

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOY

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Diseño, análisis y optimización de una
tabla de *skate* mediante materiales
compuestos.

Autor:

D. Ignacio Gómez López

Dirigido por:

Dr. Néstor Montañes Muñoz

Dr. Vicent Fombuena Borràs

Mayo 2019



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

RESUMEN

“Diseño, análisis y optimización de una tabla de *skate* mediante materiales compuestos.”

El proyecto se basa principalmente en la fabricación de una tabla de *skate* en materiales compuestos.

El proyecto deriva de la problemática existente con las tablas de *skate* convencionales, de madera, las cuales carecen de una durabilidad elevada, factor principal que se pretende optimizar para conseguir aumentar la vida útil de este objeto.

Para ello, se pretende haber realizado previamente el estudio y la selección de los posibles materiales empleados mediante softwares que permitan la simulación junto con el cálculo de los parámetros determinantes en la funcionalidad del objeto del proyecto así como el diseño del mismo. Para posteriormente detallar el proceso de fabricación empleado además de la viabilidad económica del proyecto.

Para finalizar se aportará una breve conclusión explicando si puede o no llevarse a cabo dicho proyecto y por qué motivos.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

SUMMARY

“Design, analysis and optimization of a skateboard deck using composite materials.”

The project is based on the manufacturing of a skateboard deck made of compounds materials.

The project appears because of the problem that the conventional skateboard decks have, not enough durability, the main factor which it's pretended to optimize for increase the lifespan of this object.

For that, the intention is to have made previously the study and selection of the possible materials used, through softwares availables to simulate and calculate determining parameters on functionality as well as the design of the object in question. For later detail the manufacturing process used and the economic study also.

For finish, will be provide a brief conclusion explaining if it is possible to carry out or not the project and why.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

RESUM

“Disseny, anàlisi i optimització d’una taula de skate mitjançant materials compostos.”

El projecte es basa principalment en la fabricació d'una taula de *skate* en materials compostos.

El projecte deriva de la problemàtica existent amb les taules de *skate* convencionals, de fusta, les quals no tenen una durabilitat elevada, factor principal que es pretén optimitzar per a aconseguir augmentar la vida útil d'aquest objecte.

Per a això, es pretén haver realitzat prèviament l'estudi i la selecció dels possibles materials empleats per mitjà de programes informàtics que permeten la simulació junt amb el càlcul dels paràmetres determinants en la funcionalitat de l'objecte del projecte així com el disseny del mateix. Per a posteriorment detallar el procés de fabricació empleat a més de la viabilitat econòmica del projecte.

Per a finalitzar s'aportarà una breu conclusió explicant si pot o no dur-se a terme projecte i perquè motius.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI



Tabla de Contenidos

RESUMEN	3
SUMMARY	5
RESUM.....	7
ABREVIATURAS.....	12
LISTADO DE FIGURAS	13
LISTADO DE TABLAS.....	15
I. INTRODUCCIÓN	16
I.1 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO.....	17
I.1.1 Tabla.....	17
I.1.2 Ejes.....	18
I.1.3 Ruedas	19
I.1.4 Rodamientos	20
I.2 Historia del <i>skateboard</i>	21
I.3. ANTECEDENTES.....	29
I.3.1 Tecnologías actuales	29
I.3.2 Principales características de una tabla.....	34
I.3.2.1 <i>Medidas y Partes</i>	34
I.3.2.2 <i>Material</i>	35
I.3.2.3 <i>Precio</i>	36
I.3.3 Soluciones tecnológicas	36
I.3.4 Materiales empleados en la fabricación de tablas	39
I.3.4.1 <i>Madera de Arce Canadiense (Maple)</i>	39
I.3.4.2 <i>Fibra de Carbono (CF)</i>	39



CAMPUS D'ALCOI

I.3.4.3 Fibra de Vidrio (GF)	40
I.3.4.4 Kevlar	40
I.3.5 Normativa	41
I.3.5.1 Objeto y campo de aplicación	41
I.3.5.2 Términos y definiciones	42
I.3.5.3 Clasificación	42
I.3.5.4 Requisitos	42
I.3.5.5 Métodos de ensayo	42
II. OBJETIVOS.....	45
II.1. OBJETIVO GENERAL.....	47
II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.	47
III. DESARROLLO PROYECTO	49
III.1. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.....	51
III.2. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES....	57
III.3. SELECCIÓN DE MATERIALES.	61
III.3.1 SELECCIÓN DE LA MATRIZ	61
III.3.1.2 Descripción de la matriz escogida	66
III.3.2 SELECCIÓN DE LA FIBRA	66
III.3.2.1 Creación de laminados cuasi-isotrópicos.	68
III.3.2.2 Optimización del espesor.....	70
III.3.2.3 Valoración y elección de la fibra	75
III.4. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO.	79
III.5. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM.....	81
III.5.1. Aplicación materiales.....	81
III.5.1.1 7 láminas de madera de arce canadiense.....	81



CAMPUS D'ALCOI

III.5.1.2 CF+EP.....	82
III.5.2. Aplicación de restricciones.....	83
III.5.3. Aplicación de estados tensionales.....	83
III.5.4 Análisis de estados tensionales y deformaciones.	83
III.6. DISEÑO FINAL.....	91
III.7. FABRICACIÓN.....	93
III.7.1 Infusión de resina (Vacuum Infusion Process).....	94
III.8. ESTUDIO ECONÓMICO.....	97
IV. APÉNDICES.....	101
IV.1. PLANOS ACOTADOS.....	103
IV.2. NORMATIVA.....	104
IV.3. BIBLIOGRAFÍA.....	104
IV.4 ANEXOS.....	106



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

ABREVIATURAS

CF	Fibra de Carbono
E	Módulo elástico
E	Elongación
EP	Resina Epoxi
Ex	Módulo elástico en dirección x
Ey	Módulo elástico en dirección y
F	Fuerza
FEM	Método de los elementos finitos
G	Módulo de cortadura
GF	Fibra de Vidrio
KV	Fibra de Kevlar
σ	Límite Elástico
P	Cantidad de movimiento
ρ	Densidad
v	Coefficiente de Poisson



LISTADO DE FIGURAS

Figura I.1 Despiece de una tabla de skate.....	20
Figura I.1.2 Evolución de las tablas de skate.....	27
Figura I.3.2.1 Partes una tabla de skate.....	35
Figura I.3.3 Disposición de láminas Proyecto Lithe Skateboard.....	38
Figura III.1-1 Croquis inicial.....	51
Figura III.1-2 Croquis línea central, vista lateral.....	52
Figura III.1-3 Creación de planos.....	53
Figura III.1-4 Croquis planos 1 y 4.....	53
Figura III.1-5 Croquis planos 2 y 3.....	54
Figura III.1-6 Creación de la superficie límite.....	54
Figura III.1-7 Diseño final del prototipo de la lámina.....	55
Figura III.3.1-1 Resultados de las posibles opciones tras aplicar los filtros en CES Edupack para la matriz.....	62
Figura III.3.1-2 Creación de laminados en ElamX.....	64
Figura III.3.2-1 Resultados de las posibles opciones tras aplicar los filtros en CES Edupack para la fibra.....	67
Figura III.3.2.1-1 Laminado de CF+EP junto con sus constantes ingenieriles.....	69
Figura III.3.2.1-2 Laminado de KV+EP junto con sus constantes ingenieriles.....	69
Figura III.3.2.1-3 Laminado de GF+EP junto con sus constantes ingenieriles.....	70
Figura III.3.2.2-1 Extracto del informe del análisis estático para la aplicación del material.....	72
Figura III.3.2.2-2 Extracto del informe del análisis estático para la aplicación de las sujeciones.....	72
Figura III.3.2.2-3 Extracto del informe del análisis estático para la aplicación de las cargas.....	72
Figura III.3.2.2-4 Resultados análisis estático CF+EP. Tensión Von Mises.....	73



