

Resum

Aquest projecte pretén ser un resum de l'experiència extreta durant el desenvolupament i la fabricació d'un sostre rígid de fibra de carboni per a un cotxe descapotable utilitzat en circuit.

El cotxe és un model "targa" descapotable amb sostre de tela o rígid de fibra de vidre. A partir del disseny original es farà un sostre rígid alternatiu que mantingui l'estètica original del vehicle tot reduint-ne la massa i fent-lo compatible amb el muntatge de barres de seguretat, per tant el disseny exterior que marca l'estètica queda inalterat.

En aquesta memòria es fa un breu repàs de l'estat de l'art de les diverses tecnologies de fabricació relacionades amb els materials compostos de matrius polimèriques.

Es detalla la metodologia seguida tant en l'elaboració del motlle com de les diverses parts que componen el sostre final de fibra de carboni i es farà un càlcul per dimensionar la matèria prima necessària per dur a terme el projecte.

La peça principal del sostre rígid s'elaborarà pel mètode d'infusió i es farà una simulació del procés de fabricació tot utilitzant un programari específic per validar el disseny del sistema abans de dur-lo a terme.

Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. GLOSSARI	7
2. ÍNDEX D'IL·LUSTRACIONS I TAULES	8
3. PREFACI	11
3.1. Context	11
3.2. Origen del projecte	11
4. INTRODUCCIÓ	13
4.1. Justificació del projecte	13
4.2. Objectiu del projecte	13
4.3. Abast del projecte	14
5. INTRODUCCIÓ ALS MATERIALS COMPOSTOS	15
5.1. Descripció d'un material compost	15
5.2. Avantatges i inconvenients dels materials compostos	15
5.3. Els tres tipus de fibres més utilitzades	16
5.4. Matrius polimèriques	17
5.4.1. Matrius termostables	17
5.4.2. Matrius termoplàstiques	17
5.5. El paper de la matriu	18
5.5.1. Transferència de les carregues	18
5.5.2. Suport de la fibra	18
5.5.3. Protecció de la fibra	19
5.6. El paper de la fibra	19
5.6.1. Rigidesa	19
5.6.2. Resistència al trencament	19
5.6.3. Parar esquerdes	20
6. ESTAT DE L'ART	21
6.1. Tecnologies de fabricació amb materials de matrius termostables	21
6.1.1. Laminat a mà	21
6.1.2. Laminat amb esprai	21
6.1.3. Infusió de resina	22
6.1.4. <i>Sheet compression moulding</i> (SMC)	22

6.1.5.	Bossa de buit	23
6.1.6.	Autoclau	24
6.1.7.	Filament <i>winding</i> (bobinat de fibres)	25
6.1.8.	Pultrusió	25
6.1.9.	RTM (<i>resin transfer moulding</i>)	26
6.1.10.	HP-RTM (<i>high pressure RTM</i>)	26
6.1.11.	C-RTM (compresion RTM).....	27
6.2.	Tecnologies de fabricació amb materials de matrius termoplàstiques	27
6.2.1.	Injecció de materials compostos	28
6.2.2.	Pultrusió	28
6.2.3.	• Termoconformat	29
6.2.4.	T-RTM (<i>thermoplastic RTM</i>)	29
7.	PLANIFICACIÓ DEL PROJECTE	30
7.1.	Temps d'execució	30
7.2.	Fases del projecte.....	30
7.2.1.	Recollida d'informació	30
7.2.2.	Definició de l'elaboració del motlle	30
7.2.3.	Elaboració del motlle.....	30
7.2.4.	Definició de l'elaboració de la peça.....	30
7.2.5.	Elaboració de la part principal de la peça.....	31
7.2.6.	Elaboració dels suports de fixació.....	31
7.2.7.	Elaboració del reforç	31
7.2.8.	Elaboració del subsistema de tancament de finestra	31
7.2.9.	Acabats.....	31
7.3.	Diagrama de Gantt del projecte	32
8.	TECNOLOGIA ESCOLLIDA	33
8.1.	Procés de fabricació per la pell vista.....	33
8.2.	Procés de fabricació per la resta de parts.....	33
9.	EL MOTLLE	35
9.1.	El model	35
9.2.	La preparació del model	35
9.3.	Elaboració del motlle.....	36
9.4.	Dimensionat de la matèria prima	37
10.	LA PEÇA	39
10.1.	Descripció de la peça.....	39
10.2.	Etaques del procés de producció.....	40

10.3. La pell vista.....	41
10.4. Suports de fixació	46
10.5. Reforç.....	49
10.6. Tancaments.....	50
10.7. Dimensionat de la matèria prima.....	52
10.7.1. La pell vista	52
10.7.2. Els suports	55
10.7.3. El reforç.....	56
10.7.4. Els tancaments	56
10.7.5. Resum de la matèria prima	57
10.7.6. Acabats	58
11. ESTUDI D'IMPACTE AMBIENTAL	59
11.1. Interacció amb el medi ambient	59
11.1.1. El motlle	59
11.1.2. La peça	59
11.2. Protecció en la manipulació de matèries durant el laminat	60
11.3. Accions preventives en la manipulació de les matèries	62
11.4. Tractament de residus.....	62
12. PRESSUPOST	63
12.1. Resum del pressupost amb conceptes principals	63
12.2. Detall del pressupost del model	64
12.3. Detall del pressupost del motlle.....	64
12.4. Detall del pressupost de la peça acabada	65
12.5. Detall del pressupost de consumibles no reutilitzables	66
12.6. PVP d'una sèrie curta.....	67
CONCLUSIONS	69
AGRAÏMENTS	71
BIBLIOGRAFIA	73
Referències bibliogràfiques.....	73
Bibliografia complementària.....	73

1. Glossari

Gelcoat. Pintura bicomponent de naturalesa termostable utilitzada per donar bons acabats superficials i una protecció extra als agents químics en peces normalment de fibra de vidre. Una aplicació molt comú és en les petites embarcacions.

Peel-ply. Teixit que permet el pas de l'excés de resina i que facilita la posterior separació de la peça final dels consumibles utilitzats per millorar el flux de resina i/o l'absorció de l'excés de resina. Un cop retirat la superfície queda texturitzada i preparada per adhesivar, pintar o integrar altres peces de forma segura.

MAT: Teixit de fibra llarga sense orientacions principals. L'orde de les fibres que el constitueixen és aleatori.

Prepreg: Normalment s'anomenen així els teixits de fibra de carboni pre-impregnats amb resina epoxi . Aquests tipus de teixits són molt utilitzats en la indústria aeronàutica ja que estan homologats per a tal ús. Contenen la proporció de resina i fibra exacta. Cal emmagatzemar-los en contenidors refrigerats.

Organosheet: Làmina de material termoplàstic reforçat amb fibra continua teixida. És equivalent al prepreg però amb matriu termoplàstica. Aquest tipus de làmines són termoconformables.

Sizing: Recobriment de les fibres que ajuda a tenir una bona impregnació de les fibres amb la matriu i una unió més forta a nivell molecular de la que es formaria sense aquest. És un dels factors més importants per obtenir materials compostos amb altes propietats mecàniques.

Taqui tape: Cinta adhesiva gomosa d'alta elasticitat que serveix per segellar la bossa en un sistema de buit com pot ser en el cas de un laminat manual amb buit o un sistema d'infusió.

2. Índex d'il·lustracions i taules

<i>Il·lustració 5.1 Microestructura d'un material compost de fibra de carboni</i>	15
<i>Il·lustració 5.2 Fibres més utilitzades</i>	16
<i>Il·lustració 5.3 Camí de forces a través de la matriu</i>	18
<i>Il·lustració 5.4 Fibra treballant a compressió sense i amb matriu</i>	18
<i>Il·lustració 5.5 Esquema de matriu treballant a tracció</i>	19
<i>Il·lustració 5.6 Esquema de la propagació d'una esquerda</i>	20
<i>Il·lustració 6.1 Esquema del laminat d'un sistema d'infusió</i>	22
<i>Il·lustració 6.2 Esquema del procés SMC</i>	23
<i>Il·lustració 6.3 Esquema del laminat d'un sistema de buit</i>	23
<i>Il·lustració 6.4 Forn autoclau</i>	24
<i>Il·lustració 6.5 Bobinat d'un dipòsit</i>	25
<i>Il·lustració 6.6 Esquema d'una línia de pultrusió</i>	25
<i>Il·lustració 6.7 Esquema del procés RTM</i>	26
<i>Il·lustració 6.8 Esquema del procés C-RTM</i>	27
<i>Il·lustració 6.9 Esquema d'una màquina d'injecció</i>	28
<i>Il·lustració 6.10 Esquema de matèria prima carregada amb fibres</i>	28
<i>Il·lustració 7.1 Diagrama de Gantt</i>	32
<i>Il·lustració 9.1 Algoritme de preparació del model</i>	36
<i>Il·lustració 9.2 Algoritme de l'elaboració del motlle</i>	36
<i>Il·lustració 9.3 Dibuix 3D del sostre rígid amb cotes orientatives</i>	37
<i>Il·lustració 10.1 Foto de l'exterior i l'interior del sostre rígid original</i>	39
<i>Il·lustració 10.2 Dibuix CAD amb els diferents components del sostre</i>	40
<i>Il·lustració 10.3 Esquema amb les etapes i tecnologies de cada part de la peça</i>	41
<i>Il·lustració 10.4 Primera etapa – La pell vista</i>	41
<i>Il·lustració 10.5 Seqüència de la col·locació de les diferents capes</i>	42
<i>Il·lustració 10.6 Detall del laminat de la pell vista</i>	42
<i>Il·lustració 10.7 Esquema del sistema d'infusió</i>	43
<i>Il·lustració 10.8 Vista isomètrica de la simulació del procés d'infusió de resina</i>	44
<i>Il·lustració 10.9 Detall de com avança el front de resina en la secció</i>	44
<i>Il·lustració 10.10 Algoritme d'elaboració de la pell vista – passos 1-13</i>	45
<i>Il·lustració 10.11 Algoritme d'elaboració de la pell vista – passos 14-19</i>	46
<i>Il·lustració 10.12 Segona etapa - Suports</i>	46
<i>Il·lustració 10.13 Detall de la secció del laminat d'un suport</i>	47
<i>Il·lustració 10.14 Algoritme d'elaboració dels suports – passos 1-8</i>	47
<i>Il·lustració 10.15 Algoritme d'elaboració dels suports – passos 9-18</i>	48
<i>Il·lustració 10.16 Tercera etapa - Reforç</i>	49
<i>Il·lustració 10.17 Algoritme d'elaboració del reforç – passos 1-9</i>	49
<i>Il·lustració 10.18 Algoritme d'elaboració del reforç – passos 10-13</i>	50
<i>Il·lustració 10.19 Quarta etapa - Tancaments</i>	50

<i>Il·lustració 10.20 Detall de la secció del laminat d'un tancament</i>	51
<i>Il·lustració 10.21 Algoritme d'elaboració dels tancaments – passos 1-7</i>	51
<i>Il·lustració 10.22 Algoritme d'elaboració dels tancaments – passos 8-17</i>	52
<i>Il·lustració 10.23 Format de la primera capa de fibra de carboni</i>	53
<i>Il·lustració 10.24 Format del nucli d'infusió</i>	53
<i>Il·lustració 10.25 Formats dels reforços</i>	54
<i>Il·lustració 10.26 Format de la última capa de carboni</i>	54
<i>Il·lustració 11.1 – Mascareta de protecció FFP2</i>	60
<i>Il·lustració 11.2 - Guants de nitril i vestit de seguretat</i>	61
<i>Il·lustració 11.3 - Ulleres de seguretat</i>	61
<i>Taula 5.1 Taula avantatges i inconvenients dels materials compostos</i>	15
<i>Taula 8.1 Matriu de decisió per la pell exterior de la peça</i>	33
<i>Taula 8.2 Matriu de decisió per les parts integrades</i>	33
<i>Taula 9.1 Resum de matèria prima per elaborar el motlle</i>	38
<i>Taula 10.1 Taula resum de fibra de carboni utilitzada</i>	57
<i>Taula 10.2 Taula resum de la resina i catalitzador utilitzats</i>	57
<i>Taula 10.3 Taula resum de fibra de carboni i resina</i>	57
<i>Taula 12.1 Conceptes principals del pressupost</i>	63
<i>Taula 12.2 Pressupost del model</i>	64
<i>Taula 12.3 Pressupost del motlle</i>	64
<i>Taula 12.4 Pressupost peça acabada (part1)</i>	65
<i>Taula 12.5 Pressupost peça acabada (part2)</i>	66
<i>Taula 12.6 Pressupost altres consumibles</i>	66
<i>Taula 12.7 Estimació del PVP</i>	67

3. Prefaci

3.1. Context

La participació en l'edició de la Formula Student 2011 amb l'equip de ETSEIB Motorsport va comportar una gran implicació de la meva persona en molts aspectes i en conseqüència el contacte amb tot tipus de tecnologies de fabricació va ser gran i variat.

Aquest fet va desembocar en l'interès pels materials compostos i especialment la fibra de carboni, que per les seves propietats i la flexibilitat a l'hora de plasmar un disseny de manera senzilla la fa una candidata molt apte per dur a terme tot tipus de projectes personals.

Després de finalitzar l'estada amb l'ETSEIB Motorsport es comença a gestar el que serà un projecte personal de llarga durada i multidisciplinari: La preparació d'un cotxe de circuit.

El cotxe utilitzat es un Opel Speedster de l'any 2004. És un cotxe d'estil "targa" descapotable en el que es prima la lleugeresa. Originalment tenia la opció de muntar un sostre rígid fabricat en fibra de vidre i que aportava un punt de confort al quasi inexistent confort del conjunt. El model utilitzat no consta d'aquesta opció.

En l'annex A es detallen les característiques principals del model.

3.2. Origen del projecte

El projecte sorgeix d'una petició d'un grup format per unes 25 persones aficionades a aquest model de cotxe i que planteja la possibilitat de trobar una alternativa real a un problema que afecta a aquest model de cotxe.

Desenvolupar un sostre rígid que mantingui el disseny exterior original però que sigui més lleuger, més barat i compatible amb barres de seguretat.

Així doncs es decideix tirar endavant el projecte ja que la utilització de la fibra de carboni queda justificada per la naturalesa d'aquest i fa que sigui una alternativa més atractiva a nivell de prestacions.

4. Introducció

4.1. Justificació del projecte

En el cas que ens ocupa el sostre original és de tela fet que a altes velocitats genera fortes vibracions que arriben a posar en perill la integritat del propi sostre i en conseqüència la dels seus ocupants.

El sostre rígid que oferia la marca com a equipament opcional va ser dissenyat seguint uns objectius que s'aparten dels d'aquest projecte. Aquest era excessivament pesat degut a una poca optimització, difícil d'aconseguir, molt costós degut a la baixa producció del model i incompatible amb el muntatge de barres de seguretat.

Les alternatives existents no originals, són sostres cars i generalment pesats que es limiten a copiar el sostre original sense aportar un valor afegit. A més, al igual que el sostre rígid original, tampoc són compatibles amb barres de seguretat i per tant queden automàticament descartats ja que és una premissa del projecte.

El pes en el sostre és un factor que cal tenir en compte ja que afecta directament a la dinàmica del cotxe degut a que n'ocupa la posició més alta i per tan contribueix al balanceig i al capcineig del conjunt tot desplaçant el centre de gravetat a un punt més elevat.

4.2. Objectiu del projecte

L'objectiu principal del projecte és prendre un primer contacte en la fabricació de peces amb fibra de carboni i fibra de vidre, garantint un resultat de qualitat amb una quantitat de recursos limitats.

El sostre rígid en sí té els següents objectius marcats:

- Minimitzar el pes
- Compatibilitat amb els punts de fixació del sostre original
- Desmuntable/reversible
- Fer-lo compatible amb el muntatge de barres de seguretat
- Minimitzar nombre de peces adhesivades al mínim

4.3. Abast del projecte

Abans de dur a terme el projecte es farà una cerca d'informació de les diferents alternatives de mètodes de fabricació manuals per a peces de fibra de carboni.

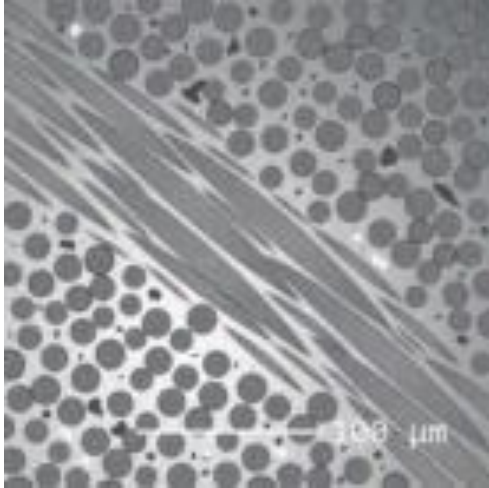
Durant el projecte també es farà ús de diferents tipus de programari depenent de l'etapa:

- Disseny assistit per ordinador: Solidworks 2011
- Pre-procés de models d'elements finits: ANSA
- Simulador del procés: PAM-RTM

l un cop finalitzat el projecte tindrem la informació i els coneixements suficients per desenvolupar altres projectes similars de forma més eficient i ràpida.

5. Introducció als materials compostos

5.1. Descripció d'un material compost



Un material compost es caracteritza per estar format per dos o més materials que tot i mantenir la seva pròpia estructura, un cop posats en comú obtenen unes propietats millors que la dels materials originals per separat.

