l'aplaçament de la feina a quan les condicions siguin les més adients.

Serà important també el lloc d'emmagatzematge del material de reforç, que haurà de mantenir-se en una zona seca i en dintre d'un embolcall tancat, seguint sempre les indicacions dels fabricants.

Per tal d'evitar que possibles impureses, pols o brutícia afectin negativament al procés de laminació o a les propietats del compòsit, serà aconsellable mantenir un nivell adequat de neteja i ordre a la zona de treball, ja que un flux d'aire provinent de l'equip de projecció posarà en suspensió qualsevol partícula present en l'ambient.

Degut a les elevades emissions d'estirè (quadruplicant en la fase dinàmica a les de laminació manual) que produeix el procés de projecció simultània serà totalment necessari un sistema de recirculació del aire a l'interior del local de treball.

4.2.2.5 Anàlisi d'avantatges i inconvenients

Com a principals avantatges d'aquesta tècnica trobem l'augment de la productivitat respecte la laminació manual, a més d'un menor cost del material de reforç ja que només fa servir fils de roving. A més d'això trobem que és adaptable als mateixos motlles de laminació manual, és polivalent respecte estructures sàndwich o monolítiques i tampoc necessita de processos tèrmics posteriors. Altres aspectes positius són la optimització del material, disminuint els rebuigs, la possibilitat de transportar l'equip a diferents localitzacions i que és un procés ideal per produir poques peces de gran mida o moltes de mida mitjana.

Per altra banda trobem que requereix d'un equip amb un cost elevat, obtenim un baix contingut de reforç (20-30%), només pot treballar de manera directa amb feltres, és necessària l'adequació de l'espai per la utilització de l'equip i són habituals les obstruccions per variacions de viscositat a causa de canvis de temperatura. A tot això han d'afegir-s'hi moltes dels mateixos inconvenients de la laminació manual, com la qualitat irregular del laminat, la dependència de l'operari i de factors ambientals, la nombrosa necessària mà d'obra i la existència d'una única cara amb un bon acabat. Cal destacar també que es tracta del procés amb la taxa de emissió de COV més elevada de tots, afectant molt negativament a les condicions laborals dels treballadors.

4.2.3 Impregnadors

Aquesta tècnica és considerada un camí alternatiu en l'evolució de la laminació manual. Si anteriorment hem vist que la projecció simultània tenia el seu origen en la voluntat d'augmentar la productivitat, ara veurem que els impregnadors el tenen en la necessitat de les grans drassanes de processar grans quantitats de material compost amb una velocitat de procés elevada.

Podria dir-se que els impregnadors es troben a mig camí entre la laminació manual i els pre-impregnats, obtenint compòsits de millor qualitat, uniformitat i contingut de matriu, eliminant la limitació en quant a estructures tèxtils de la projecció simultània.

4.2.3.1 Procediment

El procés es basa en la immersió del reforç en un bany de resina catalitzada, per després extreure l'excés de matriu mitjançant rodets de compactació amb una separació regulable. Separant més o menys aquests rodets regularem el contingut de resina entre el 35% i el 55%.

Un cop el material ha estat submergit i compactat es procedirà a la seva col·locació al motlle corresponent, per després realitzar la habitual compactació i extracció de bombolles d'aire fent servir rodets i espàtules manualment. No s'aconsegueix una total mecanització del procés, però si per una part important del mateix.

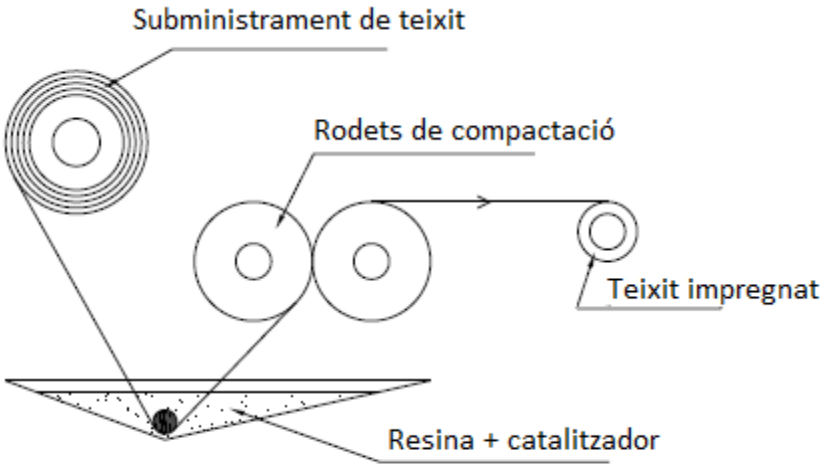

Figura 4.10 Esquema procés per impregnadors
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones"

4.2.3.2 Eines

Respecte a l'equip a utilitzar podem trobar des dels més senzills impregnadors manuals amb dos únics rodets i una sola fase de impregnació i compactació, fins als més complexes amb sistemes pneumàtics, elèctrics i/o mecànics amb més d'una etapa de impregnació i compactació. Aquests últims lògicament suposaran una despesa molt més elevada que els primers.

La elecció de l'equip, i per tant la despesa necessària, vindrà donada pel tipus de teixit que volem pel nostre compòsit. Això és degut a que majors espessors de material

impliquen major complexitat a l'hora de realitzar una adequada impregnació del mateix.

Caldrà tenir en compte diferents factors a l'hora de definir la velocitat de subministrament del teixit, com la viscositat de la resina , el gruix del teixit i la pròpia velocitat de impregnació del reforç. Per exemple, resines epoxi necessitaran velocitats més reduïdes de procés.

En l'apartat del subministrament de la resina i el catalitzador trobem que, de igual manera que a la projecció simultània, aquest pot realitzar-se manualment o mitjançant bombes esclaves, sent aquest últim mètode el més recomanable si volem garantir una correcta i regular proporció de la mescla.

Podem diferencia tres tipus d'equips de impregnadors en funció de la seva disposició o mobilitat al local de treball:

- Estacionaris: Compten amb una posició fixa, fent-los ideals per produccions elevades de peces petites. Trobarem els motlles distribuïts al seu voltant.
- Portàtils: Proporcionen llibertat de moviments i flexibilitat de producció, ideals per produccions elevades però de geometria i mida variables.
- Muntats en guies de desplaçament: Facilita el desplaçament de l'equip per sobre del motlle a fer servir, reduint temps de transport del material i donant com a resultat una major neteja de la zona de treball. Compten amb una gran versatilitat, ideal per cascos d'embarcacions. Permeten desplaçaments longitudinals, transversals i verticals, a més de girs sobre l'eix vertical de l'equip.

4.2.3.3 Materials

El fet més característic respecte als materials a fer servir en aquesta tècnica és la total llibertat a l'hora d'escollir l'estructura tèxtil pel nostre laminat, fet que no trobàvem a la projecció simultània.

Tot i així cal tenir en compte que si fem servir un feltre, aquest necessitarà anar acompanyat d'una altra estructura més ferma, per tal de fer les funcions de suport del primer.

Com ja hem vist en l'apartat anterior, els equips d'impregnadors permeten treballar amb tot tipus de resines, pel que depenent de la viscositat de la matriu, la vida útil d'aquesta i el gruix del material de reforç podrem obtenir laminats amb diferents característiques finals.

El fet de poder fer servir resines normals com les de polièster o vinilèster, fa que no siguin necessaris processos tèrmics posteriors per obtenir compòsits de bona qualitat.

Tot i així, si es considera necessari, aquest mètode permet la seva combinació amb compactacions assistides per buit.

4.2.3.4 Entorn de treball

Seran de igual aplicació les condicions anteriorment esmentades per la laminació manual i la projecció simultània:

És recomanable treballar sempre a una temperatura compresa entre 15^0C i 30^0C, obtenint els resultats òptims entre 17^0C i 22^0C. Quedarà totalment desaconsellat treballar per sota de 10^0C, sent recomanable l'aplaçament del laminat a quan les condicions siguin les adequades.

És recomanable establir com a valor límit d'humitat relativa a l'entorn de treball un 75%, fent aconsellable l'aplaçament de la feina a quan les condicions siguin les més adients.

Serà important també el lloc d'emmagatzematge del material de reforç, que haurà de mantenir-se en una zona seca i en dintre d'un embolcall tancat, seguint sempre les indicacions dels fabricants.

La neteja i ordre de l'espai de treball o l'absència d'ambdós podrà afectar directament a la qualitat del producte final desitjat, pel que es recomana mantenir especial cura en aquests aspectes.

4.2.3.5 Anàlisi d'avantatges i inconvenients

Per una banda trobem que, igual que a les anteriors tècniques, l'emmotllament per impregnadors presenta polivalència respecta a la construcció d'estructures monolítiques o sàndwich, no necessita processos tèrmics posteriors i s'adapta als mateixos motlles de laminació manual. A més d'això, trobem una important reducció del temps de treball, un augment de la velocitat de fabricació del material compost, una major homogeneïtat i contingut de reforç (35-55%) i una major delimitació de la localització d'emissions de COV. És un mètode ideal per peces de gran mida, com cascos d'embarcacions.

Per altra banda, trobem que la compactació i extracció de bombolles d'aire continua realitzant-se manualment, necessitant nombrosa mà d'obra per aquest procés, a més de continuar veient-se afectat per factors ambientals. A més a més es tracta d'un equip costós i que requereix coneixements tècnics, té limitacions respecta la viscositat de la resina i el gruix del teixit i necessita una adaptació i manteniment de l'equip molt elevat.

4.3 Tècniques d'emmotllament assistit per buit

Aquest conjunt de tècniques basa el seu procediment en l'aplicació d'una pressió externa extra al laminat, amb l'objectiu d'obtenir laminats amb millors qualitats físiques i mecàniques. Amb l'aplicació d'aquesta pressió externa s'aconsegueix optimitzar el contingut de matriu al compòsit, millorar l'adhesió entre les diferents capes i obtenir un material final amb una densitat major.

Tot i així aquests processos acostumen a ser més extensos i costosos que els de les tècniques de laminació per contacte, a més de necessitar habitualment de processos tèrmics posteriors de curat o postcurat a elevades temperatures.

Les més destacables i que seran explicades en detall a continuació són la laminació manual assistit per buit, la laminació amb pre-impregnats i la laminació amb pre-impregnats parcials.

4.3.1 Per contacte assistit per buit

La laminació per contacte assistit per buit es basa en la addició d'una pressió extra al laminat durant el procés de curat, optimitzant així les relacions reforç-matriu. A més d'això trobem que aquesta pressió és útil per extreure l'aire que pugui quedar a l'interior del laminat, compactar les diferents capes, fixar la posició de les estructures tèxtils durant el procés i aïllar el conjunt de la humitat externa.

4.3.1.1 Procediment

A l'hora de explicar el procediment d'aquesta tècnica és important recordar la tècnica de laminació manual, on es realitzava el laminat per després, amb la resina en un estat previ al gel, els operaris realitzaven manualment la compactació fent servir rodets o espàtules. En aquest cas obteníem una pressió de compactació entre 0 i 0,1 Kg/m^2.

Quan apliquem la laminació assistit per buit aquesta pressió de compactació serà originada per un diferencial de pressions induït pels propis operaris. Això s'aconseguirà mitjançant la col·locació d'una membrana estanca al voltant del laminat, de l'interior de la qual extraurem l'aire, provocant una davallada de pressió a l'interior (on és troba el laminat). Per extraure aquest aire de l'interior farem servir un equip de buit.

D'aquesta manera la diferencia de pressió entre l'interior i la pressió atmosfèrica que actua des de l'exterior, produiran un diferencial de pressió que donarà com a resultat una pressió de compactació actuant sobre tota la superfície del laminat.

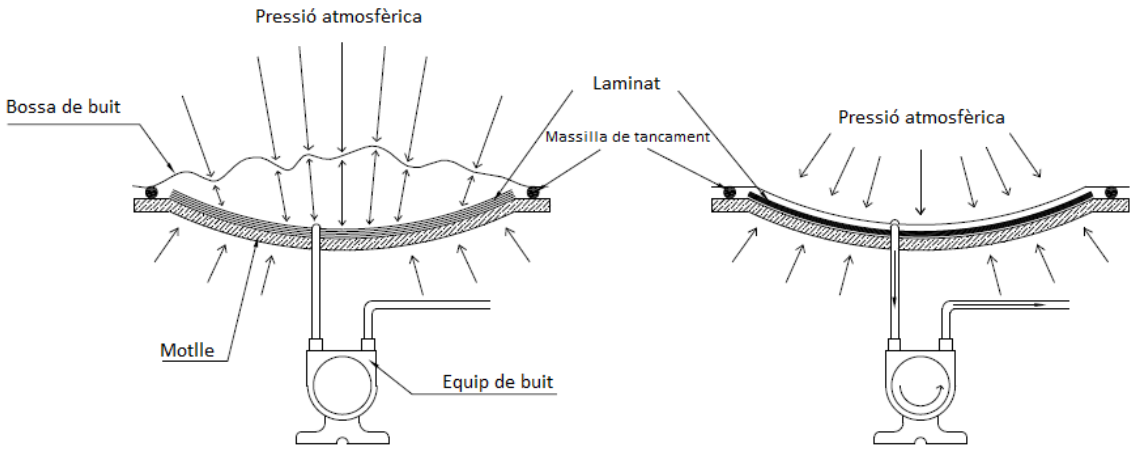

Figura 4.11 Acció del diferencial de pressió produït per l'equip de buit
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de

La magnitud d'aquesta pressió de compactació vindrà determinada per la capacitat de l'equip de buit, ja que serà l'encarregat de que el diferencial de pressions sigui més o menys important (menor pressió a l'interior implica un diferencial de pressions major). Com a dada orientativa podria dir-se que aquest mètode proporcionarà pressions de compactació de l'ordre de 10 vegades les obtingudes amb rodets i espàtules (1 Kg/m^2 aprox.)

4.3.1.2 Materials fungibles

Una particularitat d'aquesta tècnica és que necessitarà d'una sèrie de materials per tal de funcionar correctament. Aquests són els anomenats materials fungibles, que hauran de ser col·locats sobre el laminat amb temps suficient abans de iniciar-se la gelificació de la matriu. Les seves funcions principals són les de fer possible la compactació, extreure l'excés de resina, evitar l'adhesió dels mateixos a la peça, facilitar el desemmotllament i evitar la dispersió de COV a l'ambient de treball.

Els materials fungibles són els següents:

- Teixits pelables
- Films separadors i sagnadors
- Manta d'absorció / aireació
- Film de nylon (bossa de buit)
- Massilla de tancament (*tacky tape*)

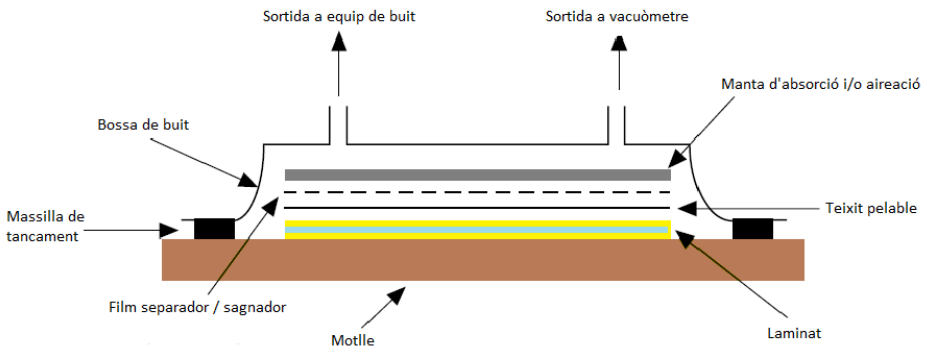

Figura 4.12 Distribució dels materials fungibles
Font: Nexus Projectes

a) *Teixits pelables (peel plies)*: S'apliquen en contacte directe amb el laminat, ja que estan dissenyats per ser retirats de la superfície de contacte amb molta facilitat. A més d'encarregar-se de que altres materials fungibles no quedin fixats als laminat, també deixa la superfície exterior del laminat amb una textura lleugerament rugosa ideal per processos posteriors com la aplicació de massilles o pintures.

   Altra característica important d'aquests teixits és el tractament que reben per tal de ser comercialitzats sense impureses, evitant qualsevol possible contaminació del laminat.

   La seva composició habitual és a base de poliamides (*nylon*) o fibres de polièster, tot i que les primeres presenten problemes amb les resines fenòliques. En aquest cas es recomanable fer servir les de fibres de polièster.

   Una de les seves funcions secundaries és la protecció que ofereixen al compòsit enfront agents externs, pel que es recomana no extraure'l sempre que no en sigui totalment necessari.

b) *Films separadors i sagnadors*: La funció dels films separadors és la de separar el laminat de la resta de materials fungibles. Els sagnadors en són els mateixos però amb forats que permeten la sortida de l'excés de resina i possibles bombolles d'aire que hagin quedat a l'interior.

   La distribució d'aquests forats s'establirà en funció del mètode de fabricació seleccionat. El diàmetre dels mateixos dependrà de la temperatura de curat, la matriu seleccionada, la viscositat d'aquesta, el temps de treball i la pressió de compactació.

