

Treball de Fi de Grau

## **Titulació**

# **Creació d'una taula de paddle surf modular**

## **MEMÒRIA**

**Autor:** Guillem Carner i Jordi Casanellas  
**Director:** Carlos Sierra  
**Convocatòria:** Gener 2022



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

El treball que trobareu en aquesta memòria recull tot el procés de disseny d'una taula rígida de paddle surf modular. L'objectiu perseguit és facilitar la pràctica del paddle surf, mitjançant un producte que manté les característiques bàsiques de les taules existents, però facilitant-ne el transport.

La finalitat és per tant, idear un sistema d'unió entre mòduls que permeti desmuntar la taula de forma pràctica i, a la vegada, ofereixi les millors prestacions possibles per a la pràctica del Stand-Up Paddle.

Per a fer-ho possible, hem seguit els següents passos: en primer lloc, hem realitzat un estudi de mercat a fi de conèixer els productes actuals, les seves fortaleses i les seves debilitats. Tot seguit, hem definit la geometria de la nostra taula, el nombre de mòduls que la componen així com el seu mecanisme d'unió i el material utilitzat. Finalment, mitjançant els programes d'anàlisi ANSYS i SOLIDWORKS hem estudiat les prestacions del nostre disseny i optimitzat el pes.

Arribats a aquest punt, hem detallat el procés a seguir per a la fabricació de la taula. A més, mitjançant una impressora 3D, hem imprès un model a escala per a poder tenir un punt de vista més realista del nostre treball.

Per últim, hem fet un estudi d'impacte ambiental i un breu anàlisi econòmic del projecte. De tot plegat, n'hem extret les conclusions on també proposem aspectes de millora.

## Resumen

El trabajo que encontraréis a continuación, en esta memoria, recoge todo el proceso de diseño de una tabla rígida y modular de paddle surf. El objetivo es facilitar la práctica del paddle surf mediante un producto que mantenga las características básicas de las tablas ya existentes, pero facilitando su transporte.

La finalidad es, por lo tanto, idear un sistema de unión entre los módulos que permita desmontar la tabla de forma práctica, y a su misma vez, ofrezca las mejores prestaciones posibles para la práctica del Stand-Up Paddle.

Para ello, hemos seguido el siguiente proceso: en primer lugar, hemos realizado un estudio de mercado para poder conocer los productos actuales, sus fortalezas y sus debilidades. Después, hemos definido la geometría de la tabla, el número de módulos que la compondrán, así como su mecanismo de unión y el material utilizado. Finalmente, mediante los programas de análisis ANSYS y SOLIDWORKS hemos estudiado las prestaciones del diseño i optimizado el peso de la tabla.

Llegados a este punto, hemos detallado el proceso a seguir para la fabricación de la tabla. Además, mediante una impresora 3D, hemos imprimido un modelo a escala para poder tener un punto de vista más realista de nuestro trabajo.

Por último, hemos realizado un estudio de impacto ambiental y un breve análisis económico del proyecto. De todo ello, hemos extraído las conclusiones donde también hemos enumerado alguna propuesta de mejora.

## Abstract

This report compiles the entire design process of a modular rigid paddle surfboard. The objective is to facilitate the practice of paddle surfing, by means of a product that maintains the basic characteristics of existing boards as well as facilitating the transport.

The aim of the work is therefore, to devise an assembly system between modules that allows the user to experience the best possible performance of Stand-Up paddle, but also to dismantle the board in a practical way for transportation.

To make this possible, in the design phase we have taken the following steps: firstly, we carried out market research to assess the current products' strengths and weaknesses. Next, we defined the geometry and number of modules for our board, the assembly mechanism and the material to be used. Finally, using the ANSYS and SOLIDWORKS analysis programs, we have studied the performance of our design to optimise the weight.

Following the design phase, we have detailed the manufacturing process for the board, as well as printing a scaled model to allow for a more realistic view of our work using a 3D printer.

To conclude we have carried environmental and economic analysis of the design. From all this, we have drawn the conclusions where we also propose aspects for improvement.

# Sumari

<b>RESUM</b>	<b>2</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>4</b>
<b>SUMARI</b>	<b>5</b>
<b>1. PREFACI</b>	<b>7</b>
1.1. Origen del projecte .....	7
1.2. Motivació .....	8
<b>2. INTRODUCCIÓ</b>	<b>9</b>
2.1. Objectius del projecte .....	9
2.2. Abast del projecte.....	10
<b>3. ESTUDI DE MERCAT</b>	<b>11</b>
3.1. Modalitats, anatomia i tipus de taules .....	11
3.2. Materials i fabricació.....	15
3.3. Normativa aplicable.....	16
<b>4. PROPOSTA INICIAL</b>	<b>17</b>
4.1. Requeriments i restriccions .....	17
4.2. Geometria de la taula .....	18
<b>5. DISSENY</b>	<b>19</b>
5.1. Nombre de mòduls .....	19
5.2. Unió entre mòduls .....	20
5.3. Material.....	23
5.4. Simulacions .....	25
5.4.1. Estudi de pressions.....	25
5.4.2. Estudi de tensions.....	27
5.4.3. Càlculs analítics .....	34
5.5. Optimització del disseny.....	37
5.5.1. Reducció del pes .....	37
5.5.2. Estudi de tensions.....	39
5.6. Procés de fabricació .....	41

6.	Planificació del projecte .....	44
7.	Impressió 3D .....	45
8.	Impacte Ambiental.....	46
9.	Estudi econòmic .....	48
<b>CONCLUSIONS</b>	_____	<b>51</b>
<b>AGRAÏMENTS</b>	_____	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	_____	<b>54</b>





# 1. Prefaci

## 1.1. Origen del projecte

Tot i que pot semblar que el paddle surf és un esport mil·lenari, pràcticament contemporani al surf, no és així. Trobem l'origen del paddle surf o SUP (Stand Up Paddle) a la dècada dels 40. A les illes de Hawaii, els instructors de surf, van començar a emprar la pròpia taula de surf ajudats d'un rem per a poder guiar als alumnes durant les sessions de pràctica.

Des de la seva creació fins al 1990, la pràctica d'aquest esport es va veure totalment focalitzada al mateix arxipèlag on va ser creat. Va ser durant la dècada dels 90 quan, surfers de renom, van contemplar la possibilitat d'utilitzar la modalitat del paddle surf com a entrenament per al surf en dies de poques onades. Per mitjà del SUP podien millorar la seva forma física i, a més, podien treure més rendiment a les sessions de Tow-in<sup>1</sup>.

Aquesta tendència va créixer entre els professionals del surf, fet que va suposar que s'implementessin millores per a maximitzar-ne l'eficiència. Així, el que inicialment eren taules de surf de tàndem ajudats de remos de canoa, van esdevenir taules i remos específics de paddle surf. L'any 2004 es va produir la primera competició de SUP i, aquest mateix any, Archie Kalepa, un conegut professional del surf, va creuar per primer cop el canal de Molokai amb un SUP.



*Figura 1: Pràctica de paddle surf*

---

<sup>1</sup> Pràctica de surf en la qual s'utilitza un mitjà de transport extern, com una moto d'aigua, per a remolcar el surfer.

Pel que fa a Espanya, el paddle surf va arribar l'any 2006, tot i que fins el 2008 no era un esport massa conegut ni tenia massa seguidors. Des de llavors, el creixement ha estat exponencial i, actualment, es pot trobar arreu del país, escoles i botigues de lloguer i venda de material per a practicar paddle surf.

Actualment, podríem definir el paddle surf com un esport que té per objectiu el desplaçament sobre una superfície aquàtica. L'esportista, que es situa damunt de la taula, s'ajuda del rem per a poder avançar. És un esport molt complet, ja que involucra molts músculs durant la seva realització. A més, s'adapta molt bé a totes les edats i característiques físiques de les persones, fet que ha permès que darrerament, sigui considerat un dels esports de moda.

## 1.2. Motivació

Creiem que per realitzar un projecte com el treball de fi de grau, en el qual s'hi ha de dedicar molt temps i esforç, la motivació és un factor molt important per aconseguir un bon resultat final. Des de ben petits l'esport ha estat present en les nostres vides, permetent-nos viure les nostres millors experiències, aprendre i adoptar un estil de vida saludable en tots els sentits. És per això que teníem molt clar, des de un principi, que el nostre tema del treball de fi de grau havia mantenir una estreta relació entre l'esport i l'enginyeria.

Actualment, els dos som practicants d'esports relacionats amb el SUP i per tant som conscients dels obstacles que cal superar i en quins aspectes poden facilitar-ne la seva pràctica. En aquest sentit, hem pensat en aplicar els coneixements adquirits durant la carrera, en oferir a tots els usuaris, més facilitats per a practicar paddle surf i les seves variants.

Així doncs, vam creure molt adequat enfocar el treball en la *creació d'una taula de paddle surf modular*, amb la qual obtenir les bones prestacions d'una taula rígida, i la comoditat pel que fa al transport que té un taula inflable. D'aquesta manera, podrem aplicar diversos coneixements que hem après al llarg del grau, com pot ser treballar amb eines de disseny com el *Solid Works*, programes de simulació de fluids i esforços com l'*Ansys*.

## 2. Introducció

### 2.1. Objectius del projecte

Podem distingir els objectius enfocats al model, és a dir, allò que volem que aporti i caracteritzi el model que dissenyarem, i els objectius del treball.

Pel que fa al producte, ens proposem dissenyar una taula modular de manera que qualsevol practicant de SUP pugui disposar-ne i transportar-la sense dificultat.

Els objectius que perseguim en aquest aspecte són:

- Dissenyar una taula de paddle surf modular, permetent al usuari que la pugui muntar i desmuntar amb facilitat.
- Oferir un producte pràctic, de manera que, sense importar el mitjà de transport de què disposi l'usuari, aquest no sigui un problema.
- Idear una taula rígida i desmuntable, oferint les bones prestacions d'una taula rígida i la comoditat d'una inflable.

Per altra banda, els objectius del treball estan relacionats amb l'estudi dels factors necessaris per assegurar el correcte funcionament de la taula, o el que és el mateix, assolir els punts comentats anteriorment.

Tenint en compte que el temps per desenvolupar aquest projecte és limitat, sumat a la complexitat que comporta la creació d'una taula de SUP modular, ens hem proposat, en primer lloc crear un prototip a escala. Aquest, al tenir unes dimensions considerablement més petites, el podrem obtenir mitjançant impressió 3D, i ens permetrà extreure un seguit de conclusions sobre allò que està bé, i que cal millorar o modificar. Paral·lelament, tractarem de proposar i estudiar, com fabricar la taula a escala real.

## 2.2. Abast del projecte

Per a poder assegurar que cobrim tots els punts importants del projecte, cal determinar quins seran tractats i quins altres descartem.

Pel que fa a la mecànica aplicable, tindrem en compte les forces provinents de l'aigua i el pes de l'usuari.

Sobre el disseny de la taula, realitzarem diferents estudis sobre els materials ja existents i emprats per a la creació de taules SUP per tal de trobar la opció més òptima. Mes endavant, buscarem una geometria adequada per a que un usuari novell en aquest esport, el pugui practicar sense cap problema.