Un exemple molt comú de material compost és el formigó armat. Aquest està compost per: estructura d'acer i formigó que aquest alhora està format per ciment i agregats. En el material compost final es poden diferenciar els diferents components.

Aquest projecte es basarà en els materials compostos de matriu polimèrica caracteritzats per estar formats per un material base (matriu) plàstic (termostable o termoplàstic) i un reforç (fibres).

Il·lustració 5.1 *Microestructura d'un material compost de fibra de carboni*

A partir d'aquest moment es farà referència als materials compostos de matriu polimèrica únicament com a materials compostos.

5.2. Avantatges i inconvenients dels materials compostos

A continuació es presenta una breu taula amb alguns dels principals avantatges i inconvenients derivats de l'ús de materials compostos respecte altres materials més convencionals, com l'acer o l'alumini.

Avantatges	Inconvenients
Lleugers	Alt cost de la matèria prima
Conformable en formes complexes	Dissenyar és un repte
Dissenys integrats	Alta productivitat complicada
Resistents a la corrosió	Dificultat de reciclatge al final de la vida
Baix cost de cicle de vida	

Taula 5.1 *Taula avantatges i inconvenients dels materials compostos*




5.3. Els tres tipus de fibres més utilitzades

Els reforços de fibra es poden trobar en diverses formes ja sigui en teixits perfectament ordenats, o en format desorientada (MAT).

Les fibres teixides s'utilitzen normalment per aplicacions on les propietats mecàniques han de ser optimitzades segons la direcció de la peça (anisotròpiques) o en peces de pell vista on l'acabat estètic pot ser un factor important. Aquest tipus de teixits són difícils d'adaptar a superfícies complicades i per la naturalesa de l'entramat del teixit es fa especialment difícil mantenir una direccionalitat concreta.

La fibra MAT s'utilitza molt sovint en peces de fibra de vidre i en peces que busquen unes propietats bastant isotròpiques. S'adapten molt bé a superfícies complicades, són barates i van associades a processos de fabricació més econòmics. Degut a la falta d'orientació en les fibres, aquests teixits no són recomanables per aplicacions amb sol·licitacions mecàniques on cal optimitzar molt el pes.

A continuació es mostra una imatge de les fibres més utilitzades.

Fibra de vidre MAT	Fibra de carboni TWILL	Fibra d'aramida TWILL
		
Baix cost	Alt cost	Alt cost
Bones propietats mecàniques	Altes propietats mecàniques	Alta tenacitat
Aplicacions industrials	Aplicacions aeronàutica i motorsport	Aplicacions militars, forts impactes...

Il·lustració 5.2 *Fibres més utilitzades*

5.4. Matrius polimèriques

Els materials compostos es poden classificar en dos grans grups segons la naturalesa del material que forma la matriu. Els de matriu termostable i els de matriu termoplàstica. A continuació es fa un breu repàs de les matrius més utilitzades.

5.4.1. Matrius termostables

Les matrius termostables no fonen amb temperatura i van associades a processos on hi ha un curat on té lloc una polimerització irreversible. A continuació s'enumeren algunes de les més utilitzades:

- *Epoxy*: Altes propietats mecàniques, alt cost
- Polièster: Baixes propietats mecàniques, cost moderat
- Vinilèster: Propietats mecàniques intermèdies, bona resistència a atacs químics i a la humitat, cost mitjà lleugerament superior al polièster
- Fenòlic: Bona resistència al foc, actualment en desús

5.4.2. Matrius termoplàstiques

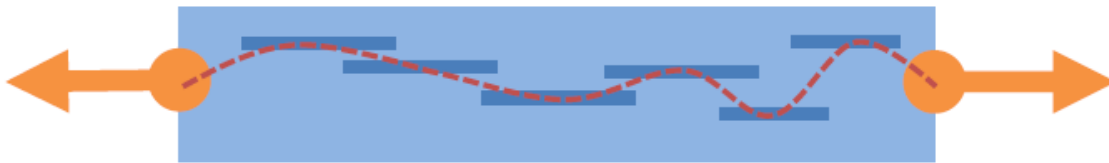
Les matrius termoplàstiques fonen a una temperatura, per tant són termo-conformables, poden ser fosos i reconstruïts de forma repetida. No necessita un curat ja que en el procés no hi ha polimerització, sinó només canvi d'estat. Alguns dels termoplàstics més utilitzats són:

- Polipropilè: Baixes propietats mecàniques
- Poliamida: Propietats mecàniques intermèdies
- PEEK: Molt altes propietats mecàniques

5.5. El paper de la matriu

La matriu d'un material compost té tres funcions principals: transferir les càrregues, suportar les fibres i protegir les fibres.

5.5.1. Transferència de les càrregues

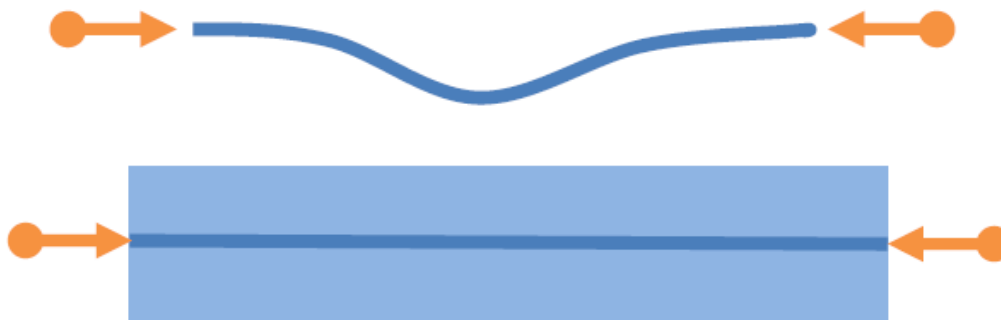


Il·lustració 5.3 *Camí de forces a través de la matriu*

La matriu transmet la càrrega a les fibres i manté les fibres juntes. És particularment important en materials compostos de fibra curta.

5.5.2. Suport de la fibra

Sota càrregues de compressió la matriu té la funció d'evitar el vinclament de les fibres. En les següents imatges es veu un esquema del comportament d'una fibra a compressió sense el suport d'una matriu i una altra amb matriu.



Il·lustració 5.4 *Fibra treballant a compressió sense i amb matriu*

5.5.3. Protecció de la fibra

Les fibres tenen una gran superfície respecte el seu volum i és important que la superfície d'aquesta quedi protegida per no malmetre les fibres. Una de les funcions de la matriu és protegir la fibra d'elements externs com l'aigua, la llum ultraviolada, atacs químics...

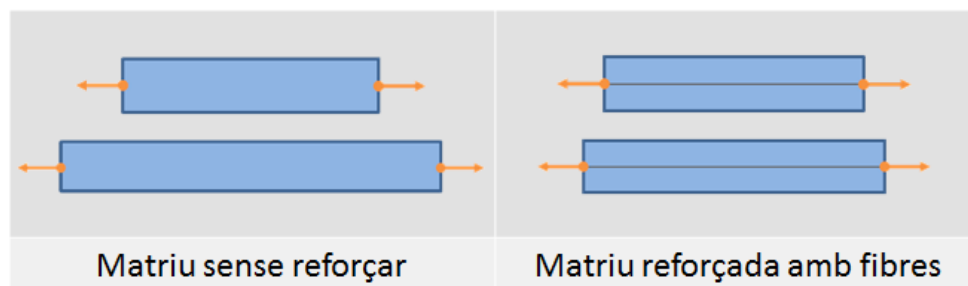
La superfície de les fibres han de presentar unes propietats determinades per garantir una bona adhesió amb la matriu, per aconseguir-ho les fibres reben un tractament superficial, aquest tractament és conegut com a *sizing*.

5.6. El paper de la fibra

5.6.1. Rigidesa

Degut a que les fibres tenen un límit elàstic molt més alt que la matriu, aporten una gran rigidesa en càrregues de tensió.

En les següents imatges s'esquemmatitza la rigidesa extra que aporten les fibres.



Il·lustració 5.5 Esquema de matriu treballant a tracció

5.6.2. Resistència al trencament

Les fibres suporten la major part de les càrregues a tensió ja que són molt més rígides que la matriu, per tant són aquestes les que majoritàriament marquen el límit elàstic del material abans de que la matriu falli.

5.6.3. Parar esquerdes

En cas d'aparició d'esquerdes les fibres ajuden a parar la propagació d'aquestes ja que aquestes són més resistents que la matriu. Això fa que aquest tipus de materials compostos es comporti molt bé a fatiga.



Il·lustració 5.6 *Esquema de la propagació d'una esquerda*

6. Estat de l'art

En aquest apartat es farà un breu repàs d'algunes tecnologies utilitzades en la fabricació de peces amb aquests tipus de materials compostos [1].

6.1. Tecnologies de fabricació amb materials de matrius termostables

En aquests processos la matriu està composta per dos components en forma líquida (resina i catalitzador) que mitjançant una reacció química polimeritzen i s'endureixen de forma irreversible. Aquesta polimerització és una reacció exotèrmica i es pot accelerar amb aportació de calor

6.1.1. Laminat a mà

Aquest és el mètode més senzill a nivell de complexitat tecnològica implicada en el procés. S'aplica normalment un recobriment desemmotllant al motlle i si s'escau una capa d'una pintura bicomponent específica per aquestes aplicacions anomenada *gelcoat* per donar un bon acabat superficial.

Les capes de fibres i resina són aplicades de forma manual i les peces poden incloure nuclis, inserts, etc. Després d'aplicar el material amb les diverses capes es deixa curar a temperatura ambient o al forn.

La qualitat de la peça depèn bàsicament de l'habilitat de l'operari, aquest fet introdueix una alta variabilitat en les peces. La inversió en maquinària és baixa però el temps de cicle alt.

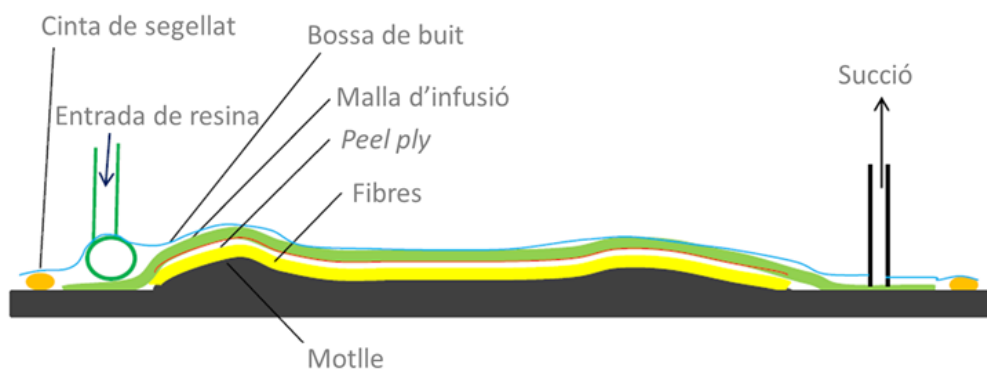
6.1.2. Laminat amb esprai

Una mescla ja feta de resina és aplicada amb esprai sobre el motlle, alhora la fibra també és aplicada a través d'un aspersor que normalment talla la fibra que prové d'una bobina. És un procés molt més ràpid que el laminat a mà i permet variar la proporció de fibra i resina de manera continua. En canvi, no es pot controlar la direcció de les fibres en el laminat.

Presenta un alt risc de que la peça final contingui porositats i alhora és un mètode més perillós per l'operari degut a la naturalesa del procés i la facilitat que té per generar vapors nocius per la salut.

6.1.3. Infusió de resina

El sistema està format per una preforma de fibra (ja sigui teixida o MAT) amb o sense nucli que es disposa en el motlle. Aquesta és coberta amb diferents teixits que tenen la funció de facilitar el flux de resina per tota la peça (malla d'infusió) i la posterior separació amb la bossa de buit que conté el conjunt (*peel ply*).



Il·lustració 6.1 Esquema del laminat d'un sistema d'infusió

La bossa de buit conté diferents punts d'entrada (alimentació de resina) i altres punts de sortida (punts de succió).

Aquest sistema permet l'ús de motlles barats com ara els fets de fibra de vidre i polièster o vinilèster. Es poden obtenir peces de grans dimensions amb bon acabat superficial i amb una optimització de l'ús de resina sempre i quan el sistema d'infusió estigui ben dissenyat.

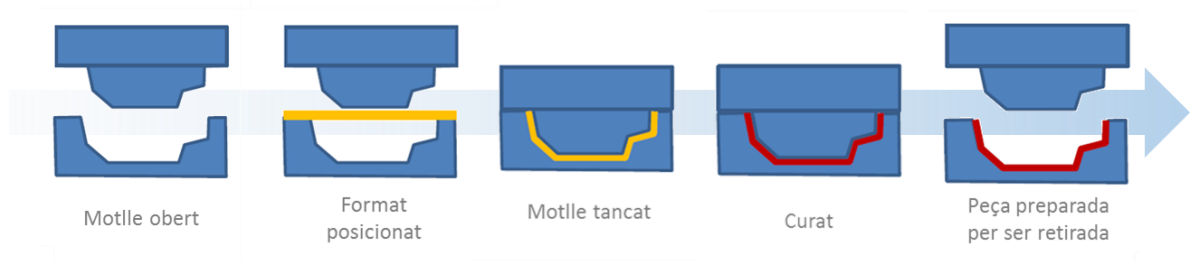
Cal formular la resina tenint en compte que el temps de gel ha de ser superior al temps d'infusió per tal de poder arribar a totes les parts de la peça i evitar l'aparició de zones seques.

Un dels punts en contra d'aquest mètode és la gran generació de residus en forma de consumibles no reutilitzables (*peel ply* i malla d'infusió).

6.1.4. Sheet compression moulding (SMC)

Aquest procés necessita de motlle i contra-motlle calefactats, generalment els costos associats a aquests són elevats.

El motlle es carrega amb unes làmines o formats de fibra curta ja impregnats de resina i es conforma sota la pressió d'una premsa. La resina i les fibres flueixen i es cura amb escalfor aplicada pels motlles. Es poden utilitzar nuclis suficientment rígids que aguantin el procés de premsat.



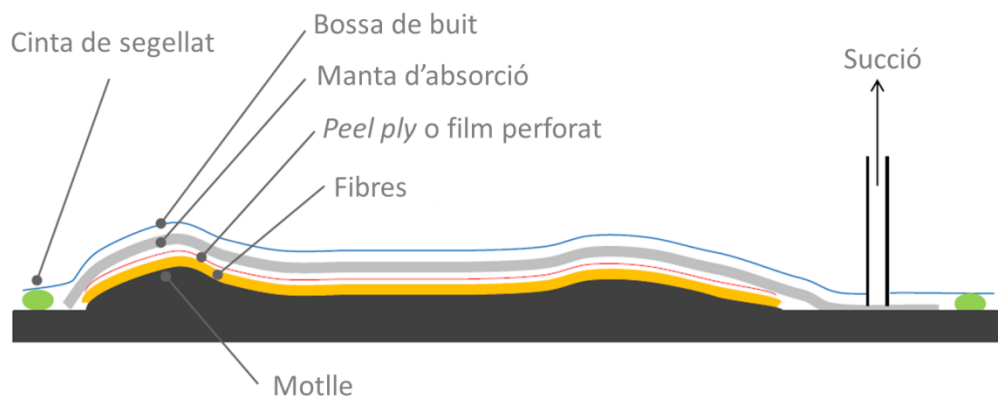
Il·lustració 6.2 Esquema del procés SMC

Aquest procés permet utilitzar una proporció de fibres elevada i s'obtenen peces d'alta qualitat superficial, és un procés apte per produccions elevades. Les peces obtingudes poden tenir nervis degut a que el material flueix durant el conformat.

Els límits de les peces que es poden obtenir venen donats per les dimensions de la premsa.

6.1.5. Bossa de buit

Té una configuració similar a la infusió però normalment s'utilitzen fibres prèviament impregnades en resina (*prepreg*) en comptes de fibres seques, tot i que també es poden utilitzar fibres seques impregnades manualment depenent del tipus de peça. És necessari l'ús de mantes d'absorció per poder extreure el sobrant de la resina amb l'ajuda del buit.



Il·lustració 6.3 Esquema del laminat d'un sistema de buit

La màxima pressió aplicada és l'atmosfèrica, per tant es poden utilitzar motlles barats ja que no han de suportar grans càrregues de pressió. Degut a aquesta limitació les peces poden acabar presentant alguna porositat atrapada durant el curat de la resina. En els *prepreg* la

resina utilitzada fa necessària l'aplicació de calor per aconseguir un curat adequat de la resina.

Amb aquest mètode es poden fer peces de grans dimensions però com en el cas de la infusió, la generació de residus associats als consumibles és elevada.

6.1.6. Autoclau

L'autoclau més que un procés de fabricació és un procés de curat de resina que pot complementar altres processos com ara el de bossa de buit o el d'infusió de resina.

És molt comú l'ús de fibra *prepreg* [2]. L'única diferencia és que la consolidació de la peça es duu a terme en un forn autoclau normalment a una pressió de 7 bar i amb una temperatura controlada que depèn de la resina utilitzada.



Il·lustració 6.4 *Forn autoclau*

La pressió és aplicada en totes les direccions i per tant es poden laminar més fàcilment parets verticals. L'acabat de la peça té una excel·lent qualitat i una molt baixa porositat que ajuden a obtenir peces amb altes propietats mecàniques.