CAMPUS D'ALCOI

Figura III.3.2.2-5 Resultados análisis estático CF+EP. Deformaciones.....	73
Figura III.3.2.2-6 Estudio de diseño CF+EP.....	75
Figura III.3.2.2-7 Resultados del estudio de diseño CF+EP. Escenario óptimo.....	75
Figura III.4 Condiciones de entorno.....	79
Figura III.5.1.1 Creación de material "madera" en SolidWorks.....	82
Figura III.5.1.2 Creación del material "CF+EP" en SolidWorks.....	82
Figura III.5.4-1 Tensión máxima que sufre la madera.....	83
Figura III.5.4-2 Desplazamiento máximo que sufre la madera.....	84
Figura III.5.4-3 Tensión máxima para un espesor de 5mm.....	84
Figura III.5.4-4 Desplazamiento máximo para un espesor de 5mm.....	85
Figura III.5.4-5 Tensión máxima para un espesor de 4mm.....	85
Figura III.5.4-6 Desplazamiento máximo para un espesor de 4mm.....	86
Figura III.5.4-7 Tensión máxima para un espesor de 3mm.....	86
Figura III.5.4-8 Desplazamiento máximo para un espesor de 3mm.....	87
Figura III.5.4-9 Tensión máxima para un espesor de 3.6mm.....	88
Figura III.5.4-10 Desplazamiento máximo para un espesor de 3.6mm.....	89
Figura III.6-1 Orificios para las fijaciones de los ejes.....	91
Figura III.6-2 Diseño pieza final.....	92
Figura III.7 Esquema del proceso de infusión de resina.....	96



LISTADO DE TABLAS

Tabla III.3.1-1 Intervalo de valores de las propiedades empleado en la selección de la matriz.....	62
Tabla III.3.1-2 Propiedades de cada una de las matrices seleccionadas.....	63
Tabla III.3.1-3 Resultados de los valores obtenidos en ElamX.....	65
Tabla III.3.1-4 Valoración total ponderada para la elección de la matriz.....	65
Tabla III.3.2-1 Intervalo de valores de las propiedades empleado en la selección de la fibra.....	66
Tabla III.3.2-2 Propiedades de las fibras seleccionadas.....	68
Tabla III.3.2.1 Resultados de los diferentes laminados en ElamX.....	70
Tabla III.3.2.2 Resultados del estudio de diseño de los diferentes materiales.....	75
Tabla III.3.2.3 Valoración final de la fibra. Características influyentes.....	76
Tabla III.5.4-1 Resultados obtenidos en el análisis estático a los diferentes materiales.....	87
Tabla III.5.4-2 Resultados obtenidos tras realizar el análisis estático del modelo de 3.6mm de espesor.....	89
Tabla III.8-1 Precio materia prima.....	97
Tabla III.8-2 Costes materiales necesarios para el proceso de fabricación.....	97
Tabla III.8-3 Costes procesos de fabricación.....	98
Tabla III.8-4 Presupuesto final.....	98

I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

I. Introducción

I.1 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO

El objeto del proyecto consiste en una tabla de material compuesto, el cual se justificará su elección por medios objetivos, que se emplea en la práctica de un deporte mundialmente conocido como patinaje sobre ruedas o del inglés *skateboard*. Para poder practicar este deporte no nos basta con la tabla en sí, es necesario el “*kit*” completo, estamos hablando del patinete o comúnmente conocido como *skate*.

El *skate* está compuesto fundamentalmente de 4 elementos principales los cuales se procederá a describirlos a continuación.

I.1.1 Tabla

La tabla es elemento principal de patinete, el objeto sobre el cual se basa el proyecto en cuestión. Es el objeto sobre el que se apoya el individuo, el único que está en contacto directo con la persona.

Principalmente adopta una forma rectangular con los extremos redondeados, suele ser cóncava a lo ancho de esta, esta forma aporta más agarre al individuo que va montado en ella, los cantos de esta son redondeados también. La tabla no es plana ya que ambos extremos se alzan con un ligero ángulo, conformando así el *nose* y el *tail* (estas dos partes de la tabla son las que permiten al individuo realizar trucos y levantar el *skate* del suelo).

En la parte superior de la tabla va adherida la lija, componente que ocupa exactamente la misma superficie que la tabla y que aporta sujeción a la persona que va montada en la tabla, sin este elemento las zapatillas deslizarían sobre la madera lisa. En la parte inferior se suele colocar la marca o un diseño para dotar de atractivo y distinción la propia tabla pero esta parte es meramente estética no aporta ninguna característica a la tabla.

En cuanto al material empleado en la fabricación de este objeto ha predominado siempre la madera, previamente se había empleado varios tipos de madera hasta que se llegó a la conclusión que la madera idónea es la de arce canadiense debiendo a su abundancia y coste y dado que aporta resistencia a la par que flexibilidad. Aunque posteriormente se ha ido innovando con diferentes materiales integrados junto con la

I. Introducción

madera para aportar a este componente mejores prestaciones, entre estos materiales se encuentra la fibra de carbono, fibra de vidrio o fibra de Kevlar entre otros, todos ellos con la intención de reducir peso a la vez que aumentar la resistencia y durabilidad de las tablas.

I.1.2 Ejes

Los ejes son el elemento resistente de la “estructura”, esta resistencia se atribuye básicamente al material del cual están hechos, es el componente que aporta estabilidad y permite al individuo realizar giros al apoyar el peso sobre un lateral de la tabla o sobre el otro. Son necesarias dos de estas piezas para poner en funcionamiento un patinete. Se encuentran ubicados debajo de la tabla unidos a ella mediante cuatro tornillos cada uno, ocho en total. La posición de estos respecto a la tabla vendría a ser, si tuviéramos el patinete delante nuestra, después del *tail* el primer eje y antes del *nose* el segundo eje. A él van unidas mediante tornillos las cuatro ruedas del patinete, dos por eje.

Este elemento tiene una forma establecida para cumplir con las solicitudes del conjunto, que podría definirse como una especie de “T” compuesta por las siguientes partes:

- **Base:** viene siendo, como su propio nombre indica, la superficie que se apoya sobre la tabla y sobre la cual se fijan los tornillos.
- **Hanger:** es la parte central más voluminosa, la parte sobre la cual apoya el eje al *grindar* (hacer que deslice la tabla, montado el individuo sobre ella, sobre una barandilla u otro obstáculo)
- **Axle:** es el cilindro metálico sobre el cual se alojan las ruedas, esta parte se ubica dentro del *hanger*.
- **Kingpin:** tornillo central cuya función es la de unir la base y el *hanger*.
- **Bushings (gomas):** es la parte de amortiguar los impactos que recibe la tabla al caer al suelo (después de realizar un salto) y a su vez permite realizar los giros.