Queda fora del treball, doncs, tot factor extern com el vent, les onades o altres factors similars que puguin alterar-ne el funcionament. Tampoc s'estudiarà la màxima eficiència hidrodinàmica de la taula, ja que el públic a qui va dirigit el producte es un públic no expert en aquest esport.

Pel que fa a la sortida al mercat de la taula, al ser un producte de geometria complexa i de difícil fabricació, creiem que són necessaris més estudis per a comprovar si el projecte és viable.

Finalment, tampoc ens centrarem en el rem ni en la quilla, ja que considerem molt mes important centrar-nos en la taula, que es la part on més avenços podem proposar.

### 3. Estudi de mercat

#### 3.1. Modalitats, anatomia i tipus de taules

Existeixen diferents taules de paddle surf, les quals s'adapten a les diferents modalitats que existeixen. D'aquesta manera, trobem:

- Taules per a onades: les quals són més petites i ofereixen una major maniobrabilitat per a poder surfejar onades.
- Taules Allround: de mida i forma ideals per a tot aquell que s'estigui iniciant en el món del paddle surf.
- Taules de Touring. Són les que s'utilitzen per a rutes llargues. Tenen una forma més allargada i són més estables per a afavorir travessies de llarga durada.
- Taules de Race: són les més estretes i ofereixen una geometria òptima per afavorir la velocitat i maniobrabilitat.

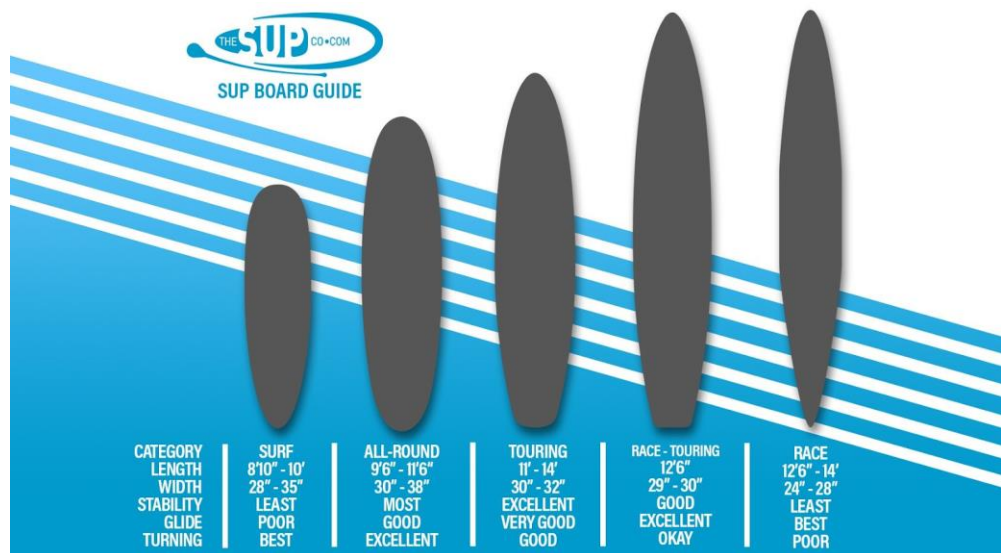


Figura 2: Tipus de taules i mesures

Pel que fa a la taula, en podem distingir les següents parts:

- Nose: És la part frontal o proa de la taula.
- Stance: Part de la taula on ens situem per remar.
- Tail: Cua o popa de la taula.
- Deck: És la part superior de la taula.
- Bottom: És la part inferior de la taula.
- Rails: Són les cantonades de la taula.
- Handle: És la cinta o orifici que serveixen per a poder transportar la taula.
- Quilles: Són els elements que ens permet guiar i donar direcció a la taula.



Figura 3: Parts d'una taula de SUP

Quan parlem del perfil d'una taula de SUP, utilitzem el terme *Rocker*, que fa referència a la curvatura des del *nose* al *tail*. Aquesta curvatura, pot ser més o menys pronunciada, conseqüentment, el comportament de la taula serà diferent: Un *Rocker* pronunciat, ens permet girar amb més facilitat i superar les onades amb més efectivitat davant d'un mar picat, però perdrem velocitat, ja que la pròpia curvatura crearà més resistència al avançar.



Figura 4: Perfils de taula de paddle surf

Si analitzem com afecta la curvatura en la part posterior de la taula, un Tail Rocker major ens aportarà més maniobrabilitat, ja que facilita la compensació del pes quan estem girant, però de la mateixa manera que el Nose Rocker, ens restarà velocitat.

En quant als tipus de taules, podem distingir entre les rígides i les inflables. A continuació analitzem els avantatges i Inconvenients que ens ofereixen cadascuna, mitjançant la següent taula comparativa:

	<b>Taula rígida</b>	<b>Taula inflable</b>
<b>Avantatges</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Major rigidesa.</li> <li>-Més estabilitat amb menor gruix.</li> <li>-Més agilitat i millor resposta.</li> <li>-No hi ha pèrdues d'aire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Es pot plegar, fent molt còmode el seu transport.</li> <li>-En general són més econòmiques.</li> </ul>
<b>Inconvenients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- És més sensible als cops i rascades.</li> <li>-No la podem plegar, fent més complicat el seu transport.</li> <li>- Pesa més que una taula inflable de dimensions semblants.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Al ser menys rígida, cal augmentar-ne el gruix per aconseguir una bona estabilitat.</li> <li>-Perill de punxar la taula o pèrdues d'aire.</li> <li>-Cal invertir temps en plegar-la, inflar-la, etc.</li> <li>-Són més inestables, no absorbeixen tant bé els cops de les onades i els nostres moviments.</li> </ul>

*Taula 1: Avantatges i inconvenients de taules rígides i inflables*

En trets generals, doncs, podem resumir que una taula rígida en aporta millors prestacions, però té com a gran inconvenient respecte a una taula inflable la seva dificultat a l'hora de transportar-la.



## 3.2. Materials i fabricació

Principalment existeixen 5 tipus de materials-procés de construcció per a les taules de Paddle Surf i cadascun d'ells pot tenir variants en funció del fabricant: Fusta, AST (Advanced Sandwich Technology), Full PVC<sup>2</sup>, Carboni i modelades.

A continuació explicarem, de manera general els principals mètodes de construcció i com hi intervenen els diferents materials emprats. Hem de tenir en compte que cadascuna d'elles té moltes variants i que cada fabricant utilitza els seus propis processos.

Wood Sandwich: Aquestes taules es laminen intercalant capes de fusta i fibra de vidre. Com més làmines inclou, més durabilitat i resistència, però pesa més. Acostumen a portar un reforç extra de PVC a la zona central de la taula, on l'usuari es posiciona per remar. Solen ser taules molt resistents, lleugeres i es pot aconseguir una estètica especial en el cas que es vegi la fusta.

AST (Advanced Sandwich Technology): És una tecnologia molt semblant a l'anterior, en aquest cas però, sí que s'utilitza un nucli de EPS<sup>3</sup> laminat, amb varies capes de fibra de vidre i alguna de fusta, per afegir resistència a la zona del stance. No es fan servir làmines de PVC i són les taules de SUP més comunes.

Full PVC Sandwich: Inclouen un recobriment complet de PVC d'alta densitat, que en algunes ocasions pot ser més lleuger que el carboni i oferir millors prestacions. En alguns models d'alta gama, es sol combinar el carboni i PVC.

---

<sup>2</sup> PVC (Polyvinyl Chloride) significa policlorur de vinil

<sup>3</sup> EPS (Expandable Polystirene) significa poliestriè expandit

Carboni: Utilitzen únicament carboni o combinacions de carboni amb fibra de vidre. L'àrea del stance acostuma a venir reforçada amb PVC o fins i tot, alguns models presenten un recobriment complet d'aquest material. Són taules molt resistents, rígides i lleugeres gràcies al carboni, però el seu preu és bastant elevat i solen ser les més cares del mercat. Són les taules que ofereixen millors prestacions.

Extrusió i Rotomodelatge: Aquestes taules es construeixen fent servir motlles on s'hi injecta polietilè per donar forma a la capa exterior plàstica. La extrusió fa servir escuma de poliuretà, mentre que les taules rotomodelades estan buides (tipo kayak), amb una capa exterior molt gruixuda i resistent. Amb aquests mètodes aconseguim taules pesades i de baixes prestacions.

### **3.3. Normativa aplicable**

Pel que fa a la pràctica del SUP, no existeixen gaires restriccions al ser un esport practicat a mars i rius o llacs.

Referent als usuaris que practiquen paddle surf al mar, han de ser conscients de la zona on la poden practicar així com l'horari durant el qual poden navegar. Pel que fa a platges grans on abunden els banyistes, els usuaris de SUP només poden practicar l'esport durant el dia dins del recinte delimitat per les boies grogues, de manera que s'assegura la seguretat de tot aquell que no disposa de taula.

Per altra banda, a les platges menys concorregudes que no disposin de boies, només es pot practicar paddle surf fins a 5 milles respecte la sorra.

Mes enllà del mar, també es practica paddle surf a rius i llacs. En ambdós casos, la legislació vigent preveu que tot aquell usuari que hi navegui, ha de disposar de permís concedit per la confederació hidrogràfica corresponent, i per tant s'ha d'omplir una declaració responsable.

## 4. Proposta inicial

### 4.1. Requeriments i restriccions

Havent estudiat el món del paddle surf i tot i la seva gran evolució, seguim veient un gran inconvenient: per a poder practicar aquest esport es necessita disposar de la taula, que és d'una longitud aproximada d'entre 300 i 330 cm, fet que suposa un obstacle per a tot aquell que no viu a prop de cap espai on es pot practicar.

És per això, que ens hem proposat dissenyar una taula modular de manera que es puguin reduir les dimensions de cara al transport i sigui fàcilment muntable quan es vulgui utilitzar.

Per altra banda, per a assegurar la pràctica segura de l'esport, hem de mantenir les prestacions que s'ofereixen actualment. Així doncs, haurem de trobar el material i geometria adequats per a la fabricació de la taula, de manera que aquesta tingui bones característiques de flotabilitat, rigidesa i pes.

Pel que fa al material, donarem prioritat a aquells que ofereixin millors condicions de reciclatge i generin menys residus.

## 4.2. Geometria de la taula

Pel que fa a la geometria de la taula, hem apostat per un tipus Allround, per tal de poder dirigir-nos a un públic ampli. Aquesta, és la forma és la més adequada per a tot aquell que s'estigui iniciant en aquest esport, gràcies a la gran maniobrabilitat que ofereixen el bottom i el nose arrodonits.

Així doncs, ens hem adaptat als paràmetres de longitud, amplada i gruix que ofereixen les taules d'aquest estil: la longitud sol oscil·lar entre els 9 i els 11 peus (aproximadament 274cm i 335cm) mentre que l'amplada sol ser d'entre 30 i 34 polzades (aproximadament 76cm i 87cm). Per últim, el gruix és d'entre 5 i 6 polzades (12cm i 15cm).

En el nostre cas, i tal i com s'observa a les figures, les dimensions que emprarem són: 305cm x 84cm x 12cm.