En contrapartida, un forn autoclau és car i les seves dimensions limiten les de la peça. Aquesta tecnologia és molt utilitzada en la indústria aeronàutica.

6.1.7. Filament *winding* (bobinat de fibres)



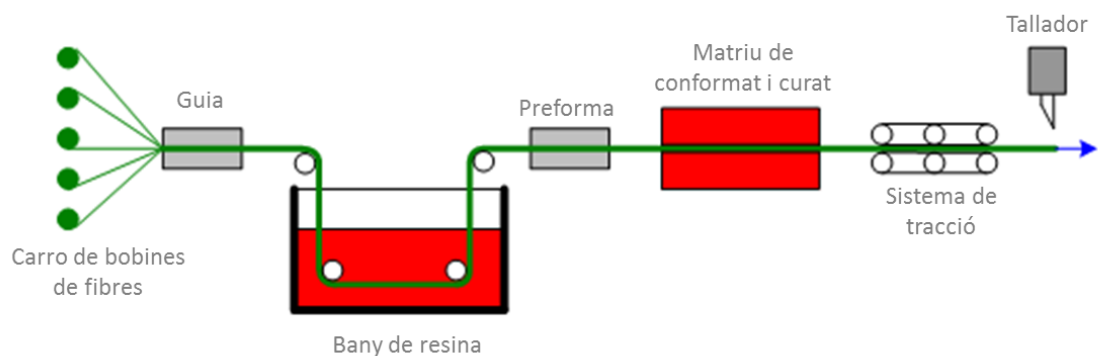
Aquesta tecnologia té una aplicació molt específica: fabricació de dipòsits pressuritzats o tubs.

S'aplica la fibra continua impregnada en resina sobre un mandril que rota. La direcció de la fibra pot variar durant el bobinat per aconseguir diferents propietats.

Il·lustració 6.5 Bobinat d'un dipòsit

6.1.8. Pultrusió

La pultrusió és un procés similar a l'extrusió i per tant es limita a la fabricació de perfils.



Il·lustració 6.6 Esquema d'una línia de pultrusió

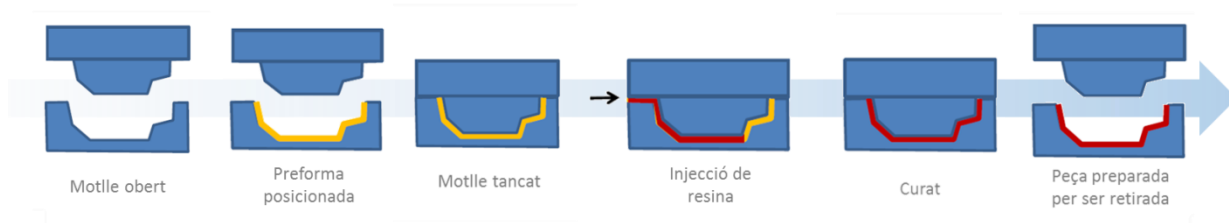
Un conjunt de fibres contínues és impregnat en resina i posteriorment passa a través d'una matriu d'extrusió calefactada que cura la resina de manera contínua. Per aquest motiu la matriu és molt més llarga que una matriu convencional d'extrusió.

Les fibres majoritàriament estan orientades en la direcció d'extrusió tot i que es poden utilitzar teixits entramats. La producció és alta però el cost de les matrius és elevat.

Les peces fetes per pultrusió poden presentar un alt contingut en fibres i normalment tenen unes excel·lents propietats a flexió.

6.1.9. RTM (*resin transfer moulding*)

Es parteix d'una preforma de fibra que es col·loca entre els motlles, aquests es tanquen i s'injecta la resina a baixa pressió, normalment entre uns 6 i 12 bar. Un cop injectada la resina, aquesta és curada dins el motlle calefactat.



Il·lustració 6.7 Esquema del procés RTM

Aquest procés pot tenir una alta producció però els costos associats a la maquinària necessària són alts. S'obtenen peces amb un molt bon acabat per les dues cares de la peça i amb baixa porositat.

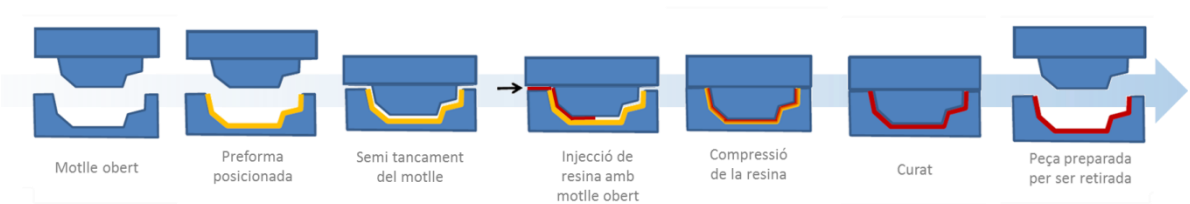
6.1.10. HP-RTM (*high pressure RTM*)

Aquest procés és idèntic al RTM però la injecció de resina és a alta pressió, uns 60 o 100 bar.

Aquest fet diferencial fa que el cost de la premsa, els motlles necessaris i la màquina injectora encareixi de forma considerable la inversió necessària ja que han de ser capaços de lidiar amb altes pressions durant tot el temps d'injecció.

A canvi es poden obtenir peces pràcticament amb la meitat de temps amb geometries més complexes i amb qualitats iguals o superiors al RTM convencional.

6.1.11. C-RTM (compresion RTM)



Il·lustració 6.8 Esquema del procés C-RTM

El principi és el mateix que el procés de RTM convencional però la injecció de resina es fa amb els motlles entreoberts i posteriorment es comprimeix la resina contra les fibres. Per tant, la resina penetra en les fibres en la direcció de l'espessor de la peça i no en la de la superfície. Això aporta un gran avantatge en temps d'injecció i per tant en el temps de cicle. A més la premsa necessària, els motlles i la màquina injectora no han de suportar altes pressions durant tota la injecció, fet que abarateix considerablement el cost de les instal·lacions.

Aquesta tecnologia queda limitada a peces amb geometries molt planes i senzilles.

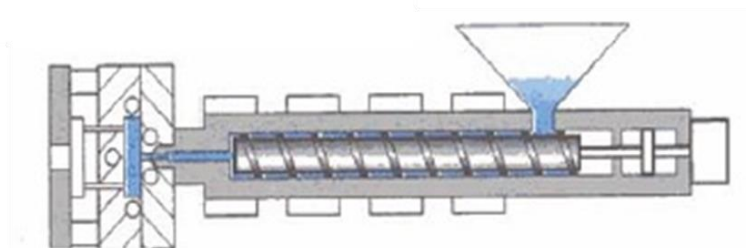
6.2. Tecnologies de fabricació amb materials de matrius termoplàstiques

En aquests tipus de processos es parteix d'una matriu ja polimeritzada que en escalfar-se suficientment arriba a un punt de fusió en el que el material pot fluir i ser conformat. En aquests processos no hi ha reacció química només escalfament i refredament.

En general són necessàries temperatures més altes que en els termoplastics per ser conformats.

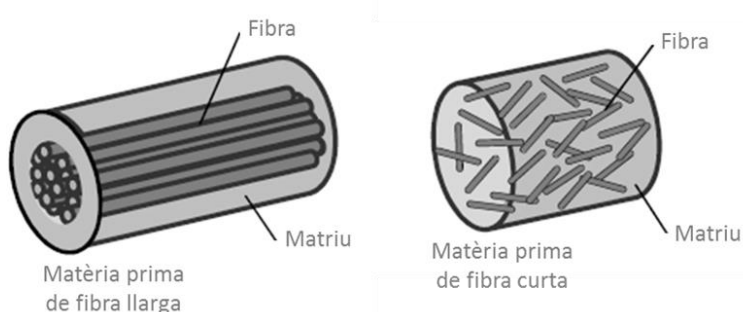
6.2.1. Injecció de materials compostos

El procés d'injecció de materials compostos és el mateix que el dels plàstics normals però la matèria prima està carregada amb fibres.



Il·lustració 6.9 Esquema d'una màquina d'injecció

Aquestes fibres tenen unes dimensions de fins a 12mm de longitud i un diàmetre típic de 9-15 μ m. Segons les dimensions de les fibres de la matèria prima original es poden separar en fibra llarga i fibra curta.



Il·lustració 6.10 Esquema de matèria prima carregada amb fibres

6.2.2. Pultrusió

Aquest procés de pultrusió és el mateix que en el cas que s'ha explicat en l'apartat de pultrusió amb materials de matrius termostables l'única diferència és el material de la matriu, que ara és un termoplàstic i el motlle està refrigerat en comptes de calefactat.

6.2.3. • Termoconformat

La matèria prima s'acostuma a vendre en formats de planxes ja conformades conegudes com *organosheet*, que són equivalents als *prepreg* utilitzats en termostables.

Els *organosheet* són materials amb reforços de fibra continua que s'han d'escalfar fins a una temperatura que les fa conformables abans de col·locar-les en els motlles. Aquest procés d'escalfament normalment es fa per infrarojos.

Aquests tipus de conformats s'acostumen a associar a un procés d'injecció de forma que s'aconsegueix un procés híbrid amb un gran potencial.

6.2.4. T-RTM (*thermoplastic RTM*)

Es tracta del mateix procés que el RTM utilitzat en materials termostables però els motlles han d'estar calefactats a altes temperatures durant tot el procés d'injecció per assegurar que el material flueixi correctament. Aquest procés amb matriu termoplàstica comporta alguns desavantatges respecte al mateix procés amb matriu termostable degut a la gran viscositat que presenten els termoplàstics.

Per solucionar aquest problema hi ha una variant del procés en fase de desenvolupament on es fa ús de la caprolactona (monòmer de la poliamida). En aquest procés s'injecta una barreja, com en el cas del RTM termostable, que flueix de forma molt més ràpida que un termoplàstic ja polimeritzat. Aquest posteriorment polimeritza dins els motlles per crear la matriu termoplàstica final.

7. Planificació del projecte

7.1. Temps d'execució

El projecte està pensat per ser dut a terme en un període de vint-i-dues setmanes. Aquest es divideix en sis etapes diferents que es detallen a continuació.

7.2. Fases del projecte

7.2.1. Recollida d'informació

En aquesta fase del projecte es farà una cerca i es buscarà assessorament professional per dur a terme les diverses etapes d'elaboració tant del motlle com de la peça.

Al final d'aquesta etapa es tenen els coneixements necessaris per saber quina tecnologia s'utilitzarà per elaborar el motlle i quines tecnologies es faran servir per elaborar la peça així com les etapes principals necessàries i la seqüència d'aquestes.

7.2.2. Definició de l'elaboració del motlle

Un cop escollida la tecnologia amb que s'elaborarà el motlle cal planificar els passos a seguir per tenir presents totes les eines i materials necessaris. Posteriorment s'ha de fer un càlcul per estimar la matèria prima necessària.

Al final d'aquesta etapa es fa una comanda amb la que s'obté tot el material necessari per dur a terme l'elaboració del motlle.

7.2.3. Elaboració del motlle

Fabricació del motlle seguint els passos de la informació recollida en l'etapa inicial del projecte i seguint els passos definits. Al final d'aquesta etapa s'obté un motlle apte per la fabricació d'una tirada curta de peces de fibra de carboni pel mètode de la infusió de resina.

7.2.4. Definició de l'elaboració de la peça

En aquesta etapa es definiran els passos necessaris per elaborar cada una de les parts que componen la peça principal així com l'ordre en que s'han de dur a terme.

Es dissenyarà la configuració del sistema d'infusió de la part principal de la peça i es simularà el procés d'ompliment.

Amb totes les dades es farà una estimació de la matèria prima i la maquinària necessària per elaborar la peça principal. Al final d'aquesta etapa es fa una comanda per obtenir tot el material estimat.

7.2.5. Elaboració de la part principal de la peça

Aquesta part serà de fibra vista i per tant el procés d'elaboració ha de ser molt cuidat per evitar defectes d'orientació de les fibres. EL procés que s'utilitzarà serà la infusió de resina.

El sistema d'infusió que es duu a terme és el resultat de la simulació per elements finits d'aquest mateix.

7.2.6. Elaboració dels suports de fixació

Els suports de fixació tenen la funció de permetre el muntatge del sostre rígid amb les fixacions originals del cotxe. Aquests subsistemes han de ser el més minimalistes possible per tal de deixar espai per les barres de seguretat i han d'estar integrats.

7.2.7. Elaboració del reforç

La peça principal ha de tenir suficient rigidesa i es reforça amb una costella transversal.

7.2.8. Elaboració del subsistema de tancament de finestra

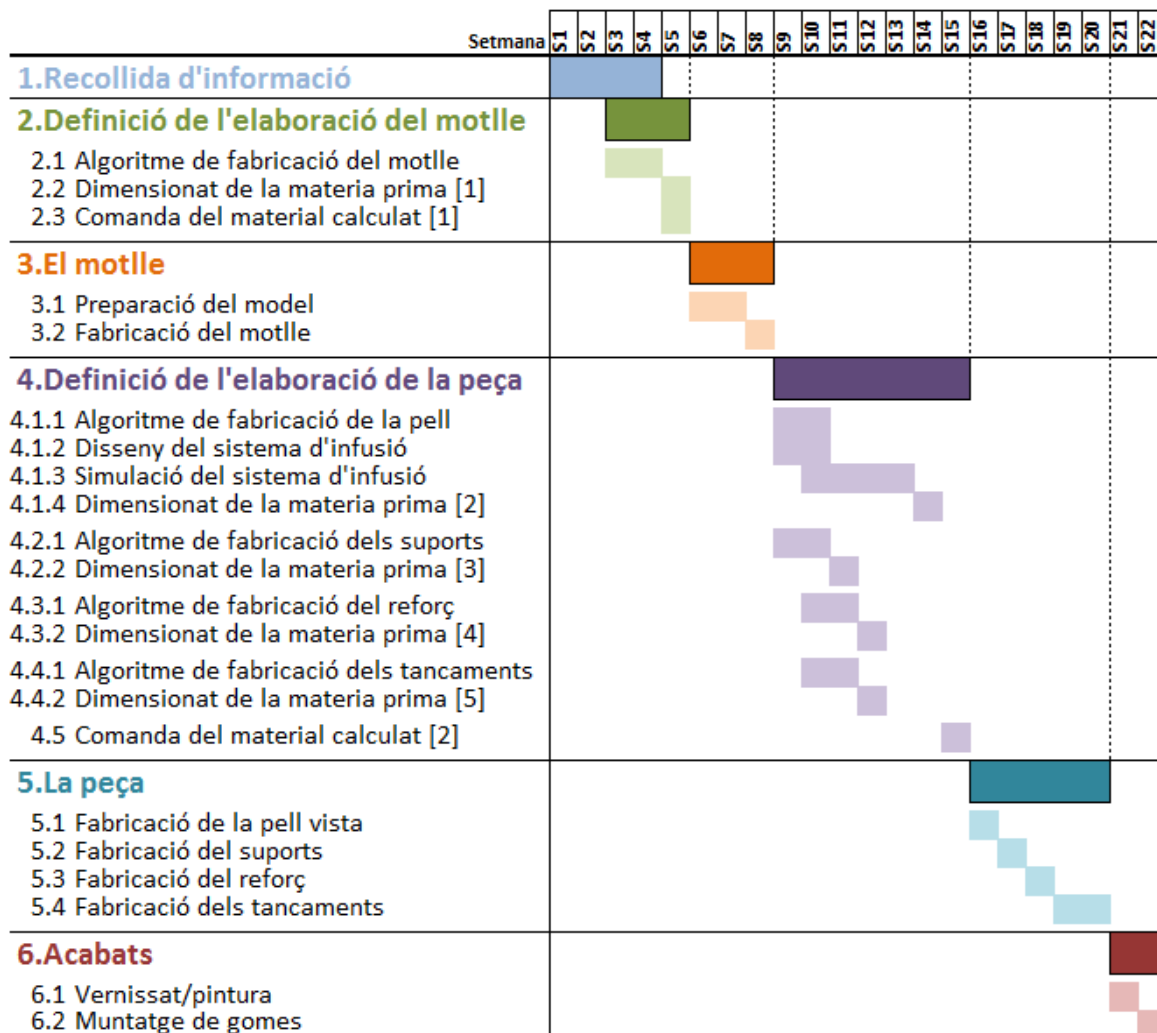
Aquest subsistema ajustarà el tancament de la finestra amb el sostre. No és un subsistema crític però aporta una gran rigidesa al conjunt. És important que aquest sigui poc voluminós per deixar espai per les barres de seguretat i estigui integrat.

7.2.9. Acabats

Un cop elaborat tot el sostre caldrà donar-li un acabat de pintura o vernissat i posteriorment buscar unes gomes que permetin ajustar-lo per evitar l'entrada d'aigua.

7.3. Diagrama de Gantt del projecte

A continuació es mostra el diagrama de Gantt d'aquest projecte.



Il·lustració 7.1 Diagrama de Gantt

8. Tecnologia escollida

Per escollir la tecnologia que s'utilitzarà en la fabricació de la peça s'elaboren unes matrius de decisió basades en la informació recollida. En aquestes matrius només es tenen en compte opcions realistes que no necessiten altes temperatures i que són compatibles amb motlles obtinguts per laminats manuals.