   La correcta elecció del sagnador afectarà de manera molt important a la qualitat del compòsit final. Una incorrecta elecció podrà donar com a resultat laminats amb excessiva porositat provocada per una insuficient

sortida d'aire atrapat a l'interior, o laminats massa secs a causa d'una excessiva evacuació de resina.

Existeix la possibilitat de fer servir films que permeten el pas de gasos però no de resina. A més d'això, els films hauran de comptar amb resistència a altes temperatures, una alta elongació, no estar contaminats per cap impuresa i tenir un cost reduït.

c) *Manta d'absorció / aireació*: Es tracta de teixits sintètics no entramats, habitualment fabricats a partir de fibres de polièster reciclades. Les seves funcions principals són les permetre el flux d'aire de l'interior de la bossa cap a una de les sortides a l'equip de buit, i absorbir l'excés de resina provinent del laminat.

   Molt important col·locar-lo separat del laminat mitjançant films separadors o sagnadors, ja que no tenen propietats desemmotllants.

d) *Films de nylon (bossa de buit)*: Serà el film encarregat de embolcallar tot el laminat, inclosos els anteriors materials fungibles, produint la zona estanca de la qual s'extraurà l'aire amb l'equip de buit. En aquest moment el film quedarà adaptat a la forma del laminat, fent actuar la pressió atmosfèrica a causa del diferencial de pressió existent.

   A l'hora de l'elecció del film de nylon s'haurà de tenir en compte la seva elongació, la resistència a elevades temperatures, la compatibilitat amb les resines, la resistència a l'atac de gasos durant el curat i la seva adaptabilitat a formes complexes.

e) *Massilla de tancament (tacky tape)*: La seva funció serà la de fixar el film de nylon al motlle, proporcionant una unió estanca que garanteixi la davallada de pressió a l'interior.

   La seva composició és basada en el cautxú sintètica combinat amb càrregues inertes, plastificants i additius que li proveeixen adhesivitat. És important que la seva formulació tingui en compte que ha de ser fàcil d'extreure i que no deixi cap residu després de la seva extracció.

4.3.1.3 Materials

Com ja hem vist en apartats anteriors, aquesta tècnica necessita realitzar tot el procés de laminat i compactat, a més de la col·locació dels materials fungibles, abans de que la resina assoleixi el punt de gel. Es per això que el més habitual serà combinar aquesta tècnica amb resines amb un elevat temps de gelificació, com és el cas de les epoxi.

Les resines epoxi són les més utilitzades amb aquesta tècnica degut a dos principals raons: la primera és que l'aplicació del buit a un laminat habitualment busca una millora qualitativa de les propietats finals del compòsit, les quals s'obtindran en un

grau molt més elevat fent servir aquestes en comptes de les de polièster o vinilèster; la segona és l'augment del temps de gel que trobem a les epoxi respecte les de polièster o vinilèster.

Respecte als materials de reforç trobem que no hi ha pràcticament limitacions, tot i que al tractar-se d'un laminat amb unió primària, i no per fases, s'acostuma a evitar la utilització de feltres.

Tampoc trobarem limitacions respecte als materials de nucli, tot i que si fem ser servir *niu d'abella* serà d'especial atenció l'aplicació i distribució de la pressió sobre aquest material per evitar possibles deformacions.

4.3.1.4 Entorn de treball

Seran de igual aplicació les recomanacions respecte a les condicions ambientals de la zona de treball de les tècniques d'emmotllament per contacte:

És recomanable treballar sempre a una temperatura compresa entre 15^0C i 30^0C, obtenint els resultats òptims entre 17^0C i 22^0C. Quedarà totalment desaconsellat treballar per sota de 10^0C, sent recomanable l'aplaçament del laminat a quan les condicions siguin les adequades.

És recomanable establir com a valor límit d'humitat relativa a l'entorn de treball un 75%, fent aconsellable l'aplaçament de la feina a quan les condicions siguin les més adients.

Serà important també el lloc d'emmagatzematge del material de reforç, que haurà de mantenir-se en una zona seca i en dintre d'un embolcall tancat, seguint sempre les indicacions dels fabricants.

La neteja i ordre de l'espai de treball o l'absència d'ambdós podrà afectar directament a la qualitat del producte final desitjat, pel que es recomana mantenir especial cura en aquests aspectes.

Degut a la habitual utilització de resines epoxi, serà necessària la aplicació de processos de curat i postcurat a elevades temperatures. Això implicarà la instal·lació de sistemes de calefacció, els quals requeriran especial atenció per evitar qualsevol possible accident, incendi o explosió.

Respecte a la emissió de COV observem que aquesta tècnica aconsegueix reduir tota la contaminació produïda durant la fase estàtica del procés, ja que el laminat es troba embolcallat de forma estanca. També aconsegueix reduir una petita part de la fase dinàmica, que és durant el període que es fixa la bossa de nylon amb el tacky tape.

4.3.1.5 Anàlisi d'avantatges i inconvenients

En l'apartat positiu de la valoració d'aquesta tècnica trobem que els laminats obtinguts compten amb un contingut molt més elevat que en les de emmotllament per contacte (40-55%), a més d'obtenir una densitat major i una porositat menor, una millor impregnació dels reforços i la total llibertat de estructures tèxtils a utilitzar. A més d'això es destacable la adaptabilitat a estructures sàndwich i/o monolítiques, la aplicació a peces de qualsevol mida i la reducció de les emissions de COV durant la fase estàtica del procés.

Per contra aquesta tècnica veu el seu cost augmentat per la necessitat d'equips auxiliars com el de buit, i per la necessitat de fer servir materials fungibles. A més trobem que es tracta d'un procés més llarg i, per tant, menys productiu, al qual la mà d'obra requerirà d'una qualificació elevada. Les resines hauran de comptar amb temps de gel extensos, a més de poder aparèixer zones gelificades abans de finalitzar el laminat i compactat degut al llarg procés a realitzar. Trobem també un augment de residus produïts, i els motlles necessitaran ser dissenyats especialment per aquest mètode o adaptar-se, ja que hauran de garantir la estanquitat. És un procés molt sensible a les condicions ambientals, i a més requeriran de processos tèrmics posteriors. Com a mètodes anteriors el laminat comptarà només amb una cara bona, i una excessiva evacuació de resina pot influir negativament en les propietats finals de la peça.

4.3.2 Pre-impregnats

També coneguts com *prepregs*, van tenir el seu origen en la necessitat de industries com la aeronàutica i la aeroespacial de obtenir laminats amb un elevat contingut de reforç i una elevada uniformitat de distribució de la resina a tota la seva superfície.

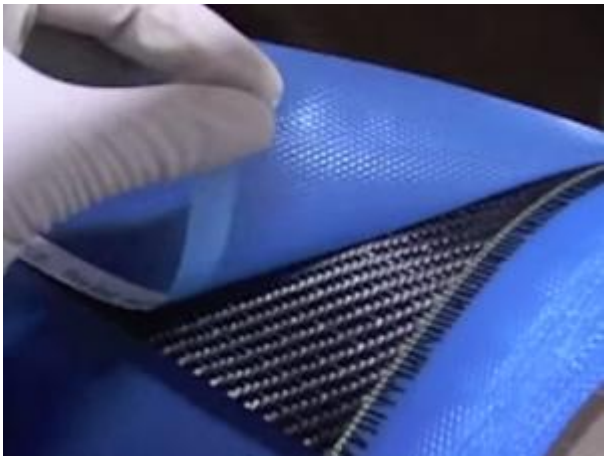

Figura 4.13 Exemple de material pre-impregnat
Font: Fiberglast

Tot i que a la indústria naval es fa servir exclusivament a embarcacions d'altes prestacions, es preveu que la seva utilització es vegi impulsada per la ampliació de aplicacions industrials a altres camps i la seva conseqüent disminució de cost de elaboració.

4.3.2.1 Procediment

Aquesta tècnica es basa en la preparació prèvia dels materials impregnant-los, per després congelar-los per la seva utilització posterior. Això fa possible el tall de les peces abans de col·locar-les sobre el motlle, fent molt més senzilla i fàcil la tasca.

El laminat es realitza mitjançant la col·locació d'aquests retalls sobre el motlle, havent-los descongelat prèviament. Quan el gruix final sigui molt gran, serà recomanable realitzar compactacions intermèdies mitjançant el buit per tal de extraure tot l'aire que pugui quedar atrapat entre les diferents capes. Un cop està preparat el laminat, aquest haurà de ser sotmès a un augment gradual i predeterminat de temperatura i pressió per tal de finalitzar el curat.

La temperatura final d'aquest procés i la pressió de compactat seran definides en funció del pre-impregnat seleccionat per la nostra peça. En cas de tractar-se de pressions baixes es farà servir habitualment el buit; en cas contrari, podran fer-se servir premses o autoclaus. En la indústria naval, a causa de les grans dimensions i complexa geometria, el més habitual és la utilització de sistemes de buit.

4.3.2.2 Materials

Els pre-impregnats són bàsicament estructures tèxtils impregnades en resines reactives preparades per la seva utilització, les quals es congelen per alentir la reacció de curat.

Un dels objectius de la utilització d'aquesta tècnica és el de obtenir laminats amb un elevat contingut de reforç i una elevada uniformitat i homogeneïtat de distribució de la resina, pel que la impregnació dels teixits acostuma a realitzar-se mitjançant màquines impregnadores que són una garantia en aquests aspectes.

Depenent de la resina seleccionada el procés d'impregnació variarà, fundamentalment en el tractament de la viscositat de la mateixa. La viscositat serà manipulada mitjançant un augment de la temperatura o l'addició de dissolvents. Ambdues tècniques busquen la reducció de la viscositat de la resina per facilitar i millorar la impregnació del reforç en la resina. En el cas de l'addició de dissolvents trobem l'inconvenient de que serà necessària la posterior extracció d'aquests un cop ha finalitzat la impregnació, sent-hi aquest un procés complex.

Un cop finalitza la impregnació dels reforços es deixa avançar lleugerament la reacció de reticulació amb l'objectiu d'evitar la destil·lació de la resina, augmentant aquesta la

seva viscositat, obtenint un material intermedi. Després d'això es procedeix a la congelació del material, sent necessàries temperatures de entre -10^{o}C i -20^{o}C.

Cal tenir en compte que els materials pre-impregnats tenen un cicle de vida curt, pel que serà molt important la seva conservació a zones refrigerades. Depenent de la resina podran aguantar entre 10 i 60 dies sense congelació, i uns 6 mesos a temperatures sota zero.

Serà molt important seguir les instruccions del fabricant del material a l'hora de configurar el cicle de curat respecte a la temperatura. Si tenim en compte que la viscositat de la resina varia en funció de la temperatura, veurem que una incorrecta manipulació de la mateixa podrà ocasionar grans problemes al producte final.

Durant la fase de descongelació del material serà important que no es vegi afectat per la humitat, fet que afectaria molt negativament a les propietats del material final. A més d'això el material haurà de mantenir-se en posició horitzontal per evitar la declinació de la resina amb l'objectiu de garantir la uniformitat del laminat.

4.3.2.3 Entorn de treball

Seran de igual aplicació les recomanacions respecte a les condicions ambientals de la zona de treball de les tècniques d'emmotllament per contacte:

És recomanable treballar sempre a una temperatura compresa entre 15^{0}C i 30^{0}C, obtenint els resultats òptims entre 17^{0}C i 22^{0}C. Quedarà totalment desaconsellat treballar per sota de 10^{0}C, sent recomanable l'aplaçament del laminat a quan les condicions siguin les adequades. Serà de especial importància en aquesta tècnica que el material es trobi entre 15^{o}C i 30^{o}C, ja que fora d'aquest rang la seva manipulació es tornarà molt dificultosa, podent afectar molt negativament a les propietats del material compost final.

És recomanable establir com a valor límit d'humitat relativa a l'entorn de treball un 75%, fent aconsellable l'aplaçament de la feina a quan les condicions siguin les més adients.

La neteja i ordre de l'espai de treball o l'absència d'ambdós podrà afectar directament a la qualitat del producte final desitjat, pel que es recomana mantenir especial cura en aquests aspectes.

Durant la realització d'aquesta tècnica trobem que les emissions de COV es troben pràcticament reduides a zero, ja que la manipulació del material congelat no en produeix cap emissió, i quan la viscositat de la resina es redueix el suficient com per emetre ja es troba sota un equip de buit o un autoclau que evita la seva dispersió.

4.3.2.4 Anàlisi d'avantatges i inconvenients

En l'apartat positiu de la utilització d'aquesta tècnica trobem que els materials resultants compten amb un elevat contingut de reforç (65-70%), donant una qualitat óptima, a més de donar percentatges molt precisos i homogenis a tot el material. El fet de poder iniciar el curat quan l'operari ho cregui adequat fa que sigui més fàcil la organització de la feina de laminació i compactació, a més de tractar-se d'una manipulació molt senzilla i neta, reduint inclús les emissions de COV al mínim. Per la seva especial configuració es possible corregir i modificar els laminats abans del seu curat definitiu. A més a més, els nombrosos controls necessaris fan més fàcil la identificació de qualsevol possible fallada, i permet la seva aplicació estructures sàndwich i monolítiques.

A la banda negativa trobem que els materials són bastant més costosos que els tradicionals, a més de necessitar materials fungibles. Serà necessària la utilització de sistemes de buit, forns, autoclaus i altres equips costosos i que necessiten de mà d'obra altament qualificada. Per obtenir les millors propietats físiques i mecàniques serà necessari un cicle de curat a alta temperatura, a més de tractar-se d'un procés llarg i, per tant, menys productiu que molts altres. Actualment només trobem materials pre-impregnats en resines epoxi, fenòliques o vinilèster. Serà necessària la adaptació o disseny del motlle acord a aquesta tècnica. Per últim cal tenir en compte que les dimensions de la peça es veuran condicionades per les del forn de curat a utilitzar, i que la necessitat de controlar el material en tot moment repercutirà en un augment de despeses per la gestió i control del mateix.

4.3.3 Pre-impregnats parcials

També coneguts com pre-impregnats de segona generació, basen la seva evolució en la eliminació de la necessitat de realitzar compactats intermedis durant el procés de laminació per gruixos elevats.

Aquesta petita variació dona com a resultat una important reducció del temps de procés, fent possible tractar la laminació com un únic procés, i no com una etapa del mateix.

4.3.3.1 Procediment

El concepte fonamental d'aquesta tècnica és molt similar al dels pre-impregnats tradicionals, afegint-li només petites variacions a les mateixes estructures tèxtils i matrius.

La gran diferència és que els pre-impregnats parcials només són impregnats "en part", és a dir, és deixen zones de la estructura tèxtils sense impregnar. Això s'aconsegueix fent una impregnació selectiva o mitjançant cintes de resina pre-impregnada. Com a resultat obtenim que les fibres de reforç seques (no impregnades) actuaran com a membrana porosa que permetrà la sortida de l'aire que pugui quedar entre les diferents capes de laminat.

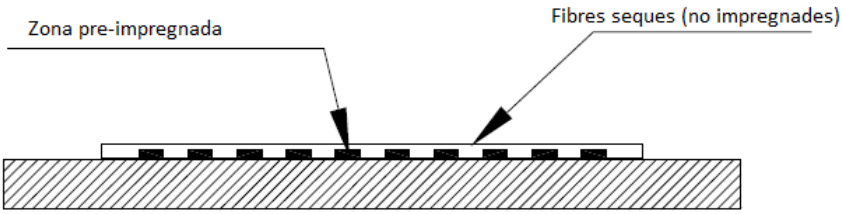

Figura 4.14 Material pre-impregnat mitjançant impregnació selectiva
Font: Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de

D'aquesta manera queda eliminada la necessitat de realitzar compactats intermedis, com és el cas dels pre-impregnats tradicionals, si volem realitzar un laminat d'un gruix considerable.

Cal tenir en compte que, si repescte els materials de reforç no trobem cap tipus de limitació, respecte a les matrius només en trobarem de resines epoxi actualment al mercat. Serà important si volem realitzar estructures sàndwich tenir en compte la temperatura màxima que podrà suportar durant el procés.

4.3.3.2 Anàlisi d'avantatges i inconvenients respecte pre-impregnats tradicionals

El principal avantatge que presenta aquesta variant és que el temps de procés es veu reduït gràcies a la no necessitat de realitzar compactats intermedis, donant com a resultat també una reducció de la despesa en materials fungibles ja que se'n necessitaran menys.

Per altra banda, cal dir que la probabilitat de trobar defectes superficials és mes gran si fem servir els pre-impregnats parcials, a més de torbar la limitació de que només fan servir actualment resines epoxi.

4.4 Tècniques d'emmotllament per via líquida

Aquest conjunt de tècniques, englobades a la vegada a les tècniques de motlle tancat, tenen com a principal característica el fet de que les fibres de reforç i la resina entren en contacte ja a l'interior d'un motlle tancat que no permet la sortida de les emissions d'estirè.

És evident per tant, que amb la utilització d'aquestes tècniques obtindrem una important reducció de les emissions de COV contaminants de l'entorn de treball, donant com a resultat unes millors condicions laborals als operaris.

Aquest fet ha sigut el gran impulsor de la gran extensió d'aquestes tècniques, tant en la indústria naval com a la resta. Han estat una solució adequada a l'objectiu de reduir

les esmentades emissions i complir les limitacions de la nova normativa en aquest àmbit.