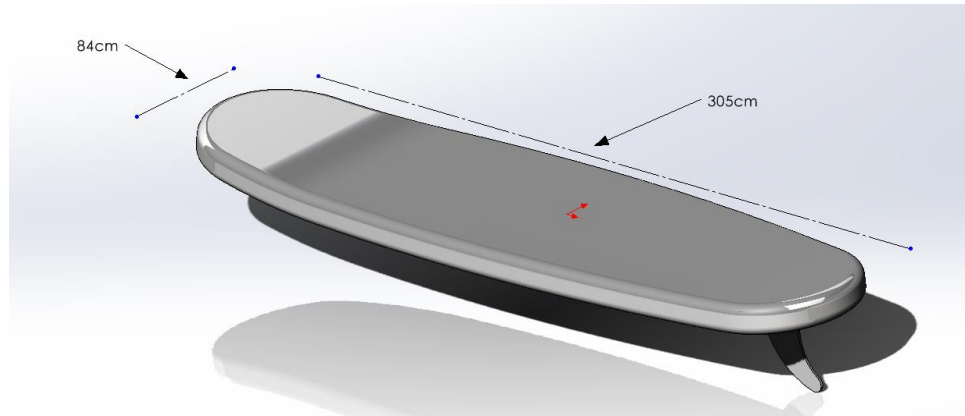


Figura 5: Amplada i longitud de la taula

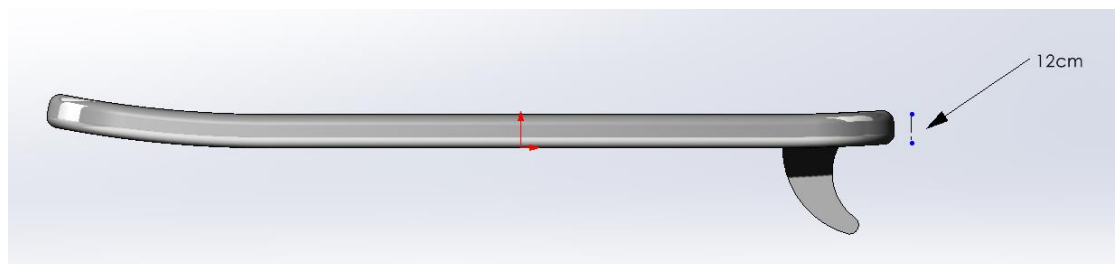


Figura 6: Gruix de la taula

## 5. Disseny

### 5.1. Nombre de mòduls

Com ja s'ha esmentat anteriorment, l'objectiu del treball és crear una taula rígida i desmuntable. Considerant la longitud de 3,05 metres de llargada, cal trobar el nombre adequat de mòduls que formaran la taula. Així doncs, descartem dividir la taula en dues peces ja que la mida de cadascuna d'elles (1,5m aproximadament) no permetria el seu transport de forma pràctica, que és un dels objectius que perseguim. Per altra banda, tampoc considerem adequat un nombre molt gran de mòduls per diferents motius: per la pèrdua de rigidesa que comportaria, per la poca comoditat que oferiria a l'hora del muntatge, per l'augment de seccions crítiques que presentaria la taula i per la major dificultat que comportaria la seva fabricació.

Tenint en compte que descartem fabricar la taula amb 2 mòduls i per tal de minimitzar els inconvenients que es presenten al augmentar el nombre de peces que conformen la taula, considerem que dividir el prototip en 3 parts és la opció més viable.

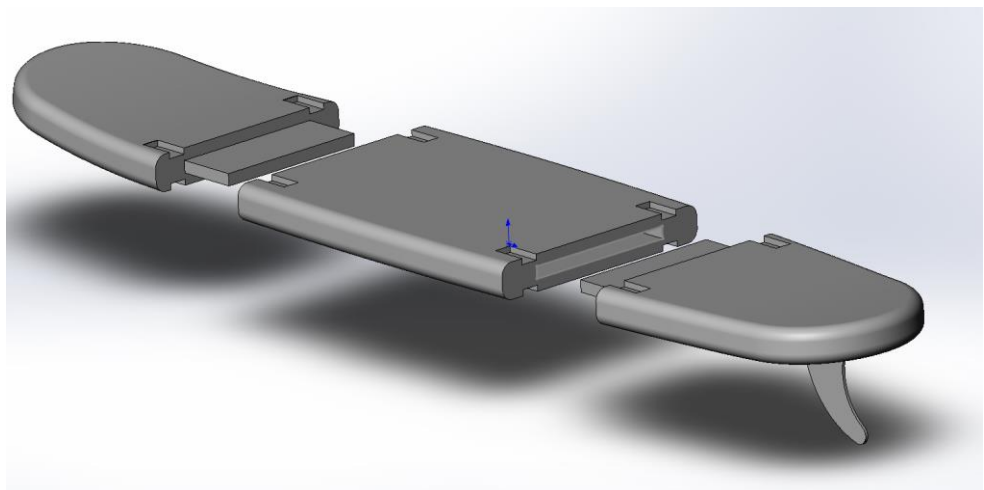


Figura 7: Taula dividida en 3 mòduls

## 5.2. Unió entre mòduls

Un cop decidit el nombre de mòduls, cal trobar un mecanisme eficient d'unió que assegurí que la taula no cedirà a les tensions ni es separarà durant el seu ús. És per aquest motiu, que les peces presentaran una estructura eix-guia de manera que part del nose i del tail quedin introduïts dins el *deck*. Amb aquesta geometria busquem prevenir la fallada per flexió.

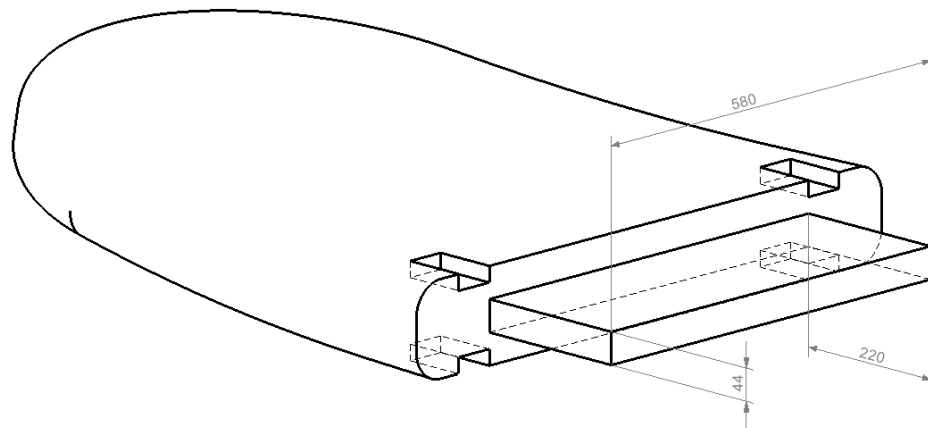


Figura 8: Mesures en mm de l'eix

A més, per a poder mantenir les 3 peces unides durant la pràctica del SUP, col·locarem 8 mecanismes de pestell-palanca, 4 d'ells mantindràn destinats a unir el *nose* i el *deck*, mentre que els 4 restants uniràn el *tail* amb el *deck*.

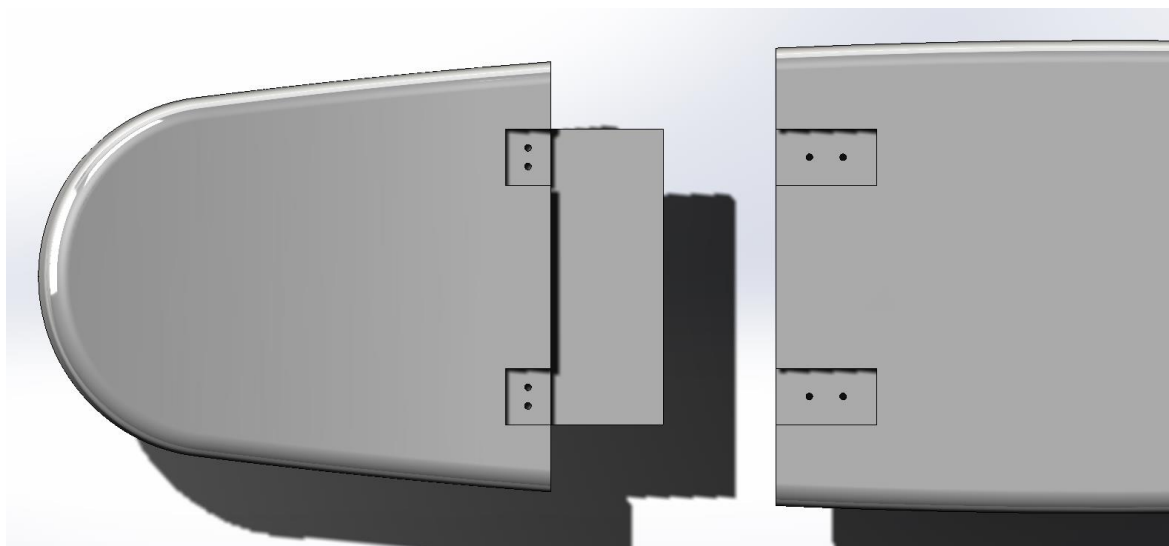


Figura 9: Orificis per als mecanismes d'unió

Els mecanismes de pestell-palanca, que es fixen amb cargols a la taula, se situaran als orificis tal i com es pot apreciar a la figura 9.



Figura 10: Mecanismes pestell-palanca

Finalment, pel que fa a la quilla, apostem pel mecanisme de fixació US Box. Aquest és el més estès en aquest esport i ofereix un fàcil manteniment i reparació. A més, al ser emprat tant per taules de paddle surf com per taules de surf, facilita trobar recanvis a qualsevol botiga especialitzada en aquests esports.

Amb aquest sistema, fixem la guia on introduïrem la aleta central amb un clau. Posteriorment, podrem posar i treure la quilla de forma ràpida i senzilla.



Figura 11: Mecanisme de fixació US BOX



### 5.3. Material

Com hem explicat anteriorment, existeixen diferents materials i processos de fabricació per a les taules de SUP. Tots ells, però, tenen en comú que el model final al qual s'arriba és directament un únic sòlid. En el nostre cas, en canvi, hem de fabricar 3 mòduls per separat, que gràcies al seu disseny i mecanisme d'unió entre ells (veure apartat 5.2), acaben conformant la taula de SUP. Conseqüentment, cap de les formes convencionals de fabricació són aplicables al nostre model.

Per la selecció del material hem de tenir en compte un seguit de requisits: en primer lloc, cal que presenti bones característiques de flotabilitat. En segon lloc, al tenir el model una geometria complexa, cal que el material sigui fàcilment manipulable amb els mitjans de què disposem. Per a poder arribar al màxim públic possible, volem que el preu no sigui excessivament elevat. També tenim en compte la densitat del material, ja que per a poder assegurar un transport fàcil i pràctic de la taula, cal que el pes total sigui el mínim possible. Finalment, hem considerat més apropiats els materials que tenen un impacte més baix sobre el medi ambient.