8.1. Procés de fabricació per la pell vista

Primer es fa la matriu per escollir la tecnologia de la pell exterior de la peça:

Concepte\Procés	Laminat a mà	Prepreg	Infusió de resina	Pes del concepte
Inversió maquinària	10	1	5	X2
Acabat superficial	1	10	10	X3
Ús de consumibles	5	5	1	X1
Preu matèria prima	10	1	10	X2
Complexitat d'execució	1	10	5	X3
TOTAL	51	69	76	

Taula 8.1 Matriu de decisió per la pell exterior de la peça

Així doncs la tecnologia escollida és la infusió de resina per aquesta part.

8.2. Procés de fabricació per la resta de parts

Es procedeix de la mateixa forma per les altres parts que componen la peça:

Concepte\Procés	Laminat a mà	Prepreg	Infusió de resina	Pes del concepte
Compatibilitat maquinària	10	1	10	X3
Acabat superficial	1	10	10	X1
Ús de consumibles	5	5	1	X1
Preu matèria prima	10	1	10	X2
Complexitat d'execució	1	10	5	X3
Integració amb la pell	10	10	1	X3
TOTAL	89	80	79	

Taula 8.2 Matriu de decisió per les parts integrades

Amb aquesta segona matriu s'ha tingut en compte la facilitat d'integració de les noves parts amb la peça principal i s'ha afegit el concepte de "compatibilitat de la maquinaria" utilitzada amb la part principal que s'ha escollit prèviament (infusió de resina). Així doncs s'ha escollit el laminat manual.

9. El motlle

Després de recollir informació sobre les diferents tecnologies de fabricació, es decideix utilitzar el mètode d'infusió de resina, tant per costos d'elaboració com resultats que es poden obtenir.

Per tant, en aquest apartat es farà una descripció del procés que s'ha seguit per obtenir un motlle compatible amb el procés de fabricació escollit.

Es fabricarà un motlle de fibra de vidre MAT amb acabat superficial de gelcoat per obtenir una peça amb un bon acabat superficial

9.1. El model

Per elaborar un motlle de fibra de vidre cal primer partir d'un model amb la geometria necessària que pot ser el sostre rígid original o una maqueta amb el mateix disseny. En aquest cas es partirà d'una maqueta comprada específicament per aquesta aplicació.

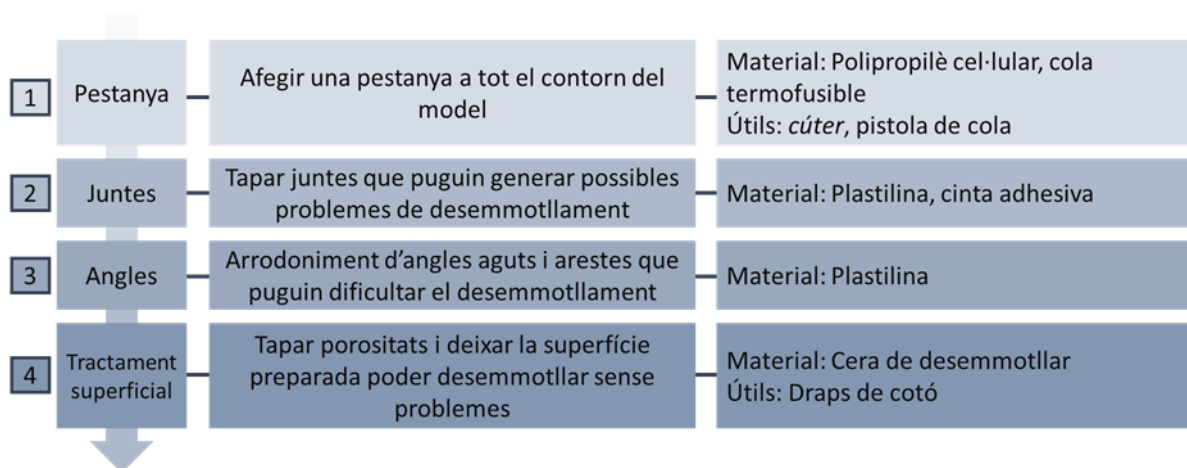
9.2. La preparació del model

Un cop s'ha escollit el model cal tenir en compte que caldrà afegir una pestanya a tot el contorn per així obtenir un motlle amb unes pestanyes al voltant suficientment grans per ser utilitzades per muntar el sistema d'infusió.

Cal tapar tots els forats i juntes per generar superfícies contínues i a més s'han d'evitar els angles rectes en la direcció de desemmotllat per evitar problemes associats al desemmotllat.

Preparar la superfície de forma adient és un punt crític per poder desemmotllar posteriorment sense trencar res. Es tapen totes les porositats i es crea una capa antiadherent amb cera desemmotllant.

Es fa un algoritme per ordenar les feines que tindran lloc durant la preparació del model i així planificar l'abastiment del material necessari per poder executar-les.

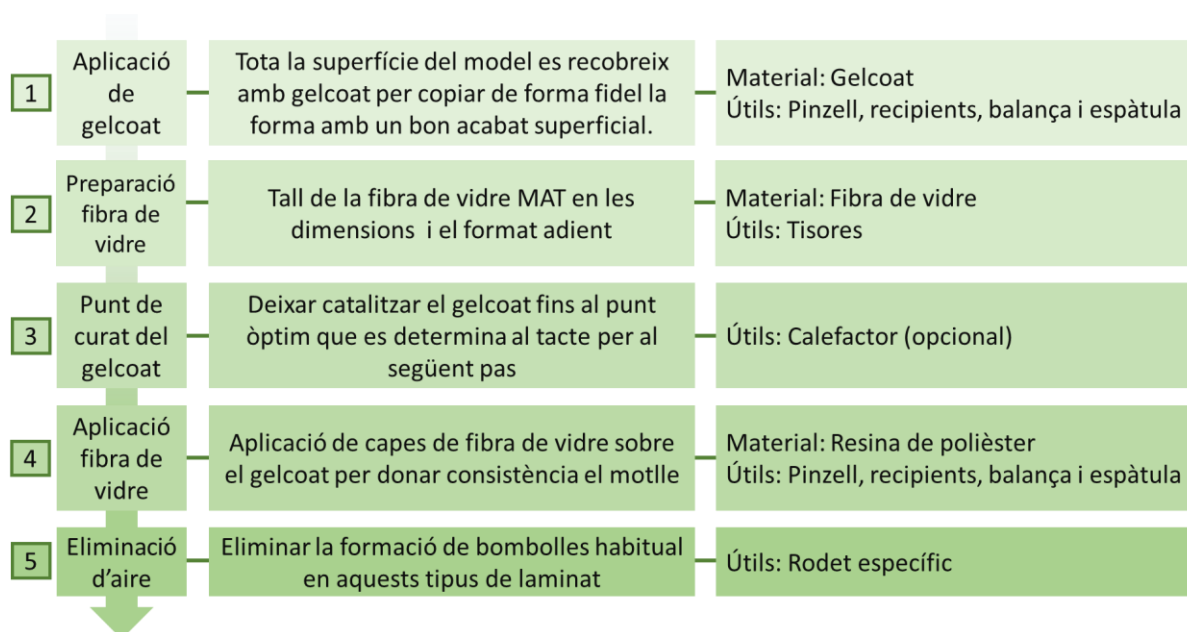


Il·lustració 9.1 *Algoritme de preparació del model*

9.3. Elaboració del motlle

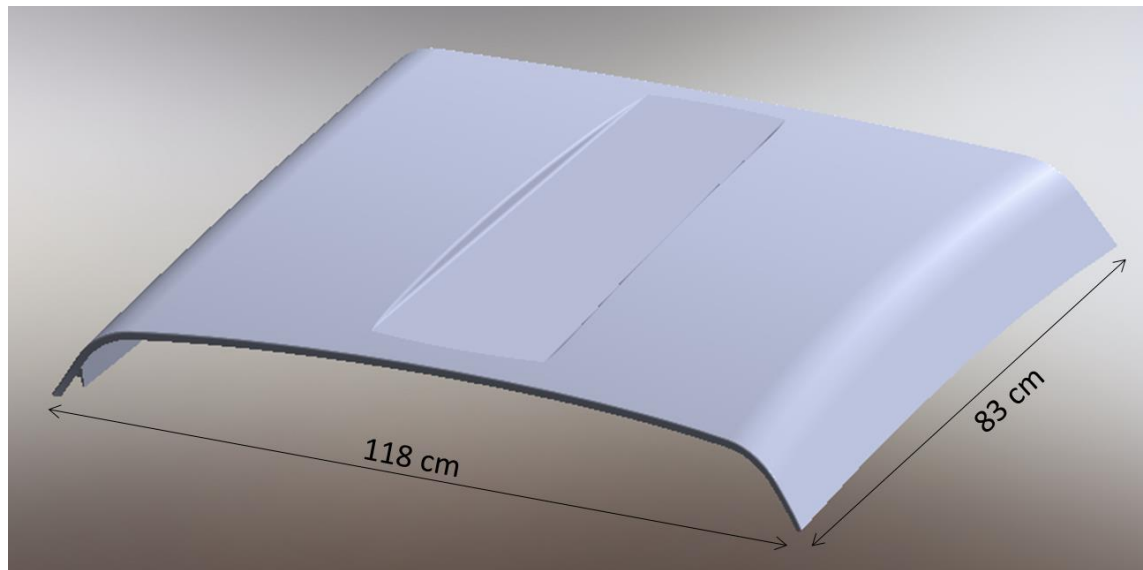
L'elaboració del motlle es divideix en cinc passos dels quals dos són els principals: recobriments del model amb gelcoat i reforç del motlle amb fibra de vidre.

Aquest procés s'ha de dur a terme de manera seguida per la naturalesa de les reaccions químiques que tenen lloc. És important trobar el punt de curat òptim entre l'aplicació del gelcoat i l'inici de l'aplicació de la fibra de vidre per tal d'aconseguir una bona adhesió entre el gelcoat i el reforç de fibra de vidre.



Il·lustració 9.2 *Algoritme de l'elaboració del motlle*

9.4. Dimensionat de la matèria prima



Il·lustració 9.3 *Dibuix 3D del sostre rígid amb cotes orientatives*

A partir de les dimensions del sostre original es fa una estimació del material necessari per poder elaborar el motlle. Els càlculs del material es faran per una peça de 1.25m^2 ja que és normal gastar més material del compte les primeres vegades.

Primer es determina la quantitat de gelcoat necessari per fer una capa suficientment consistent, ja que es tracta d'un motlle i no una peça. En la fitxa tècnica del gelcoat utilitzat (annex B) s'especifica que amb $660\text{gr}/\text{m}^2$ s'obté una capa de 0.5mm de gruix.

Després de consultar fonts professionals es recomana que en cas de ser utilitzat per un motlle cal ser generós i fer tres capes de 0.5mm , acumulant un espessor total de 1.5mm . Així doncs partint d'aquesta informació es fa un càlcul aproximat del gelcoat necessari:

$$M_{\text{gelcoat}} = \frac{660\text{gr}/\text{m}^2 \cdot 1.5\text{mm}}{0.5\text{mm}} \cdot 1.25\text{m}^2 = 2475\text{gr} \quad \text{Eq.9.1}$$

La fibra de vidre que s'utilitzarà és MAT 300, el 300 fa referència al gramatge per metre quadrat. Aquest tipus de fibra és molt comú i és fàcil de trobar en bobines de 1.25m d'amplada.

En aquest cas es faran 5 capes de fibra de vidre ja que no encareix excessivament el motlle i el farà més resistent. El càlcul és immediat, 5 metres lineals de 1.25m d'amplada.

Resultaran doncs en:

$$S_{\text{fibra de vidre}} = 5m \cdot 1.25m = 6.25m^2 \quad \text{Eq.9.2}$$

$$M_{\text{fibra de vidre}} = 6.25m^2 \cdot 300 \text{ gr}/m^2 = 1875gr \quad \text{Eq.9.3}$$

Un cop calculada la massa de fibra de vidre necessària per fer el motlle cal calcular la massa corresponent de resina de polièster, en l'annex C es troba la fitxa tècnica de la resina de polièster utilitzada. Una proporció típica en peces de fibra de vidre elaborades amb aquest procediment és de 40% de contingut de fibra i 60% de contingut de resina. Es fa un càlcul senzill:

$$M_{\text{resina polièster}} = \frac{1875gr}{0.4} \cdot 0.6 = 2812.5gr \quad \text{Eq.9.4}$$

En resum es pot dir que per elaborar el motlle es necessita la següent matèria prima:

Concepte	Quantitat
Gelcoat	2475gr
Fibra de vidre	6,25m ² ó 1875gr
Resina de polièster	2812,5gr

Taula 9.1 Resum de matèria prima per elaborar el motlle

10. La peça

10.1. Descripció de la peça

El sostre original consta de dues parts de fibra de vidre diferenciades. Són elaborades en motlles diferents i posteriorment adhesivades: la pell vista i la part interior.

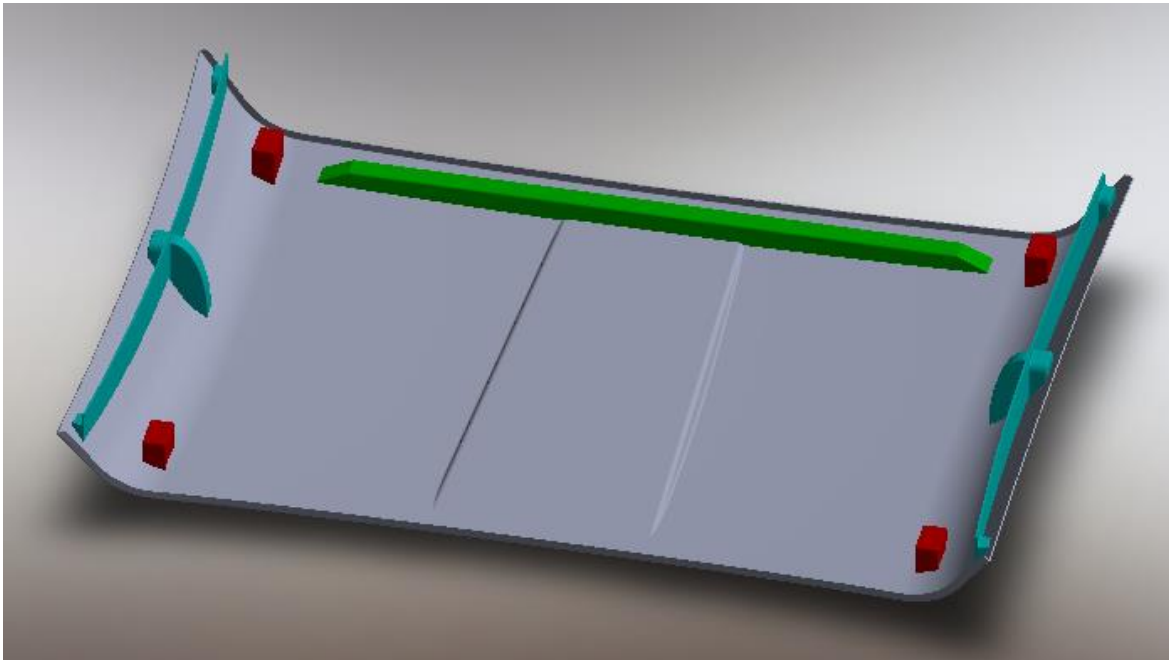


Il·lustració 10.1 Foto de l'exterior i l'interior del sostre rígid original

La pell vista dóna al cotxe les línies de disseny característiques mentre que la part interior té 3 funcions: Punts de suport per fixar el sostre rígid al cotxe, tancaments de les finestres i donar rigidesa al conjunt.

En el nostre cas, la geometria de la pell vista es mantindrà inalterada i s'elaborarà amb un motlle extret del disseny original. El sostre ja no estarà format per dues parts clarament adhesivades. La part interior haurà de canviar de concepte ja que en el nou disseny totes les parts quedaran integrades en una única peça que integra totes les funcionalitats originals.

D'aquesta manera es maximitza l'espai interior del cotxe per complir un dels objectius principals del projecte, encabir unes barres de seguretat incompatibles amb el disseny original.



Il·lustració 10.2 *Dibuix CAD amb els diferents components del sostre*

El nou sostre rígid constarà de quatre parts diferenciades i amb unes funcions específiques. A més aquestes determinaran les etapes necessàries d'elaboració per arribar al producte final.

En la Il·lustració 10.2 es poden veure les diferents parts que componen el sostre diferenciades per colors.

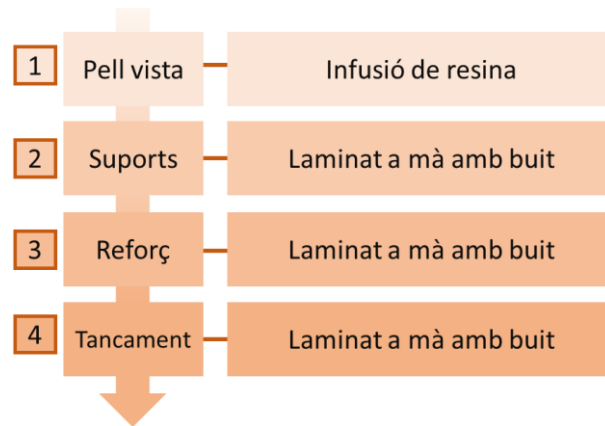
En color gris hi ha la pell exterior, aquesta és la part principal de la peça. En color vermell hi ha els suports que serviran de base per a les fixacions que uniran el sostre a la resta del cotxe. En color verd hi ha un reforç transversal que ajuda a donar un extra de rigidesa al conjunt i en color turquesa els tancaments que serviran de guia per muntar les gomes de les finestres i que a més ajudaran a donar rigidesa en la direcció longitudinal.