I. Introducción

Como bien se ha mencionado anteriormente, los ejes son el componente resistente debido al material en el que están fabricados, mayoritariamente el material empleado en la fabricación de ejes suele ser aluminio o una aleación de este material empleados en la base y el *hanger* y acero para la fabricación del *axle*, en ejes de gama baja-media, si buscamos algo más de calidad para este elemento de nuestro patín los podremos encontrar de magnesio o titanio, materiales que reducen el peso de los ejes sin alterar la resistencia de este.

I.1.3 Ruedas

Las ruedas son el elemento que permite el movimiento del conjunto ya que es el único componente que está en contacto directo con el suelo. Cada *skate* consta de cuatro ruedas situadas dos en el eje delantero y dos en el eje trasero, estas se encuentran ubicadas en el *axle* y con un tornillo que se une al extremo de este para impedir su desplazamiento.

El material en el que se fabrican es poliuretano, se podría decir que prácticamente la mayoría de ruedas de monopatines se fabrican en este material puesto que aporta bastante agarre a cualquier tipo de terreno, soporta bastante la abrasión, lo que hace de él un material duradero, no se desgastan fácilmente y a su vez es un material económico y fácil de procesar debido a su naturaleza polimérico.

La medida sería el factor más determinante de este elemento ya que el material no es una variable, el tamaño de las ruedas se mide en mm y cuanto más grande es el diámetro de estas más velocidad pueden llegar a alcanzar pero a su vez repercute negativamente en la estabilidad del conjunto puesto que aumenta la distancia de la tabla respecto del suelo y dificulta la realización de trucos.

Otro factor a tener en cuenta es la dureza, el poliuretano tiene distintos grados de dureza y dependiendo de la modalidad de *skate* que se vaya a practicar escogeremos uno u otro. Las ruedas más duras aportan mayor velocidad pero en su contra menor agarre por lo que son recomendables para *skateparks*, unas ruedas más blandas proporcionan más agarre sobre la superficie aunque restan velocidad, estas ruedas son indicadas para la modalidad de *street* ya que absorben mejor las irregularidades del terreno y permiten realizar trucos con mayor facilidad.

I. Introducción

I.1.4 Rodamientos

Como último componente los monopatines tenemos los rodamientos, elemento que permite que la rueda gire suavemente sobre el eje. Estos se encuentran ubicados en el interior de la rueda, cada rueda consta de dos rodamientos, ocho en total. El tipo de rodamientos empleados en las tablas de *skate* son los rodamientos de bolas, estas pueden ser metálicas o cerámicas (los rodamientos cerámicos son de mayor calidad y por ende más costosos).

Habitualmente la clasificación de este componente, independientemente del tipo de material que lleve, es el sistema de medición ABEC aunque hay otros tipos de clasificación empleados por marcas específicas pero en la gran mayoría de los casos se utiliza la clasificación ABEC. A mayor número de ABEC más calidad obtenemos en los rodamientos, es decir, un ABEC 9 ofrece menos fricción y por tanto alcanza mayor velocidad que un ABEC 7.

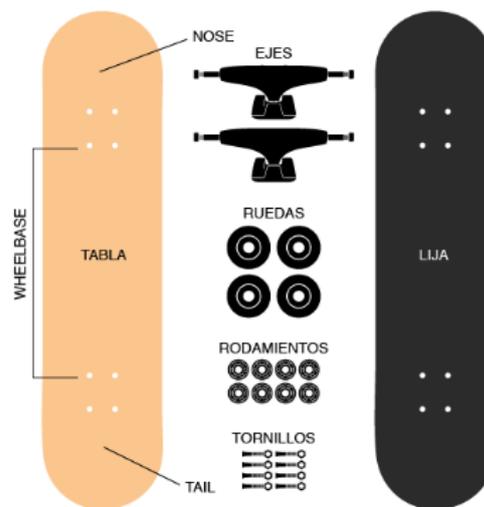


Figura I.1 Despiece de una tabla de skate.

I. Introducción

I.2 Historia del *skateboard*

La historia de este objeto se remonta a los años 50, cuando empezaron a surgir las primeras tablas a raíz de las necesidades que tenían los surferos que habitaban la costa de California los días en que el mar estaba en calma y mientras transcurrían las largas temporadas de invierno, cuando la temperatura del océano descendía tanto y no podían practicar este deporte, el surf. Hay que decir que el monopatín es un elemento que surge como copia para el medio terrestre de las tablas de surf, las cuales tienen su acción en el medio marino.

Cabe mencionar que la historia del *skate*/monopatín/patinete es un tanto incierta debido a la nula escasez de registros o patentes que especifiquen quien fue el creador o los creadores de este objeto, todo apunta que surgió como algo espontáneo con la intención de practicar “algún deporte” que se pareciera lo máximo posible al que ya se practicaba por aquel entonces en la costa oeste de EE.UU.

Años 50

Década en la que datan los primeros monopatines los cuales no tienen ni forma ni tamaño ni material definidos.

Las primeras creaciones de este objeto surgen de añadir cuatro ruedas a una tabla de madera alguna. Por aquella década ya existían los patines *rollers*, de los cuales derivan los patines en línea (modelo que tiene cuatro ruedas colocadas en la misma dirección) pero por aquel entonces todavía no habían adquirido dicha forma. Estos modelos, los cuales todavía existen y se comercializan con una forma modernizada claro está, constaban de una disposición de ruedas en paralelo, 2 delante y 2 detrás, y es de estos modelos de donde se obtuvieron las ruedas que se acoplaron a dichas tablas planas de madera. Otra variante de estos primeros modelos tenían las ruedas metálicas y estos apenas se utilizaban para deslizarse por las cuestas.

Es en 1959 cuando se consolida la primera marca de monopatines, *Roller Derby Skateboard*, que comienza su fabricación en serie tras observar la demanda que comienza a aparecer sobre este producto. Este primer modelo que comienza a

I. Introducción

comercializarse no es más que no una simple tabla de madera, sin lija alguna, a la cual se le acopla dos ejes y cuatro ruedas de acero. Hay que mencionar que estos modelos tan básicos eran muy inestables y no ofrecían control alguno debido al material con el cual estaba hechas las ruedas y su nula adherencia sobre ninguna superficie y dado que carecía de la lija, elemento que proporciona el agarre a las zapatillas.

Años 60

Es en esta década cuando el *skateboarding* comienza a adquirir cierta popularidad y seguimiento, sobre todo por los practicantes de surf, muchos deportistas de élite de este deporte comienzan a interesarse por este nuevo deporte emergente. Es en este momento cuando los publicistas de las revistas de surf, más en concreto la revista *Guías de Surf*, empiezan a promover el *skateboarding*.

Surgen las primeras competiciones de este deporte haya por el 1963 (por aquel entonces los campeonatos eran básicamente trucos de *freestyle* o carreras de slalom a través de conos).

Comienzan a fundarse las primeras compañías de fabricación de monopatines a gran escala debido a la gran demanda que surge, en un periodo de tres años se vendieron alrededor de 50 millones de tablas, y se diseña el primer monopatín con cuya forma será la que determina el futuro de los tablas de *skate*, la compañía *Makaha Skateboards* es la pionera crear y llevar a cabo dicho diseño.

Este primer diseño de proporciones ya profesionales simboliza una mejora importante para este objeto puesto que deja de ser la tabla plana y rectangular que era antes, las ruedas pasan de ser metálicas a ruedas de arcilla (mezcla de plástico, papel y cascara de nuez molida), aunque estas siguen siendo rudimentarias y aportan poco control y agarre sobre las distintas superficies.