Per veure quin és el material que millor s'adapta a les necessitats que hem exposat, procedirem de la següent manera: Seleccionarem un llistat amb els materials més comuns emprats per a la fabricació de taules de SUP. En segon lloc, assignarem un percentatge a cadascun dels 5 requisits que hem explicat (com més alt sigui el percentatge assignat, més importància li estem donant). Per últim, puntuarem els materials en cada apartat, amb una escala del 1 al 5, que ens permetrà obtenir una puntuació final.

Pes de cada factor:

1. Flotabilitat: 30%
2. Manipulabilitat: 30%
3. Preu: 20%
4. Densitat: 10%
5. Sostenibilitat: 10%

Hem considerat que la flotabilitat i la manipulabilitat han de tenir un pes més elevat que la resta de requisits, ja que és essencial que la taula floti i que siguem capaços d'elaborar un procés constructiu factible.

	<i>Flotabilitat</i>	<i>Manipulabilitat</i>	<i>Preu</i> [€/m <sup>3</sup> ]	<i>Densitat</i> [kg/m <sup>3</sup> ]	<i>Sostenibilitat</i>	<i>Resultat</i>
<b><i>Fusta de Paulownia</i></b>	5	3	4	4	4	4,1
<b><i>Fibra de vidre</i></b>	5	1	4	3	2	3,1
<b><i>Fibra de carboni</i></b>	5	1	1	3	1	2,4
<b><i>Polietilè</i></b>	5	1	4	4	5	3,5

Taula 2: Comparació de materials

Com observem a la taula, la fusta de Paulownia és el material que aconseguim un millor resultat. Aquesta presenta grans característiques de resistència a l'aigua salada. A més, és fàcilment accessible i creiem que pot ser la millor opció a l'hora de fer un disseny innovador, gràcies a que és un material que no requereix grans recursos per a treballar-lo. Per tots aquests motius, serà el que utilitzarem per al disseny de la taula.

## 5.4. Simulacions

### 5.4.1. Estudi de pressions

Per a poder observar el comportament de la taula així com les pressions que l'aigua aplicarà sobre la taula, hem fet una simulació mitjançant SolidWorks Flow Simulation del model.

Per això, hem considerat un volum de control de 30x30x10 metres per a assegurar-nos que no apareixeran singularitats durant la simulació.

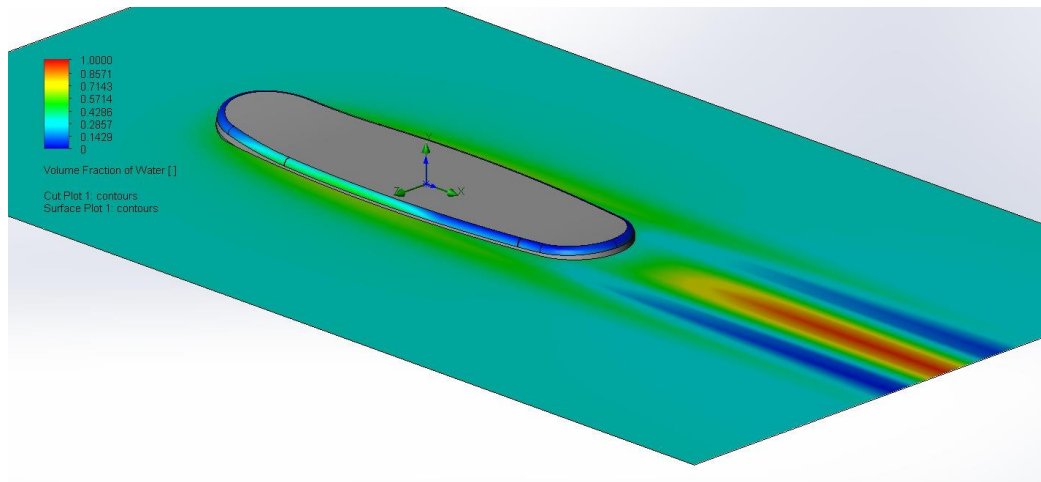
- Pel que fa a especificacions de la simulació:
- Hem considerat l'aigua com a fluid laminar i turbulent.
- Hem submergit un 25% del volum de la taula.
- Hem considerat una rugositat de 16 micròmetres per a la fusta de Paulownia.
- La taula es troba flotant sense cap persona a sobre, és a dir, només interactua amb l'aire i amb l'aigua.
- Hem suposat una velocitat de la taula de 3m/s.



Figura 12: Diagrama de pressions relatives

De la simulació creiem que és interessant veure la poca influència de l'aigua sobre la taula. Com observem a la figura 12, la pressió relativa al voltant de la taula és molt petita, fet que ens permetrà negligir-la en els futurs anàlisis de tensió.

A més, també podem comprovar com interactua el conjunt taula-fluid.



*Figura 13: Comportament de la taula sobre l'aigua*

A la figura 13, es pot veure el volum d'aigua desplaçat per la taula al moure's amb una velocitat lineal de 3m/s.

### 5.4.2. Estudi de tensions

Per a poder garantir que la peça no fallarà quan se li apliquin les tensions degudes a la pràctica del paddle surf, hem estudiat el seu comportament davant de situacions similars a les que es trobarà realment amb el programa ANSYS.

Per a fer-ho de forma pràctica, hem tingut en compte les següents hipòtesis:

- Considerem que les tensions a l'eix longitudinal són prou grans com per a negligir les tensions normals. Així doncs, podem considerar la fusta com a material isotròpic<sup>4</sup>, fet que simplifica els càlculs i la simulació.
- Considerem que les forces (pes, empenyiment i reaccions) es poden interpretar com a pressions repartides al llarg d'una superfície determinada.
- Per a poder fer els anàlisi mitjançant ANSYS, hem d'assegurar que la taula no es traslladarà durant la simulació i per això, aplicarem les condicions de contorn que escaiguin en cada estudi.
- Considerem que el pes de la persona és de 80Kg.

---

<sup>4</sup> Un material és isotròpic quan les seves propietats mecàniques i tècniques són iguals en totes les seves direccions

#### 5.4.2.1. Estudi de tensions a tota la taula

Per a la primera simulació, volem trobar quines són les tensions de la taula.

Hem utilitzat un element SOLID184 amb gruix per a definir la geometria de la taula i hem aplicat les constants de la fusta de Paulownia: mòdul de Young de 5600 MPa i coeficient de Poisson de 0.4. El mallat ha estat de mida 6 amb un refinament posterior per a més precisió de resultats. Per últim, hem tingut en compte les següents condicions:

- Simplifiquem la geometria de la taula a una planxa amb gruix definit.
- Establim dues condicions de contorn per a assegurar que ANSYS pugui fer la simulació:
  - Fixem el punt inferior esquerra tant en la direcció vertical com en la direcció horitzontal.
  - Fixem el punt inferior dret en la direcció vertical.
- Distribuïm l'empenyiment per tota la superfície inferior de la taula.
- Distribuïm el pes per una superfície de longitud 450mm.

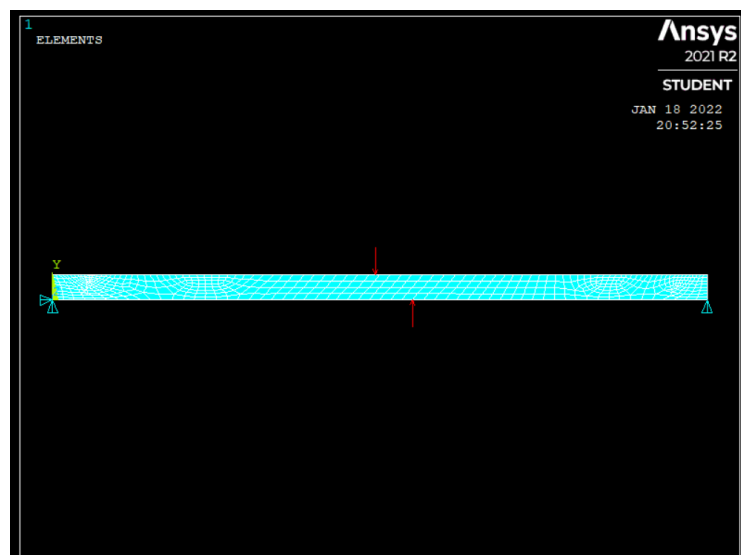


Figura 14: Forces i condicions de contorn aplicades al programari ANSYS

Obtenim els resultats següents:

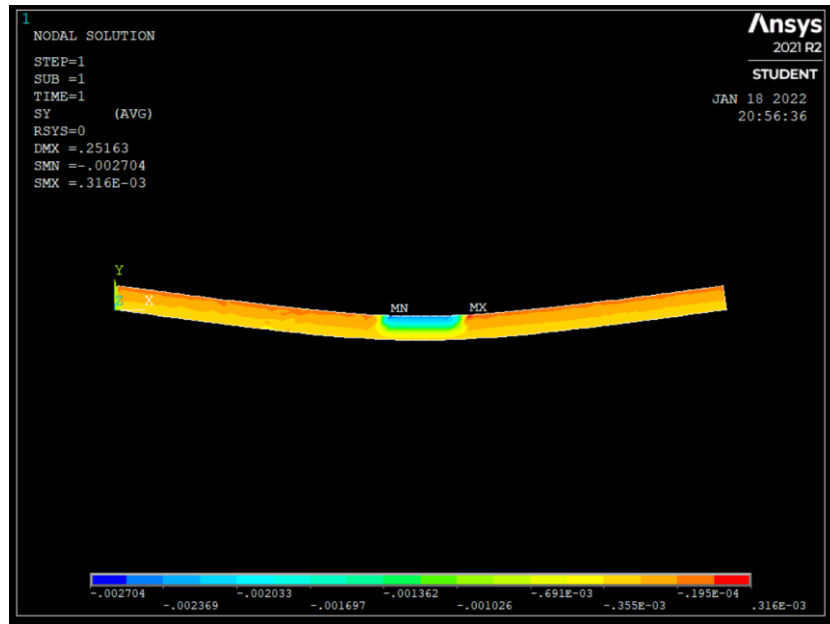


Figura 15: Diagrama de tensions de la peça

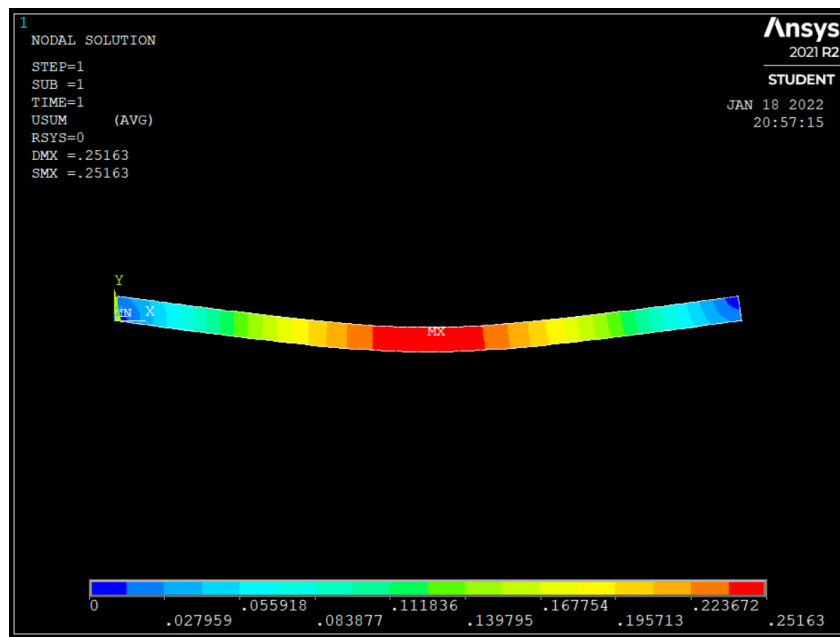


Figura 16: Diagrama de desplaçaments de la peça

Observem que les tensions màximes (0.027 MPa) són molt inferiors a la tensió de ruptura de la fusta de Paulownia (aproximadament 27MPa). A més, aquestes es troben a punts molt propers a les unions dels mòduls i és per això que haurem d'estudiar amb més detall aquesta secció.