10.2. Etapes del procés de producció

Per elaborar un sostre rígid que quedi com una sola peça s'ha de seguir un procés seqüencial on cada part serà elaborada després d'haver finalitzat l'anterior.

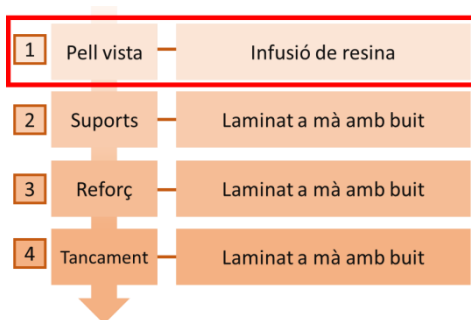
La primera part que cal elaborar és la pell vista que servirà de suport per la resta de components. Seguidament es procedirà amb els suports de fixació i el reforç transversal per acabar finalment amb els tancaments laterals de les finestres [3].

En el següent diagrama es mostra el procés d'assemblatge amb les tecnologies associades a cada part.



Il·lustració 10.3 Esquema amb les etapes i tecnologies de cada part de la peça

10.3. La pell vista



Il·lustració 10.4 Primera etapa – La pell vista

La pell vista del sostre original està feta per 1.5mm de laminat fibra de vidre MAT, però és la part interior adhesivada la que serveix de base per la pell exterior. En el nostre cas la pell exterior serà la base per la resta i per tant ha de ser suficientment rígida per mantenir la geometria per sí sola.

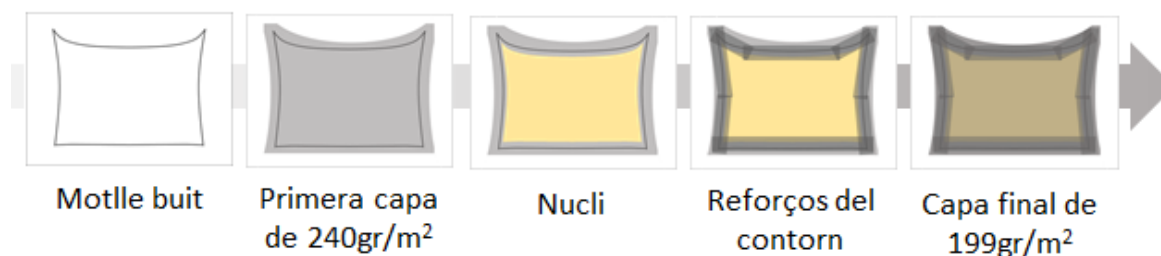
La nova pell vista es farà pel mètode d'infusió de resina amb el motlle elaborat prèviament. Per aportar aquest extra de rigidesa tot mantenint la lleugeresa s'opta per fer una estructura amb nucli, molt comú en

la indústria aeroespacial. Així doncs el sostre estarà laminat amb la següent estructura:

Una primera capa de 240gr/m^2 de fibra de carboni amb una bona densitat de fibres perquè una sola capa sigui suficient per un bon acabat estètic, seguit del nucli de polièster específic per infusió de 2mm de gruix (annex D) amb una capa de reforços de fibra de carboni densitat 199gr/m^2 a tot el contorn que li donarà un extra de rigidesa i resistència a les cantonades.

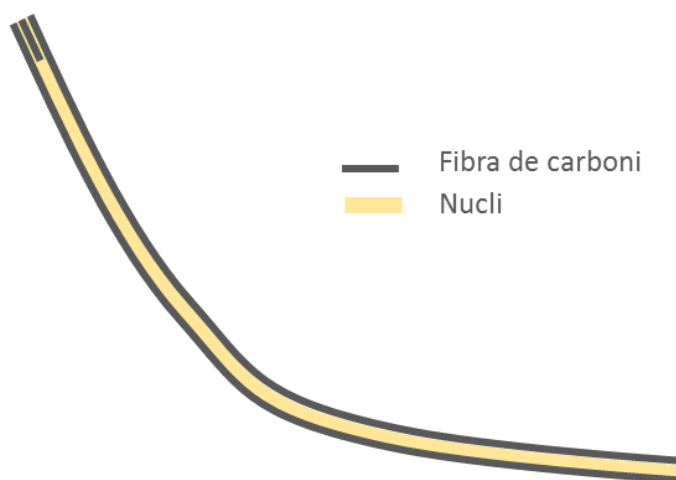
Finalment hi haurà una capa de 199gr/m^2 que cobrirà tot el conjunt donant la estructura final de sandvitx.

En les següents il·lustracions es poden veure de forma esquemàtica l'ordre de col·locació de les diferents capes en el motlle de forma seqüencial.



Il·lustració 10.5 Seqüència de la col·locació de les diferents capes

També es pot veure en el següent esquema com queda el laminat en secció.



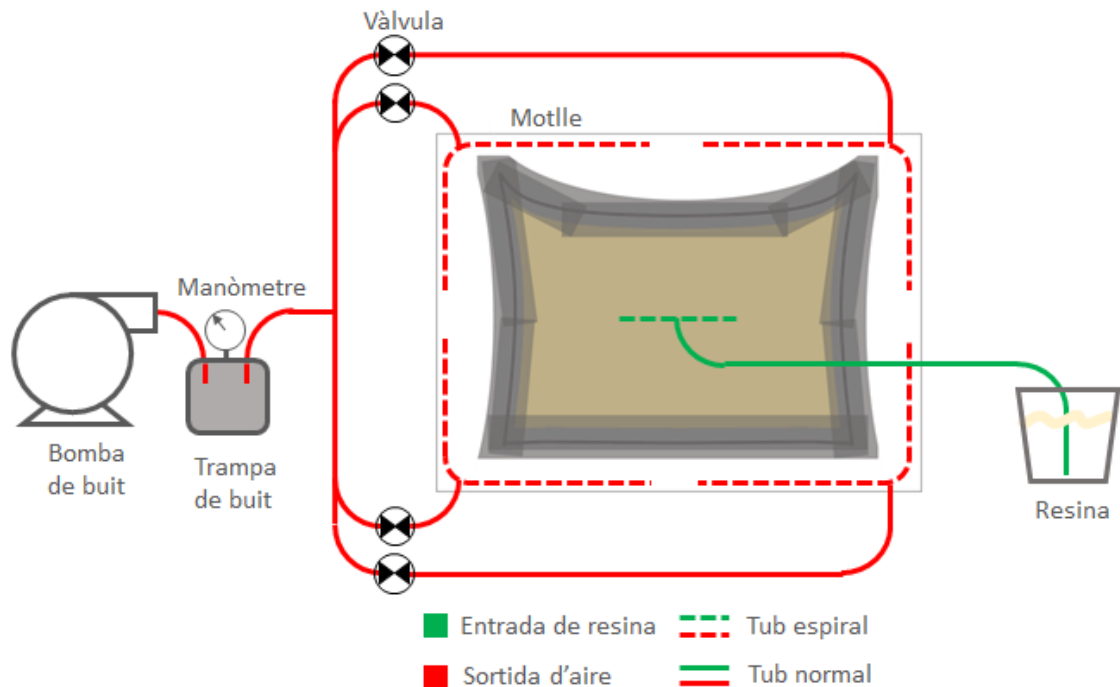
Il·lustració 10.6 Detall del laminat de la pell vista

Un cop col·locades les diferents capes s'han de disposar tots els components necessaris per poder fer la infusió.

Perquè un sistema d'infusió funcioni de forma adequada és important que en general les distàncies entre les línies d'alimentació de resina i les línies de succió siguin el més similars possible per evitar que la resina arribi a un punt de succió abans que a un altre.

La forma del motlle és rectangular i per tant el disseny de la disposició de les línies és bastant senzill. Només cal tenir en compte que el cabal d'entrada sigui més petit que el de sortida, d'aquesta manera la infusió serà molt més fluïda ja que no hi haurà efecte coll d'ampolla.

Seguint aquestes directrius es decideix fer un sistema amb una línia d'alimentació centrada en la peça i 4 línies de succió independents que es poden controlar amb unes vàlvules. D'aquesta manera es té un control total en el sistema i es poden corregir imprevistos, com ara la formació de canals ràpids de resina no controlats.



Il·lustració 10.7 Esquema del sistema d'infusió

Per validar el sistema es fa una simulació d'ompliment de resina amb PAM-RTM, un software específic.

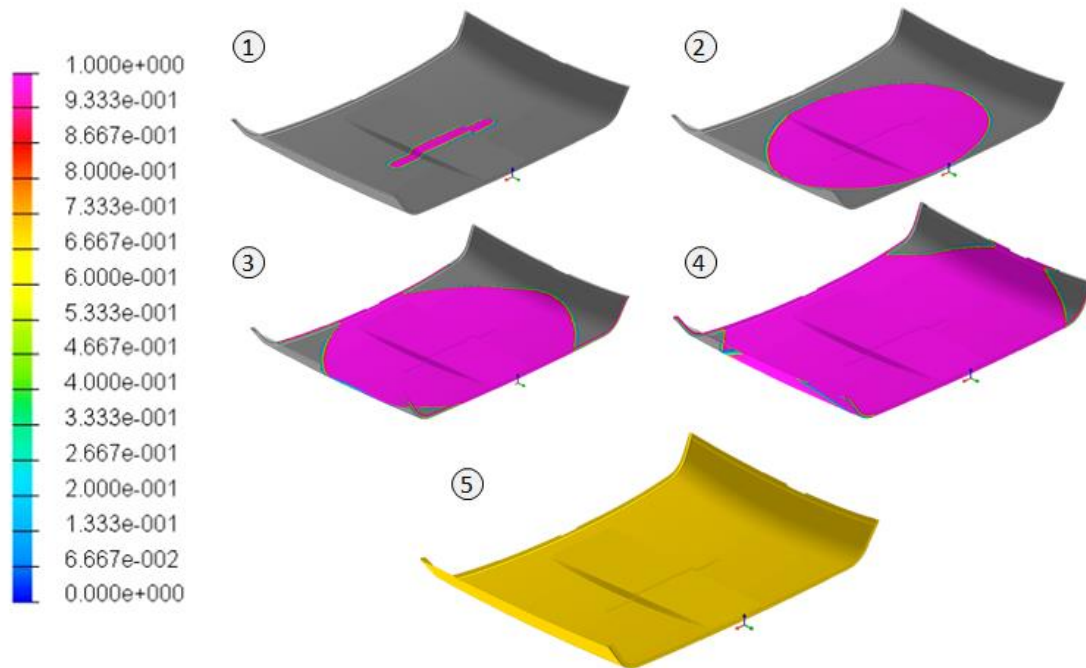
Aquest projecte no arriba a la caracterització de la permeabilitat dels materials utilitzats. Es donen uns valors de permeabilitat arbitraris que ajuden a avaluar la configuració de sistema de infusió i els possibles atrapaments d'aire però no es pot tenir un valor acurat del temps necessari per completar la infusió [4].

Així doncs per obtenir uns resultats de simulació coherents s'ha de tenir en compte que la permeabilitat dels tubs és més gran que la de la malla de repartició, aquesta és més gran que la del nucli, aquest té una permeabilitat més gran que el *peel-ply* i per últim la fibra és la que té la permeabilitat més baixa:

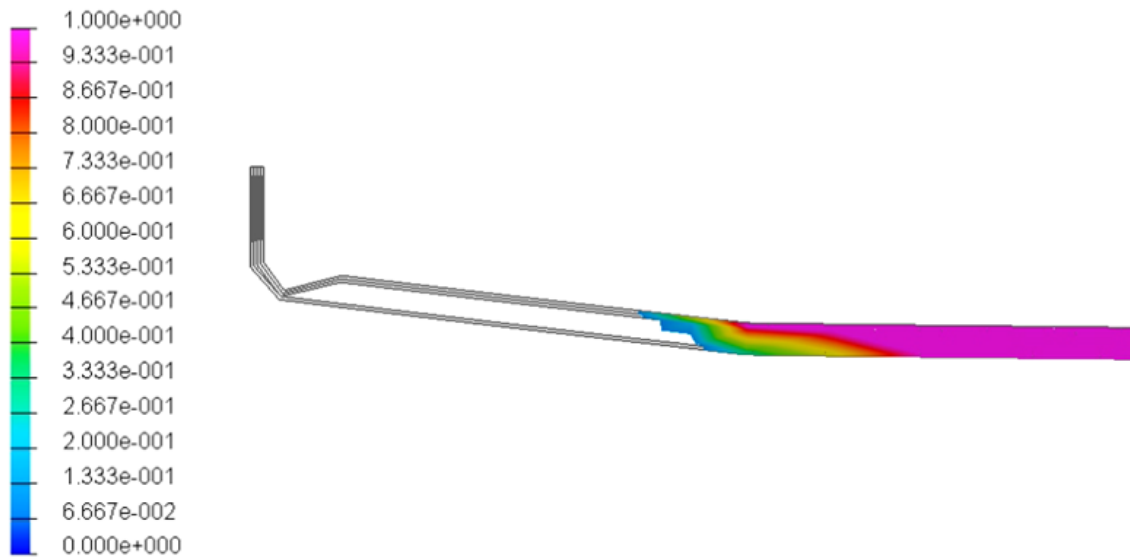
$$K_{Tubs} > K_{Malla} > K_{Nucli} > K_{Peel-ply} > K_{Fibra}$$

Eq.10.1

En la següent il·lustració es veu l'ompliment amb cinc captures en diferents moments:



Il·lustració 10.8 Vista isomètrica de la simulació del procés d'infusió de resina

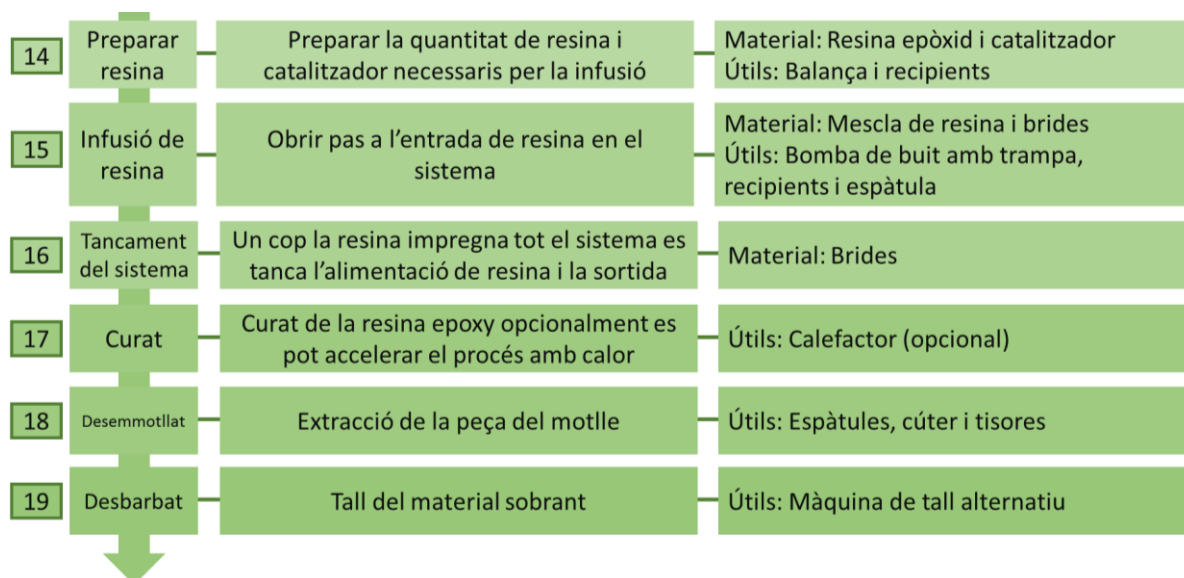


Il·lustració 10.9 Detall de com avança el front de resina en la secció

A continuació es detalla l'algoritme complet del procés d'elaboració de la pell vista amb els 19 passos necessaris.