Es a finales de esta década cuando el *skateboard* sufre su primer declive, dos décadas después de su creación comienza a estancarse tecnológicamente el sector tras no haber avance alguno, a este acontecimiento se suma la campaña política en contra

I. Introducción

del *skate*, la Asociación Médica Americana declara que los patinadores son una amenaza para la sanidad norteamericana debido a la inestabilidad y la poca seguridad que ofrecen estos patinetes y los numerosos accidentes que provocan a los patinadores, con este motivo muchas ciudades ponen en marcha el plan de prohibir este “deporte” es entonces cuando el *skate* comienza a perder popularidad y sufre su primera crisis, la caída del *skate*.

Años 70

A principios de esta década Frank Nasworthy inventa las ruedas de poliuretano (material que a día de hoy se sigue empleando en la fabricación de este tipo de ruedas), el primer avance tecnológico considerable en este objeto, y funda la compañía *Cadillac Wheels Company* la primera casa que fabrica ruedas de poliuretano para comercializarlas en serie. Estas ruedas permiten un mayor control sobre la superficie por la que se rueda, mayor control y estabilidad, este momento significó bastante puesto que el *skate* estaba en su punto más bajo de popularidad y este acontecimiento realzo de nuevo la admiración del público por este deporte.

Junto a este avance tecnológico se suma también el cambio en las dimensiones de las tablas, las cuales ya tienen una forma consolidada, pasan de unos 16cm a 25cm de anchura aproximadamente, con lo que se consigue mucha más estabilidad y control del individuo sobre el patín.

Gracias a estos dos hechos el *skate* vuelve a ganar la admiración que había perdido. Comienzan de nuevo a celebrarse campeonatos y surgen figuras muy conocidas que marcarán un antes y un después en la historia de este deporte, nombres como Tony Alva, Stacy Peralta, Jay Adams... son los responsables de dotar de un atractivo el *skateboard* creando nuevos trucos y piruletas que nunca antes se habían visto. El *skateboard* deja de verse a nivel social como un hobby marginal propio de los suburbios.

Otro momento histórico que da un vuelco en el mundo del patín es la invención del *Ollie* (truco que te permite levantar la tabla del suelo a la vez que salta el

I. Introducción

individuo de ella), creado por Alan Gelfand a mediados de esta década y que abre un abanico de oportunidades incontables. Este acontecimiento da un giro al *skateboard* como se conocía hasta la fecha puesto que la manera de practicarlo era deslizarse cuesta abajo o en piscinas vacías, lugares que tuvieron gran afluencia de gente a raíz de la peor sequía de la historia que sufrió el estado de California y motivo por el cual se prohibió el malgasto de agua y por ende llenar las piscinas, las cuales tenían formas cóncavas y al quedarse vacías los *skaters* comienzan a aprovecharlas para patinar en ellas.

A mediados de esta década se construye el primer *skatepark* del mundo, en 1976 en el estado de Florida, y con esto la popularidad de este deporte continúa creciendo, gracias a esta iniciativa comienzan a construirse más *skateparks* a lo largo de todo el territorio nacional estadounidense, hecho que fomenta la práctica de este deporte.

Años 80

Esta década supone los años dorados de este deporte, el nacimiento del *skate* moderno. El *skateboard* internacionaliza y comienza a practicarse en diferentes países, no solamente en EE.UU, esto supone la demanda de un gran número de patinetes y con esto la creación de nuevas marcas que comercializan este producto y la apertura de tiendas especializadas en el sector.

Surgen figuras importantes que se convertirán en leyendas de este deporte como Tony Hawk, Rodney Mullen, Stacy Peralta, Steve Caballero y muchos otros (figuras que hasta hace poco continúan en activo con este deporte), los cuales inventan nuevos trucos, a raíz de la invención del *Ollie*, se podría decir que estas personas son los creadores del *skateboard* tal y como lo conocemos ahora.

La tecnología aplicable a este objeto continúa siendo prácticamente la misma que en la década anterior, ruedas de poliuretano y tablas de madera con unos ejes más anchos que permiten mejor maniobrabilidad, las tablas aumentan el ancho y modifican su forma, la que a día de hoy se conoce como tablas *Old school*.

I. Introducción

Con la creación de los *skateparks* surgen nuevas modalidades, dejando atrás el *slalom* o el *freestyle* para centrarse más en la modalidad de *Vert*, propia de estos lugares o *Street*, más propia de la calle donde los patinadores abordan cualquier elemento urbano para realizar sus trucos o *spots*, hecho que no contribuye del todo a su aceptación por el resto de la sociedad debido a que son considerados un peligro social lo cual repercute bastante en su reputación.

Gracias a la invención del VHS surgen los videos de *skaters* que alzan de nuevo la popularidad de este deporte para hacerlo llegar a cualquier parte del mundo. A estos factores se le atribuye el mérito de difundir la cultura *skater* al resto del mundo y dotar de cierto auge y celebridad esta forma de vida.

Años 90

El *skateboard* ya es considerado deporte a nivel mundial, se crean algunas organizaciones reconocidas a nivel mundial como la IASC (Internacional Association of Skateboard Companies) o WSC (Worlds Cup Skateboarding) y con esto el nacimiento de numerosos eventos y campeonatos a nivel internacional. Cabe destacar uno de ellos en concreto, los X-Games, campeonato que no solamente se centra en el *skateboard* sino en todos aquellos deportes extremos pero que permite favorecer la difusión de este deporte en un ambiente más cultural y no tan antisocial.

A pesar de estos hechos el *skateboard* sufre otra caída en sus índices de popularidad, el mundo sufre una recesión que afecta en gran medida a la industria del *skateboard*, la cual se enfrenta a numerosas pérdidas económicas. El inestable ambiente político junto con la crisis económica contribuyen en la creación de una situación de rebeldía entre los jóvenes los cuales salen a la calle desmotivados e influenciados por una cultura *punk* y rebelde que afecta en la concepción del resto de la sociedad hacia este deporte, de nuevo vuelve a asociarse el *skate* a un estilo de vida *underground* y anárquico.

Esta década también es conocida por la expansión de la modalidad de *street*, los *skaters* invaden las calles de las ciudades para practicar este deporte y realizar

I. Introducción

trucos y spots aprovechando cualquier elemento urbano como puedan ser unas escaleras, barandillas, bancos, muros...

En cuanto a la tecnología que se aplica a este sector cabe mencionar que mejora, la forma de las tablas deja de ser la ya mencionada “*Old school*” y adquiere una forma semi-estándar (ya que hay varios tipos) que es la que a día de hoy continua utilizándose, una forma medio cóncava con *tail* y *nose* y redondeada por los extremos. Además de esto se mejoran los materiales que conforman las tablas, la madera de arce canadiense pasa a ser el material por definición en la fabricación de este objeto así como los ejes comienzan a fabricarse con aleaciones de aluminio, material que sigue en curso en nuestra época. Paralelamente a este desarrollo en las tablas, comienzan surgir muchas marcas, tanto de tablas de *skate*, ejes, ruedas... como ropa, zapatillas... que acompañaran este fenómeno durante el transcurso de sus días, marcas como *Vans*, *Independent*, *Santa Cruz*... que poco a poco se van abriendo un hueco en esta industria y que a día de hoy son grandes referentes en este sector.