Les principals tècniques d'emmotllament per via líquida són les de transferència de resina (RTM i VARTM) i la infusió.

4.4.1 Infusió

Com ja hem explicat anteriorment, les tècniques de via líquida es caracteritzen per realitzar el primer contacte entre fibres de reforç i resina a l'interior d'un motlle tancat. En aquesta, si més no es tracta d'un motlle tancat literalment, si que es tracta d'un motlle preparat de manera similar a la tècnica de la laminació per contacte assistit per buit.

En aquest cas, veurem que serà el film de nylon, encarregat d'assegurar l'estanquitat, el que realitzarà la funció del contramotlle.

4.4.1.1 Procediment

Quan es realitza una laminació per contacte assistit per buit es col·loquen les fibres de reforç sobre el motlle, per després impregnar-les i embolcallar-les amb un film de nylon, el qual ajudant-se de la resta de materials fungibles i un sistema de buit, assegurava l'estanquitat al seu interior i feia possible produir la davallada de pressió al seu interior que donaria lloc a un diferencial de pressió.

A la tècnica d'infusió, la diferència es trobarà en el fet de que tota aquesta preparació es realitzarà sense impregnar les fibres de reforç. Aquestes quedaran embolcallades trobant-se totalment seques.

Un cop tenim configurades les nostres fibres sobre el motlle amb l'embolcall estanc, és procedirà a la aplicació de buit de igual manera que a la laminació per contacte assistit per buit, amb l'objectiu de compactar les diferents capes de fibra i extreure l'aire que hagi pogut quedar atrapat al seu interior.

El següent pas es permetre l'entrada de resina a l'interior, mitjançant mànegues de distribució estratègicament col·locades sobre el motlle. S'ajudarà a la correcta i total distribució de la resina fent servir un nou material fungible: la malla de distribució. Es tracta d'una estructura tèxtil que actua com una gran membrana porosa, facilitant la circulació de la resina per tota la superfície de la peça. En aquesta tècnica només serà necessària la utilització de la bossa de nylon, la massilla de tancament i el teixit pelable, que podria ser substituït per la esmentada malla de distribució en funció de les necessitats del procés.

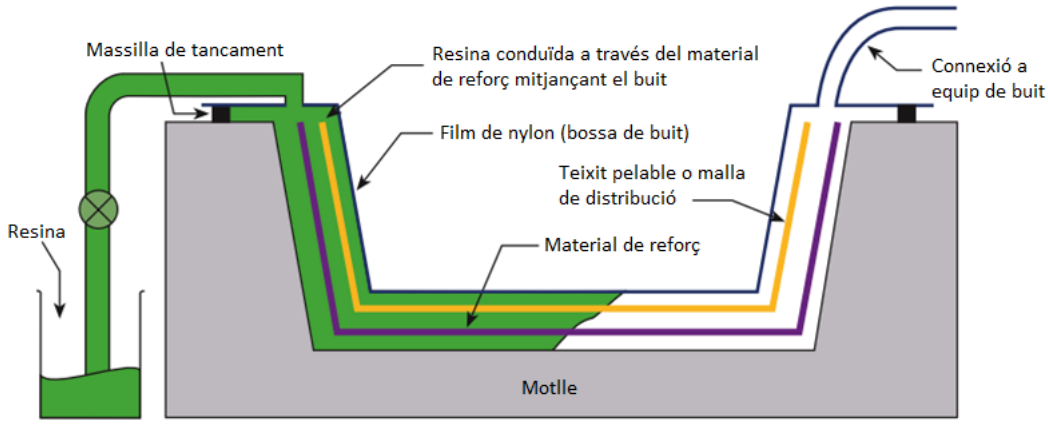

Figura 4.15 Esquema de la configuració de la laminació per infusió.
Font: Bright Composites

Un cop la resina ha impregnat el laminat en la seva totalitat, es tanca l'entrada de resina i és manté la peça sota l'efecte del buit, com a mínim fins finalitzar la polimerització de la peça. Aquesta es realitzarà a temperatura ambient, tot i que pot reduir-se el temps aplicant calor extern.

4.4.1.2 Eines

Entenent els motlles com una eina del procés, és destacable que presentaran una gran polivalència respecte als dissenyats per fer servir amb altres tècniques, com els de laminació manual, projecció simultània o assistits per buit. Tot i així, hauran de garantir l'estanquitat, pel que si compten amb particions aquestes hauran de quedar segellades. A més a més hauran de ser suficientment rígids com per no deformar-se, comptar amb una pestanya suficientment ampla pel tancament de la bossa de buit i, en cas de ser necessaris processos de post-curat, hauran de estar construïts en materials que suportin les temperatures corresponents. Aquesta tècnica admet la utilització que curen a temperatura ambient, pel que no serà estrictament necessària la aplicació de processos de post-curat.

Respecte les eines de distribució de la resina serà molt important la utilització d'una trampa de resina prèvia a l'equip de buit. Això és degut a que la resina és distribuïda sobre el laminat en excés, amb l'objectiu d'assegurar la total impregnació de les fibres, pel que és habitual la sortida de resina per la connexió amb l'equip de buit. Si la resina arribés a entrar a l'equip de buit aquest podria patir greus danys.

La distribució pròpiament dita es realitza mitjançant mànegues de distribució, les quals connecten per un costat amb el cubell de resina catalitzada, i per l'altre amb l'interior de la bossa de nylon. En funció de la geometria de la peça i de factors com la viscositat de la resina, les mànegues es trobaran distribuïdes d'una manera o altra. Aquestes

hauran de ser resistents als atacs dels agents químics amb que estaran en contacte, a més de poder suportar la pressió de buit que se'ls hi aplicarà, és a dir, no quedaran estrangulades per la pressió que patiran.

4.4.1.3 Materials

A l'hora d'escollir la resina que farem servir serà molt important prestar especia atenció al seu temps de gel, la seva viscositat i la seva reactivitat.

Es habitual trobar que les resines que es fan servir per infusió es troben modificades per tal d'obtenir un temps de gel més llargs i reduir els pics exotèrmics durant la reacció de curat. Això es degut a la necessitat d'assegurar que la resina serà capaç de impregnar tot el material de reforç abans d'arribar al punt de gel, a més de garantir que els augments de temperatura que patirà no afectaran negativament al conjunt.

Una viscositat baixa farà que la resina flueixi més ràpid per tot el laminat, tot i que si ho és en excés, pot arribar a donar com a resultat l'entrada d'aire al laminat; mentre que si és massa elevada pot provocar zones seques a causa del llarg temps de impregnació que necessitarà. Com a valor orientatiu, una viscositat de entre 50 cPs i 300 cPs serà una bona solució de compromís entre temps d'emplenament i qualitat del laminat.

Respecte als materials de reforç, normalment s'utilitzen combinacions de diferents estructures tèxtils, amb l'objectiu d'aprofitar les bones propietats mecàniques d'unes i la capacitat d'ajudar al flux de resina d'altres. Habitualment les que millors propietats mecàniques donen al compòsit són les que més dificulten el flux de resina, pel que aquestes acostumen a situar-se als extrems del laminat, mentre que al centre s'aprofiten les estructures que el faciliten, amb la intenció de crear un flux interior de resina per facilitar la impregnació total de la peça.

Tot i que la major part de materials de nucli són aptes pel seu ús amb aquesta tècnica, és recomanable no fer servir els excessivament porosos com el Fire Coremat® o, en el cas de les espumes, les de cel·la oberta, ja que aquests afavoriran la absorció de resina, donant lloc a una excés de pes de la peça.

4.4.1.4 Distribució de la resina

Per tal d'assegurar una correcta impregnació del material de reforç serà molt important que la resina tingui una reduïda viscositat, ja que d'aquesta manera serà més fàcil el flux per l'interior del laminat. Tot i així, no serà aquest l'únic factor a tenir en compte, ja que també serà de gran importància la correcta distribució dels punts de subministrament de resina. No fer-ho podria donar lloc a zones on no hagi arribat la resina, totalment seques, la reparació de les quals seria molt costosa, fent fins i tot possible que la peça quedi inservible.

Hi ha tres principis pels quals la resina pot distribuir-se per l'interior del laminat:

- *Flux a través de connexions:* Depenent del tipus de resina utilitzat i de la longitud de la peça, hauran zones on no serà possible que la resina arribi en el temps suficient abans d'assolir el punt de gel. En aquest cas serà necessària la col·locació de punts de distribució addicionals.

- *Flux a través de canals pre-tallats al nucli:* Les ranures que presenten alguns materials de nucli poden fer-se servir per facilitar el flux de resina per l'interior del laminat. Alguns materials de nucli ja venen preparats per realitzar tal funció; en aquest cas, serà molt important atendre en tot moment a les recomanacions del fabricant i orientar els materials correctament respecte al flux de resina.

- *Flux a través d'una malla de distribució:* És facilitarà la distribució de la resina amb l'addició d'una malla de distribució sobre el *peel ply* que actuarà com a canal de circulació.

Serà també molt important el correcte subministrament de resina, el qual pot realitzar-se de tres diferents maneres:

- *Infusió puntual:* El punt d'alimentació es troba situal al centre de la peça, i l'extracció de l'aire, i per tant cap a on fluirà la resina, es realitza des de les vores de la bossa. Es tracta del mètode més lent, però el que menys resina utilitza.

  Ideal per peces de petites dimensions. Serà molt important que la bossa sigui completament estanca, ja que de no ser-ho el procés s'allargaria encara més.

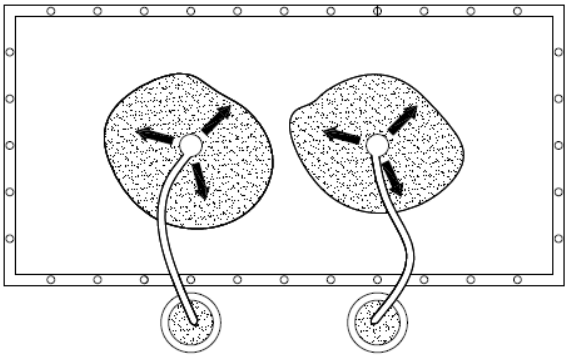

Figura 4.16 Infusió amb subministrament de resina puntual
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de*

- *Infusió lateral:* La resina circula d'un costat a l'altre de la peça, movent-se com un sol front que recorre tota la superficie del laminat. Serà de gran importància la correcta elecció dels canals de flux de la resina, ja siguin canals pre-tallats o una malla de distribució.

  Ideal per peces estretes o esveltes, ja que la resina farà un camí més curt.

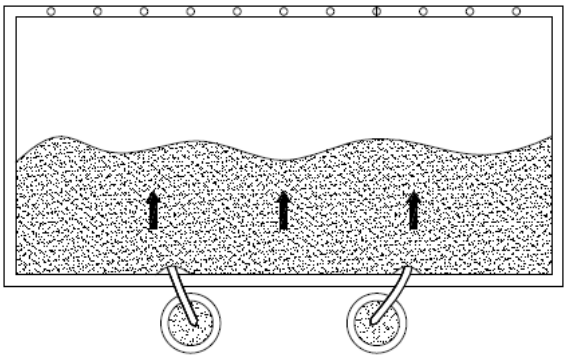

Figura 4.17 Infusió amb subministrament de resina lateral
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de*

- *Infusió perifèrica:* El subministrament de resina es realitza per les vores de la bossa, mentre que l'extracció d'aire es situarà al centre de la peça. D'aquesta forma la resina circula del perimetre de la peça fins al seu centre.

  És un mètode molt més ràpid, pel que s'acostuma a utilitzar amb resines que tenen un curt temps de gel. Per contra és el mètode que més resina utilitza, podent provocar excés de resina que haura d'extreure's posteriorment.

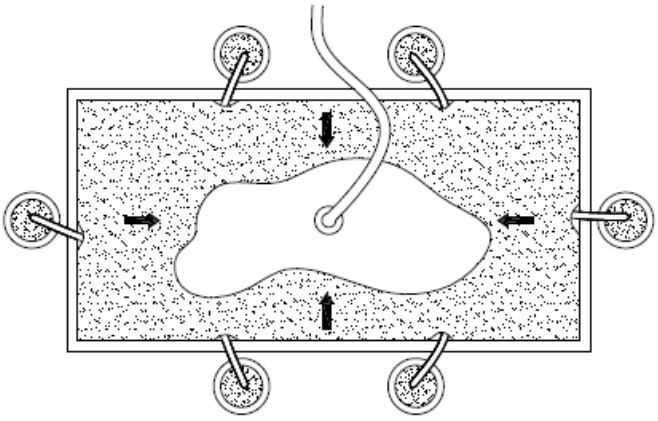

Figura 4.18 Infusió amb subministrament de resina perifèric
Font: *Llibre "Materiales Compuestos: Procesos de fabricación de*

4.4.1.5 Anàlisi d'avantatges i inconvenients

A l'hora d'analitzar a aquesta tècnica trobem que un factor molt important és la reducció de la dependència de l'operari, a més de la reducció del temps de procés respecte, per exemple, a la laminació manual assistida per buit, donant a més a més laminats de gran qualitat amb un contingut de reforç del 40-55%. La seva semblança amb la laminació manual assistida per buit fa que el material auxiliar sigui pràcticament el mateix, tant l'equip de buit com el motlle per exemple. A més a més,

en aquest cas trobem que les emissions de COV són molt reduïdes, provenint únicament dels cubells de resina dels quals es subministra al laminat, ja que els processos de impregnació i curat es realitzen totalment dintre de la bossa de buit. Trobem també que no hi ha limitacions respecte a les estructures tèxtils a utilitzar, ni respecte les estructures monolítiques o sàndwich, que no hi ha limitacions respecte les dimensions de la peça i que amb peces de gran mida s'obté la millor relació qualitat/preu.

Per contra, la utilització d'equips auxiliars i materials fungibles augmenta lleugerament el cost total, a més de ser necessària una elevada qualificació dels operaris. Les resines a fer servir hauran de ser de baixa viscositat, i tot i així és molt difícil garantir un gruix constant a tota la peça. A més a més, la productivitat del procés no es gaire elevada, només s'obté una cara bona, pot veure's afectat per les condicions ambientals i no és rentable per la producció de peces petites.

4.4.2 RTM

També coneguda com de transferència de resina, aquesta tècnica basa el seu funcionament en la injecció de la pròpia resina a l'interior d'un motlle tancat, al qual es troben les fibres de reforç seques. Amb l'objectiu de reduir els temps de curat, molts motlles de RTM fan servir sistemes que produeixen un augment programat de la temperatura del conjunt.

El gran volum que necessitaran els motlles fa que aquests acostumin a estar construïts en metalls com alumini, coure o acer, o per produccions més petites en resines construïdes en massa, com resines epoxi.

4.4.2.1 Procediment

El procés es troba conformat per 5 fases principals:

1. Col·locació del material de reforç
2. Tancament del motlle
3. Injecció de resina amb el motlle tancat
4. Curat de la peça
5. Desemmotllament

Primerament les fibres seran preparades per la seva utilització, tallant-les acord a les formes de la peça. Hi ha la possibilitat de fer servir pre-formes que fan el procés molt més senzill, tot i que el seu elevat cost fa que només es justifiqui el seu ús per produccions molt elevades.

Un cop les fibres estan preparades correctament, es procedeix a la seva col·locació a una de les cares del motlle, que si és necessari es trobarà prèviament pintada amb

gelcoat. Tot seguit es durà a terme el tancament del motlle, per després iniciar la transferència de resina al seu interior.

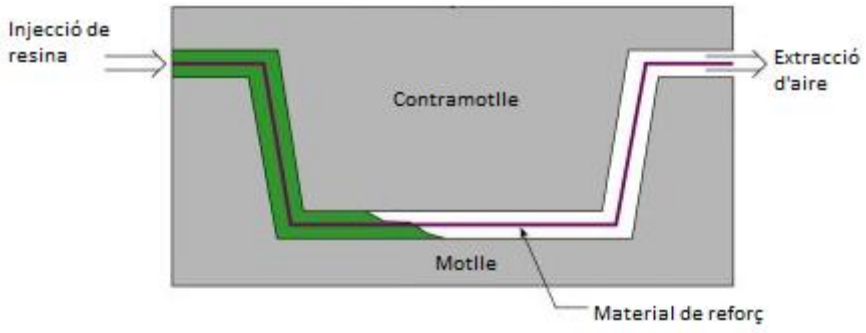

Figura 4.19 Esquema de procediment RTM
Font: Home Made Composites (www.composites.ugent.be)

Quan la resina hagi impregnat el material de reforç en la seva totalitat es tancarà el subministrament de la mateixa, procedint al curat de la peça. Es prendrà com a valor mínim per considerar curada la peça un 80% de la reacció. Quan s'assoleixi aquest valor es procedirà a l'obertura del motlle i posterior desemmotllament de la peça. L'obertura del motlle acostuma a realitzar-se amb l'ajuda d'equips mecànics degut a l'elevat pes del contramotlle, mentre que el desemmotllament es realitza manualment. Abans del desemmotllament es possible la aplicació de calor al conjunt, produint un augment programat de la temperatura, i sempre acord al tipus de resina utilitzat i a les recomanacions del fabricant.