1	Col·locar cinta segellant	Col·locació a tot el contorn del motlle la cinta segellant assegurant una bona adhesió	Material: Cinta segellant Útils: Tisores
2	Preparar motlle	Aplicació de la cera desemmotllant per etapes deixant el temps necessari entre elles i polint-les	Material: Cera desemmotllant Útils: Drap de cotó
3	Tallar formats	Preparació dels formats de fibra de carboni i nucli	Material: Fibra de carboni 240gr, fibra de carboni 199gr, nucli d'infusió de 2mm Útils: Tisores i plantilles
4	Col·locar primera capa FC	Col·locació amb l'ajut d'esprai fixador el format de fibra de carboni que serà visible amb la peça acabada	Material: Format de FC de 240gr i esprai fixador Útils: Tisores
5	Col·locar nucli	Col·locació amb l'ajut d'esprai fixador del nucli específic per la infusió de resina	Material: Format del nucli de 2mm tallat i esprai fixador Útils: Tisores
6	Col·locar reforços FC	Col·locació amb l'ajut d'esprai fixador de reforços de FC a tot el contorn de la peça solapant amb el nucli	Material: Formats de FC de 199gr i esprai fixador Útils: Tisores
7	Col·locar última capa FC	Col·locació amb l'ajut d'esprai fixador de la capa de fibra de carboni que quedarà per l'interior del sostre	Material: Format de FC de 199gr i esprai fixador Útils: Tisores
8	Tallar formats	Preparació dels formats de <i>peel ply</i> i malla d'infusió	Material: <i>Peel ply</i> i malla d'infusió Útils: Tisores
9	Col·locar capa de <i>peel ply</i>	Col·locació de la capa de <i>peel ply</i> en tota la superfície fins a la cinta segelladora	Material: Format de <i>peel ply</i> i cinta adhesiva Útils: Tisores
10	Col·locar malla de infusió	Col·locació de la malla d'infusió en tota la superfície fins a la cinta segelladora fent doble capa en els punts d'entrada/sortida	Material: Format del malla de infusió i cinta adhesiva Útils: Tisores
11	Col·locar vies de resina	Col·locació de tub espiral d'infusió i tub normal per fer les línies d'entrada i sortida de resina	Material: Tub espiral de infusió, tub PVC 6mm i cinta adhesiva Útils: Tisores
12	Segellar bossa de buit	Segellar la bossa de buit correctament fent els forats necessaris per deixar pas a les línies d'entrada i sortida de resina	Material: Bossa de buit i cinta segellant Útils: Tisores
13	Validar sistema	Un cop muntat tot el sistema cal comprovar el buit del mateix. Es recomana deixar el sistema unes hores per comprovar fuites	Material: Brides Útils: Bomba de buit i manòmetre

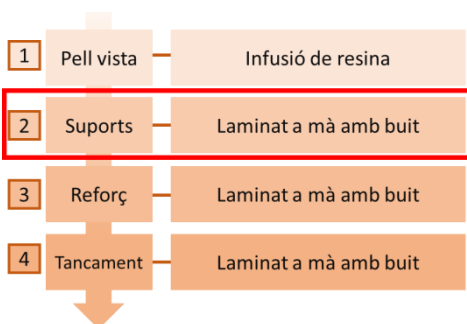
Il·lustració 10.10 Algoritme d'elaboració de la pell vista – passos 1-13



Il·lustració 10.11 *Algoritme d'elaboració de la pell vista – passos 14-19*

En l'annex E es poden veure fotos del procés d'elaboració real.

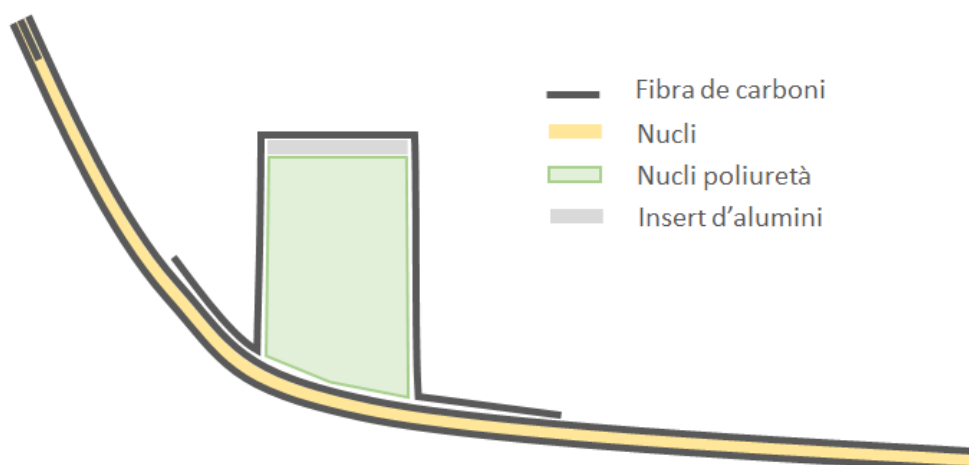
10.4. Suports de fixació



El següent pas és la elaboració dels suports de fixació. El sostre consta de quatre suports, cadascun d'ells situat a una cantonada. Aquests tenen un disseny simple que consta d'un volum rectangular amb dos inserts roscats per poder muntar la fixació al sostre.

Per elaborar-los s'utilitzarà un nucli de poliuretà rígid que donarà la forma i el volum. També s'afegeix una xapa d'alumini que servirà de reforç intern per poder inserir les femelles reblonables. Es recobrirà el conjunt amb un laminat de fibra de carboni i es farà el buit per garantir una bona adhesió entre les capes i la pell vista.

Il·lustració 10.12 *Segona etapa - Suports*

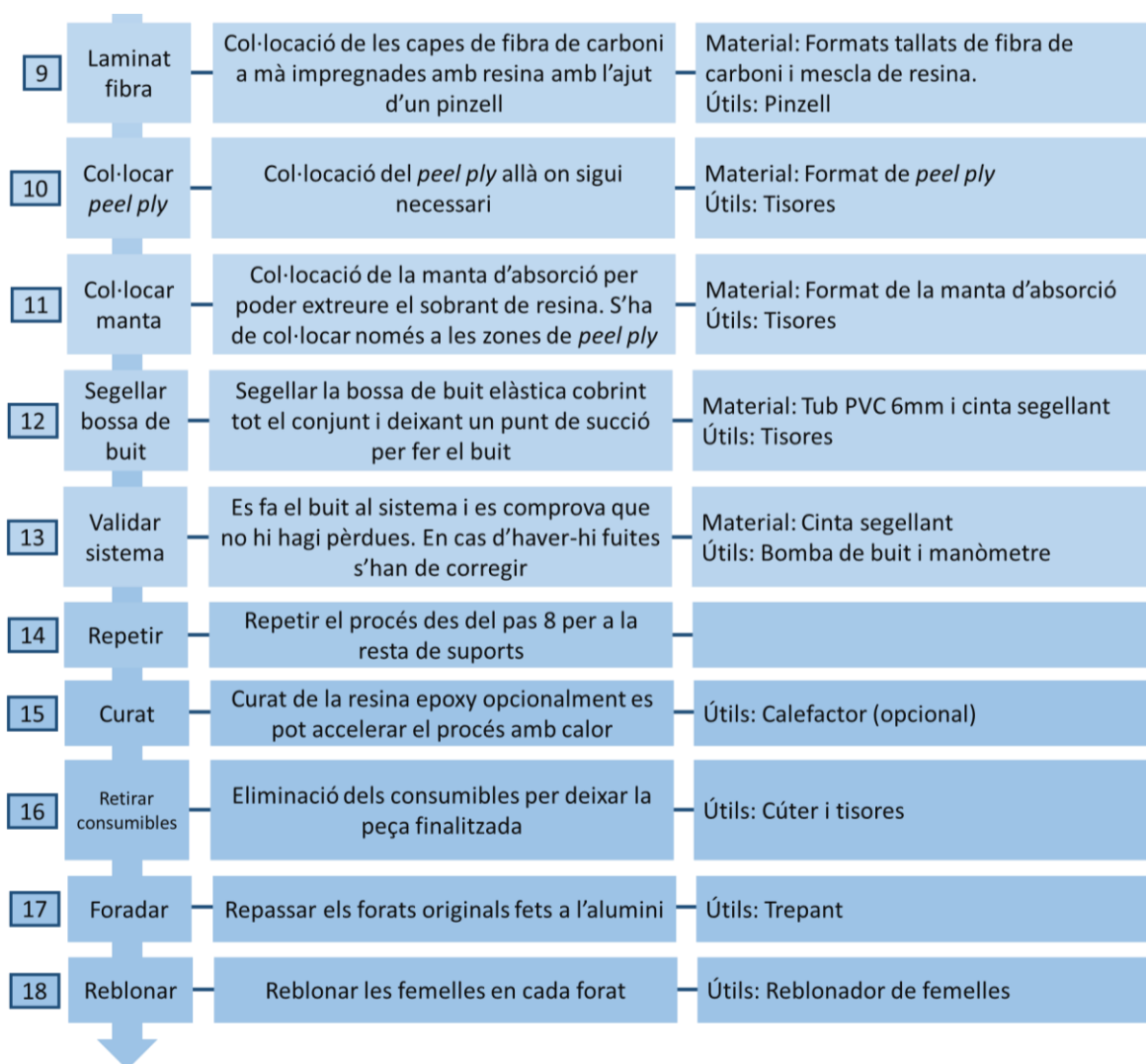


Il·lustració 10.13 *Detall de la secció del laminat d'un suport*

A continuació es detalla l'algorisme del procés d'elaboració dels suports de subjecció:

1	Tallar nuclis	Elaboració dels volums de poliuretà que serviran de nucli per donar forma al conjunt del suports	Material: Poliuretà rígid Útils: Cúter i paper de vidre
2	Posicionament	Adhesivat dels nuclis en la posició correcta en l'interior de la pell vista amb l'ajut d'unes plantilles elaborades prèviament	Material: Cola de contacte Útils: Plantilles de posicionament
3	Tallar alumini	Tallar a mida i fer els forats necessaris a les xapes d'alumini que cobreixen la part superior dels nuclis	Material: Alumini 2mm Útils: Serra i trepant
4	Col·locar alumini	Adhesivat de les xapes d'alumini en cada suport	Material: Cola de contacte
5	Tallar formats	Tallar els formats de fibra de carboni	Material: Fibra de carboni de 199gr/m ² Útils: Tisores
6	Col·locar cinta de segellat	Col·locació de la cinta de segellat al voltant de cada suport	Material: Cinta de segellat Útils: Tisores
7	Tallar consumibles	Es tallen i preparen els consumibles derivats del buit. <i>Peel ply</i> , la manta d'absorció i la bossa de buit	Material: <i>Peel ply</i> , manta d'absorció i bossa de buit Útils: Tisores
8	Preparar resina	Es prepara la quantitat de resina necessària per elaborar un suport	Material: Resina epòxid i catalitzador Útils: Balança i recipient

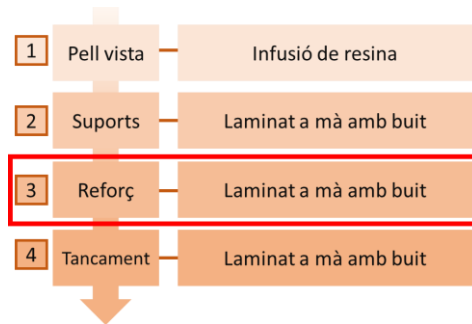
Il·lustració 10.14 *Algorisme d'elaboració dels suports – passos 1-8*



Il·lustració 10.15 Algorisme d'elaboració dels suports – passos 9-18

En l'annex E es poden veure fotos del procés d'elaboració real.

10.5.Reforç

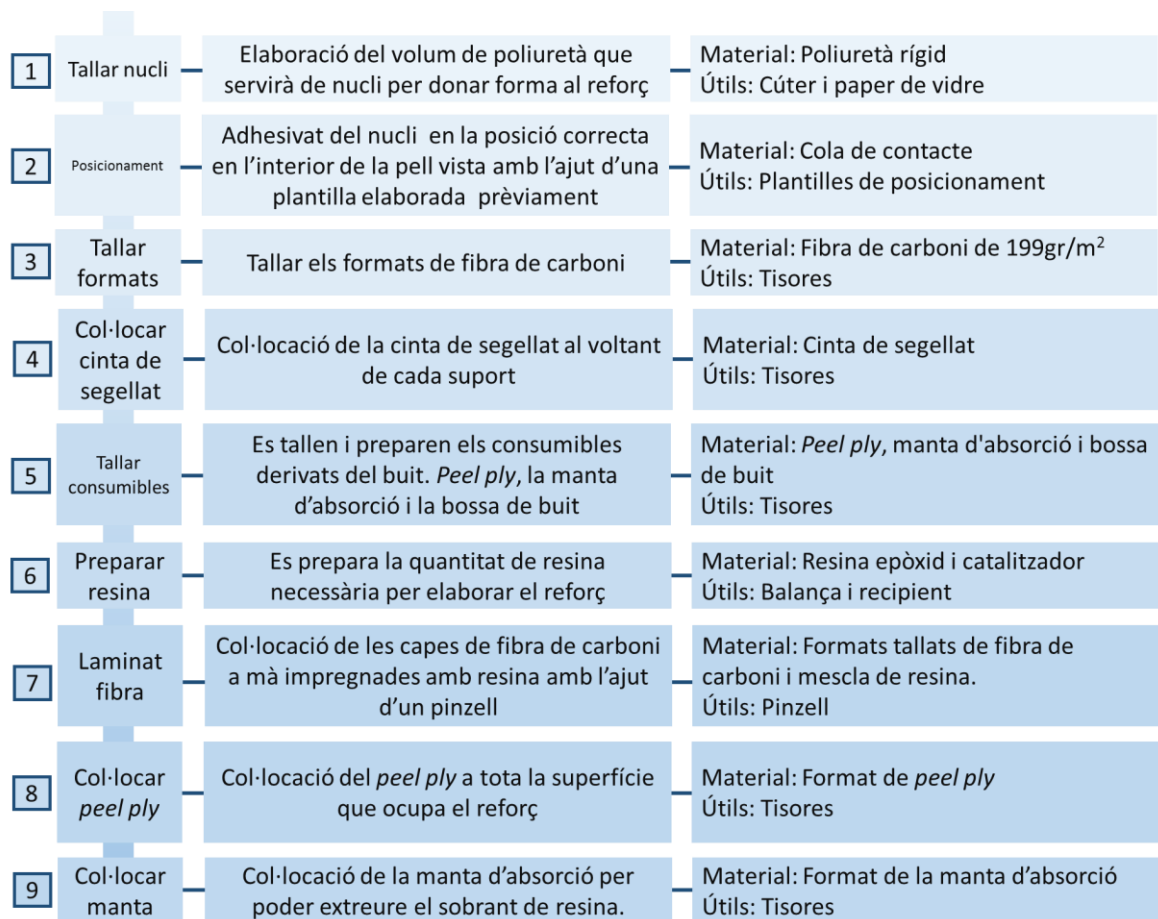


El reforç té la funció d'aportar un extra de rigidesa al conjunt ja que a altes velocitats hi ha una certa tendència de succió en el sostre per efecte de la velocitat de l'aire que pot arribar a deformar lleugerament la forma del sostre en la part posterior.

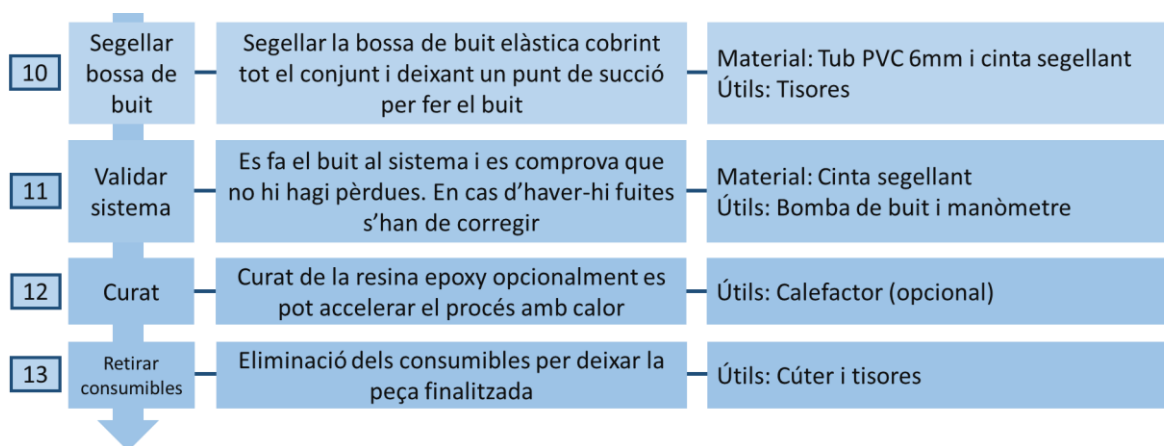
Aquest suport s'elabora pel mètode del laminat a mà amb buit i utilitzant un nucli lleuger de poliuretà rígid. Bàsicament és el mateix esquema que el laminat dels suports però sense el reforç d'alumini.

Il·lustració 10.16 Tercera etapa - Reforç

L'algoritme del procés d'elaboració del reforç consta de 13 passos:



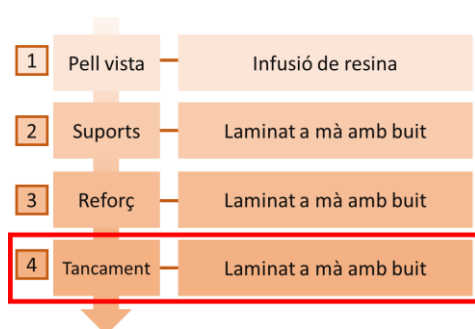
Il·lustració 10.17 Algoritme d'elaboració del reforç – passos 1-9



Il·lustració 10.18 Algoritme d'elaboració del reforç – passos 10-13

En l'annex E es poden veure fotos del procés d'elaboració real.