Años 2000

Los años 2000 simbolizan la solidificación del *skateboard*, esta nueva era representa el cambio en todo el mundo, los ambientes político, social y económico son más estables que en la década anterior y se deja un poco de lado la cultura *punk* y anárquica que habitaba en los 90.

El *skateboard* comienza a verse como un estilo de vida, los *skaters* dejan de verse como criminales rebeldes, la fama de este deporte alcanza su cumbre y aumentan en masa el número de patinadores gracias a la publicidad que recibe de eventos que se celebran anualmente y que a día de hoy continúan celebrándose y con esto comienzan a crearse *skateparks* en todo el mundo, surgen nuevas marcas que comercializan este objeto y debido al avance tecnológico salen al mercado los primeros videojuegos de *skate* en los que aparecen las marcas más prestigiosas así como los *skaters* más importantes del momento.

En cuanto a las tablas adquieren la forma establecida que prevalece hoy en día, esa forma cóncava por el ancho que cuenta con un *nose* y un *tail* que permite

I. Introducción

“picar” para elevar la tabla del suelo, las ruedas no dejarán de fabricarse en poliuretano ya que podría decirse que es la material idóneo para este elemento el cual cumple con todas las solicitudes y por ello prevalece desde su invención. Por otra parte el único material existente en la fabricación de tablas había sido la madera, con diferentes combinaciones y variando el tipo de madera hasta encontrar la disposición adecuada tratando de reducir el peso de este elemento, con gran diferencia el material más solicitado para la fabricación de tablas.

Es en esta década cuando comienza a innovarse con nuevos materiales con los que se quiere mejorar las propiedades de las tablas. Principalmente se experimenta con la fibra de carbono, incorporando alguna lámina de este material entre láminas de madera, con esto se quiere conseguir mejorar la resistencia de este elemento y con ello la durabilidad, ya que practicado a altos niveles profesionales son objetos que se parten con relativa facilidad. Hay que decir que en sus comienzos estos proyectos a pesar de que se llevan a cabo no llegan a triunfar debido a que no se obtiene la disposición oportuna, pero que no por esto dejarán de surgir ideas hasta alcanzar el triunfo.



Figura I.1.2 Evolución de las tablas de skate.

I. Introducción

I. Introducción

I.3. ANTECEDENTES.

En este apartado del proyecto se pasará a describir los factores que preceden a la elaboración del presente proyecto como puedan ser soluciones tecnológicas hasta la fecha, fabricantes del objeto, descripción de los posibles materiales empleados por las marcas actuales, principales características del objeto y algunos aspectos de carácter económico.

I.3.1 Tecnologías actuales

Como parte de este apartado del proyecto se procederá a describir alguno de los fabricantes de tablas de *skateboard* y las diferentes tecnologías y combinaciones empleadas en la fabricación del objeto así como las marcas que emplean estas disposiciones.

Comenzaremos por describir la más común de todas las tipologías de tabla empleadas hasta la fecha:

7 Láminas de Madera de Arce Canadiense (Maple)

Consiste en la superposición de 7 láminas de madera de arce canadiense unidas entre sí mediante un tipo de adhesivo empleado en maderas.

Esta es la composición más utilizada por los fabricantes de este producto. Con el paso de los años y tras numerosas pruebas realizadas, materiales y conjugaciones diferentes empleadas se ha llegado a la conclusión que este tipo de madera en concreto y este número de láminas es el idóneo para garantizar una buena resistencia a la par que aportar flexibilidad a la tabla, puesto que con un número menor de láminas obtenemos tablas poco resistente y con un número mayor de láminas, aunque obtenemos mayor resistencia y con ello más durabilidad del elemento, tenemos como resultado una tabla demasiado pesada y poco flexible lo cual impide la realización de trucos con relativa facilidad.

El empleo de la madera de arce canadiense es debido a que es una madera muy dura y resiste y al mismo tiempo es muy abundante con lo que puede cubrir con la

I. Introducción

demanda para la fabricación de este objeto, por otra parte tiene un coste de producción relativamente bajo puesto que la madera no es muy material difícil de procesar.

Marcas que lo emplean: Todas las marcas que comercializan tablas de *skate* tiene alguna con esta tipología.

P2 (Pro 2)

Otra variación dentro de las diferentes combinaciones posibles es la conocida como tecnología P2, la cual es abalada por años de investigación que aseguran su eficiencia, durabilidad y resistencia.

Esta tecnología se basa fundamentalmente en reemplazar una de las siete láminas de arce canadiense por una lámina de fibra de Kevlar ovalada, la cual va introducida entre medio de las restantes de madera, esta lámina de fibra suele quedar colocada en el centro de las otras seis. La función del Kevlar consiste en distribuir mejor las presiones ejercidas a lo largo de la tabla lo cual se ve reflejado en un incremento notable de la resistencia y por ende de la durabilidad de las mismas. Por otra parte el uso de esta tecnología favorece también en cuanto al peso de este elemento, reduciéndolo levemente y a su vez mejora el denominado “efecto rebote” que se genera tras realizar el *Ollie*.

Marcas que lo emplean: Flip, Plan B, Santa Cruz, Creature, Toy Machine y Mystery.

Impact

Esta tecnología se caracteriza por combinar discos de CF con láminas de arce canadiense. De esta tecnología existen tres variantes diferentes:

Impact Support: Esta variación se fabrica con 8 láminas de madera de arce a la cual se le incorporan 2 discos de CF situados en la zona donde se colocan los ejes (zona de la tabla donde se concretan más tensiones y por tanto es la zona más débil) situados entre la 4ª y la 5ª lámina.

Este tipo de construcción proporciona más resistencia al conjunto y por ende aumenta la durabilidad de las tablas, el inconveniente es que al emplear una lámina

I. Introducción

más de madera las tablas son más pesadas y menos flexibles lo que repercute a la hora de realizar trucos, levantar la tabla del suelo...

Impact Plus: Esta variante de fabricación es muy similar a la anterior con la diferencia que se añade una lámina más de CF con forma ovalada y se coloca en la parte superior de la tabla, en total tendríamos las 8 láminas de madera de arce, los 2 discos de carbono situados en la zona de los ejes y por último la lámina de CF con forma ovalada.

Esta disposición aporta aún más resistencia y durabilidad a la tabla, y al añadir está última lámina de CF conseguimos mejorar el *pop* o también conocido como “efecto rebote”.

Impact Double: En esta variante dentro de la tecnología Impact se prescinde de la última lámina de madera de arce volviendo a la construcción típica de 7 láminas pero conservando los 2 discos de CF y añadiendo una última lámina entera de CF, 8 en total más los 2 discos.

Con esto obtenemos una de las tablas más resistentes del mercado y uno de los mayores *pops* al mismo tiempo.

Marcas que lo utilizan: Almost, Enjoy y Cliché

Resin

Esta tecnología se basa en la construcción de la tabla con la disposición típica de las 7 láminas de *maple*, la diferencia reside en el adhesivo empleado para unir las láminas, en este caso se usa resina Epoxy en vez de utilizar un adhesivo normal, por lo que es necesaria una menor cantidad y se consigue disminuir el peso de la tabla. De esta variante existen 2 categorías distintas:

Resin-7: En esta variante se utilizan 7 láminas de madera de arce unidas entre sí con resina Epoxy, con lo que consigue reducir el peso del conjunto.

Resin-8: En esta variante se utilizan 8 láminas de madera de arce en vez de 7 unidas entre sí con resina Epoxy, al necesitar menos cantidad de adhesivo se consigue

I. Introducción

que esta pese lo mismo que una tradicional de 7 láminas, lo que conseguimos es una mayor resistencia a igualdad de peso.