4.4.2.2 Eines

Com es pot deduir un cop hem vist el procediment de la tècnica, el disseny del motlle serà de vital importància per obtenir els resultats que desitgem, on s'hauran de definir característiques tan variades com el material de construcció, la qualitat de les superfícies, la instal·lació o no de resistències tèrmiques, el control de temperatura, la resistència a la pressió de injecció i tancament, el material aïllant, el nombre i distribució de punts d'injecció i de sortida de l'aire, la vida útil esperada, etc.

Habitualment el material del motlle ve definit per la producció a realitzar, construint motlles metàl·lics per grans produccions, i materials compostos per petites produccions. El tancament del motlle ha de evitar el flux de resina més enllà dels límits de la peça fent servir un sistema de segellat, els més habituals són els que fan servir elastòmers, anells de premsat, silicona o resina.

Un dels punts més importants del disseny del motlle serà la distribució dels punts d'entrada de resina i els de sortida de l'aire, de la qual dependrà el patró del flux de

resina i si aquesta arribarà a impregnar el material de reforç en la seva totalitat. Aquests punts podran distribuir-se d'acord als tres mateixos patrons explicats al mètode d'infusió *(Apartat 4.4.1.4)*:

- Injecció puntual
- Injecció lateral
- Injecció perifèrica

La injecció de resina es realitzarà mitjançant un sistema de bombeig, que s'encarregarà de la dosificació, barreja, emmagatzematge i control de la resina, amb l'objectiu de garantir unes correctes proporcions durant tot el procés.

4.4.2.3 Materials

De manera similar i amb el mateix motiu, les resines a utilitzar amb RTM necessitaran comptar amb una baixa viscositat, entre 80 cPs i 250 cPs a 25^{o}C. Tot i així, la viscositat òptima dependrà del tipus i volum de fibra, del temps de gel i de si el motlle compta o no amb control de temperatura. Serà recomanable també una baixa exotermia, per tal d'evitar possibles efectes negatius sobre el laminat i facilitar la correcta conservació del motlle. Altre aspecte important serà la necessitat de comptar amb un temps de gel suficient per omplir el motlle completament, sense renunciar a una bona polimerització. El rang de resines aptes pel seu ús amb RTM va des les epoxi, uretans, polièster iso, ortoftàliques i vinilèster.

Respecte als materials de reforç el més habitual es fer servir feltres de fils contínus, fils de fibra tallats, vels de superfície i tot tipus de teixits (rovings). Les característiques més importants a considerar serà la bona velocitat de flux durant la impregnació i la adaptació a formes complexes. Actualment existeixen materials de reforç que simplifiquen molt el procediment com les pre-formes o el teixits amb un adhesiu que facilita la seva col·locació.

En funció de la combinació resina/fibra seleccionada es poden arribar a aconseguir valors de material de reforç de entre 25-50% del total.

4.4.2.4 VARTM

La tècnica de transferència de resina assistida per buit (VARTM per les seves sigles angleses) és una variant més simple del RTM tradicional. En aquest cas la resina és introduïda al motlle a la zona baixa del mateix, fent servir baixes pressions o simplement la gravetat.

El seu funcionament es basa en la existència d'uns orificis en la part superior del motlle, connectats a la zona baixa del mateix, pels quals s'introdueix la resina; aquesta

circularà per tot el laminat gràcies a l'acció d'un sistema de buit, que crearà un flux des de la zona baixa a la zona alta del motlle, recorrent tota la peça.

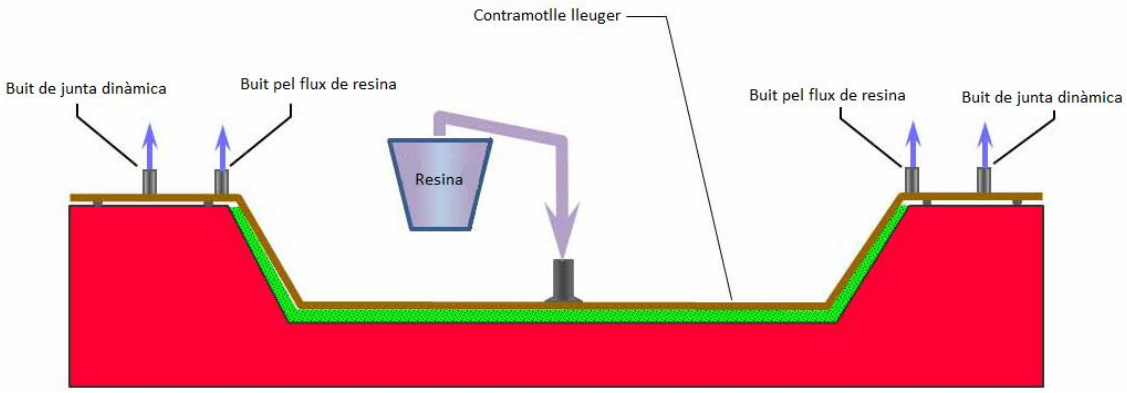

Figura 4.20 Esquema procediment VARTM
Font: Molded fiberglass

Amb aquesta modificació del procés, les pressions seran molt més baixes, fet que fa possible una important reducció del pes necessari pels motlles. Això dona com a resultat una reducció del material utilitzat en la seva construcció i, per tant, una reducció important del cost. Per contra ara necessitarà garantir l'estanquitat per tal de fer possible el buit al seu interior. Per tal d'aconseguir-lo es dota al motlle d'una junta dinàmica, que consisteix en un doble canal estanc, que serà sotmès a un buit parcial abans d'introduir la resina al motlle.

4.4.2.5 Entorn de treball

Aquesta tècnica presenta una molt important reducció de les emissions de COV a l'entorn de treball, millorant de manera molt significativa les condicions laborals dels operaris. Això la fa ser una tècnica ideal per indústries amb una elevada producció i que vulguin reduir les tasses de contaminació ambiental.

Tret que és una tècnica orientada a produccions elevades, és molt recomanables designar zones aïllades per cada etapa del procés, fent més fàcil el control en tot moment de les emissions de COV, a més de resultar en una millor organització i un augment de la productivitat.

4.4.2.6 Anàlisi d'avantatges i inconvenients

Un cop analitzem la tècnica de RTM trobem que dona uns laminats amb unes bones qualitats mecàniques, podent variar el contingut de reforç en un rang bastant ampli, a més de que és la primera tècnica que dona peces amb dues cares bones, ja que fa servir contramotlle, fet que també resulta en un major control del gruix. Es tracta

d'una tècnica amb una productivitat elevada, podent arribar a unes 3 peces per motlle al dia. Un aspecte positiu molt important és la gran reducció d'emissions de COV al tractar-se d'una tècnica de motlle tancat, fet que sumat a la limitació del flux de resina amb un segellat redueix sensiblement la necessitat de mecanitzats posteriors. Com en moltes altres tècniques, és apta per la construcció d'estructures monolítiques i sàndwich, tot i que per aquestes últimes serà necessari estudiar el cas especialment a l'hora de dissenyar el motlle. És considerada un pas intermedi cap a la automatització del procés.

A l'apartat negatiu trobem que la principal problemàtica està relacionada amb la complexitat que comporten els motlles a fer servir amb RTM, els quals sumats a tots els equips auxiliars necessaris i els possibles controls de temperatura comporten un cost molt elevat. A més a més han de ser dissenyats especialment per aquest ús, fent impossible la reutilització de motlles d'altres tècniques. Altres aspectes negatius són la necessària distribució específica de la zona de treball, la necessitat d'elevada qualificació per part de la mà d'obra, les limitacions respecte a peces de grans dimensions i el fet de no ser rentable per produc

4.5 Autoclau

L'autoclau és bàsicament un recipient on s'introdueixen els laminats de materials compostos per sotmetre'ls a una major pressió i temperatura, amb l'objectiu d'obtenir materials més densos i amb processos de curat més curts i que donin millors propietats.

Tot i que per motius dimensionals no és possible fer servir un autoclau per la construcció d'una embarcació, si que es fa servir per la fabricació de peces estructurals que requereixen elevades prestacions.

4.5.1 Procediment

El funcionament d'un autoclau es basa en una càmera cilíndrica d'acer al carboni que compta amb mecanismes d'escalfament, pressurització, buit i control. En funció dels valors de temperatura que desitgem obtenir els mecanismes podran ser més senzills, com resistències elèctriques, o més complexes, com de combustió de gasos. Respecte a la pressió es pot fer servir aire, nitrogen o diòxid de carboni. L'aire es fa servir si les temperatures són inferiors a 150^{o}C, ja que per sobre d'aquest límit hi ha perill de combustió de l'aire. Per autoclaus que assoleixen temperatures superiors, que poden arribar fins a 550^{o}C, s'utilitzen el diòxid de carboni en estat gasós o el nitrogen en estat líquid. La pressió màxima de treball vindrà donada en funció del gruix de la càmera, arribants fins als 20 bar.

4.5.2 Materials

L'elevat cost que té la utilització d'un autoclau fa que només sigui rentable per peces que requereixin unes propietats excel·lents, sent els laminats pre-impregnats els més adients. Respecte al tipus de fibra les més utilitzades són les de carboni, seguides de

les aramides i les de vidre. Les resines epoxi i les fenòliques són les més utilitzades habitualment.

4.5.3 Entorn de treball

Degut a que tot el procés de curat es realitza a l'interior de l'autoclau, sempre que es tinguin en compte les indicacions dels materials pre-impregnats, les emissions de COV es veuran minimitzades pel treballador.

4.5.5 Anàlisi d'avantatges i inconvenients

Com aspectes positius de la utilització d'autoclaus trobem que obtindrem materials amb unes propietats mecàniques i físiques excel·lents, el curat serà més homogeni i curt, a més de possibilitar la fabricació de peces de geometria complexa. A més a més el total control de les variables permet controlar la traçabilitat de la peça. Per últim, cal destacar la pràcticament desaparició de les emissions de COV a l'entorn.

Per altra banda trobem que es tracta d'un procés altament costós, que té limitacions respecte a les dimensions i que el ritme de producció serà bastant baix. A més d'això és important dir que serà essencial per una correcta utilització d'un autoclau una elevada especialització per part de la plantilla.

Capítol 5. Situació comercial de materials compostos i auxiliars

5.1 Proveïdors

A continuació s'exposa l'oferta d'alguns materials de reforç i matrius que podem trobar actualment al mercat, amb les corresponents especificacions tècniques, observacions i preus. L'objectiu d'aquest apartat és el de donar al lector una idea de la situació actual del mercat dels materials compostos. És per això que s'inclouran a l'estudi fibres de vidre, fibres de carboni, resines de polièster, resines de vinilèster i resines epoxi, a més d'alguns dels materials auxiliars esmentats en apartats anteriors. Cal tenir en compte que en alguns casos la informació vindrà donada pels proveïdors i, en altres, pels fabricants. De manera prèvia a l'exposició dels diferents materials, és realitzarà una petita presentació de l'empresa proveïdora de la informació, ja sigui proveïdora o fabricant dels materials.

Les empreses que seran analitzades en aquest apartat són les següents:

- Plastiform, S.A.
- Resinas Castro, S.L.
- Feroca, S.A.
- TF3P, S.L.

5.1.1 Plastiform, S.A.

Plastiform[4] és una empresa amb origen al 1958 i seu a Madrid. Actualment compta amb una fàbrica pròpia a Alcalà de Henares, una botiga física a Madrid i una botiga online que realitza enviaments a tota la península. Està formada per tres divisions principals: la primera en sorgir va ser la pròpia *Plastiform*, dedicada a la fabricació i venda de resines de polièster, fibres de vidre i tot tipus de material utilitzat en la producció de compòsits, arribant des de silicones per motlles fins desemmotllants o resines epoxi; la segona va ser *Plasty*, especialitzada en la conformació per injecció de plàstic i la manipulació i transformació dels mateixos; per últim, d'origen més recent, es troba *Cronolab*, dedicada a la fabricació de silicones d'impressió pel camp de la odontologia.

El nostre estudi es centrarà en el materials que ofereix la primera divisió, *Plastiform*, que tinguin utilitat en la indústria naval,de entre els que destacarem les diferents estructures tèxtils de fibra de vidre i de carboni, les resines de polièster, vinilèster i epoxi, el gelcoat/topcoat, coremat i alguns desemmotllants.

A continuació es destaquen els productes de l'empresa *Plastiform* que tenen aplicabilitat a la indústria naval de materials compostos.

[4] *Plastiform* disponible online a: http://www.plastiform.es/ (Data de consulta: 13 de Desembre de 2015)

5.1.1.1 Materials de reforç

- **MAT DE SUPERFICIE DE FIBRA DE VIDRE**

  - Gramatge de 30 gr/m^2
  - Aplicació: Recomanat per capa de finalització, reduint possibles marques de fibres
  - Preu: 1,51 €/m^2 + impostos

- **MAT DE FIBRA DE VIDRE**

  - Gramatges de 100 gr/m^2, 150 gr/m^2, 300 gr/m^2 i 450 gr/m^2
  - Aplicació: Especial per utilització amb resina de polièster
  - Preus: 100 gr/m^2 →1,96 €/m^2 + impostos
    150 gr/m^2 →2,36 €/m^2 + impostos
    300 gr/m^2 →3,17 €/m^2 + impostos
    450 gr/m^2 →4,51 €/m^2 + impostos

  - Hi ha la possibilitat de comprar els gramatges de 300 i 450 gr/m^2 en rotllos de 120 i 90 metres respectivament. En aquest cas els preus passarien a ser:
    300 gr/m^2 → 141,34 €/120m lineals
    450 gr/m^2 → 156,62 €/90m lineals

- **ROVING DE FIBRA DE VIDRE**

  - Gramatges de 50 gr/m^2, 110 gr/m^2, 200 gr/m^2, 300 gr/m^2 i 570 gr/m^2
  - Aplicació: Recomanat per augmentar la resistència del laminat
  - Preus: 50 gr/m^2 →7,17 €/m^2 + impostos
    110 gr/m^2 →5,69 €/m^2 + impostos
    200 gr/m^2 →5,20 €/m^2 + impostos
    300 gr/m^2 →2,64 €/m^2 + impostos
    570 gr/m^2 →4,16 €/m^2 + impostos

- **TEIXIT DE FIBRA DE CARBONI**

  - Gramatge de 200 gr/m^2
  - Aplicació: Adequat per laminats d'elevada tenacitat amb resina epoxi
  - Preu: 200 gr/m^2 → 34,29 €/m^2 + impostos

5.1.1.2 Resines

- **RESINA DE POLIÈSTER - Nom comercial: CRONOLITA 1012**

  - Resina ortoftàlica pre-accelerada
  - Aplicació:Per usos generals amb laminats de fibra de vidre
  - Comercialització en envasos d'1 Kg, 5 Kg, 25 Kg, 100 Kg i 225 Kg.
  - No inclou el catalitzador[5]. Es pot comprar el recomanat per *Plastiform* seguint un enllaç de la descripció de la pròpia resina.
  - Preus: 1 Kg → 7,91 € + impostos
    5 Kg → 25,50€ + impostos
    25 Kg → 103,50 € + impostos
    100 Kg → 298,00 € + impostos
    225 Kg → 560,00 € + impostos

  - Fitxa tècnica[6]:

    CARACTERÍSTIQUES DE LA RESINA (ESTAT LÍQUID):

Pes específic a 25°C	1,12 gr/cm^3
Viscositat a 25°C	5,2 dPa.s
Estrat sec	66%

    REACTIVITAT:

Mètode	XP001
Temperatura d'assaig	25°C
Sistema catalític	0,08% Co 6% 1,5% MEKP 50%
Quantitat de resina	100 gr.
Temps de gel	16 min.
Temps total	20 min.
Temperatura màxima	180°C

    PROPIETATS DE LA RESINA POLIMERITZADA NO REFORÇADA:

Pes específic	1,2 gr/cm^3
Resistència a la tracció (ISO 527)	60 MPa
Elongació al trencament (ISO 527)	2,2%
Resistència a la flexió (ISO 178)	95 MPa
Mòdul de flexió (ISO 178)	4000 MPa
HDT (ISO 75 A)	65°C
Contracció	7%

[5]Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.tiendaonlineplastiform.es/catalizadores/26-catalizador-c-201.htmlhttp://www.plastiform.es/(Data de consulta: 13 de Desembre de 2015)

[6]La fitxa tècnica completa d'aquest producte pot trobar-se online a: http://www.tiendaonlineplastiform.es/resinas-usos-generales/3-cronolita-1012-activada.html#/(Data de consulta: 13 de Desembre de 2015)

➢ **RESINA DE POLIÈSTER PARAFINADA - Nom comercial: CRONOLITA 1112**

- Resina ortoftàlica pre-accelerada
- Aplicació: Per usos generals amb laminats de fibra de vidre. Adequada per capa final, degut a la addició de parafina a la seva composició.
- Comercialització en envasos d'1 Kg, 5 Kg i 25 Kg.
- No inclou el catalitzador[7]. Es pot comprar el recomanat per *Plastiform* seguint un enllaç de la descripció de la pròpia resina.
- Preus: : 1 Kg →8,00 € + impostos
  5 Kg → 25,85€ + impostos
  25 Kg → 105,00 € + impostos

- Fitxa tècnica[8]:

CARACTERÍSTIQUES DE LA RESINA (ESTAT LÍQUID):

Pes específic a 25°C	1,12 gr/cm^3
Viscositat a 25°C	5,2 dPa.s
Estrat sec	66%

REACTIVITAT:

Mètode	XP001
Temperatura d'assaig	25°C
Sistema catalític	0,08% Co 6% 1,5% MEKP 50%
Quantitat de resina	100 gr.
Temps de gel	16 min.
Temps total	20 min.
Temperatura màxima	180°C

PROPIETATS DE LA RESINA POLIMERITZADA NO REFORÇADA:

Pes específic	1,2 gr/cm^3
Resistència a la tracció (ISO 527)	60 MPa
Elongació al trencament (ISO 527)	2,2%
Resistència a la flexió (ISO 178)	95 MPa
Mòdul de flexió (ISO 178)	4000 MPa
HDT (ISO 75 A)	65°C
Contracció	7%

[7]Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.tiendaonlineplastiform.es/catalizadores/26-catalizador-c-201.html(Data de consulta: 13 de Desembre de 2015)
[8]La fitxa tècnica completa d'aquest producte pot trobar-se online a: http://www.tiendaonlineplastiform.es/resinas-usos-generales/4-cronolita-1112-activada.html(Data de consulta: 13 de Desembre de 2015)

➢ **RESINA POLIÈSTER SEMIFLEXIBLE - Nom comercial:CRONOLITA 10700/3015**

- Resina ortoftàlica pre-accelerada semiflexible.
- Aplicació: Adequada per reparació de cobertes i altres zones de dilatació variable.
- Comercialització en envasos d'1 Kg, 5 Kg i 25 Kg.
- No inclou el catalitzador[9]. Es pot comprar el recomanat per *Plastiform* seguint un enllaç de la descripció de la pròpia resina.
- Preus: 1 Kg →8,37 € + impostos
  5 Kg → 27,25€ + impostos
  25 Kg → 111,50 € + impostos

- Fitxa tècnica[10]:

CARACTERÍSTIQUES DE LA RESINA (ESTAT LÍQUID):

Pes específic a 25°C	1,12 gr/cm^3
Viscositat a 25°C	5,0dPa.s
Estrat sec	67%

REACTIVITAT:

Mètode	XP001
Temperatura d'assaig	25°C
Sistema catalític	0,08% Co 6% 1,5% MEKP 50%
Quantitat de resina	100 gr.
Temps de gel	15 min.
Temps total	32 min.
Temperatura màxima	135°C

PROPIETATS DE LA RESINA POLIMERITZADA NO REFORÇADA:

Pes específic	1,2 gr/cm^3
Resistència a la tracció (ISO 527)	46 MPa
Elongació al trencament (ISO 527)	12,5%
Resistència a la flexió (ISO 178)	93 MPa
Mòdul de flexió (ISO 178)	3425 MPa
Temperatura de deformació sotmesa a càrrega (ISO 75 A)	49°C
Contracció	7%

[9]Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.tiendaonlineplastiform.es/catalizadores/26-catalizador-c-201.html(Data de consulta: 13 de Desembre de 2015)

[10]La fitxa tècnica completa d'aquest producte pot trobar-se online a: http://www.tiendaonlineplastiform.es/resinas-usos-generales/6-cronolita-107003015.html(Data de consulta: 13 de Desembre de 2015)

➢ **RESINA DE VINILÈSTER - Nom comercial: CRONOVINIL VE 2050**

- Resina de vinilèster pre-accelerada per aplicacions d'elevada resistència química.
- Comercialització en envasos d'1 Kg, 5 Kg i 25 Kg.
- No inclou el catalitzador[11]. Es pot comprar el recomanat per *Plastiform* seguint un enllaç de la descripció de la pròpia resina.
- Preus: 1 Kg →11,91 € + impostos
  5 Kg →41,05€ + impostos
  25 Kg →173,50 € + impostos

- Fitxa tècnica[12]:

CARACTERÍSTIQUES DE LA RESINA (ESTAT LÍQUID):

Pes específic a 25°C	1,1 gr/cm^3
Viscositat a 25°C	500-600mPa.s
Estrat sec	58%

REACTIVITAT:

Temperatura d'assaig	25°C
Sistema catalític	0,3% Co 6% 0,1% DMA 1,5% MEKP-LA
Quantitat de resina	100 gr.
Temps de gel	20 min.

PROPIETATS DE LA RESINA POLIMERITZADA NO REFORÇADA:
(Postcurat 2h a 80°C+ 1h a 120°C)

Resistència a la tracció (ISO 527)	85 MPa
Mòdul de tracció (ISO 527)	3300 MPa
Elongació al trencament (ISO 527)	5%
Resistència a la flexió (ISO 178)	150 MPa
Mòdul de flexió (ISO 178)	3800 MPa
Temperatura de deformació sotmesa a càrrega (ISO 75 A)	102°C
Duresa Barcol (ASTM D2583)	45

[11]Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.tiendaonlineplastiform.es/catalizadores/26-catalizador-c-201.html(Data de consulta: 13 de Desembre de 2015)
[12]La fitxa tècnica completa d'aquest producte pot trobar-se online a: http://www.tiendaonlineplastiform.es/resinas-de-poliester/11-cronovinil-ve-2050-activada.html#(Data de consulta: 13 de Desembre de 2015)

- **RESINA EPOXI - Nom comercial:CRONOPOX 1321**

  - Resina epoxi estàndard.
  - Aplicació: Per laminats i colades. Per fer servir amb fibres de vidre i carboni, a més de com càrrega mineral.
  - Comercialització en envasos d'1 Kg, 10 Kg i 20 Kg.
  - No inclou el catalitzador[13]. Es pot comprar el recomanat per *Plastiform* seguint un enllaç de la descripció de la pròpia resina.
  - Preus: 1 Kg → 15,10 € + impostos
    10 Kg →112,20€ + impostos
    20 Kg → 182,40 € + impostos

  - Fitxa tècnica[14]:

    CARACTERÍSTIQUES DE LA RESINA (ESTAT LÍQUID):

Índex epoxídic	5,32-5,56 mol epoxid/ Kg
Índex de color	<3 Gardner
Viscositat a 25°C	500-700 mPa·s
Densitat	1,14 gr/cm^3
Punt d'inflamació	121°C
Temps de gel	45 min.
Temps de curat	2-7 dies

    PROPIETATS DE LA RESINA POLIMERITZADA NO REFORÇADA:

Resistència a la compressió (ISO 604)	77 MPa
Mòdul de compressió (ISO 604)	1,8GPa
Resistència a la tracció (ISO 527)	58 MPa
Mòdul de tracció (ISO 527)	6,9GPa
Elongació al trencament (ISO 527)	0,5%
Resistència a la flexió (ISO 178)	90 MPa
Mòdul de flexió (ISO 178)	3,3 GPa
HDT (ASTM D 648)	45°C

[13]Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.tiendaonlineplastiform.es/epoxi/2-cronopox-1321.html(Data de consulta: 13 de Desembre de 2015)

[14]La fitxa tècnica completa d'aquest producte pot trobar-se online a: http://www.tiendaonlineplastiform.es/epoxi/1-cronopox-1321.html(Data de consulta: 13 de Desembre de 2015)

➢ **GELCOAT - Nom comercial: CRONOGEL**

- Gelcoat de polièster isoftàlic.
- Alta resistència a la humitat i els raigs U.V.
- Disponible en 31 colors diferents:

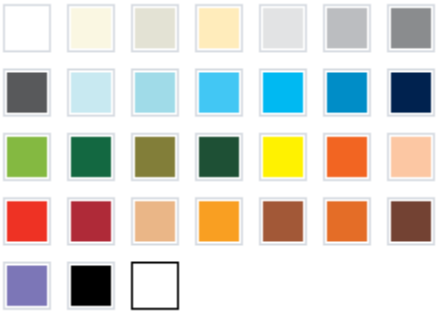

Figura 5.1 Gama de colors disponibles pel Gelcoat Cronogel
Font: Plastiform

- Comercialització en envasos d'1 Kg, 5 Kg i 25 Kg.
- No inclou el catalitzador[15]. Es pot comprar el recomanat per *Plastiform* seguint un enllaç de la descripció de la pròpia resina.
- Preus: : 1 Kg →10,14 € + impostos
  5 Kg →32,80 € + impostos
  25 Kg → 130,50 € + impostos

➢ **TOPCOAT - Nom comercial: CRONOTOP**

- Topcoat de polièster isoftàlic, per la última capa del laminat.
- Alta resistència a la humitat i els raigs U.V.
- Disponible en 31 colors diferents:

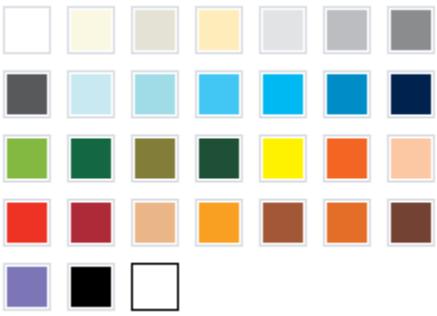

Figura 5.2 Gama de colors disponibles pel Topcoat Cronotop
Font: Plastiform

- Comercialització en envasos d'1 Kg, 5 Kg i 25 Kg.
- No inclou el catalitzador[16]. Es pot comprar el recomanat per *Plastiform* seguint un enllaç de la descripció de la pròpia resina.

[15]Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.tiendaonlineplastiform.es/catalizadores/26-catalizador-c-201.html(Data de consulta: 13 de Desembre de 2015)

- Preus: : 1 Kg →10,74 € + impostos
  5 Kg →34,30 € + impostos
  25 Kg → 133,50 € + impostos

5.1.1.3 Altres auxiliars

➢ **COREMAT**

- Tela composada de fibres de polièster i microesferes .
- Utilitzat com a material de nucli a estructures sàndwich.
- Proporciona augment de la rigidesa i disminució del pes.
- Preu: 6,68 €/m^2 + impostos

➢ **DESEMMOTLLANT SOLUCIÓ DE PARAFINA M-5**

- Solució de parafina al 5%.
- Útil per disminuir la adhesió de resines de polièster insaturades i gelcoats a la superfície del motlle.
- Útil també per convertir un gelcoat en topcoat.
- Facilita el poliment de la superfície.
- Comercialització en envasos de 1L, 5L i 25L.
- Preus: 1L→6,57 € + impostos
  5L→25,80 € + impostos
  25L→117,25€ + impostos

➢ **DESEMMOTLLANT CERA FCA**

- Pasta desemmotllant amb elevat lliscament per obtenir una cobertura ràpida i uniforme.
- S'ha de deixar assecar abans de treure de la superfície.
- Comercialització en envasos de 1L, 5L i 25L.
- Preus: 1L→8,42 € + impostos
  5L→31,05 € + impostos
  10L→47,40€ + impostos

[16]Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.tiendaonlineplastiform.es/catalizadores/26-catalizador-c-201.html(Data de consulta: 13 de Desembre de 2015)

5.1.2 Resinas Castro, S.L.

Resinas Castro[17], amb seu a Porriño (Pontevedra),és una empresa de caràcter familiar amb més de 40 anys d'experiència en la fabricació i distribució de productes relacionats amb la fabricació de materials compostos, entre els que destaquen les resines termostables (polièster, vinilèster, epoxi, poliuretà, sil·licones...), les fibres de reforç (aramides, carboni, vidre...) i tots els productes complementaris al procés com gelcoats, topcoats, adhesius, nuclis per estructures sàndwich, fungibles per buit, etc.

El seu principal objectiu és l'acompliment integral de les necessitats presents i futures dels seus clients, pel que donen especial atenció a l'assessorament tècnic permanent, a més d'oferir la realització de cursos de formació per garantir la òptima utilització dels seus productes per part dels treballadors dels seus clients. És destacable que, des de l'any 2000, tots els membres de la seva organització es guien per les Normes ISO 9000, referents a la Gestió Integral de la Qualitat; a més a més la empresa col·labora amb gestors autoritzats de residus perillosos i es troba associada amb ECOEMBES amb l'objectiu de contribuir al pagament de part dels costos derivats del reciclatge d'envasos utilitzats al mercat espanyol.

La seva gama de productes es troba dividida en 10 diferents mercats pels que el seus productes poden ser d'utilitat, de entre els que destacarem i estudiarem únicament el de la nàutica. A continuació es destaquen els productes de l'empresa *Resinas Castro* que tenen aplicabilitat a la indústria naval de materials compostos.

5.1.2.1 Materials de reforç

- **MAT DE FILS TALLATS DE FIBRA DE VIDRE E**
  - Gramatges de 100gr/m^2, 150gr/m^2, 225gr/m^2, 300gr/m^2, 450gr/m^2 i 600gr/m^2.
  - Aplicació: Recomanat per laminats estructurals de material compost, per impermeabilitzacions i per la construcció de motlles.
  - Recomanat per utilització amb resines de polièster i vinilèster.
  - Fils cohesionats mitjançant un emulsionant.
  - Preu: 100gr/m^2→ 3,95 €/m^2→ 12,95 €/5m^2→62,00 €/25m^2
    150 gr/m^2 → 5,35 €/m^2→ 16,25 €/5m^2→64,00 €/25m^2
    225 gr/m^2 → 5,70 €/m^2→ 18,00 €/5m^2→80,00 €/25m^2
    300 gr/m^2→ 3,90 €/m^2→ 16,25 €/5m^2→63,00 €/25m^2
    450 gr/m^2 → 3,90 €/m^2→ 18,00 €/5m^2→74,75 €/25m^2
    600 gr/m^2 → 4,70 €/m^2→21,25 €/5m^2→95,50 €/25m^2
    **També disponibles en les següents versions de major longitud:*
    150 gr/m^2→ Rotllo de 33Kg (220 m aprox.) → 275,00€
    300 gr/m^2→ Rotllo de 43Kg (150 m aprox.) → 123,90€
    450 gr/m^2→ Rotllo de 45Kg (100 m aprox.) → 132,75€

[17] *Resinas Castro* disponible online a http://www.resinascastro.com/ (Data de consulta: 16 de Gener de 2016)

- **VEL SUPERFICIAL DE FIBRA DE VIDRE C**

  - Gramatge de 30gr/m^2.
  - Aplicació: Degut al seu reduït gramatge és ideal per les primeres capes del laminat, evitant possibles marques de fils al gelcoat.
  - Compta amb una especial resistència química, fent-lo a més a més adient per peces que estaran exposades a agents corrosius.
  - Preu: 30gr/m^2→ 2,20 €/m^2→ 10,00 €/5m^2→ 38,00 €/25m^2
    **També disponible en la següent versió de major longitud:*
    30 gr/m^2→ Rotllo de 250 m→ 225,00€

- **TEIXIT DE FIBRA DE VIDRE SILIONNE (TAFETÀ)**

  - Gramatges de 49 gr/m^2, 86gr/m^2, 125gr/m^2 i 200gr/m^2.
  - Aplicació: Ideal per la estructura de gran part de les peces fabricades en material compost.
  - Aquest material és subministrat amb un ample variable, pel que els preus es donaran en funció dels metres lineals.
  - Preu: 49gr/m^2x 110 cm →8,00 €/m→30,00€/5m →140,00 €/25m
    86gr/m^2x 105 cm →8,00 €/m→30,00 €/5m→135,00 €/25m
    125gr/m^2x 80 cm →10,00€/m→40,00 €/5m →155,00 €/25m
    200gr/m^2x 80 cm →10,00 €/m→43,00 €/5m →175,00 €/25m
    **També disponibles en les següents versions de major longitud:*
    125gr/m^2→ Rotllo de 100 m→475,00€
    200 gr/m^2→ Rotllo de 100 m→518,00 €

- **TEIXIT DE FIBRA DE VIDRE BIAXIAL (+45º/-45º)**

  - Gramatges de 450 gr/m^2, 600gr/m^2 i 800gr/m^2.
  - Aplicació: Adient per estructures que demandin elevada resistència mecànica, juntament amb un bon acabat estètic.
  - També es fan servir per evitar el marcat del gelcoat per les fibres, també anomenat *print through*.
  - Per utilització amb qualsevol tipus de resina termostable, i per laminat manual, infusió, injecció i/o RTM.
  - Aquest material és subministrat amb un ample de 127 cm, pel que els preus es donaran en funció dels metres lineals.
  - Preu: 450gr/m^2→ 8,20 €/m→ 32,25 €/5m →126,00 €/25m
    600gr/m^2→ 8,00 €/m→ 32,00 €/5m→120,00 €/25m
    800gr/m^2→ 7,65 €/m→ 29,00 €/5m →115,00 €/25m

- **TEIXIT DE FIBRA DE VIDRE TRIAXIAL (0º/+45º/-45º)**

  - Gramatges de 750 gr/m^2 i 900gr/m^2.