10.6. Tancaments



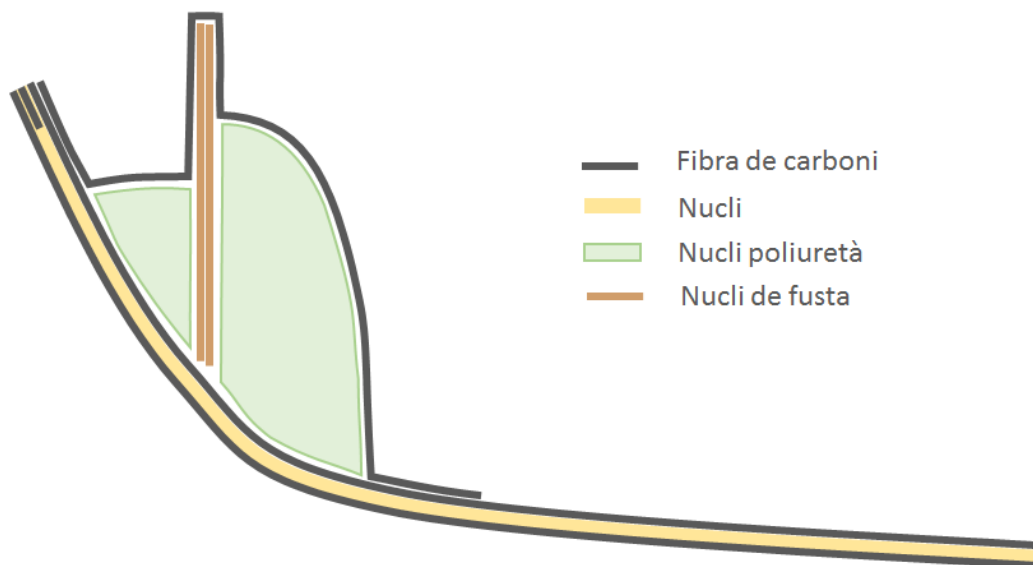
Els tancaments del sostre estan col·locats longitudinalment a cada costat del sostre i tenen la funció de suportar les gomes que ajusten el tancament del vidre de la finestra a més d'aportar rigidesa al conjunt.

Aquests han de ser suficientment estrets per no interferir amb el muntatge de barres de seguretat.

Il·lustració 10.19 Quarta etapa - Tancaments

Els tancaments s'elaboren sobre la pell vista amb un laminat a mà. Aquest tenen un nucli mixt de poliuretà rígid i fusta de balsa.

Cal donar prèviament curvatura a la fusta de balsa per adaptar-se a la forma del vidre de la finestra. Aquesta curvatura s'obté encolant varies làmines de fusta amb un motlle que dona la forma. A partir d'aquest punt l'elaboració és molt similar a la resta de components tret de la pell vista.

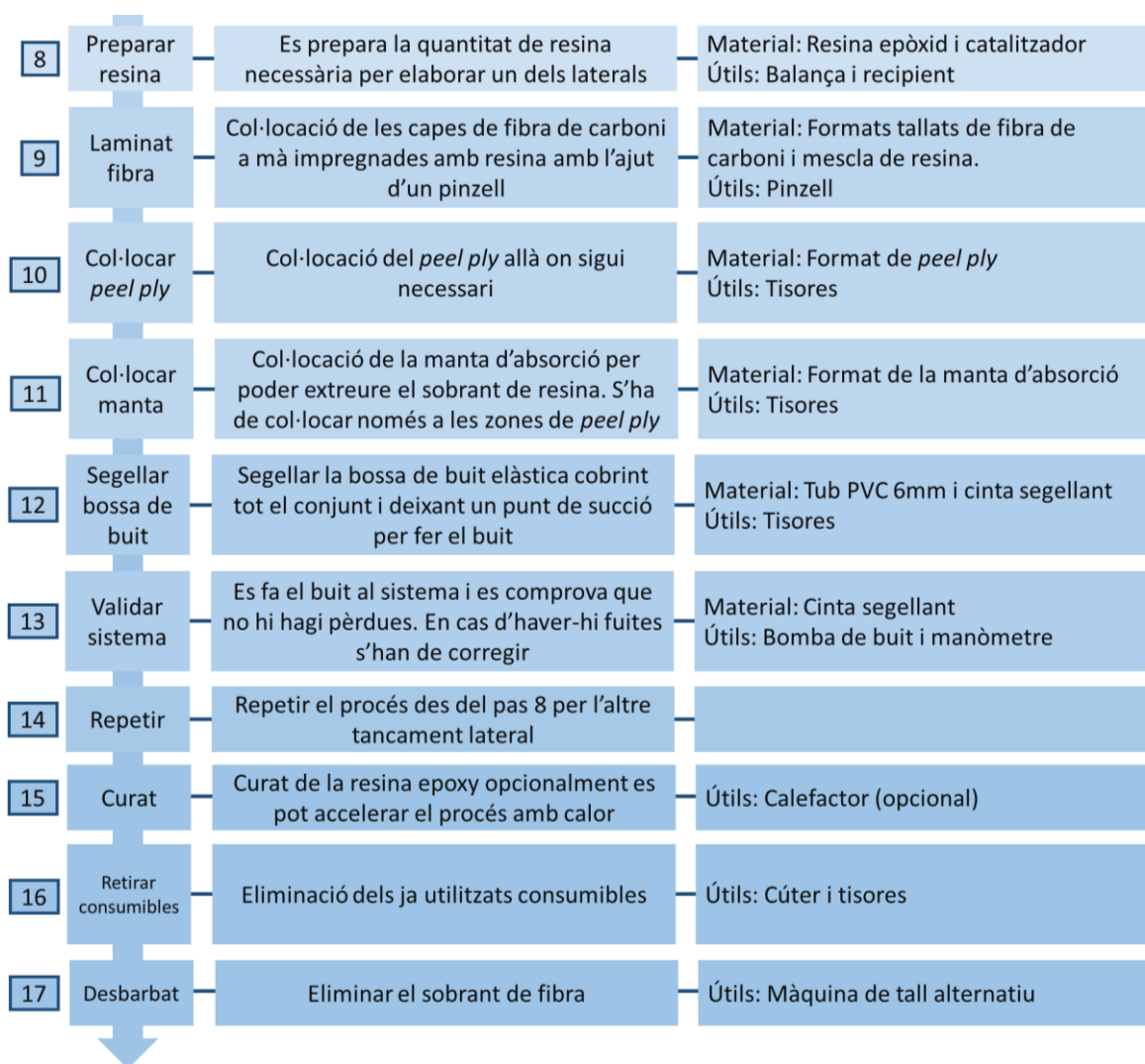


Il·lustració 10.20 *Detall de la secció del laminat d'un tancament*

A continuació es presenta l'algorisme d'elaboració dels tancaments per les finestres:

1	Tallar nuclis	Elaboració dels volums de poliuretà que serviran de nucli per donar forma al conjunt del reforç del tancament	Material: Poliuretà rígid Útils: Cúter i paper de vidre
2	Corbar nucli de fusta	Encolat de varies làmines de fusta de balsa dins del motlle específic per aconseguir la curvatura necessària	Material: Cola de contacte Útils: Làmines de fusta i motlle
3	Tallar nucli de fusta	Tallar a mida el laminat de fusta de balsa ja corbat	Material: Laminat de fusta corbat Útils: Cúter i plantilla
4	Posicionament	Adhesivat dels nuclis en la posició correcta en l'interior de la pell vista amb l'ajut d'unes plantilles elaborades prèviament	Material: Cola de contacte Útils: Plantilles de posicionament
5	Tallar formats	Tallar els formats de fibra de carboni	Material: Fibra de carboni de 199gr/m ² Útils: Tisores
6	Col·locar cinta de segellat	Col·locació de la cinta de segellat al voltant de cada tancament lateral	Material: Cinta de segellat Útils: Tisores
7	Tallar consumibles	Es tallen i preparen els consumibles derivats del buit. <i>Peel ply</i> , la manta d'absorció i la bossa de buit	Material: <i>Peel ply</i> , manta d'absorció i bossa de buit Útils: Tisores

Il·lustració 10.21 *Algorisme d'elaboració dels tancaments – passos 1-7*



Il·lustració 10.22 Algorisme d'elaboració dels tancaments – passos 8-17

En l'annex E es poden veure fotos del procés d'elaboració real.

10.7. Dimensionat de la matèria prima

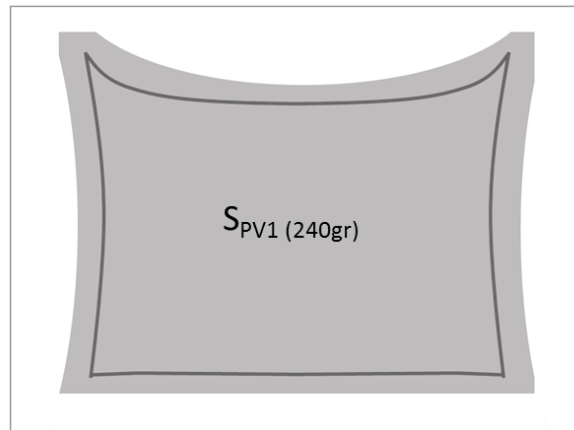
En aquest apartat es farà un càlcul aproximat del consum de fibra de carboni i resina per elaborar el sostre rígid. Es farà el càlcul de forma separada per cada una de les parts que componen el sostre.

10.7.1. La pell vista

La pell vista té unes dimensions aproximades de 90x120cm i està composta per una capa de 240gr/m² de fibra de carboni, un nucli específic compatible amb el procés d'infusió, una sèrie de reforços a tot el contorn amb fibra de 199gr/m² i finalment una capa de 199gr/m².

Amb aquestes dades es necessiten els següents formats:

- Primera capa de fibra de carboni:

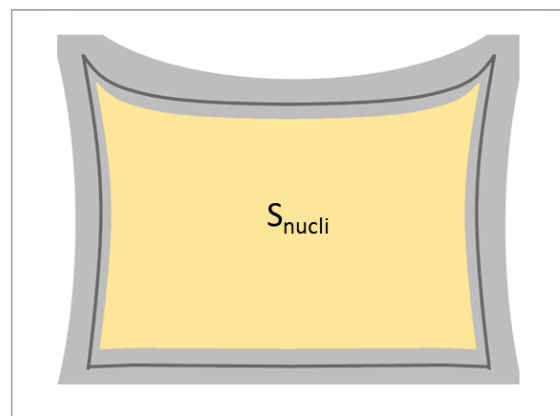


Il·lustració 10.23 *Format de la primera capa de fibra de carboni*

$$S_{PV1(240gr)} = 0.9 \cdot 1.2 = 1.08m^2$$

Eq.10.2

- Format del nucli:

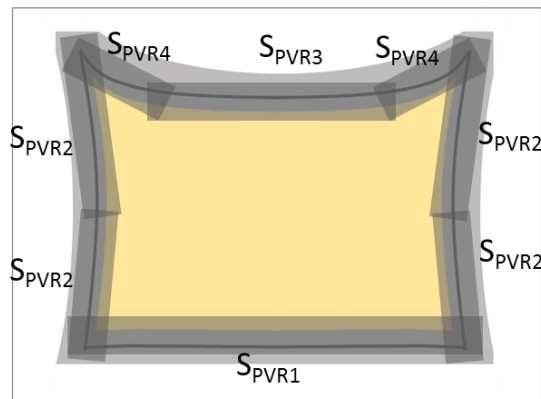


Il·lustració 10.24 *Format del nucli d'infusió*

$$S_{nucli} = 0.85 \cdot 1.15 = 0.978m^2$$

Eq.10.3

- Reforç del contorn format per varis formats més petits:



II·lustració 10.25 *Formats dels reforços*

$$S_{PVR1} = 1.2 \cdot 0.05 = 0.06m^2 \quad \text{Eq.10.4}$$

$$S_{PVR2} = 0.45 \cdot 0.05 = 0.023m^2 \quad \text{Eq.10.5}$$

$$S_{PVR3} = 0.7 \cdot 0.05 = 0.035m^2 \quad \text{Eq.10.6}$$

$$S_{PVR4} = 0.15 \cdot 0.05 = 0.075m^2 \quad \text{Eq.10.7}$$

$$S_{PVR \text{ total}} = S_{PVR1} + 4 \cdot S_{PVR2} + S_{PVR3} + 2 \cdot S_{PVR4} = \mathbf{1.165m^2} \quad \text{Eq.10.8}$$

- Última capa de carboni:



II·lustració 10.26 *Format de la última capa de carboni*

$$S_{PV2 (199gr)} = 0.9 \cdot 1.2 = \mathbf{1.08m^2} \quad \text{Eq.10.9}$$

A partir d'aquestes dades es pot calcular la resina necessària per aquesta part de la peça. Seguint la següent fórmula i tenint en compte una proporció del 60% de fibres:

$$\begin{aligned} M_{resina\ fibres} &= \frac{0.4}{0.6} \cdot (S_{PV1} \cdot \rho_1 + (S_{PVR\ total} + S_{PV2}) \cdot \rho_2) = & \text{Eq.10.10} \\ &= \frac{0.4}{0.6} \cdot (1.08 \cdot 240 + (1.165 + 1.08) \cdot 199) = 470.6gr \end{aligned}$$

$$M_{resina\ nucli} = S_{nucli} \cdot \rho_{nucli} = 0.978 \cdot 1000 = 978gr \quad \text{Eq.10.11}$$

$$M_{resina\ consumibles} = S_{PV1} \cdot \rho_{cons} = 1.08 \cdot 700 = 756gr \quad \text{Eq.10.12}$$

$$\begin{aligned} M_{resina\ total} &= M_{resina\ fibres} + M_{resina\ nucli} + M_{resina\ consumibles} = & \text{Eq.10.13} \\ &= 470.6 + 978 + 756 = \mathbf{2204.6gr} \end{aligned}$$

És a dir, tenint en compte que la proporció de catalitzador és d'un 35% del pes de la resina, es poden obtenir les següents dades:

$$R_{PV} = \frac{M_{resina\ total}}{1.35} = \frac{2204.6}{1.35} = \mathbf{1633gr} \quad \text{Eq.10.14}$$

$$K_{PV} = R_{PV} \cdot 0.35 = 1633 \cdot 0.35 = \mathbf{571.6gr} \quad \text{Eq.10.15}$$

On R_{PV} és la quantitat de resina necessària i K_{PV} la quantitat de catalitzador necessari.

10.7.2. Els suports

El sostre consta de quatre suports i cada suport està compost per tres capes de fibra de carboni de 199gr/m² amb unes dimensions de 15x15cm. Així doncs el càlcul és senzill:

$$S_{total\ suports} = 4 \cdot 3 \cdot S_{suport} = 4 \cdot 3 \cdot 0.15 \cdot 0.15 = \mathbf{0.27m^2} \quad \text{Eq.10.16}$$

Per calcular la resina necessària és més senzill que en la pell vista ja que es fa per via humida aplicant la resina amb pinzell i posteriorment fent el buit, per tant, només cal una aproximació ja que el consum pot variar depenent de la persona que fa el laminat. Normalment i per simplificar es fa el càlcul amb una proporció de fibres del 50% en aquests casos.

$$M_{resina\ suports} = S_{total\ suports} \cdot \rho_2 = 0.27 \cdot 199 = 53.73gr \quad \text{Eq.10.17}$$

Es fa la suma dels residus que s'estimen de l'ús del pinzell i altres útils:

$$M'_{resina\ suports} = M_{resina\ suports} + 25 = 53.73 + 25 = 78.73gr \quad \text{Eq.10.18}$$

És a dir, tenint en compte que les proporcions de catalitzador i resina són del 35% de catalitzador es poden obtenir les següents dades:

$$R_{suports} = \frac{M'_{resina\ suports}}{1.35} = \frac{78.73}{1.35} = \mathbf{58.32gr} \quad \text{Eq.10.19}$$

$$K_{suports} = R_{suports} \cdot 0.35 = 58.32 \cdot 0.35 = \mathbf{20.41gr} \quad \text{Eq.10.20}$$

10.7.3. El reforç

El reforç està fet pel mateix mètode que els suports però les tres capes tenen un format de 80x15cm de fibra de carboni també de 199gr/m².

$$S_{total\ reforç} = 3 \cdot S_{reforç} = 3 \cdot 0.8 \cdot 0.15 = \mathbf{0.36m^2} \quad \text{Eq.10.21}$$

I seguint el mateix procediment que amb els suports s'obté que:

$$M_{resina\ reforç} = S_{total\ reforç} \cdot \rho_2 = 0.36 \cdot 199 = 71.64gr \quad \text{Eq.10.22}$$

$$M'_{resina\ reforç} = M_{resina\ reforç} + 25 = 71.64 + 25 = 96.64gr \quad \text{Eq.10.23}$$

$$R_{reforç} = \frac{M'_{resina\ reforç}}{1.35} = \frac{96.64}{1.35} = \mathbf{71.59gr} \quad \text{Eq.10.24}$$

$$K_{reforç} = R_{reforç} \cdot 0.35 = 71.59 \cdot 0.35 = \mathbf{25.05gr} \quad \text{Eq.10.25}$$

10.7.4. Els tancaments

Cada un dels dos tancaments està format per un nucli prim de fusta que cal reforçar per les dues cares, així doncs cal tenir en compte que els formats s'han de multiplicar per quatre.