Marcas que lo utilizan: Almost, Enjoy y Cliché

Uber Light

Esta es una de las construcciones menos comunes del mercado, para ello se dispone de un tipo de lámina de CF acolchada dentro de la propia tabla, es decir, ubicada entre las láminas de *maple*, esta tabla de CF es ultra ligera y aporta una dureza comparable con el metal. Esta lámina hace la función de columna vertebral con lo que conseguimos una de las tablas más resistentes hasta la fecha. Por otra parte conseguimos reducir el peso de la tabla y aumentar la rigidez también en los laterales lo que permite realizar trucos de *flip* más fácilmente.

Probablemente esta sea una de las tecnologías más avanzadas y costosas del mercado.

Marcas que lo utilizan: Almost.

Featherlight

En este tipo de construcción se utilizan las 7 láminas de maple pero con un espesor de las láminas un poco más reducido, lo que se consigue es una tabla más ligera.

Marcas que lo utilizan: Element

Featherlight Helium

En esta variación tipológica se incorporan 5 cámaras de aire entre las 7 láminas de maple con el objetivo de reducir notablemente el peso pero sin disminuir la resistencia de la tabla.

Marcas que lo utilizan: Element

Fiberlight

I. Introducción

Esta tecnología se asemeja bastante a la Featherlight, emplea láminas de madera de arce de espesor reducido y además incorpora una lámina más de GF consiguiendo una de las tablas más finas del mercado. La finalidad de la lámina de GF es distribuir uniformemente las presiones a las que está sometida la tabla, liberando los puntos de presiones concentradas como son las zonas sobre las que se atornillan los ejes, por otra parte añade una presión predeterminada que mejora el efecto rebote de la tabla consiguiendo así facilitar la realización de trucos como el *Ollie*.

Marcas que lo utilizan: Element

Push

Emplea una tecnología muy similar a la Featherlight Helium, incorporando cámaras de aire para reducir el peso de la tabla, pero además añade una lámina de CF ovalada y utiliza la resina Epoxy para unir todas las láminas con lo que además de reducir el peso se consigue aumentar la dureza.

Marcas que lo utilizan: Element

Armor Light

En este tipo de contrucciones se incorpora una lámina de CF en mitad de las otras 7 láminas de *maple*, lo que se pretende conseguir con ello es aumentar notablemente la rigidez de la tabla sin aumentar prácticamente el peso.

Armor Light, del inglés, armadura ligera.

Marcas que lo utilizan: Darkstar

Prospec

Construcción que emplea láminas de madera de arce de diferente espesor. La disposición de estas suele incorporar láminas más de espesor mayor en el núcleo y láminas más finas en las capas exteriores, lo que aporta este tipo de construcciones es una mayor estabilidad a la par que un mejor efecto rebote de la tabla.

Marcas que lo utilizan: Plan B

I. Introducción

Everslick

Esta tecnología es una de las más novedosas, consiste en añadir una capa termoplástica a la última lámina de las 7 de maple, es decir, a la parte inferior de la tabla con el objetivo que esta pueda deslizar sobre casi todas las superficies sin necesidad de aplicar ninguna cera deslizante sobre la superficie que se desea “grindar”.

Marcas que lo utilizan: Santa Cruz

I.3.2 Principales características de una tabla

En este apartado del presente proyecto se describirán las principales características del elemento en cuestión en función de las cuales se escoge el tipo de tabla determinado.

I.3.2.1 Medidas y Partes

Este es un factor a tener en cuenta dependiendo del tamaño del individuo al que va destinada la tabla y también en función de la modalidad de *skateboard* a practicar, las medidas y partes de una tabla se distinguen en las siguientes:

- **Tail:** Es la parte trasera de la tabla, la cual tiene una curvatura cóncava que permite la realización de trucos como el *Ollie*.
- **Nose:** Es la parte delantera de la tabla, la cual tiene una curvatura cóncava también, es muy similar al *tail* solo que éste es un poco menos pronunciado.
- **Cóncavo (Concave):** Es la parte central de la tabla, recibe este nombre por su propia forma, permite el agarre de los pies sobre la tabla y tiene esta forma para poder realizar trucos.
- **Largo (Length):** Mide el largo de la tabla, desde el extremo del *tail* hasta el extremo del *nose*, no es una medida muy influyente a la hora de escoger una tabla. Esta medida oscila entre 30''-32'' (76.2-81.28cm).

I. Introducción

- **Ancho (Width):** Mide el ancho de la tabla, esta medida sí que tiene bastante importancia a la hora de escoger una tabla. Oscila entre 7.5"-8.5" (19-21.6cm). Y en función de la modalidad que vayamos a practicar y del tamaño de nuestros pies escogeremos una tabla más ancha o una más estrecha.

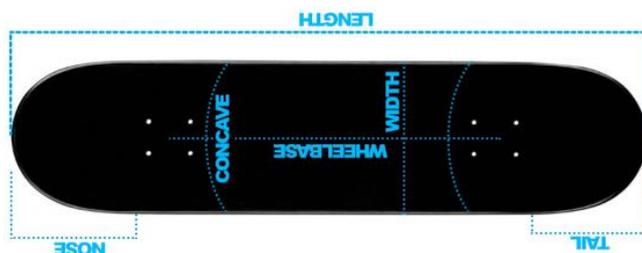


Figura I.3.2.1 Partes de una tabla de skate.

Las tablas más estrechas son mejores para la realización de trucos puesto que es más sencillo darles la vuelta y realizar trucos de “flip” (consiste en hacer que la tabla de una vuelta sobre si misma) por tanto son más apropiadas para la modalidad “street” mientras que las tablas más anchas aportan algo más de estabilidad y por tanto son mejores para la modalidad de pista.

I.3.2.2 Material

El material empleado en la fabricación es uno de los factores más importantes a tener en cuenta, este aspecto influirá en el precio y determinará también la durabilidad y resistencia del elemento además de otras propiedades técnicas del objeto.

La mayoría de las tablas se fabrican con madera de arce canadiense (maple) puesto que como bien se ha mencionado, es una material muy abundante y capaz de cumplir con las características de resistencia, flexibilidad, peso y durabilidad demandadas en este elemento. Aunque si bien es sabido que se está comenzando a innovar con la incorporación de nuevos materiales con el objetivo de mejorar estas características. Estos materiales con los que se está empezando a progresar en la fabricación de tablas son fibra de vidrio (GF), fibra de carbono (CF) y fibra de aramida (Kevlar). Más adelante en el proyecto se detallarán sus principales características y propiedades mecánicas que influyen en el desarrollo de este elemento.

I. Introducción

I.3.2.3 Precio

El precio de una tabla de *skate* es un factor que viene determinado principalmente en función de otros dos parámetros, el material y fundamentalmente la marca.

Obviamente el material influye en el precio de una tabla puesto que no resultará el mismo precio para una tabla de construcción simple de 7 láminas de madera de arce o incluso las hay de peor calidad y no llegan a tener esas 7 láminas de maple canadiense o por otra parte una que este reformada con fibra de carbono. Pero incluso en tablas de la misma calidad varia notablemente el precio en función de la marca escogida.

El rango de precios puede variar entre 30-150€ como bien se acaba de mencionar dependiendo de la calidad del material, el tipo de construcción y la marca. Pero el precio medio de una tabla de construcción típica de madera oscila en torno a 65€.