- Aplicació: Adient per estructures que demandin elevada resistència mecànica, juntament amb un bon acabat estètic.
- També es fan servir per evitar el marcat del gelcoat per les fibres, també anomenat *print through*.
- Per utilització amb qualsevol tipus de resina termostable, i per laminat manual, infusió, injecció i/o RTM.
- Aquest material és subministrat amb un ample de 127 cm, pel que els preus es donaran en funció dels metres lineals.
- Preu: 750gr/m^2→ 8,70 €/m→ 36,50 €/5m →147,50 €/25m
  900gr/m^2→ 8,00 €/m→ 30,00 €/5m→135,00 €/25m

➢ **TEIXIT DE FIBRA DE VIDRE QUATRIAXIAL (0º/+45º/90º/-45º)**

- Gramatge de 600 gr/m^2.
- Aplicació: Adient per estructures que demandin elevada resistència mecànica, juntament amb un bon acabat estètic.
- Per utilització amb qualsevol tipus de resina termostable, i per laminat manual, infusió, injecció i/o RTM.
- Aquest material és subministrat amb un ample de 127 cm, pel que els preus es donaran en funció dels metres lineals.
- Preu: 600gr/m^2→ 8,00 €/m→ 32,00 €/5m →125,00 €/25m

➢ **TEIXIT DE FIBRA DE VIDRE UNIDIRECCIONAL**

- Gramatges de 530 gr/m^2 i 1200gr/m^2.
- Aplicació: Adient per estructures que demandin elevada resistència mecànica.
- Per utilització amb qualsevol tipus de resina termostable, i per laminat manual, infusió, injecció i/o RTM.
- Aquest material és subministrat amb un ample de 127 cm, pel que els preus es donaran en funció dels metres lineals.
- Preu: 530gr/m^2→ 7,50 €/m→ 27,00 €/5m →98,00 €/25m
  1200gr/m^2→ 8,90 €/m→ 38,00 €/5m→159,00 €/25m
  **També disponibles en la següent versió de major longitud:*
  530 gr/m^2→ Rotllo de 100 m → 167,00 €

➢ **COMPLEX DE FIBRA DE VIDRE ROVING-MAT 500-450**

- Es tracta de la combinació de diferents estructures tèxtils, preparada per col·locar directament al laminat.
- En aquest cas compta amb una sarja (3x1) de 500 gr/m^2, cosida a un mat de 450 gr/m^2.
- Aplicació: Especial per peces de grans mesures i com a reforç estructural d'altes prestacions.
- Per utilització amb resines de polièster o vinilèster.

- Aquest material és subministrat amb un ample de 127 cm, pel que els preus es donaran en funció dels metres lineals.
- Preu: 500-450 gr/m^2 →6,75 €/m→ 22,75 €/5m →108,75 €/25m

➢ **SARJA 2x2 D'ARAMIDA (KEVLAR)**

- Gramatge de 175 gr/m^2.
- Aplicació: Ideal per peces que requereixin reduïda densitat i gran resistència al impacte i al foc.
- Adient per l'ús amb resines termostables, sobretot les de vinilèster i les epoxi.
- Aquest material és subministrat amb un ample de 120 cm, pel que els preus es donaran en funció dels metres lineals.
- Preu: 175 gr/m^2→ 22,00 €/m → 88,75 €/5m → 375,00 €/25m
  **També disponible en la següent versió de major longitud:*
  175 gr/m^2→ Rotllo de 120 m→ 1.488,00€

➢ **TEIXIT HÍBRID DE FIBRA DE VIDRE I ARAMIDA - Nom comercial: TWARMAT**

- Gramatge de 600 gr/m^2.
- Estructura tèxtil pre-cosida que combina: 1 teixit unidireccional de fibra de vidre de 120 gr/m^2 amb orientació 0º, 1 teixit unidireccional de kevlar de 69 gr/m^2 amb orientació 0º, 1 teixit unidireccional de fibra de vidre de 117 gr/m^2 amb orientació 90º, 1 teixit unidireccional de kevlar de 67 gr/m^2 amb orientació 90º i, per últim, 1 mat de fibra de vidre de 200 gr/m^2. Tot cosit amb fil de polièster de 16 gr/m^2. *(Gramatge exacte: 589 gr/m^2)*
- Aplicació: Ideal per usuaris que volen facilitat i senzillesa a l'hora de la preparació del laminat.
- Aquest material és subministrat amb un ample de 127±1 cm, pel que els preus es donaran en funció dels metres lineals.
- Preu: 600 gr/m^2→ 18,00 €/m → 75,00 €/5m → 320,00 €/25m

➢ **TEIXIT DE FIBRA DE CARBONI (TAFETÀ)**

- Gramatge de 160 gr/m^2.
- Tipus de filament: 3K (3.000 filaments per bri de fils)
- Aplicació: Ideal per aplicacions d'altes prestacions on es busca una gran resistència mecànica i un reduït pes.
- Adient per l'ús amb resines epoxi.
- Aquest material és subministrat amb un ample de 100 cm, pel que els preus es donaran en funció dels metres lineals.
- Preu: 160 gr/m^2→ 22,00 €/m → 97,50 €/5m → 437,50 €/25m

➢ **TEIXIT DE FIBRA DE CARBONI BIAXIAL (+45º/-45º)**

- Gramatge de 300 gr/m^2.

- Tipus de filament: 50K (50.000 filaments per bri de fils)
- Aplicació: Ideal per aplicacions d'altes prestacions on es busca una gran resistència mecànica i un reduït pes.
- Recomanat per l'ús amb resines epoxi.
- Format per dos teixits unidireccionals de 150 gr/m^2 cadascun, orientats a +45^O i -45^O.
- Aquest material és subministrat amb un ample de 127 cm, pel que els preus es donaran en funció dels metres lineals.
- Preu: 300 gr/m^2→ 34,10 €/m → 160,50 €/5m → 752,50 €/25m
  **També disponible en la següent versió de major longitud:*
  300 gr/m^2→ Rotllo de 50 m → 1.175,00 €

➢ **SARJA 2x2 DE KEVLAR/CARBONI**

- Gramatge de 215 gr/m^2.
- Tipus de fil: Aramida 200TEX – Carboni 3K
- Aplicació: Ideal per peces d'altes prestacions que busquin obtenir una combinació de les propietats del Kevlar i el carboni, tals com alta resistència mecànica, al impacte i al foc, juntament amb un reduït pes.
- Recomanat per l'ús amb resines vinilèster i epoxi.
- Aquest material és subministrat amb un ample de 120 cm, pel que els preus es donaran en funció dels metres lineals.
- Preu: 215 gr/m^2→ 35,00 €/m → 145,00 €/5m → 620,00 €/25m

5.1.2.2 Resines

- **RESINA DE POLIÈSTER - Nom comercial: CRYSTIC R115PA**

  - Resina ortoftàlica, tixotròpica i pre-accelerada.
  - Aplicació: Per usos generals amb laminats de fibra de vidre, especialment teixits i mats.
  - Compta amb certificació Lloyd's Register.
  - Comercialització en envasos d'1 Kg, 5 Kg, 25 Kg i 225 Kg.
  - La distribució d'aquest producte inclou el catalitzador[18], en quantitats proporcionals a l'envàs comprat.
  - Preus: 1 Kg → 8,27€
    5 Kg → 27,70€
    25 Kg → 100,30€
    225 Kg → 634,30€

  - Fitxa tècnica[19]:

    CARACTERÍSTIQUES DE LA RESINA (ESTAT LÍQUID):

Pes específic a 25°C	1,10 gr/cm^3
Viscositat a 25°C	4-5 dPa.s
Estrat sec	57-60%
Índex d'acidesa	16-22 mg KOH/g

    REACTIVITAT:

Temperatura d'assaig	25°C
Sistema catalític	2 g de catalitzador M +4 g accel. NL49P
Quantitat de resina	100 gr.
Temps de gel	9-11 min.

    PROPIETATS DE LA RESINA POLIMERITZADA NO REFORÇADA:

Pes específic	1,2 gr/cm^3
Duresa Barcol (Model GYZJ 934-1)	50
Resistència a la tracció (ISO 527)	62 MPa
Elongació al trencament (ISO 527)	2,0%
Mòdul de tracció	3800 MPa
Temperatura de deformació sotmesa a càrrega (1,8 MPa)	65°C
Absorció d'humitat (24h a 23°C)	14 mg

[18] Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.resinascastro.es/spa/nautica_catalogo.asp?var1=Catalizadores&var2=Catalizador%20X-8:%20PMEC%20(per%F3xido%20de%20metiletilcetona%20al%2050%)%20&nar1=16&nar2=28&Page= (Data de consulta: 19 de Febrer de 2016)

[19] La fitxa tècnica completa d'aquest producte pot trobar-se online a: http://www.resinascastro.es/fotos/130425004712_Vb9x.pdf (Data de consulta: 19 de Febrer de 2016)

- **RESINA DE POLIÈSTER D'INFUSIÓ - Nom comercial: RECAPOLI 955 INF**

  - Resina ortoftàlica, rígida i de mitjana reactivitat.
  - Aplicació: Ideal per la fabricació de laminats mitjançant el mètode d'infusió o de contacte assistit per buit.
  - Formulada amb DCPD i destaca pel seu reduït contingut en estirè.
  - Comercialització en envasos d'1 Kg, 5 Kg i 25 Kg.
  - La distribució d'aquest producte inclou el catalitzador[20], en quantitats proporcionals a l'envàs comprat.
  - Preus: 1 Kg → 9,68€
    5 Kg → 36,85€
    25 Kg → 135,05€

  - Fitxa tècnica[21]:

    CARACTERÍSTIQUES DE LA RESINA (ESTAT LÍQUID):

Viscositat a 25°C	1 – 1,5 dPa.s
Estrat sec	59-63%
Índex d'acidesa	30 mg KOH/g

    REACTIVITAT:

Temperatura d'assaig	25°C
Sistema catalític	0,3% Co 6% 1% MEKP 50%
Quantitat de resina	100 gr.
Temps de gel	40-50 min.
Temperatura màxima	110-130°C

    PROPIETATS DE LA RESINA POLIMERITZADA NO REFORÇADA:

Duresa Barcol	40
Resistència a la tracció	600-700 Kg/cm^2
Elongació al trencament	2,5%
Resistència a la flexió	900-1000 Kg/cm^2
Temperatura de deformació sotmesa a càrrega (ISO 75 A)	60-70°C

[20]Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.resinascastro.es/spa/nautica_catalogo.asp?var1=Catalizadores&var2=Catalizador%20X-8:%20PMEC%20(per%F3xido%20de%20metiletilcetona%20al%2050%)%20&nar1=16&nar2=28&Page= (Data de consulta: 19 de Febrer de 2016)

[21]La fitxa tècnica completa d'aquest producte pot trobar-se online a: http://www.resinascastro.es/fotos/150329222318_z4bu.pdf (Data de consulta: 19 de Febrer de 2016)

- **RESINA DE POLIÈSTER - Nom comercial: CRYSTIC R115PA**

  - Resina de polièster carregada i amb additius *low profile* dissolts en estirè.
  - Aplicació: Pensada per la fabricació de motlles de material compost, degut a la seva molt baixa contracció.
  - Excel·lents propietats mecàniques i baixa viscositat, fet que facilita la impregnació de fins i tot 3 mats de 450 gr/m^2 alhora.
  - Comercialització en envasos d'1 Kg.
  - La distribució d'aquest producte inclou el catalitzador[22], en quantitats proporcionals a l'envàs comprat.
  - Preu: 1 Kg → 13,10€
  - Fitxa tècnica[23]:

    CARACTERÍSTIQUES DE LA RESINA (ESTAT LÍQUID):

Pes específic a 25°C	1,3-1,35 gr/cm^3
Viscositat a 25°C	4,5-6 dPa.s
Estrat sec	68-73%

    REACTIVITAT:

Temperatura d'assaig	25°C
Sistema catalític	1% catalitzador X-8 (M)
Temps de gel	25-31 min.
Temperatura màxima	125-155 °C

    PROPIETATS DE LA RESINA POLIMERITZADA REFORÇADA AMB UN CONTINGUT DEL 29% DE FIBRA DE VIDRE (3x450 gr/m^2 16h 4°C):

Resistència a la tracció (ISO 527)	120 MPa
Elongació al trencament (ISO 527)	1,8%
Mòdul de tracció	9360 MPa
HDT	61°C

[22]Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.resinascastro.es/spa/nautica_catalogo.asp?var1=Catalizadores&var2=Catalizador%20X-8:%20PMEC%20(per%F3xido%20de%20metiletilcetona%20al%2050%)%20&nar1=16&nar2=28&Page= (Data de consulta: 19 de Febrer de 2016)

[23]La fitxa tècnica completa d'aquest producte pot trobar-se online a: http://www.resinascastro.es/fotos/151117143817_tDx3.pdf (Data de consulta: 19 de Febrer de 2016)

➢ **RESINA DE VINILÈSTER ACT**

- Resina de vinilèster a base de bisfenol, pre-accelerada i tixotròpica.
- Excel·lent resistència química, al calor i flexibilitat.
- Comercialització en envasos d'1 Kg, 5 Kg i 24 Kg.
- No inclou el catalitzador[24]. Es pot comprar el recomanat per *Plastiform* seguint un enllaç de la descripció de la pròpia resina.
- Preus: 1 Kg →15,50€
  5 Kg →65,00€
  24 Kg →225,00€

- Fitxa tècnica[25]:

CARACTERÍSTIQUES DE LA RESINA (ESTAT LÍQUID):

Viscositat a 23°C	350-450 mPa.s
Estrat sec	52-54%
Índex d'acidesa	5-10 mg KOH/g

REACTIVITAT:

Temperatura d'assaig	25°C
Sistema catalític	0,3% Co 6% 0,1% DMA 1,5% MEKP-LA
Quantitat de resina	100 gr.
Temps de gel	20 min.

PROPIETATS DE LA RESINA POLIMERITZADA NO REFORÇADA:

Densitat	1,11 gr/cm^3
Duresa Barcol	40
Resistència a la tracció (ISO 527)	83 MPa
Mòdul de tracció	3,5 GPa
Elongació al trencament (ISO 527)	4,2%
Resistència a la flexió	153 MPa
Mòdul de flexió	3,55 GPa
HDT	115°C

[24]Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.resinascastro.es/spa/nautica_catalogo.asp?var1=Catalizadores&var2=Catalizador%20X-8:%20PMEC%20(per%F3xido%20de%20metiletilcetona%20al%2050%)%20&nar1=16&nar2=28&Page= (Data de consulta: 21 de Febrer de 2016)

[25]La fitxa tècnica completa d'aquest producte pot trobar-se online a: http://www.resinascastro.es/fotos/130620235609_Tg1D.pdf (Dat de consulta: 21 de Febrer de 2016)

➢ **RESINA EPOXI - Nom comercial: CASTROPOX 4307/2203**

- Resina epoxi estàndard.
- Aplicació: Ideal per suports que hagin de romandre insensibles a la humitat.
- Comercialització en envasos d'1,6 Kg, 8 Kg i 40 Kg.
- La venta compra d'aquest producte inclou l'enduridor en quantitats proporcionals a l'envàs sol·licitat, comptant amb diferents opcions en funció de la temperatura de curat i el temps de gel desitjats.
- Preus: 1,6 Kg → 32,34€
  8 Kg →124,52€
  40 Kg → 439,56€

- Fitxa tècnica[26]:

  CARACTERÍSTIQUES DE LA RESINA (ESTAT LÍQUID):

Índex de color	<2 Gardner
Viscositat a 25°C	500-900 mPa·s
Densitat	1,13 gr/cm^3
Punt d'inflamació	140°C
Relació mescla enduridor	100:60 (en pes)
Temps de gel	23 min. per 250g de mescla a 23°C 35 min. per 100g de mescla a 40 °C

➢ **GELCOAT DE POLIÈSTER - Nom comercial: CRYSTIC 65 PA**

- Gelcoat de polièster isoftàlic.
- Recomanat per l'ús amb brotxa o rodet.
- Alta resistència a la intempèrie i l'entorn marí.
- Disponible en els següents colors:
  -INCOLOR -BLANC
  -GRIS OSCUR -NEGRE
  -BLAU MARÍ -VERD AMPOLLA
  -TARONJA -VERMELL
- Comercialització en envasos d'1 Kg, 5 Kg i 25 Kg.
- La distribució d'aquest producte inclou el catalitzador[27], en quantitats proporcionals a l'envàs comprat.
- Preus: 1 Kg →13,54-18,41€ (el preu varia en aquest rang de preus depenent del color)
  5 Kg →37,40-68,15€
  25 Kg → 156,85-228,67€

[26]La fitxa tècnica completa d'aquest producte pot trobar-se online a: http://www.resinascastro.es/fotos/131014225906_6N1L.pdf (Data de consulta: 21 de Febrer de 2016)

[27]Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.resinascastro.es/spa/nautica_catalogo.asp?var1=Catalizadores&var2=Catalizador%20X-8:%20PMEC%20(per%F3xido%20de%20metiletilcetona%20al%2050%)%20&nar1=16&nar2=28&Page= (Data de consulta: 21 de Febrer de 2016)

- **TOPCOAT DE POLIÈSTER - Nom comercial: CRYSTIC 65 PA**

  - Topcoat de polièster isoftàlic amb parafina a la seva composició.
  - Recomanat per l'ús amb brotxa o rodet.
  - Ideal per tractaments d'acabat de laminats i impermeabilitzacions.
  - Disponible en els següents colors:
    -INCOLOR -BLANC
    -VERD AMPOLLA -NEGRE

  - Comercialització en envasos d'1 Kg, 5 Kg i 25 Kg.
  - La distribució d'aquest producte inclou el catalitzador[28], en quantitats proporcionals a l'envàs comprat.
  - Preus: 1 Kg →13,67-18,51€ (el preu varia en aquest rang de preus depenent del color)
    5 Kg →43,90-68,65€
    25 Kg → 189,35-235,57€

5.1.2.3 Altres auxiliars

- **ESPUMA DE PVC – Nom comercial: DIAB D/80 Scrim**

  - Espuma rígida de PVC de cel·la tancada.
  - Gruix: 10mm
  - Compta amb una gran rigidesa i resistència a la compressió, combinats amb una gran disminució del pes del laminat.
  - Utilitzat com a material de nucli a estructures sàndwich.
  - Planxes amb ranures quadriculades per millorar la adaptabilitat a formes corbes.
  - Pot fer-se servir amb qualsevol tipus de fibra de reforç i matrius termostables.
  - Preu: 49 € → 1 planxa de 1220x813x10
    1.110 € → 30 planxes de 1220x813x10

- **FUSTA DE BALSA – Nom comercial: DIAB GS CO**

  - Fusta de balsa de baixa densitat.
  - Gruix: 6,35mm
  - Compta amb una gran resistència a la compressió, a la flexió i al cisallament.
  - Utilitzat com a material de nucli a estructures sàndwich.
  - Planxes amb ranures quadriculades per millorar la adaptabilitat a formes corbes.