Estarà format per 3 capes de 199gr/m² en ambdues cares del nucli i el format del tancament és aproximadament de 85x20cm, així doncs:

$$S_{total\ tancaments} = 4 \cdot 3 \cdot S_{tancament} = 4 \cdot 3 \cdot 0.85 \cdot 0.20 = \mathbf{2.04m^2} \quad \text{Eq.10.26}$$

$$M_{resina\ tancaments} = S_{total\ tancaments} \cdot \rho_2 = 2.04 \cdot 199 = 405.96gr \quad \text{Eq.10.27}$$

$$M'_{resina\ tancaments} = M_{resina\ tancaments} + 25 = 405.96 + 25 = 430.96gr \quad \text{Eq.10.28}$$

$$R_{tancaments} = \frac{M'_{resina\ tancaments}}{1.35} = \frac{430.96}{1.35} = \mathbf{319.23gr} \quad \text{Eq.10.29}$$

$$K_{tancaments} = R_{tancaments} \cdot 0.35 = 319.23 \cdot 0.35 = \mathbf{111.73gr} \quad \text{Eq.10.30}$$

10.7.5. Resum de la matèria prima

En la següent taula es pot veure un resum de tota la fibra de carboni necessària especificant per quina de les parts és i de quin tipus:

Concepte	Matèria	Quantitat
Superfície pell vista 1 (S_{PV1})	Fibra carboni Twill 240	1,08m ²
Superfície pell vista 2 (S_{PV2})	Fibra carboni Twill 199	1,08m ²
Superfície pell vista reforços ($S_{PVR\ total}$)	Fibra carboni Twill 199	1,165m ²
Superfície suports ($S_{total\ suports}$)	Fibra carboni Twill 199	0,27m ²
Superfície reforç ($S_{total\ reforç}$)	Fibra carboni Twill 199	0,36m ²
Superfície tancaments ($S_{total\ tancaments}$)	Fibra carboni Twill 199	2,04m ²

Taula 10.1 Taula resum de fibra de carboni utilitzada

En la següent taula es pot veure un resum de la resina i catalitzador necessari per cada part de la peça

Concepte	Matèria	Quantitat
Resina pell vista (R_{PV})	Resina epoxy 1050	1633gr
Catalitzador pell vista (K_{PV})	Catalitzador 1056	571,6gr
Resina suports ($R_{suports}$)	Resina epoxy 1050	58,32gr
Catalitzador suports ($K_{suports}$)	Catalitzador 1056	20,41gr
Resina reforç ($R_{reforç}$)	Resina epoxy 1050	71,59gr
Catalitzador reforç ($K_{peforç}$)	Catalitzador 1056	25,05gr
Resina tancaments ($R_{tancaments}$)	Resina epoxy 1050	319,23gr
Catalitzador tancaments ($K_{tancaments}$)	Catalitzador 1056	111,73gr

Taula 10.2 Taula resum de la resina i catalitzador utilitzats

En la següent taula es fa un resum del total sense discriminar per part:

Matèria	Quantitat
Fibra carboni Twill 240	1,08m ²
Fibra carboni Twill 199	4,92m ²
Resina epoxy 1050	2082,14gr
Catalitzador 1056	728,79gr

Taula 10.3 Taula resum de fibra de carboni i resina

10.7.6. Acabats

Per finalitzar el sostre rígid només caldrà aplicar la pintura o el vernís corresponent que aporta la protecció als UV (externalització a taller professional) i col·locar les gomes que fan que el sistema quedi ben segellat per evitar l'entrada d'aigua. Així doncs s'ha de tenir en compte que cal afegir:

- Gomes que van al tancament de la porta
- Goma que segella la junta del marc del para brises amb el sostre rígid
- Goma que segella la part posterior del sostre rígid amb la coberta de l'arc de seguretat
- Envellidors per les cantonades del sostre

11. Estudi d'impacte ambiental

11.1. Interacció amb el medi ambient

Tant en l'elaboració del motlle com en la peça s'utilitzen resines que poden emetre vapors nocius per la salut i per tant cal utilitzar una protecció apropiada quan es manipulen.

També es manipula fibra de vidre i fibra de carboni en forma de teixit sec amb els riscos que es detallen en els següents punts.

11.1.1. El motlle

En l'elaboració del motlle s'utilitza fibra de vidre i resina en base polièster que conté entre un 30% i un 60% del monòmer denominat estirè. L'estirè és molt volàtil i per tant genera vapors que poden ser inhalats fàcilment durant la seva manipulació.

Aquests vapors poden tenir els següents efectes:

- **Sistema nerviós central i perifèric:** Mal de cap, vertigen, falta de concentració, fatiga, allargament del temps de reacció, somnolència, pèrdua d'equilibri i fins i tot pèrdua de coneixement en altes concentracions.
- **Ulls:** El contacte produeix irritació ocular greu, inflamació, enrogiment i llagimeig.
- **Pell:** Irritació, enrogiment i dolor, pot arribar a poder produir dermatitis si hi ha una exposició prolongada.
- **Vies respiratòries:** Irritació, tos i mal de coll.
- **Altres efectes:** En exposicions continuades pot afectar al fetge i als ronyons.

La fibra de vidre seca:

- **Ulls:** Inflamació i enrogiment.
- **Pell:** Irritació, pot arribar a provocar dermatitis si la exposició es prolongada.
- **Vies respiratòries:** Irritació, pot agreujar l'asma o la bronquitis.

11.1.2. La peça

Els gasos generats per la resina epoxy utilitzada en l'elaboració de la peça poden tenir molts efectes nocius per la salut, a continuació se'n detallen alguns:

- **Sistema nerviós central i perifèric:** Mal de cap, vertigen, falta de concentració, fatiga, allargament del temps de reacció, somnolència, pèrdua d'equilibri i fins i tot pèrdua de coneixement en altes concentracions. Aquests efectes es poden donar tan per inhalació com per absorció per contacte amb la pell.
- **Ulls:** Irritació. En cas de contacte directe pot causar danys greus.
- **Pell:** Irritació, pot produir dermatitis si l'exposició és prolongada. Es poden donar símptomes dies després de l'exposició.

- **Vies respiratòries:** Irritació, tos i mal de coll.

La manipulació de la fibra de carboni seca té el mateix risc que la fibra de vidre però més accentuat, ja que la fibra de carboni té unes dimensions molt més petites i la fan més penetrant en l'organisme. Recentment s'estan realitzant estudis que busquen la relació de la inhalació d'aquestes fibres amb el càncer.

11.2. Protecció en la manipulació de matèries durant el laminat

Tant per l'elaboració del motlle com de la peça es farà ús del mateix tipus d'elements de protecció individual.

Per protegir les vies respiratòries s'utilitza una màscara amb doble filtre de carboni actiu que ajuda a filtrar els gasos, vapors i partícules.



Il·lustració 11.1 – Mascareta de protecció FFP2

Per protegir el contacte tant de resines com de fibres directament amb la pell s'utilitzen guants de nitril d'un sol ús i un vestit de protecció química.



Il·lustració 11.2 - *Guants de nitril i vestit de seguretat*

Finalment s'utilitzen unes ulleres de seguretat per evitar un possible contacte amb els ulls.



Il·lustració 11.3 - *Ulleres de seguretat*

11.3. Accions preventives en la manipulació de les matèries

- La manipulació de les resines sempre es fa en una sala degudament ventilada.
- Evitar treballar amb una temperatura de la sala elevada.
- Evitar exposició del sol.
- S'utilitzen contenidors específics per l'emmagatzematge d'aquests tipus de materials.
- Utilitzar els elements de protecció individuals.
- Tenir una font d'aigua neta a prop de la zona de treball.
- Mantenir la zona de treball neta.
- Seguir els algorismes dissenyats per evitar errors que puguin conduir a situacions de perill.

11.4. Tractament de residus

Els residus generats durant el projecte són variats però en poca quantitat. En total només s'ha generat una bossa d'escombraries i és per aquest fet que no s'ha considerat un sistema de reciclatge.

Tot i així existeixen diferents maneres de reciclar els materials compostos a gran escala.

Dues de les formes més comuns de reciclatge són la piròlisi de la resina i la digestió de la resina. D'aquesta manera s'aconsegueix separar la fibra de la resina i la fibra es pot reutilitzar en altres aplicacions amb menors requeriments.

El sistema de piròlisi consisteix en cremar el material compost mitjançant un procés amb atmosfera controlada que evita la degradació total de la fibra.

La digestió de la resina, en canvi, consisteix en un atac químic controlat que afecta exclusivament la matriu de resina.

Darrerament està creixent el mercat d'aquest tipus de fibra reciclada o de segona generació, això ha fet que apareguin nous processos de conformat per aquest tipus de fibres i nous teixits exclusius. El sector del automòbil és el que més interès està mostrant en aquest aspecte.

12. Pressupost

En el pressupost d'aquest projecte només es tindrà en compte el material utilitzat i la mà d'obra per obtenir el model, el motlle i la peça final.

No es tindrà en compte l'equipament específic que pot reutilitzar-se en altres projectes.

12.1. Resum del pressupost amb conceptes principals

Concepte	Unitats	Preu unitari	Total
MODEL			450 €
Material			450 €
MOTLLE			165,18 €
Material			48,18 €
Mà d'obra			117,00 €
PEÇA ACABADA			866,01 €
Pell Vista			302,83 €
Material			230,83 €
Mà d'obra			72,00 €
Suports fixació			95,55 €
Material			32,55 €
Mà d'obra			63,00 €
Reforç			45,16 €
Material			27,16 €
Mà d'obra			18,00 €
Tancaments			311,91 €
Material			122,91 €
Mà d'obra			189,00 €
Acabats			110,56 €
Material			92,56 €
Mà d'obra			18,00 €
ALTRES CONSUMIBLES			18,18 €
Material			18,18 €
IVA 21%			314,87 €
TOTAL			1.814,24 €

Taula 12.1 *Conceptes principals del pressupost*

12.2. Detall del pressupost del model

Concepte	Unitats	Preu unitari	Total
MODEL			545 €
Model original	1	450 €	450 €
IVA 21%	0,21	450,00 €	94,50 €

Taula 12.2 Pressupost del model

12.3. Detall del pressupost del motlle

Concepte	Unitats	Preu unitari	Total
MOTLLE			199,87 €
Polipropilè cel·lular	2	4,47 €	8,94 €
Gelcoat	2,5	7,27 €	18,18 €
Resina de polièster	2,8	3,80 €	10,64 €
Fibra de vidre MAT	6,3	1,65 €	10,41 €
Mà d'obra	13	9,00 €	117,00 €
IVA 21%	0,21	165,18 €	34,69 €

Taula 12.3 Pressupost del motlle

12.4. Detall del pressupost de la peça acabada

Concepte	Unitats	Preu unitari	Total
PEÇA ACABADA			1.047,87 €
Pell Vista			366,42 €
Twill 240	1,1	46,28 €	50,91 €
Twill 199	2,3	42,98 €	98,84 €
Resina epoxy 1050	1,7	13,22 €	22,48 €
Catalitzador 1056	0,6	26,45 €	15,87 €
Nucli soric	0,8	12,81 €	10,25 €
Bossa de buit	1	4,88 €	4,88 €
Tub 6mm	4,5	1,65 €	7,44 €
Tub espiral 6mm	4	0,83 €	3,31 €
Taqui tape	5	0,66 €	3,31 €
Conectors Y	3	1,49 €	4,46 €
Peel ply	1	5,37 €	5,37 €
Malla de buit	1	3,72 €	3,72 €
Mà d'obra	8	9,00 €	72,00 €
IVA 21%	0,21	302,83 €	63,59 €
Suports fixació			115,62 €
Twill 199	0,3	42,98 €	12,89 €
Resina epoxy 1050	0,06	13,22 €	0,79 €
Catalitzador 1056	0,025	26,45 €	0,66 €
Bossa buit elàstica	0,8	5,37 €	4,30 €
Taqui tape	6	0,66 €	3,97 €
Peel ply	0,45	5,37 €	2,42 €
Manta buit	0,6	3,72 €	2,23 €
Xapes alumini	4	0,41 €	1,65 €
Nucli Poliuretà	4	0,41 €	1,65 €
Femelles reblonables	8	0,25 €	1,98 €
Mà d'obra	7	9,00 €	63,00 €
IVA 21%	0,21	95,55 €	20,07 €
Reforç			54,64 €
Twill 199	0,4	42,98 €	17,19 €
Resina epòxid 1050	0,075	13,22 €	0,99 €
Catalitzador 1056	0,03	26,45 €	0,79 €
Bossa buit elàstica	0,4	5,37 €	2,15 €
Taqui tape	2,5	0,66 €	1,65 €
Peel ply	0,3	5,37 €	1,61 €
Manta buit	0,3	3,72 €	1,12 €
Nucli Poliuretà	1	1,65 €	1,65 €
Mà d'obra	2	9,00 €	18,00 €
IVA 21%	0,21	45,16 €	9,48 €

Taula 12.4 Pressupost peça acabada (part1)

Tancaments			377,41 €
Twill 199	2,1	42,98 €	90,25 €
Resina epòxid 1050	0,33	13,22 €	4,36 €
Catalitzador 1056	0,12	26,45 €	3,17 €
Bossa buit elàstica	1	5,37 €	5,37 €
Taqui tape	6	0,66 €	3,97 €
Peel ply	0,2	5,37 €	1,07 €
Manta buit	0,4	3,72 €	1,49 €
Nucli Poliuretà	2	1,65 €	3,31 €
Nucli de fusta lleugera	4	2,48 €	9,92 €
Mà d'obra	21	9,00 €	189,00 €
IVA 21%	0,21	311,91 €	65,50 €
Acabats			133,78 €
Goma vidre	2	14,88 €	29,75 €
Goma davant	1	2,48 €	2,48 €
Goma darrere	1	2,48 €	2,48 €
Embellidors	2	2,48 €	4,96 €
Cinta doble cara	2	1,65 €	3,31 €
Vernissat	1	49,59 €	49,59 €
Mà d'obra	2	9,00 €	18,00 €
IVA 21%	0,21	110,56 €	23,22 €

Taula 12.5 Pressupost peça acabada (part2)

12.5. Detall del pressupost de consumibles no reutilitzables

Concepte	Unitats	Preu unitari	Total
ALTRES CONSUMIBLES			22,00 €
Guants	10	0,08 €	0,83 €
Pinzells	5	0,83 €	4,13 €
Acetona	1	4,13 €	4,13 €
Cera desemmotllant	1	4,13 €	4,13 €
Drap de cotó	1	1,65 €	1,65 €
Paper absorbent	1	3,31 €	3,31 €
IVA 21%	0,21	18,18 €	3,82 €

Taula 12.6 Pressupost altres consumibles

12.6.PVP d'una sèrie curta

Aquest projecte utilitza tecnologies de fabricació per una sèrie de producció curta, és per això que es calcula un preu de venda al públic per una sèrie de només quatre sostres rígids. fent servir les dades presentades.

Concepte	Unitats	Preu unitari	Total
PVP			1.444,35 €
Amortització model	0,25	450,00 €	112,50 €
Amortització motlle	0,25	165,18 €	41,30 €
Sostre rígid	1	866,00 €	866,00 €
Consumibles	1	18,18 €	18,18 €
Marge de benefici	0,15	1.037,98 €	155,70 €
IVA 21%	0,21	1.193,68 €	250,67 €

Taula 12.7 Estimació del PVP

Conclusions

El projecte ha complert tots els objectius marcats.

El sostre és totalment compatible amb el muntatge de barres de seguretat i més lleuger que les opcions originals.

El sostre rígid original de fibra de vidre pesa 10,5kg, mentre que la versió de tela pesa 4,6kg. El sostre de fibra de carboni obtingut pesa 2,8kg, això significa una reducció de pes del 73% i el 40% respectivament.

Després de realitzar quatre prototips el motlle presenta algun defecte. Es creu que és degut a les contraccions del material resultants dels cicles tèrmics (reacció exotèrmica) que pateix el motlle durant l'elaboració de les peces.

Per aquest motiu es recomana fer un nou motlle utilitzant resines amb base vinilèster. Aquestes resines són més cares però tenen millors propietats mecàniques i una baixa distorsió degut a les contraccions.

Altrament s'ha comprovat que el sostre presenta alguns punts dèbils que caldrà corregir en futurs prototips afegint reforços puntuals.

Agraïments

Primerament agrair el suport tant anímic com a nivell econòmic per part de la comunitat de propietaris d'Opel Speedster a nivell estatal. Ells han fet possible aquest projecte.

També m'agradaria agrair la participació de Susana González ja que sense ella tot hagués sigut molt més difícil. Ella ha participat activament en els passos més crítics del procés d'elaboració i ha aportat un punt de vista femení al projecte.

Altrament i no de manera directa en aquest projecte he d'agrair a Josep Oriol Basomba, Alex Barrachina, Pablo Ollés, Adrian Fischer, Gerard Mosquera i Pep Martínez que han estat una peça clau a l'hora d'ajudar-me a decidir com traslladar aquest projecte personal a un projecte final de carrera.

A Emili Hernández per fer fàcil la gestió del projecte adaptant-se a les meves necessitats en tot moment.

Per últim, a totes aquelles persones que m'han assessorat tan en l'elecció dels processos com en els materials.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] Molded Fiber Glass, *Technical Design Guide for FRP Composite Products and parts - Techniques & Technologies for Cost Effectiveness*
- [2] HEXCEL, *HexPly® Prepreg Technology*.
- [3] NASA, *A Summary And Review of Composite Laminate Design Guidelines 1997*
- [4] Justin B. Alms, Nuno Correia, Suresh Advani, Edu Ruiz, *Experimental Procedures to Run Longitudinal Injections to Measure Unsaturated Permeability of LCM Reinforcements*

Bibliografia complementària

NASA, *A Summary And Review of Composite Laminate Design Guidelines 1997*

S.J. Pickering, *Recycling technologies for thermoset composite materials*

Donald M. Lasell, Think Composites, L.L.C. Palm Harbor, FL *Part and Mold Design Guidelines for the High Volume Compression Molding of Carbon Fiber Reinforced Epoxy*

BASF, *Part and Mold Design Guidelines for the High Volume Compression Molding of Carbon Fiber Reinforced Epoxy*

www.compositesworld.com

<https://compositesuk.co.uk/>

www.resinascastro.com

www.lotushardtops.com

<http://www.speedsterclub.nl/bibliotheek/technische%20documentatie/tis/>

www.easycomposites.com

www.esi-group.com