I.3.3 Soluciones tecnológicas

En este apartado se procederá a describir algunas de las tecnologías más empleadas a la hora de fabricar esta pieza.

Proceso de fabricación de tabla de disposición típica de 7 láminas de madera de arce canadiense (maple)

Este proceso de proceso de fabricación una vez se han obtenido las láminas de madera de arce canadiense (cabe mencionar que solo existen dos compañías encargadas de procesar la madera de arce canadiense para la obtención de dichas láminas, estas compañías se encuentran ubicadas en Canadá, una de ellas es "Control MFG"). El proceso comienza por encolar las láminas, solo se encolan las láminas intermedias por ambos lados, de la 2-6, la lámina inferior se lija y la superior se adhiere a la otra por la propia cola de la lámina que la precede, se utiliza una cola especial está diseñada para soportar fricciones y golpes.

Se colocan 35 láminas, el equivalente a 5 tablas, dentro de una prensa con la forma final que se desea obtener. Esta prensa aplica una presión de 40T durante 3h con

I. Introducción

la objetivo de comprimir las tablas para obtener la forma deseada y expulsar el exceso de cola sobrante, posteriormente se separan las 5 tablas dado que no todas las láminas estaban encoladas, como se ha explicado previamente. A continuación se perforan los agujeros donde irán atornillados los ejes a la tabla mediante un taladro mecánico compuesto por 8 brocas, 4 para el eje delantero y 4 para el eje trasero.

El siguiente paso es cortar el contorno de la tabla con una sierra eléctrica puesto que hasta ahora se trataba de una plancha rectangular, a partir de una plantilla y mediante unos clavos que encajan en los agujeros previamente perforados se realiza el contorno de la tabla, dejando 2.5cm de margen. El contorno se hace mediante unas muelas, los bordes con una fresadora y se suavizan todas las superficies con una lijadora. Con una pulidora que emplea cepillos y lijas se liman todas las esperezas para conseguir el acabado deseado.

Para finalizar se rocían las cubiertas con pintura base incolora que sella los poros para que no absorban el barnizado de después, este proceso tarda 2h aproximadamente en secarse a continuación se aplica el barniz. El último paso es la aplicar la decoración, el proceso de estampación se lleva a cabo aplicando calor y presión a una lámina de vinilo sobre la propia cubierta de la tabla.

Proyecto “Lithe Skateboards”

“Lithe Skateboard” es una nueva marca estadounidense creada por dos hermanos que tras 6 años de investigación y pruebas acaba de lanzar al mercado su revolucionaria tabla de *skate*.

Es un proyecto innovador y muy interesante el cual considero digno de mencionar puesto que estos dos hermanos parecen haber dado con la disposición perfecta a la hora de combinar la fibra de carbono y la madera de arce en la fabricación de tablas de *skate*, además de incorporar un polímero para recubrir los extremos de las tablas evitando así que éstas se astillen al recibir impactos.

I. Introducción

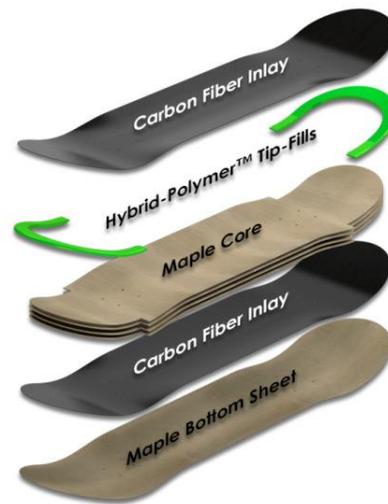


Figura I.3.3 Disposición de láminas Proyecto Lithe Skateboards.

La disposición de las láminas es la que se muestra en la imagen anterior y con ella la marca asegura una durabilidad de las tablas de hasta 8 veces más que una tabla de madera con la disposición convencional testado por patinadores, asimismo y mediante ensayos de abrasión ejecutados en los extremos de las tablas (*tail/nose*) garantizan una durabilidad de hasta 20 veces más que una tabla convencional, este hecho se atribuye a la incorporación del polímero que al inyectarlo se funde con la madera por los extremos de la tabla. Con esta disposición se consigue mejorar tres aspectos fundamentales: incrementar la resistencia y con ello la durabilidad de las tablas, se mejora el efecto rebote que permite saltos con mayor facilidad gracias a las láminas de CF que a su vez aumenta notablemente la flexibilidad y por último se evita que las tablas se astillen en sus extremos.

Tras la puesta en contacto con la empresa para solicitar información acerca del proceso de fabricación, materiales y métodos de ensayo que realizan la respuesta obtenida es que parte del proceso de fabricación y los métodos de ensayos son secretos que la propia marca se reserva, en cambio me comunicaron que la fibra de carbón que utilizan se denomina "Spread tow" con el fin de mejorar la resistencia al impacto y que la resina que utilizan para unir las láminas de fibra de carbono es una resina epoxi, por otra parte no conseguí obtener información acerca del polímero de color verde que inyectan para reforzar los extremos y evitar que se astillen.

I. Introducción

I.3.4 Materiales empleados en la fabricación de tablas

En el siguiente apartado del proyecto se procederá a describir los materiales empleados en la fabricación del objeto del proyecto que utilizan algunas de las marcas más importantes del sector.

Como bien se ha comentado antes, el material es el factor más importante a tener en cuenta a la hora de la fabricación de este objeto puesto que va a determinar la resistencia y durabilidad del elemento e influirá en el precio.

I.3.4.1 Madera de Arce Canadiense (Maple)

Como se ha comentado anteriormente en este proyecto, este es el material por excelencia empleado en la fabricación de tablas de *skateboard*. Todas las marcas utilizan este material, ya bien se sea aislado o bien en combinación con algún otro material para reforzar e incrementar las características de la tabla.

El motivo es debido a sus propiedades mecánicas que hacen de este el material idóneo. La madera de arce canadiense es un material abundante hecho que repercute satisfactoriamente en el precio final que adquieren este producto, a su vez es un material fácil de tratar y procesar por lo que se prescinde de procesos complejos de mecanizado para su obtención.

I.3.4.2 Fibra de Carbono (CF)

Se trata de una fibra de origen sintético la cual se obtiene a partir de la descomposición de las cadenas moleculares del polímero denominado poliacrilonitrilo (PAN), compuesta principalmente por carbono. Está formada por filamentos delgados del orden de 5-10 μ m.

Este compuesto que posee, en conjunto de una matriz de refuerzo, excelentes propiedades mecánicas que permiten su comparación con materiales metálicos con la ventaja de una reducción de peso que lo equipara con materiales plásticos o maderas, por lo que a misma unidad de peso con un acero se pueden conseguir resistencias muy

I. Introducción

similares y una gran diferencia en cuanto a densidad, convirtiendo esta fibra de origen sintético en un material de altas prestaciones.

Su principal aplicación es la fabricación de materiales compuestos junto con polímeros termoestables, normalmente con resina epoxi, aunque también puede usarse con otro tipo de resinas como el poliéster o viniléster. Fue desarrollada originalmente para el sector espacial dado a las características mencionadas pero hoy en día debido al descenso del coste del material se emplea comúnmente el sector del transporte y de la alta competición

I.3.4.3 Fibra de Vidrio (GF)

Se trata de una fibra inorgánica constituida principalmente por sílice el cual se asociada con diversos átomos de oxígeno. Se obtiene por fusión de la mezcla de estas materias, tras un proceso de estirado a gran velocidad y pasando posteriormente por la hilera para obtener las fibras o “hilos”.