[28] Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.resinascastro.es/spa/nautica_catalogo.asp?var1=Catalizadores&var2=Catalizador%20X-8:%20PMEC%20(per%F3xido%20de%20metiletilcetona%20al%2050%)%20&nar1=16&nar2=28&Page= (Data de consulta: 21 de Febrer de 2016)

- Pot fer-se servir amb qualsevol tipus de fibra de reforç i matrius termostables.
- Preu: 25 € → 1 planxa de 1220x610x6,35
  540 € → 48 planxes de 1220x610x6,35

➢ **DESEMMOTLLANT CERA PASTE WIZ**

- Pasta desemmotllant amb elevat lliscament per obtenir una cobertura ràpida i uniforme.
- S'ha de deixar assecar abans de treure de la superfície.
- Per motlles d'escaiola, fusta, fibra i metall.
- Comercialització en envasos de 400g.
- Preu: 400g → 17,70 €

➢ **DESEMMOTLLANT SEMIPERMANENT ZYVAX FLEXZ 3.0/4.0/5.0/6.0**

- Desemmotllant líquid en base dissolvent preparat per la seva aplicació a pistola o amb draps suaus.
- Fa possible la obtenció de molt bons acabats i una gran lluentor a la peça final.
- Permet bastants desemmotllaments sense necessitat de tornar a aplicar.
- El 3.0/4.0/5.0/6.0 fa referència al grau de comportament antiadherent que desitgem obtenir.
- Comercialització en envasos de 400g.
- Preu: ZYVAX FLEXZ 3.0/4.0/5.0/6.0 100g → 12,00€
  ZYVAX FLEXZ 3.0/4.0/5.0/6.0 3,75L →157,50€

5.1.3 Feroca, S.A.

Feroca[29] és una empresa nascuda al 1986 i amb seu a Madrid. Originalment es dedicava a la distribució de fibra de vidre i resines de polièster, tot i que amb la evolució del mercat, la seva gama de productes ha crescut de manera exponencial al llarg dels anys. Actualment la seva botiga principal es troba a Madrid, tot i que també disposen d'un magatzem i botiga a Fuenlabrada.

A més de dedicar-se a la venta de productes per la construcció amb materials compostos, amb l'objectiu de posar a l'abast de tothom l'ús d'aquests materials, ofereixen una sèrie de videotutorials que expliquen com realitzar una sèrie de tasques, com ara la fabricació de motlles a petita escala o proves de nous materials de que disposen.

A continuació s'exposen els productes del seu catàleg que compten amb aplicabilitat a la indústria naval, tant com a material compost pròpiament, com auxiliars dels mateixos.

5.1.3.1 Materials de reforç

- **MAT DE FIBRA DE VIDRE**
  - Gramatges de 150 gr/m^2, 300 gr/m^2, 450 gr/m^2 i 600 gr/m^2.
  - Aplicació: Feltre per laminats convencionals.
  - Es recomana la utilització d'un vel de superfície si es vol evitar el marcat del laminat per les fibres d'aquest mat.
  - Preu: 150gr/m^2 →3,90 €/m^2→16,00 €/5m^2
    300gr/m^2 →3,90 €/m^2→16,00 €/5m^2→67,50 €/25m^2
    450gr/m^2 →4,50 €/m^2→20,00 €/5m^2
    600gr/m^2 →4,50 €/m^2→20,00 €/5m^2

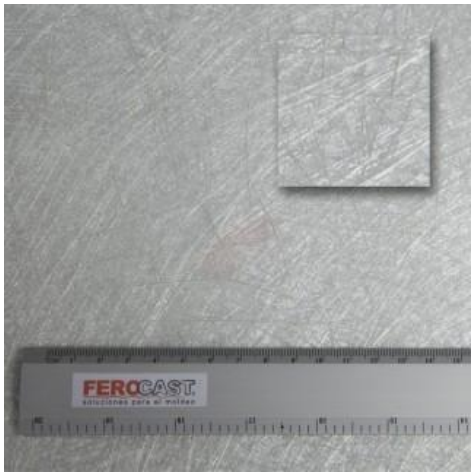

Figura 5.3. Mat de fibra de vidre
Font: Feroca

[29] *Feroca* disponible online a: http://www.feroca.com/es/ (Data de consulta: 21 de Febrer de 2016)

➢ **VEL DE SUPERFÍCIE DE FIBRA DE VIDRE**

- Gramatge de 30 gr/m^2.
- Aplicació: Ideal com a primera capa del laminat, evita el marcat superficial del mateix amb fibres de capes més internes.
- Preu: 30gr/m^2 →2,40 €/m^2→11,00 €/5m^2 → 50 €/25m^2

Figura 5.4 Vel de superfície de fibra de vidre
Font: Feroca

➢ **TEIXIT DE FIBRA DE VIDRE**

- Gramatges de 25 gr/m^2, 48 gr/m^2, 105 gr/m^2, 163 gr/m^2, 166 gr/m^2 i 300 gr/m^2.
- Aplicació: Ideal per laminats que necessitin comptar amb unes bones qualitats mecàniques.
- Preu: 25gr/m^2 →7,50 €/m^2→32,50 €/5m^2
  48gr/m^2 →7,50 €/m^2→32,50 €/5m^2
  105gr/m^2 →6,50 €/m^2→27,00 €/5m^2
  163gr/m^2 →9,60 €/m^2→43,00 €/5m^2
  166gr/m^2 →6,50 €/m^2→27,00 €/5m^2
  300gr/m^2 →6,50 €/m^2→27,00 €/5m^2

Figura 5.5 Teixit de fibra de vidre
Font: Feroca

➢ **TEIXIT DE FIBRA DE CARBONI**

- Gramatge de 200 gr/m^2.
- Aplicació: Ideal per laminats que requereixin excel·lents propietats mecàniques amb un pes mínim.
- Recomanat per fer servir amb resines epoxi.
- Preu: 200gr/m^2 →30,00 €/0,5m^2→50,00 €/m^2 →215,00 €/5m^2

Figura 5.6. Teixit de fibra de carboni
Font: Feroca

➢ **TEIXIT DE FIBRA DE CARBONI I ARAMIDA**

- Gramatge de 180 gr/m^2.
- Aplicació: Ideal per laminats que requereixin excel·lents propietats mecàniques amb un pes mínim, en combinació amb propietats tals com elevada resistència al impacte i la humitat.
- Preu: 180gr/m^2 →39,00 €/m^2 →165,00 €/5m^2

Figura 5.7 Teixit de fibra de carboni i aramida
Font: Feroca

5.1.3.2 Resines

- **RESINA DE POLIÈSTER - Nom comercial: FERPOL 100 BSX 15**

  - Resina ortoftàlica, pre-accelerada i tixotròpica.
  - Baix contingut en estirè.
  - Aplicació:Per usos generals amb laminats de fibra de vidre
  - Comercialització en envasos d'1 Kg, 5 Kg i 25 Kg.
  - La distribució d'aquest producte inclou el catalitzador[30], en quantitats proporcionals a l'envàs comprat.
  - Preus: 1 Kg → 8,70 €
    5 Kg → 28,40€
    25 Kg → 102,55 €
  - Fitxa tècnica[31]:

CARACTERÍSTIQUES DE LA RESINA (ESTAT LÍQUID):

Pes específic a 25°C	1,11 gr/cm^3
Viscositat a 25°C	4,5-6 dPa.s
Estrat sec	59-60%
Índex d'acidesa	17-22 mgKOH/g

REACTIVITAT:

Mètode	RS08G
Temperatura d'assaig	20°C
Sistema catalític	1,5% MEKP 50%
Temps de gel	19-25 min.
Temps de enduriment	37-47 min.
Temperatura màxima	135-165°C

PROPIETATS DE LA RESINA POLIMERITZADA NO REFORÇADA:

Resistència a la tracció (ISO 527)	50 MPa
Mòdul elàstic a la tracció (ISO 527)	3600 MPa
Elongació al trencament (ISO 527)	1,5%
Resistència a la flexió (ISO 178)	80 MPa
Mòdul de flexió (ISO 178)	3700 MPa
HDT (ISO 75 A)	79°C
Transició vitrea (RS09M)	97°C
Duresa Barcol (ASTM D 2583-87)	43

[30]Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.feroca.com/es/resinas-poliester/200-catalizador-f11.html (Data de consulta: 21 de Febrer de 2016)

[31]La fitxa tècnica completa d'aquest producte pot trobar-se online a: http://www.feroca.com/es/resinas-poliester/61-ferpol-100-bsx15-dcpd-laminados-.html (Data de consulta: 21 de Febrer de 2016)

➢ **RESINA EPOXI - Nom comercial: EPOFER EX401**

- Resina epoxi per laminats.
- Aplicació: Ideals per laminats d'altes prestacions i exposats a entorns humits.
- Comercialització en envasos d'1 Kg, 5 Kg i 25 Kg.
- La distribució d'aquest producte inclou l'enduridor en quantitats proporcionals a l'envàs comprat.
- Preus: 1 Kg → 19,80 €
  5 Kg → 77,00€
  25 Kg → 348,00 €
- Fitxa tècnica[32]:

CARACTERÍSTIQUES DE LA RESINA (ESTAT LÍQUID):

Pes específic a 25°C	1,08 gr/cm^3
Viscositat a 25°C	1,3 dPa.s

REACTIVITAT:

Temperatura d'assaig	25°C
Temps de gel	90 min.
Temps de enduriment	18-24h
Temperatura màxima	40°C

PROPIETATS DE LA RESINA POLIMERITZADA NO REFORÇADA:

Resistència a la tracció (ASTM D638)	460 Kg/cm^2
Resistència a la flexió (ASTM D790)	570 Kg/cm^2
Resistència a la compressió (ASTM D695)	580 Kg/cm^2
Elongació al trencament	6,2%
Contracció lineal	0,1%
Absorció d'humitat	0,035%
Duresa Shore D(ASTM D 638)	80

➢ **GELCOAT DE POLIÈSTER**

- Gelcoat de polièster isoftàlic, semiflexible i accelerat
- Disponible únicament en color blanc actualment.
- Comercialització en envasos d'1 Kg.
- La distribució d'aquest producte inclou el catalitzador[33].
- Preu: 1 Kg →18,80€

[32]La fitxa tècnica completa d'aquest producte pot trobar-se online a: http://www.feroca.com/es/resinas-epoxi/69-epofer-ex401-e416-resina-epoxi-para-laminados.html (Data de consulta: 21 de Febrer de 2016)

[33]Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.feroca.com/es/resinas-poliester/200-catalizador-f11.html (Data de consulta: 22 de Febrer de 2016)

- **TOPCOAT DE POLIÈSTER**

  - Topcoat de polièster isoftàlic, accelerat i parafinat.
  - Disponible únicament en color blanc actualment.
  - Comercialització en envasos d'1 Kg.
  - La distribució d'aquest producte inclou el catalitzador[34].
  - Preu: 1 Kg →18,80€

5.1.3.3 Altres auxiliars

- **DESEMMOTLLANT CERA 34D**

  - Pasta desemmotllant que facilita l'extracció de la peça del motlle.
  - S'ha de deixar assecar abans de treure de la superfície.
  - Es recomana fer servir draps suaus per la seva utilització.
  - Comercialització en envasos de 350g.
  - Preu: 350g → 15,00 €

Figura 5.8 Envàs de cera desemmotllant 34D
Font: Feroca

- **DESEMMOTLLANT LÍQUID – Nom comercial: DESMOFER V8130**

  - Alcohol polivinílic que crea una fina pel·lícula que, un cop assecat, facilita el desemmotllament.
  - Pot aplicar-se a brotxa o pistola.
  - Es recomana rentar el motlle i tornar a aplicar-lo per cada peça.
  - Comercialització en envasos de 250g, 500g i 1Kg.
  - Preus: 250g → 3,10 €
    500g → 6,00 €
    1Kg → 11,50 €

[34]Es pot trobar online la informació relativa al catalitzador, juntament amb la fitxa tècnica, a: http://www.feroca.com/es/resinas-poliester/200-catalizador-f11.html (Data de consulta: 22 de Febrer de 2016)

5.1.4 TF3P, S.L.

TF3P[35] és la empresa més jove de les estudiades en aquest treball, amb un origen molt recent i amb oficines i magatzem a Madrid. Es tracta d'una empresa dedicada a la venta online de productes per la fabricació de materials compostos i tots el auxiliars necessaris.

El seu objectiu és el d'oferir un servei global al client, proporcionant-li, a més dels productes, un assessorament continu a l'hora de fer servir els seus materials. A més a més, tenen previsió d'oferir pròximament cursos de formació, per tal de garantir la correcta utilització dels productes que ofereixen.

A continuació s'exposen els materials de l'empresa TF3P que poden ser-hi d'utilitat en l'àmbit de la indústria naval de materials compostos.

5.1.4.1 Materials de reforç

- **MAT DE FIBRA DE VIDRE**

  - Gramatges de 300 gr/m^2 i 600 gr/m^2.
  - Aplicació: Feltre per laminats convencionals.
  - Fils lligats mitjançant pols.
  - Per tot tipus de resines, i laminat per contacte, assistit per buit i infusió.
  - Aquest producte és subministrat amb un ample de 120cm, pel que el preu es donarà en funció dels metres lineals.
  - Preu: 300gr/m^2 →4,24 €/m→9,92 €/3m → 31,64 €/10m
    600gr/m^2 →6,05 €/m→14,52 €/3m→43,56 €/10m

- **TEIXIT BIAXIAL DE FIBRA DE VIDRE (+45^o/-45^o)**

  - Gramatges de 300 gr/m^2 i 600 gr/m^2.
  - Aplicació: Aporta resistència i estabilitat al laminat.
  - Evita lleugerament el marcat de la fibra.
  - Per tot tipus de resines, i laminat per contacte, assistit per buit i infusió.
  - Aquest producte és subministrat amb un ample de 120cm, pel que el preu es donarà en funció dels metres lineals.
  - Preu: 300gr/m^2 →9,68 €/m→26,62 €/3m → 79,86 €/10m
    600gr/m^2 →8,47 €/m→19,36 €/3m→58,08 €/10m

- **TEIXIT MULTICAPA PER INFUSIÓ – Nom comercial: MATEGLASS PRO**

  - Gramatges de 1000 gr/m^2, 2000 gr/m^2 i 3000 gr/m^2.
  - Aplicació: Teixit composat per diferents capes de fibra de vidre i un nucli difusor que ajuda la dispersió de la resina al procés d'infusió.
  - Fàcil i ràpida col·locació al motlle.

[35] TF3P, S.L Disponible online a: http://www.tf3p.com/ (Data de consulta: 22 de Febrer de 2016)

- Només indicat pel procés d'infusió.
- Format per 1 o 2 capes de mat per acabat (segons gramatge), 1 teixit biaxial $0^o/90^o$ i un teixit biaxial $+45^o/-45^o$.
- Aquest producte és subministrat amb un ample de 120cm, pel que el preu es donarà en funció dels metres lineals.
- Preu: $1000gr/m^2$ →15,91 €/m→38,73 €/3m → 110,29 €/10m
  $2000gr/m^2$ →25,11 €/m→61,14 €/3m→174,09 €/10m
  $3000gr/m^2$ →36,97 €/m→90,01 €/3m →256,31 €/10m

➢ **TEIXIT DE CARBONI (TAFETÀ O SARJA 2X2)**

- Gramatge de 200 gr/m^2.
- Tipus de filaments: 3K
- Aplicació: Ideal per laminats i reparacions d'altes prestacions.
- Excel·lents propietats mecàniques amb un baix pes.
- Recomanat en combinació amb resina epoxi.
- Aquest producte és subministrat amb un ample de 100cm, pel que el preu es donarà en funció dels metres quadrats.
- Preu: $200gr/m^2$ →32,90 €/m^2→91,70 €/$3m^2$ →291,61 €/$10m^2$

5.1.4.2 Resines

➢ **RESINA DE POLIÈSTER**

- Resina de polièster ortoftàlica, pre-accelerada i tixotròpica.
- Aplicació: Per usos generals amb laminats de fibra de vidre.
- Comercialització en envasos d'1 Kg, 5 Kg i 20 Kg.
- La distribució d'aquest producte inclou el catalitzador en quantitats proporcionals a l'envàs comprat.
- Preus: 1 Kg → 7,26€
  5 Kg → 26,00€
  20 Kg → 109,00€
- Fitxa tècnica[36]:

CARACTERÍSTIQUES DE LA RESINA (ESTAT LÍQUID):

Pes específic a 25°C	1,10 gr/cm^3
Viscositat a 25°C	4-5 dPa.s
Estrat sec	53-65%

REACTIVITAT:

Temperatura d'assaig	20°C
Sistema catalític	1,5 Curox M-312
Temps de gel	35 min.