Pel que fa als desplaçaments, són gairebé nuls (el desplaçament màxim és de 0.25163 mm) fet que ens permet afirmar que la taula és prou rígida com per a suportar el pes sense fallar.

#### 5.4.2.2. Estudi de tensions a la unió entre mòduls

Un cop estudiada la peça sencera, aquest cop, estudiarem si les unions entre mòduls són prou sòlides per a suportar les tensions.

Ara, l'estudi serà en 3D utilitzant l'element SOLID188 i aplicant el mateix mòdul de Young i coeficient de Poisson. Pel que fa al mallat, la mida d'elements és de 6 i apliquem un refinament moderat a la peça.

Per a poder realitzar la simulació, hem tingut en consideració el següent:

- Considerem que els dos mòduls dels extrems de la taula es comporten igual i per tant podem estudiar un dels dos i estimar que l'altre es comportarà de la mateixa manera.
- Simplifiquem la geometria de la peça per a facilitar la simulació.
- Igual que en l'estudi de la taula, imposarem dues condicions de contorn per a assegurar que la peça no es traslladi:
  - Fixem la línia inferior esquerra de la peça en les 3 direccions.
  - Fixem la línia inferior dreta de la peça en l'eix vertical.
- Considerem que la peça es fabrica d'acord amb el model creat amb SOLIDWORKS i per tant les unions no presenten joc.

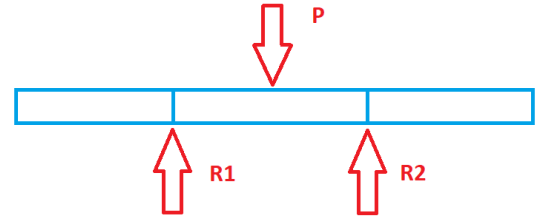


Per a poder aplicar la pressió corresponent a la força de reacció que apareix com a resultat del pes, cal que trobem el valor numèric de les reaccions.

Aplicant la segona llei de Newton en l'eix vertical i considerant que la peça es troba en repòs i aplicant el sumatori de moments al centre de gravetat de la peça, obtenim:

$$\sum F = 0; P = R1 + R2$$

$$\sum_{CG} M(ext) = 0; R1 * d - R2 * d; R1 = R2$$



$$P = R1 + R1; R1 = \frac{P}{2} = 392N$$

D'aquesta manera, i coneixent la superfície de la peça que s'introdueix al mòdul central (veure apartat 5.2) trobem la pressió que apliquem i obtenim:

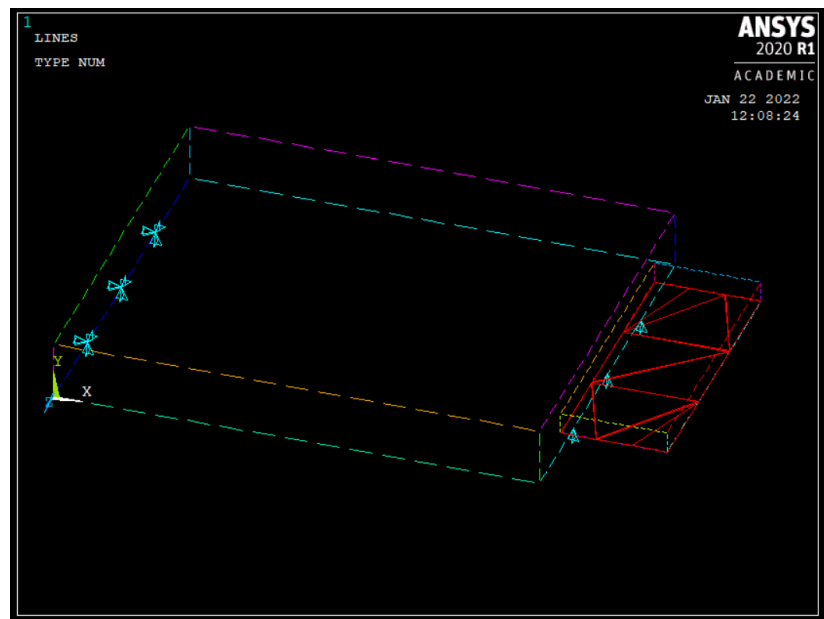


Figura 17: Condicions de contorn aplicades al mòdul

Simulant amb aquestes condicions, obtenim:

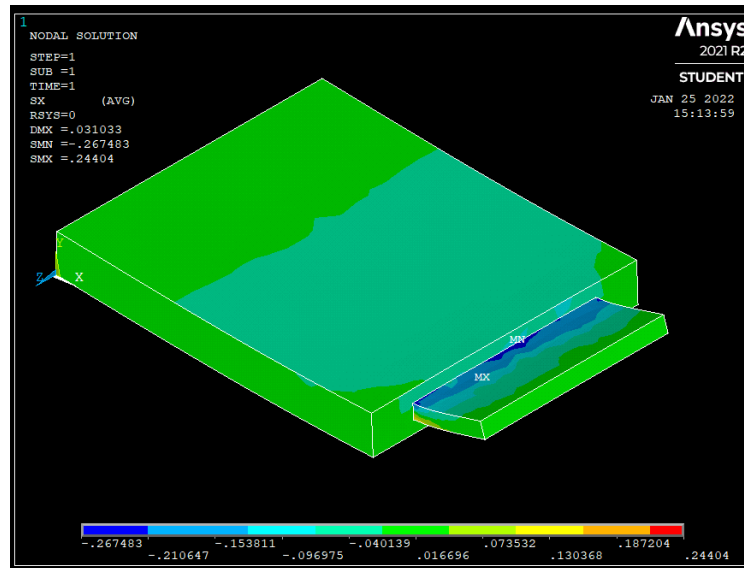


Figura 18: Tensions aplicades al mòdul

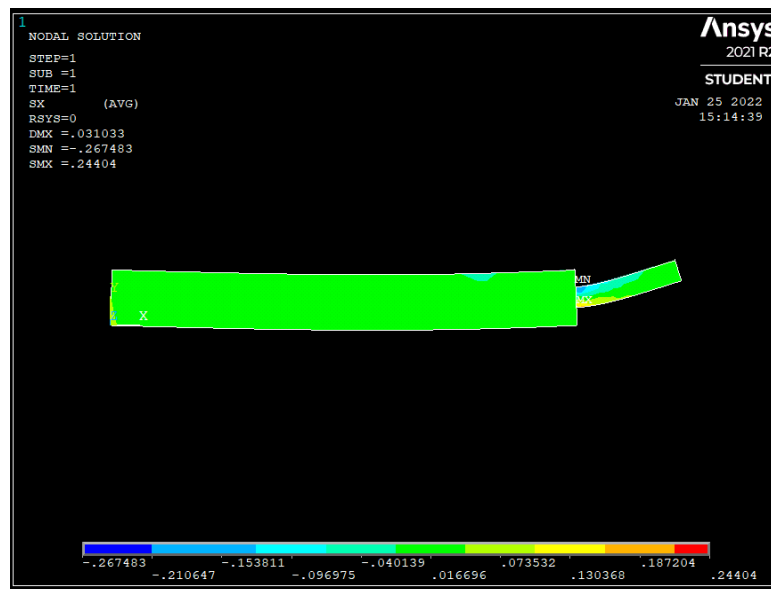


Figura 19: Tensions aplicades al mòdul

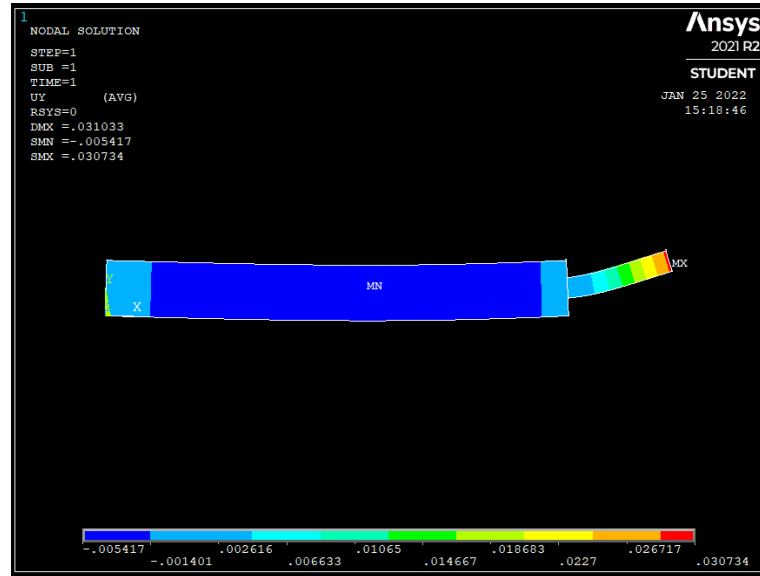


Figura 20: Desplaçaments del mòdul

Observant els resultats, observem que el desplaçament (màxim de 0.03 mm) no és prou gran com per a suposar un problema.

Es pot comprovar com el punt que pateix les tensions més altes (0.24 MPa), es troben a l'extrem inferior. Això es deu a que, al tenir un problema de flexió simple, la base de la secció és qui pateix els esforços de tracció més elevats. Per altra banda, l'àrea superior pateix a compressió (-0.27 MPa), però aquestes tensions són menys notables ja que el límit elàstic de compressió de la fusta és més alt.

En general, analitzant els resultats, podem afirmar que la secció crítica tampoc hauria de presentar problemes i la peça no hauria de fallar.

### 5.4.3. Càlculs analítics

Com hem vist als anàlisis realitzats per ANSYS, les tensions màximes es troben a les unions entre els mòduls. És per això que, per tal de contrastar-ne els resultats, hem decidit tornar a fer els càlculs de forma analítica.