PROPIETATS DE LA RESINA POLIMERITZADA NO REFORÇADA:

Resistència a la tracció	70 MPa
Mòdul elàstic a la tracció	3700 MPa
Elongació al trencament	2%
Resistència a la flexió	110 MPa
Mòdul de flexió	3700 MPa
HDT	63°C
Transició vitrea	93°C
Resistència a l'impacte	8 KJ/m^2

➢ **RESINA EPOXI**

- Resina epoxi d'alta qualitat.
- Aplicació: Ideal per laminats de fibra de carboni o kevlar que busquen les millors propietats mecàniques amb reduït pes.
- Comercialització en envasos d'1 Kg.
- La distribució d'aquest producte inclou el catalitzador en quantitats proporcionals a l'envàs comprat.
- Preu: 1 Kg → 45,98€

[36]La fitxa tècnica completa d'aquest producte pot trobar-se online a: http://www.tf3p.com/userFiles/ecommerce/contents/esi_resin_gp_fast_ot.pdf (Data de consulta: 25 de Febrer de 2016)

➢ **RESINA DE VINILÈSTER**

- Resina de vinilèster estàndard.
- Aplicació: Indicada per laminats de fibra de vidre manuals; no recomanada per infusió o buit.
- Comercialització en envasos d'1Kg i de 5Kg.
- La distribució d'aquest producte inclou el catalitzador en quantitats proporcionals a l'envàs comprat.
- Preu: 1 Kg → 18,15€
  5 Kg → 66,55€

5.2 Taules comparatives dels materials

5.2.1 Taula comparativa de preus de materials de reforç

PREUS (€/pack)	Gramatges (gr/m²)	Plastiform	Resinas Castro			Feroca			TF3P		
	Packs de:	1m	1m	5m	25m	1m	5m	25m	1m	3m	10m
Mat de fibra de vidre	100	1,96	3,95	12,95	62,00	-	-	-	-	-	-
	150	2,36	5,35	16,25	64,00	3,90	16,00	-	-	-	-
	225	-	5,70	18,00	80,00	-	-	-	-	-	-
	300	3,17	3,90	16,25	63,00	3,90	16,00	67,50	4,24	9,92	31,64
	450	4,51	3,90	18,00	74,75	4,50	20,00	-	-	-	-
	600	-	4,70	21,25	95,50	4,50	20,00	-	6,05	14,52	43,56
Vel de superfície de fibra de vidre	30	1,51	2,20	10,00	38,00	2,40	11,00	50,00	-	-	-
Teixit de fibra de vidre	25	-	-	-	-	7,50	32,50	-	-	-	-
	50	7,17	8,00	30,00	140,00	7,50	32,50	-	-	-	-
	86	-	8,00	30,00	135,00	-	-	-	-	-	-
	110	5,69	-	-	-	6,50	27,00	-	-	-	-
	125	-	10,00	40,00	155,00	-	-	-	-	-	-
	165	-	-	-	-	6,50	27,00	-	-	-	-
	200	5,20	10,00	40,00	175,00	-	-	-	-	-	-
	300	2,64	-	-	-	6,50	27,00	-	-	-	-
	570	4,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T. Biaxial fibra de vidre	300	-	-	-	-	-	-	-	9,68	26,62	79,86
	450	-	8,20	32,25	126,00	-	-	-	8,47	19,36	58,08
	600	-	8,00	32,00	120,00	-	-	-	-	-	-
	800	-	7,65	29,00	115,00	-	-	-	-	-	-
T. Triaxial fibra de vidre	750	-	8,70	36,50	147,50	-	-	-	-	-	-
	900	-	8,00	30,00	135,00	-	-	-	-	-	-
T. Quatriaxial de fibra de vidre	600	-	8,00	32,00	125,00	-	-	-	-	--	-
Teixit unidireccional fibra de vidre	530	-	7,50	27,00	98,00	-	-	-	-	-	-
	1200	-	8,90	38,00	159,00	-	-	-	-	-	-
Teixit de fibra de carboni	160	-	22,00	97,50	437,50	-	-	-	-	-	-
	200	34,29	-	-	-	50,00	215,00	-	32,90	91,70	291,61
T. Biaxial de fibra de carboni	300	-	34,10	160,50	752,50	-	-	-	-	-	-
Sarja de fibra d'aramida	175	-	22,00	88,75	375,00	-	-	-	-	-	-
Teixit fibra de vidre-aramida	600	-	18,00	75,00	320,00	-	-	-	-	-	-
Teixit fibra d'aramida-carboni	180	-	-	-	-	39,00	165,00	-	-	-	-
	215	-	35,00	145,00	620,00	-	-	-	-	-	-

Taula 5.1 Comparativa de preus de materials de reforç
Font: Pròpia

5.2.2 Taules comparatives de propietats i preus de resines de polièster

	Plastiform	Resinas Castro	Feroca	TF3P
Pes específic a 25°C (gr/cm^3)	1,12	1,10	1,11	1,10
Viscositat a 25°C (dPa·s)	5,2	4-5	4,5-6	4-5
Estrat sec (%)	66	57-60	59-60	53-65
Temps de gel (min)	16	9-11	19-25	35
Temperatura màxima (°C)	180	-	135-165	-
Resistència a la tracció (MPa)	60	62	50	-
Elongació al trencament (%)	2,2	2	1,5	2
Resistència a la flexió (MPa)	95	-	80	110
HDT (°C)	65	65	79	63
Duresa Barcol	-	50	43	-

Taula 5.2 Comparativa de propietats de resines de polièster
Font: Pròpia

Preu (€)	1Kg	5Kg	20Kg	25Kg	100Kg	225Kg
Plastiform	7,91	25,50	-	103,50	298,00	560,00
Resinas Castro	8,27	27,70	-	100,30	-	634,30
Feroca	8,70	28,40	-	102,55	-	-
TF3P	7,26	26,00	109,00	109,00	-	-

Taula 5.3 Comparativa de preus de resines de polièster
Font: Pròpia

5.2.3 Taules comparatives de propietats i preus de resines de vinilèster

	Plastiform	Resinas Castro	TF3P
Pes específic a 25°C (gr/cm^3)	1,10	-	-
Viscositat a 25°C (dPa·s)	5-6	3,5-4,5	-
Estrat sec (%)	58	52-54	-
Temps de gel (min)	20	20	-
Resistència a la tracció (MPa)	85	83	-
Elongació al trencament (%)	5	4,2	-
Resistència a la flexió (MPa)	150	153	-
HDT (°C)	102	115	-
Duresa Barcol	45	40	-

Taula 5.4 Comparativa de propietats de resines de vinilèster
Font: Pròpia

Preu (€)	1Kg	5Kg	25Kg
Plastiform	11,91	41,05	173,50
Resinas Castro	15,50	65,00	225,00
TF3P	18,15	66,55	-

Taula 5.5 Comparativa de preus de resines de vinilèster
Font: Pròpia

5.2.4 Taules comparatives de propietats i preus de resines epoxi

	Plastiform	Resinas Castro	Feroca	TF3P
Índex epoxídic (mol epoxid/Kg)	5,32-5,56	-	-	-
Pes específic a 25°C (gr/cm^3)	1,14	1,13	1,08	-
Viscositat a 25°C (dPa·s)	5-7	5-9	1,3	-
Índex de color (Gardner)	<3	<2	-	-
Temperatura d'inflamació (°C)	121	140	-	-
Temps de gel (min)	45	23-35	90	-
Resistència a la compressió (MPa)	77	-	56,8	-
Resistència a la tracció (MPa)	58	-	45,1	-
Elongació al trencament (%)	0,5	-	6,2	-
Resistència a la flexió (MPa)	90	-	55,9	-
HDT (°C)	45	-	-	-

Taula 5.6 Comparativa de propietats de resines epoxi
Font: Pròpia

Preu (€)	1Kg	1,6Kg	5Kg	8Kg	10Kg	20Kg	25Kg	40Kg
Plastiform	15,10	-	-	-	112,20	182,40	-	-
Resinas Castro	-	32,34	-	124,52	-	-	-	439,56
Feroca	19,80	-	77,00	-	-	-	348,00	-
TF3P	45,98	-	-	-	-	-	-	-

Taula 5.7 Comparativa de preus de resines epoxi
Font: Pròpia

CAPÍTOL 6. CONCLUSIONS

A l'iniciar aquest treball es va marcar l'objectiu de exposar les propietats i els mètodes de fabricació dels materials compostos en general, tenint en compte que la intenció és que una persona qualsevol, tingui o no coneixements previs en aquest camp, pugui com a mínim fer-se una idea bastant detallada del món dels compòsits, la seva utilitat i les seves avantatges.

Amb aquest propòsit el treball s'inicia exposant els conceptes bàsics per entendre que són i com funcionen els materials compostos. Entre d'altres, s'explica el concepte matriu-reforç, exposant la diferència de propietats d'ambdós treballant junts o per separat, beneficiant-se mútuament per aconseguir les propietats del material compost final; també es parla de la diferenciació entre matrius metàl·liques, ceràmiques i polimèriques, sent aquestes últimes en les que es centrarà posteriorment el treball.

Dintre de les pròpies matrius polimèriques, reben especial atenció les termostables o resines, de les quals s'exposen les de polièster, les vinilèster i les epoxi. Les polièster són les més utilitzades avui dia, mentre que les vinilèster van trobar el seu origen en les aplicacions que requereixen resistència als atacs químics, i les epoxi són utilitzades per materials compostos d'altes prestacions. Es destacable també el procés de curat d'aquestes resines, al qual poden diferenciar-se la fase dinàmica i la fase estàtica, separades pel punt de gel.

Totes aquestes resines comptaran amb una sèrie de propietats que el fabricant haurà de especificar, tot i que es possible modificar algunes fent servir càrregues i/o additius. Altres auxiliars són el gelcoat i topcoat, que s'encarreguen de donar el color al laminat i, en el cas del topcoat, aïllar el laminat de la humitat durant el procés de curat, entre altres funcions.

L'altre component dels materials compostos és el material de reforç, els quals poden ser fibres inorgàniques o fibres sintètiques. Entre les primeres destaquen la fibra de vidre i la fibra de carboni, mentre que de les sintètiques ho fan les fibres d'aramida. Per fer-les servir aquestes fibres són configurades en diferents estructures tèxtils, i en funció de la elecció d'aquestes obtindrem diferents propietats al compòsit final, pel que ha de rebre especial atenció. Entre altres estructures tèxtils trobem: el feltre, la tela, la sarja, el setí, el ras, els acoblats, els trenats, els sistemes mallats i els sistemes encadenats.

Quan es dissenya un laminat, pot donar-se el cas de que una zona necessita un gruix bastant gran, fet que fa poc recomanable fer servir només material compost, pel que es fa servir materials de nucli. La utilització d'aquests fa possible l'augment del gruix del laminat guanyant rigidesa, mentre reduïm el pes del conjunt per un mateix gruix. Els materials emprats com a nucli més habituals són la fusta de bassa, el cedre vermell, el contraxapat marí, les escumes sintètiques (de pvc, de poliuretà, de poliestirè, de estirè-acrilonitril i de polimetacrilímida), les escumes sintàctiques, el niu d'abella i el fire coremat.

Altra part molt important a l'hora de fabricar una peça de material compost és el motlle. Aquests poden ser de fusta, metàl·lics o de material compost, i a més hauran de complir unes característiques com el gruix recomanable, evitar les vores vives i grans superfícies planes,

tenir en compte les simetries i el desemmotllament, la aplicació de reforços, ser de color que contrasti amb el gelcoat i valorar la necessitat o no de particions.

Un cop hem definit que són i com funcionen els materials compostos, podem passar a la seva utilització, o dit d'una altra manera, els diferents mètodes de fabricació pels que poden ser conformats.

Poden diferenciar-se tres tipus de tècniques: les d'emmotllament per contacte, les assistides per buit i les de via líquida. A més a més, també pot classificar-se com a tècnica la utilització d'autoclau.

Dintre de les tècniques per contacte destaquen tres: la laminació manual, la projecció simultània i els impregnadors. La laminació manual és la tècnica més senzilla i bàsica, basant-se en la aplicació de la resina amb brotxa o rodet sobre el material de reforç prèviament disposat sobre el motlle. La projecció simultània tracta de la utilització d'un equip encarregat de projecta al mateix moment trossos de fibres tallats i la resina amb l'accelerador i/o catalitzador que necessiti. Per últim els impregnadors fan servir un equip per disposar sobre el motlle el material de reforç prèviament impregnat en resina, fent possible augmentar el control sobre la quantitat de matriu del compòsit final.

També es destaquen tres tècniques de entre les assistides per buit: la laminació per contacte assistit per buit, els pre-impregnats i els pre-impregnats parcials. La laminació per contacte assistit per buit basa el seu funcionament en la aplicació d'una pressió extra al laminat, gràcies a la creació d'una baixada de pressió a l'interior d'una bossa estanca que envoltarà la peça. Els pre-impregnats són laminats preparats anteriorment que es congelen per la seva posterior utilització, fent molt més fàcil la seva manipulació. Els parcials tenen zones no impregnades que possibiliten el no fer compactats intermedis durant el procés.

Entre les tècniques per via líquida trobem les següents: infusió, RTM i VARTM. La infusió fa servir la pressió de buit a l'interior d'una bossa estanca que envolta la peça per produir un flux de resina que recorri la peça. L'RTM o tècnica de transferència de resina, consta en injectar la resina directament a un motlle tancat amb el seu contramotlle al qual ha sigut prèviament col·locat el material de reforç. El VARTM és una variació del primer, sols que en aquest últim cas la resina es distribuïda fent servir baixes pressions o la pròpia gravetat.

Per últim, l'autoclau és un equip d'utilització complexa on s'introdueixen els laminats per sotmetre'ls a una major pressió i temperatura. D'aquesta manera s'aconsegueix una major densitat de material i uns temps de curat més curts. Podria dir-se que l'autoclau és un auxiliar a altres tècniques, no una tècnica pròpiament.

Finalment, s'ha realitzat una recollida de propietats i preus de matrius, materials de reforç i altres auxiliars proporcionats pels propis fabricants o distribuïdors. La intenció d'aquest últim apartat no ha estat altra que donar al lector una visió general del que pot trobar-se avui dia al mercat i en quin rang de preus es troba. Cal destacar que en aquest sentit, les marques cada vegada busquen més ser visibles a internet, pel que moltes estan implementant botigues i catàlegs online amb cada vegada més informació, facilitant en gran mesura el fet de poder comparar i contrastar tant preus com propietats de diferents fabricants. Un cop realitzat un

anàlisi de les taules comparatives anteriorment exposades, destaca la gran diferència de preus que podem trobar entre els diferents fabricants i distribuïdors de fibres de reforç, tot i tractar-se de materials amb propietats similars. No és així en el cas de les matrius, on trobem que els preus són bastant més similars els uns als altres entres resines de les mateixes característiques.

CAPÍTOL 7. BIBLIOGRAFIA

Llibre: *Materiales Compuestos: Procesos de fabriación de embarcaciones.*(Edicions UPC, 2005). Autor: Alejandro Besednjak. ISBN: 9788498802108.

Article: Pressió atmosfèrica. A: Wikipedia. Disponible online a: http://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica

Article: Componentes de un refuerzo y fabricación. A: Carbon Concrete. Disponible online a: http://www.carbonconcrete.es/HTLM/es/Material%20Compuesto.html

Article: Materiales Compuestos. A: Blog Tecnoogia de los plásticos. Disponible online a: http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2011/07/materiales-compuestos.html

Document: Fibras. A: Plastiquimica. Disponible online a: http://www.plastiquimica.cl/pdf/Fibras.pdf

Article: Materiales Compuestos. Autor: Antonio Miravete. A: Elisava. Disponible online a: http://tdd.elisava.net/coleccion/20/miravete-_castejOn-es

Pàgina web: Feroca. Disponible online a: http://www.feroca.com/es/

Pàgina web: Plastiform. Disponible online a: http://www.plastiform.es/

Pàgina web: Resinas Castro. Disponible online a: http://www.resinascastro.es/spa/default.asp

Pàgina web: TF3P. Disponible online a: http://www.tf3p.com/es/index

Article: Materiales Compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de vidrio. A: Citop. Disponible online a: http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra390_06.pdf

Article: ¿Que es un gelcoat?. A: Quiminet. Disponible online a: http://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-gelcoat-15004.htm