Per a fer-ho, considerem una biga encastada per un extrem de dimensions 220x580x44 mm. A més, hi apliquem una força repartida de valor:

$$F = \frac{392}{220} = 1.78 \frac{N}{mm}$$

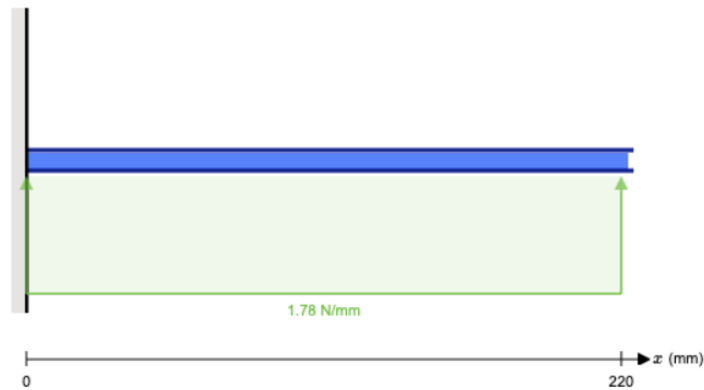


Figura 21: Biga encastada on s'hi aplica una força repartida

Per a poder trobar la tensió per flexió, apliquem la fórmula de Navier:

$$\sigma_x = -\frac{M_z}{I_z} y$$

On  $M_z$  és el moment flector provocat per la força de reacció i  $I_z$  és el moment d'inèrcia definit per la geometria de la secció.

Utilitzant la equivalència de que la força repartida pel pes, es pot representar com una força puntual situada al punt mig de la biga:

$$M_z = R1 * \frac{a}{2} = 392 * 110 = 43120 \text{ Nmm}$$

$$I_z = \frac{1}{12} * c * b^3 = \frac{1}{12} * 580 * 44^3 = 4117226 \text{ mm}^4$$

$$y = \frac{b}{2} = \frac{44}{2} = 22 \text{ mm}$$

$$\sigma_x = -\frac{M_z}{I_z} y = -\frac{43120}{4117226} * 22 = 0.23 \text{ MPa}$$

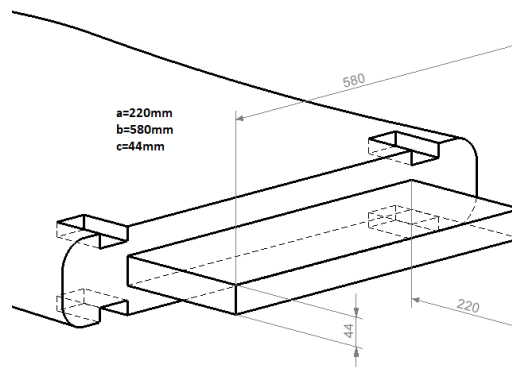


Figura 22: Valors de a, b i c

Comparant els resultats analítics amb els obtinguts a la simulació d'ANSYS (0,23 i 0,24 MPa, respectivament) determinem que l'estudi s'ha realitzat correctament ja que en resulten pràcticament els mateixos resultats.

Per a poder calcular l'esforç tallant degut a la tensió vertical procedent de la reacció, apliquem la expressió corresponent a una secció rectangular:

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{T_y}{A} = \frac{3}{2} * \frac{392}{580 * 44} = 0.0154 MPa$$

Aquest tallant màxim es produeix al centre de la secció, just on el moment flector val 0. Per altra banda, quan el moment flector és màxim, aquest tallant resulta 0.

Per últim, hem calculat el coeficient de seguretat de la peça, com el quocient entre la tensió de límit elàstic de la fusta i la màxima tensió que pateix:

$$\gamma = \frac{\sigma_e}{\sigma_{eq}} = \frac{27 MPa}{0.23 MPa} = 117$$

## 5.5. Optimització del disseny

### 5.5.1. Reducció del pes

Amb el disseny fet fins al moment, ens trobem amb un aspecte que cal millorar: el pes. Degut a les grans dimensions de la taula, tenint en compte el volum d'aquesta i la densitat de la fusta de Paulownia, aquest és excessivament alt.

Per tal de no modificar la geometria de la taula, és a dir no allunyar-nos de les dimensions estàndards reduint-ne la mida, la solució més factible és fer una sèrie de buidats al interior dels diferents mòduls.

Com hem vist anteriorment, les tensions als extrems de la taula són molt petites, degut a que no s'hi aplica cap pressió per la part superior (l'usuari està situat al centre de la taula), mentre que per la part inferior hi tenim l'empenyiment, però està distribuït per tota la superfície de la taula, provocant una tensió molt baixa.

Així doncs, ens podem permetre treure força material en aquestes zones, reduint considerablement el pes i assegurant que la taula seguirà sense patir deformacions tangibles ni grans tensions que la puguin trencar pel *nose* o el *tail*.

Tot i el buidat del *nose* i el *tail*, la taula segueix tenint un pes considerablement alt, ja que el mòdul central és completament massís. Passem doncs a treure material també d'aquest. Cal tenir en compte que a diferència dels extrems, en aquest cas si que podem tenir tensions i deformacions més elevades, ja que és al centre de la taula on es posiciona l'usuari, concentrant-se tot el pes en una superfície més petita.

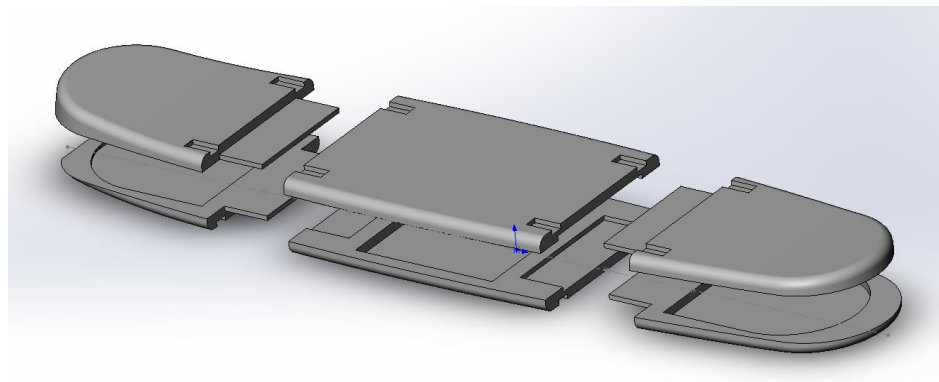
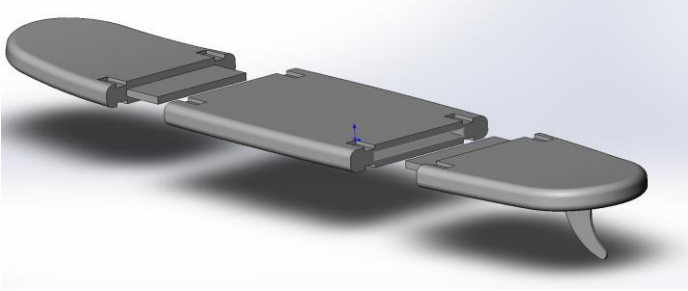
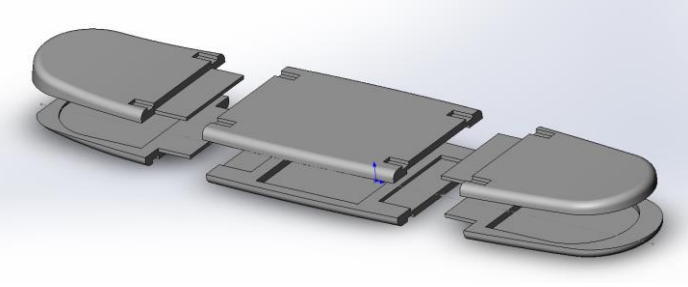


Figura 23: Peça amb els buidats fets

Una vegada hem fet les modificacions al nostre disseny, cal realitzar els anàlisis de tensions i deformacions necessaris per tal de poder garantir que la taula segueix sent suficientment resistent com per no trencar-se durant el seu ús.

Tal i com es veu a la Figura 23 i per tal de mantenir la validesa dels anàlisis realitzats prèviament, entre els buidats i els eixos i les guies, hem deixat material. De no fer-ho així, les seccions properes a les unions serien menys solides, fet que podria significar el trencament en situacions menys extremes.

Gràcies als buidats, hem aconseguit una reducció significativa del pes de la taula:

<i>Figura</i>	<i>Volum</i>	<i>Pes</i>
	2296 mm <sup>3</sup>	52.8 Kg
	1643 mm <sup>3</sup>	37.78 Kg

*Taula 3: Comparació de pes*



### 5.5.2. Estudi de tensions

Com ja s'ha esmentat a l'apartat 5.5.1, no hem extret material proper a les unions per a poder acceptar com a vàlids els anàlisis fets a l'apartat 5.4.2.2.

Així doncs, i tenint en compte els buidats i que el pes es trobarà distribuït al mòdul del mig, considerem necessari estudiar-lo per separat.

Per a fer-ho, hem utilitzat les següents hipòtesis:

- Considerem una planxa de dimensions iguals al mòdul central de la taula amb buidats: 700x700x20 mm que equival a l'àrea superior del mòdul del mig.
- Com a condicions de contorn, fixem les quatre arestes laterals en totes les direccions.
- El pes es representa com una pressió distribuïda.

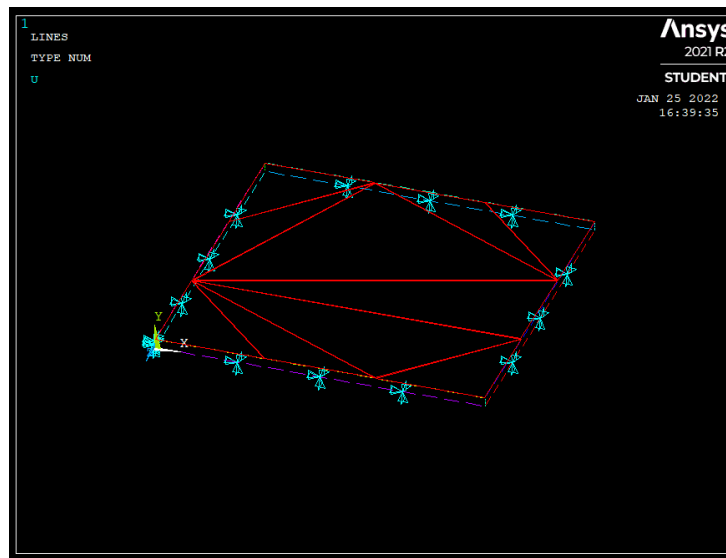


Figura 24: Condicions de contorn aplicades

Realitzant la simulació, obtenim:

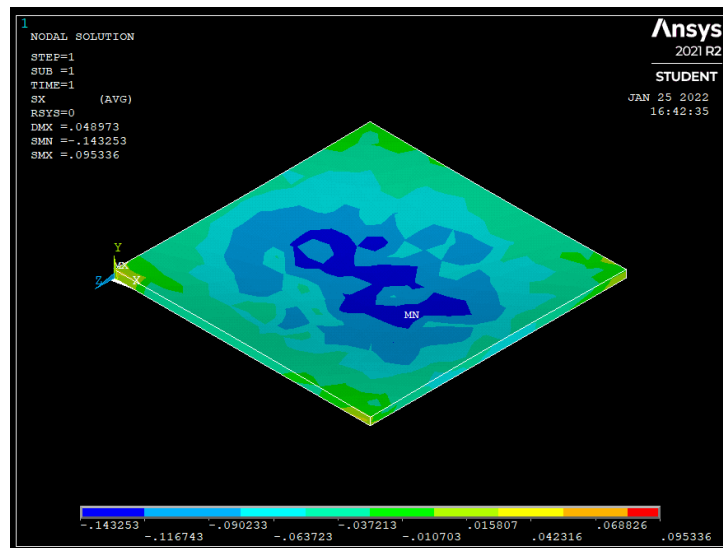


Figura 25: Tensions que pateix el mòdul

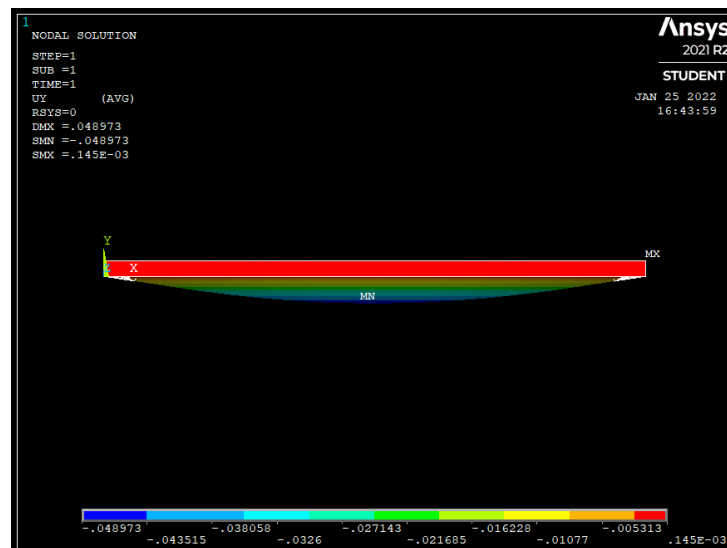


Figura 26: Desplaçaments de la taula

Comprovem com les tensions a compressió màximes arriben als -0.14 MPa, fet que no hauria de suposar un problema ja que el límit elàstic és molt més elevat.

Per altra banda, pel que fa als desplaçaments, tampoc s'assoleix una xifra significativa, ja que la distància màxima és de 0.048 mm.

Per tot això, podem concloure que el buidat es pot realitzar sense que perilli la rigidesa de la taula.

## 5.6. Procés de fabricació

Arribats a aquest punt, és evident que per a poder fabricar la taula de SUP que hem dissenyat, caldrà idear un procés de fabricació completament nou i diferent al d'una taula convencional.

En primer lloc, el material que farem servir és fusta, que també s'utilitza en la indústria del SUP, com hem comentat a l'apartat 5.3, però a diferència del nostre disseny, sempre es combina amb altres materials i mitjançant làmines, fet que facilita el procés. També cal tenir en compte que el procés de fabricació habitual d'una taula de Paddle Surf implica la superposició longitudinal de diverses làmines a les quals se'ls hi va donant la forma adequada, obtenint com a resultat final un únic mòdul. En en el nostre cas, en canvi, necessitem obtenir per separat 3 mòduls diferents entre ells i que junts, finalment formen la taula de SUP.

Una vegada analitzades les diferències que comporta la fabricació d'una taula de SUP convencional i la nostra, ens disposem a explicar, de la manera més detallada possible com podríem aconseguir-ho.

Per obtenir la taula proposem els següents passos:

1. Compra de la matèria prima.
2. Obtenció de 6 blocs rectangulars (2 per cada mòdul).
3. Tornejat dels mòduls (buidat i geometria del perímetre).
4. Assemblatges dels mòduls i acabats.
5. Compra de la matèria primera.

La principal matèria primera del nostre projecte és la fusta de Paulownia. Després de realitzar una cerca i comparativa entre diversos proveïdors, n'hem trobat un que encaixa molt bé amb les nostres necessitats. Es tracta d'una empresa valenciana, anomenada iPaulownia, que permet comprar llistons de diferents mides, i fins i tot fer comandes amb les dimensions personalitzades.

### Dimensions dels llistons

- Llargada: 1200mm
- Gruix: 30mm
- Amplada 100mm
- Unitats: 10

### Obtenció dels 6 blocs rectangulars

Tenint en compte que cada llistó té un gruix de 30mm, serà necessària la superposició de dos llistons per aconseguir el gruix desitjat (60mm, que correspon a la meitat del gruix total de la taula).

En el cas dels blocs per al *nose* i el *tail*, caldrà afegir algun segment auxiliar per dotar-los de més gruix, ja que la taula, al no ser completament plana, té un perfil amb certa curvatura, consegüentment, els extrems d'aquesta tenen una alçada superior al seu gruix.

Per realitzar aquesta fase del procés de construcció, hem contactat amb un *shaper* de Sant Salvador, el Vendrell, que construeix les seves pròpies taules de surf en el seu taller. Així doncs, ens assegurarem realitzar aquesta fase amb els recursos més adients per a un bon resultat.

### **Tornejat dels mòduls**

Per tal d'aconseguir els 6 mòduls amb els buidats, els costats arrodonits i els forats on aniran cargolats els mecanismes de pestell-palanca és requereix molta precisió. Per a fer-ho hem contactat amb un empresa de Sentmenat que mecanitza tot tipus de peces i materials, Tallers Bruga CNC.

Per poder realitzar el mecanitzat dels 6 blocs, és necessari els respectius arxius CAD i aproximadament es requeriria una jornada laboral completa. La màquina emprada seria un Torn per control numèric (CNC) model VF 4 de la marca *Haas*.

### **Assemblatges dels mòduls i acabats.**

Arribats en aquest punt, cal unir les dues parts que formen cada mòdul mitjançant cola. Per fer-ho de la millor manera possible, tornàriem al taller del *shaper*. La fusta de Paulownia no requereix cap tipus de tractament com un vernissatge, per exemple, ja que és impermeable. Així doncs, només faltaria cargolar els 8 mecanismes de pestell-palanca, enganxar a la superfície superior una lona que proporcioni tracció a l'usuari (proporcionada pel *shaper*) i finalment incorporar la quilla.

## 6. Planificació del projecte

Una vegada definits els passos per dur a terme la fabricació de la taula, ens disposem a planificar l'execució del projecte, és a dir el temps necessari fins a obtenir el model a escala real. En aquest apartat no tindrem en compte el temps requerit per a la compra dels elements auxiliars com els mecanismes de pestell-palanca, la quilla o la lona, ja que aquests poden ser adquirits al llarg de tot el procés i és en l'última etapa de fabricació que son necessaris.

En primer lloc, el proveïdor de la fusta de Paulownia, ens ha informat que al demanar unes dimensions de làmines personalitzades el temps per a preparar-les i enviar-les és superior al habitual, tardant entre 10 i 15 dies laborables, en funció de la demanda que tinguin i l'eficàcia de l'empresa encarregada del transport.

Amb la fusta ja a la nostra disposició, el següent pas és el d'obtenció dels 6 blocs, que amb 1 dia de treball al taller del *shaper* seria suficient. Per assegurar-nos que les diferents làmines estan perfectament enganxades, esperariem com a mínim 1 dia més.

Com hem comentar a l'apartat 5.6, el temps per a mecanitzar la fusta seria de 1 jornada laboral. En funció del volum de treball de l'empresa de tornejat, el temps fins a obtenir els 6 blocs amb els buidats i arrodoniments aniria entre 3 i 6 dies laborables.

Finalment, l'asseblatge dels mòduls i incorporació dels altres elements com els mecanismes de pestell palanca, quilla i lona per al *stance*, implicaria 1 dia de treball i 1 de assecat.

Així doncs, obtenim un màxim de 25 dies des de la comanda de la fusta fins a la creació de la taula, tenint en compte caps de setmana i possibles imprevistos (disponibilitat del *shaper*, de l'empresa de tornejat, etc), creiem doncs, que en el millor dels casos requeriríem 1 mes per dur a terme tot el procés de fabricació.

## 7. Impressió 3D

Amb l'objectiu de poder comprovar que les unions entre mòduls funcionen correctament, vam creure convenient estudiar-ho en un model a escala mitjançant una impressora 3D.

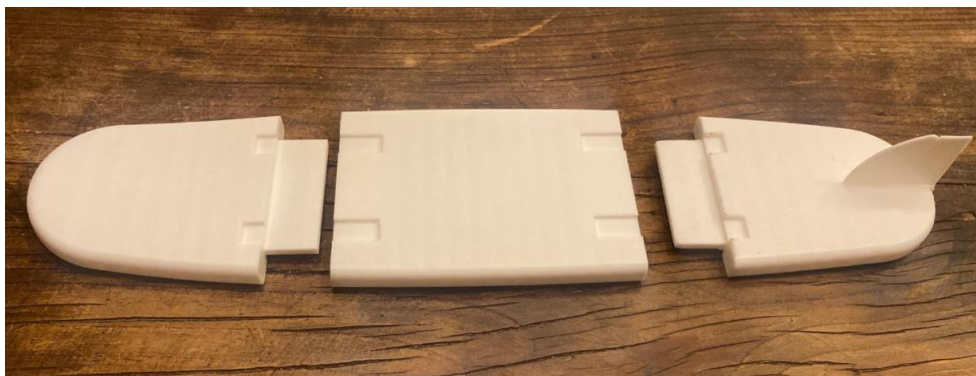
Pel que fa a les dimensions, vam haver d'adaptar-nos a la mida que permet imprimir la impressora de què disposem a la universitat. A més, hem igualat les mides de eix i guia per a poder assegurar que no existirà joc entre mòduls.

Per últim, gràcies a la gran precisió de la impressora, aconseguim les mateixes dimensions d'eix i guia i llimem lleugerament l'eix per a la seva correcta inserció al mòdul central.

El resultat ha estat el següent:



*Figura 27: Unions entre mòduls*



*Figura 28: Taula sencera*

## 8. Impacte Ambiental

Com hem comentat en varies ocasions al llarg del treball, considerem un aspecte important l'impacte ambiental que suposa el nostre projecte, des de les fases de disseny i fabricació del prototip en impressió 3D, fins procés de fabricació de la taula.

Per a la fase de disseny i per a la redacció de la memòria d'aquest projecte hem utilitzat dos ordinadors portàtils: Un *MacBook pro* i un *Lenovo Ideapad* amb un consum aproximat de 218W i 200W respectivament. Segons la comissió europea un ordinador amb una potència de 200W emet l'equivalent de 130g de CO<sub>2</sub> per cada hora de funcionament. Tenint en compte doncs 800 h de treball, s'ha emès un total de 104 kg de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera.

Per altra banda, negligim les possibles emissions de CO<sub>2</sub> derivades de trajectes amb cotxe o transport públic.

En primer lloc, les trobades amb el tutor o consultes amb algun altre professor per algun dubte concret, s'han fet telemàticament. De la mateixa manera, el contacte amb el *shaper* i els altres intermediaris amb que hem interactuat (proveïdor de la fusta de Paulownia i empresa de tornejat) tampoc ha implicat cap tipus de desplaçament. Per últim, durant aquest temps, un de nosaltres ha estat vivint a l'estranger, obligant-nos a treballar per via telemàtica.

Pel que fa al material escollit per la fabricació de la taula, la fusta de Paulownia del proveïdor escollit prové de plantacions sostenibles cultivades a Espanya. Quan parlem sobre l'impacte ambiental del consum de fusta, es inevitable pensar en la tala indiscriminada d'arbres, que provoca una desforestació, empobrint el sòl i augmentant l'efecte hivernacle. La fusta de Paulownia però, n'és una excepció: Utilitzar-ne significa crear boscos, enlloc de destruir-los, creixerà en camps que actualment no produeixen oxigen (és l'arbre que més en produeix) i una vegada és cultivada, l'arbre no es talla, sinó que es poda. Segons els experts és un dels agents naturals més potents contra l'escalfament global.



El model a escala que hem imprès en 3D és de plàstic PLA, que s'obté a partir de recursos renovables i 100% naturals com per exemple el blat de moro. Es pot considerar que la emissió neta de gasos que provoquen l'efecte hivernacle del procés de producció global del PLA és negativa. Si tenim en compte el model de impressora utilitzada, BCN3D Sigma, que té un consum de 240W i un total de 12h de funcionament amb una emissió de 1,3kg de CO<sub>2</sub>/h segons la Comissió Europea, obtenim un total de 15,6 kg d'emissions de CO<sub>2</sub>.

Per al procés de fabricació, l'impacte ambiental que provocaria dur-lo a terme, seria degut principalment als trajectes amb cotxe i l'ús del torn CNC. Suposant dos viatges d'anada i tornada entre Igualada (la nostra localitat) i Sant Salvador (localitat del *shaper*) i un viatge d'anada i tornada entre Igualada i Sentmenat (empresa de tornejat) sumem un total de 400km. Si considerem un consum mitjà de 7 L/100km amb un cotxe dièsel (28L en total) i que les emissions de CO<sub>2</sub>d'aquest són de 2,65kg per cada litre consumit, obtenim un total de 74,2kg de CO<sub>2</sub> emesos a l'atmosfera. Per últim, el fet de mecanitzar blocs de fusta al llarg d'una jornada laboral amb torn que té una potència de 22kW, provocaria una emissió de 11946Kg. Per aquest càlcul hem considerat 3h de funcionament i un factor d'emissió de CO<sub>2</sub> atribuït al consum elèctric de 181g CO<sub>2</sub>/KWh.



Figura 29: Fusta de Paulownia

## 9. Estudi econòmic

En aquest apartat, estudiarem la inversió necessària per a fer realitat el projecte.

Per a poder donar una xifra tan realista com sigui possible, hem desglossat la inversió en: costos associats al personal, costos associats a la fabricació de la taula i per últim els costos associats als programes informàtics.

Així doncs, i sense tenir en compte l'impost sobre el valor afegit (IVA), obtenim:

### Costos associats al personal

<i>CONCEPTE</i>	<i>QUANTITAT</i>	<i>COST UNITARI</i>	<i>COST TOTAL</i>
<i>Hores treballades com a enginyers</i>	400h	8€/h	3200€
<i>Hores treballades com a dissenyadors</i>	200h	8€/h	1600€
<i>Torner</i>	8h	62,5€/h	500€
	<i>TOTAL</i>		5300€

*Taula 4: Costos associats a personal*

**Costos associats a la fabricació de la taula**

<b>CONCEPTE</b>	<b>QUANTITAT</b>	<b>COST UNITARI</b>	<b>COST TOTAL</b>
<i>Fusta de Paulownia</i>	10 llistons	9,375€	93,75€
<b>MECANISME D'UNIÓ</b>	8	1,5€	12€
<i>Impressió 3D del prototip</i>	1	68,12€	68,12€
<b>QUILLA</b>	1	30€	30€
	<b>TOTAL</b>		<b>203,87€</b>

Taula 5: Costos associats a la fabricació de la taula

**Costos associats a programes informàtics**

<b>CONCEPTE</b>	<b>QUANTITAT</b>	<b>COST UNITARI</b>	<b>COST TOTAL</b>
<i>Llicència SolidWorks 2016- 2017</i>	1	13.995€	13.995€
<i>Llicència Ansys 2021</i>	1	85,95€	85,95€
	<b>TOTAL</b>		<b>14.080,95€</b>

Taula 6: Costos associats a programes informàtics

**Costos totals**

<i>CONCEPTE</i>	<i>COST TOTAL</i>
<i>COSTOS ASSOCIATS A PERSONAL</i>	5.300€
<i>COSTOS ASSOCIATS A LA FABRICACIÓ DE LA TAULA</i>	203,78€
<i>COSTOS ASSOCIATS A LES L·LICÈNCIES DELS PROGRAMES INFORMÀTICS</i>	14.080,95€
<i>TOTAL</i>	19.584,73€

Taula 7: Costos totals

## Conclusions

La base del nostre projecte és la creació del primer model d'una taula de pàdel surf rígida i desmuntable. És per això que ha sigut necessari analitzar àmpliament diferents factors que envolten la taula.

Pel que fa a la creació de la geometria, disseny i mecanisme d'unió, hem utilitzat SOLIDWORKS, que ens ha permès donar forma al nostre projecte complint amb els requeriments que vam imposar inicialment.

En quant a l'estudi de la rigidesa del nostre disseny, hem utilitzat el programari ANSYS, que ens ha permès simular el comportament de la taula en situacions properes a la realitat, comprovant que, efectivament el model no falla davant de les tensions que patirà durant la pràctica del SUP. A més, hem pogut contrastar els resultats obtinguts mitjançant càlculs analítics.

Tot això, ens ha permès aplicar de forma pràctica els coneixements obtinguts durant el grau.

Mitjançant una impressora 3D, hem pogut imprimir un model a escala de la nostra taula, i en el qual hem pogut veure aplicat el mecanisme d'unió eix-guia entre els diferents mòduls. Gràcies a la impressió, hem pogut comprovar que la major dificultat que trobaríem al crear el model a escala real és trobar les dimensions adequades per a que els diferents mòduls encaixin sense joc però siguin pràctics a l'hora de muntar.

Factors com el material, la maquinària de construcció o la diferència de grandària fan que les conclusions extretes de la impressió 3D no siguin 100% fiables i puguin diferir de les conclusions que extrauríem de la fabricació del model real.

Analitzant l'estudi econòmic, observem que el preu de fabricació de la taula és molt elevat, fet que dificulta la seva sortida al mercat. Gran part del pressupost de fabricació va destinat al tornejat que necessita la taula per a obtenir la geometria i els buidats necessaris per a reduir-ne el pes. És per això, que per a fer el projecte més viable econòmicament, caldria trobar una alternativa al tornejat.

La gran quantitat de mà d'obra que requereix el projecte fa que el nostre model no sigui adequat per a la fabricació en sèrie. El seu disseny innovador i l'estètica que aporta la fusta fan que el model sigui més atractiu de cara a la producció limitada d'unitats.

Tot i estar molt contents amb el resultat final del projecte, creiem que encara té molts potencials aspectes de millora:

- Tot i els buidats, el pes de la taula segueix sent notablement més gran que el de la resta de taules ofertes al mercat. Les excel·lents propietats de flotabilitat i rigidesa que ofereix la fusta de Paulownia, poden fer possible reduir les dimensions del model, obtenint un volum total més petit i sense que les prestacions es veiessin excessivament afectades.
- Al començar el procés de tornejat amb blocs rectangulars i completament massissos, fa que l'obtenció de la forma desitjada (buidats i curvatura dels costats), impliqui una gran pèrdua de material. Per optimitzar la quantitat de fusta utilitzada, caldria partir d'una geometria més similar a la final, combinant de forma adequada làmines i llistons de diferents dimensions. D'aquesta manera, podríem reduir els costos en la compra de la fusta i les hores necessàries per al mecanitzat de les peces.
- Com hem vist als càlculs analítics, el coeficient de seguretat és molt elevat. Això significa que podem optimitzar la quantitat de material o la geometria per tal de poder apropar aquest coeficient a 10. Tot i això, creiem que el coeficient obtingut no és representatiu, ja que existeixen molts factors, com les onades o els moviments de l'usuari, que podrien augmentar les tensions i conseqüentment disminuir el coeficient de seguretat. A més, les simulacions s'han realitzat acceptant unes hipòtesis que en la realitat podrien afectar al resultat final.
- Sabent que la dificultat més gran és trobar la relació de mides que ens permeti obtenir una unió entre mòduls que no tingui joc, i que a la vegada sigui fàcil a l'hora del muntatge i del desmuntatge, caldria fer un estudi més ampli de la tolerància del conjunt eix-guia.

## Agraïments

En primer lloc, voldríem donar les gràcies a les nostres famílies, no només per la paciència i suport que ens han proporcionat durant el treball, sinó també durant tota la carrera.

També volem agrair al Carlos Sierra, tutor del treball. Gràcies a ell la idea de mesclar esport i enginyeria en un treball ha estat possible.

Al Jordi Guilera, que tot i no ser part oficial del treball, sempre ha estat disposat a escoltar-nos i ens ha orientat durant els estudis analítics.

Per últim, a tothom qui ha format part del projecte de forma més indirecta: l'equip d'impressió 3D de la universitat, les empreses que ens han facilitat diferents pressupostos i al Marc Solé (a qui hem nombrat com a *shaper* durant el treball).

A tots vosaltres, moltes gràcies!!!

## Bibliografia

### Adreces Web visitades:

1. Antecedents.

- <https://hoenalu.com/es/sup-blog/sup-general/origen-evolucion-standup-paddle-sup>
  - Visitat dia 28/09/2021
- <https://www.gopaddlesurf.com/que-es-paddle-surf/>
  - Visitat dia 10/10/2021

2. Parts de la taula.

- <https://paddlesurfea.com/partes-de-una-tabla-de-paddle-surf-sup/>
  - Visitat dia 03/10/2021

3. Materials i construcció de taules:

- <https://hoenalu.com/es/sup-blog/sup-general/tipos-construccion-tablas-sup>
  - Visitat dia 21/10/2021

4. Normativa aplicable

- <https://www.paddlesup.eu/blog/normativa-nautica-paddle-surf/>
  - Visitat dia 17/10/2021



#### 5. Fusta de Paulownia

- <https://paulownia.pro/por-que-cultivamos-e-invertimos-en-la-paulownia/>
  - Visitat dia 27/12/2021

#### 6. SolidWorks Flow Simulation

- [https://help.solidworks.com/2019/Spanish/SolidWorks/flopress/r\\_what\\_do\\_flow\\_simulation.htm](https://help.solidworks.com/2019/Spanish/SolidWorks/flopress/r_what_do_flow_simulation.htm)
  - Visitat dia 20/11/2021

### **Llibres i articles consultats.**

1. Miguel Cervera Ruiz i Elena Blanco Diaz (2015). *Resistencia de materiales*.
  - Consultat el 15/11/2021
2. ECOEMBES. *Los ordenadores también producen CO2* [on-line]. Morid, 2017. Disponible a: <https://www.ecoembes.com/es/planeta-recicla/blog/los-ordenadores-tambien-emiten-co2>
  - Consultat el 9/01/2022
3. Frederic Marimón Carvajal (2013). *Elasticitat i resistència de materials. Pràctiques de laboratori*.
  - Consultat el 2/11/2021