Al tratarse de una fibra se utiliza también en conjunto de una matriz de refuerzo que es el elemento que aporta procesabilidad y coherencia al conjunto. Se utiliza comúnmente como un material de refuerzo con muchos productos poliméricos debido a sus buenas propiedades mecánicas como lo son la resistencia y la flexibilidad, en el orden de prestaciones podría decirse que está por debajo de la fibra de carbono pero hay que tener en cuenta que se trata de una fibra más económica.

Tiene una amplia variedad de usos ya se utiliza como refuerzo de numerosos productos del sector deportivo así como en el sector náutico, también muy utilizado en la fabricación de elementos de contención y dado a sus propiedades aislantes también es utilizado en recubrimientos.

I.3.4.4 Kevlar

Se trata de un tipo de fibra de origen sintético perteneciente a la familia de las aramidas que desarrolló la empresa DuPont, la cual se dedica a la investigación y creación de materiales de tipo químicos. Existen diferentes grados de esta fibra

I. Introducción

(kevlar29, kevlar49 y kevlar149) que difieren entre ellos sus propiedades así como en el precio.

Es muy conocida y comúnmente utilizada por sus elevadas propiedades mecánicas de las que podemos destacar su gran rigidez y resistencia que hacen de este un material compuesto (al estar en conjunto de una matriz) equiparable con algunos materiales de carácter metálico, por otro lado también cabe destacar la importancia de elongación a la rotura que dota al material de una gran flexibilidad así como su elevada tenacidad, entre otras características también se puede destacar sus propiedades térmicas permite que trabaje a temperaturas del orden de 400°C o más sin interferir con las propiedades ya mencionadas.

Entre otras, estas son algunos de sus principales aplicaciones, en la fabricación de ropa de protección frente a impactos balísticos, así como en el sector deportivo de alta competición, elementos de protección empleados a altas temperaturas... gracias a sus excelentes prestaciones.

I.3.5 Normativa

En este subapartado se procederá a explicar los aspectos más relevantes de la normativa vigente europea que regula la fabricación y los métodos de ensayo de monopatines.

La normativa referente a lo ya mencionado es la “UNE-EN 13613: 2009” cuyo título es: “Equipo para deportes sobre ruedas. Monopatines. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.”

Todo el texto que prosigue está extraído de la norma.

I.3.5.1 Objeto y campo de aplicación

Esta norma especifica los requisitos para los monopatines sin motor destinados a su utilización por un solo usuario.

I. Introducción

Los monopatines que contempla esta norma están clasificados según criterios de rendimiento para distintas categorías de peso corporal.

I.3.5.2 Términos y definiciones

Monopatín: Equipamiento deportivo totalmente armado y utilizable que consiste en una o más tablas unidas sobre dos soportes con ruedas, sobre el que el usuario puede impulsarse, y que se puede dirigir cambiando el apoyo del peso del cuerpo.

I.3.5.3 Clasificación

Clase A: Monopatines destinados a usuarios de 20-100kg de peso

Clase B: Monopatines destinados a usuarios de 20-50kg de peso.

En este proyecto solo tendremos en consideración los monopatines de Clase A.

I.3.5.4 Requisitos

- a)** No deberá haber ningún elemento saliente en la superficie superior de la tabla. La superficie superior de la tabla se equipará con una superficie antideslizante (lija).
- b)** Todos los bordes del monopatín que puedan entrar en contacto con partes del cuerpo durante su uso normal, deberán ser dispuestos de forma que no supongan un peligro para el usuario, o deberán moldearse de forma que no puedan ocasionar heridas.
- c)** Las esquinas y bordes de la tabla deberán ser redondeados y estar libres de rebabas y rebordes prominentes o cortantes. Los extremos de la tabla deberán ser redondeados, con un radio mínimo de 10mm.
- d)** Cuando sea sometido a ensayo ninguna parte del monopatín deberá romperse ni mostrar signos de daño funcional.

I.3.5.5 Métodos de ensayo

I. Introducción

En este apartado se detallan los ensayos que afectan a la parte estructural de la tabla puesto que es en lo que se basa este proyecto, mencionar que además de los que se van a detallar a continuación, la norma recoge más métodos de ensayo.

Ensayo de caída

Se deja caer libremente una masa cilíndrica de (20 ± 0.5) kg de masa y (100 ± 0.1) mm de diámetro sobre varios puntos de la tabla, que luego se examina para comprobar si se han producido daños a su integridad.

Procedimiento

Dejar caer el lastre cilíndrico, en caída libre, sobre el centro de la tabla tres veces, luego tres veces sobre el área central de un eje, y finalmente tres veces sobre el área central del otro eje.

Dejar caer el lastre a lo largo de (300 ± 5) mm sobre el centro de la tabla y a lo largo de (200 ± 5) mm sobre el centro de los ejes.

Observar si se producen o no roturas, signos de daño funcional o si se ha aflojado algún mecanismo de sujeción.

Ensayo de impacto

Se hace colisionar un monopatín con una velocidad controlada de 18km/h contra un bordillo y se examina para comprobar si se han producido daños a su integridad. La altura de bordillo ha de ser igual a la del diámetro de la rueda.

Procedimiento

Hacer colisionar el monopatín tres veces contra el bordillo.

Observar si se producen roturas, signos de daño funcional, o si se ha aflojado alguno de los mecanismos de sujeción.

II. OBJETIVOS

OBJETIVOS

II. Objetivos

II.1. OBJETIVO GENERAL.

El objetivo central del proyecto es el estudio y la optimización de una tabla de *skate* para su posterior fabricación con materiales compuestos.

Se va a hacer especial hincapié en la optimización de la resistencia mecánica, factores económicos y ligereza intervinientes en la fabricación de dichas tablas. El proyecto se abordará bajo un marco multidisciplinar dentro de la Ingeniería Mecánica y contemplará el diseño en CAD, el análisis mecánico, el dimensionamiento, la selección de materiales, el estudio de la fabricación y la viabilidad económica.

II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

Los objetivos particulares que se pretenden cumplir a lo largo del desarrollo del proyecto se describen a continuación:

- **Diseño de la pieza:** conseguir un diseño del proyecto auténtico, cuyas dimensiones se correspondan con la realidad.
- **Determinar los estados tensionales:** se analizará la forma de trabajar del material para fijar un estado tensional acorde con un modelo real.
- **Selección de la matriz:** establecer un proceso de selección que tenga en consideración los diferentes factores determinados y escoger una matriz que cumpla con dichas solicitudes.
- **Selección de la fibra:** escoger un refuerzo adecuado que cumpla con los estados tensionales y a su vez sea capaz de optimizar los factores mencionados.
- **Simulación y análisis:** realizar el proceso de comprobación y verificar que los materiales seleccionados son adecuados para la construcción de la pieza.
- **Selección proceso de fabricación:** determinar un proceso de fabricación que cumpla con los criterios del proyecto y asegure una óptima calidad

II. Objetivos

de la pieza así como una buena interacción entre los componentes utilizados.

- **Estudio viabilidad económico:** por último realizar un estudio económico para determinar si es o no factible y obtener un presupuesto cuanto más aproximado considerando todos los aspectos del proyecto.

III. DESARROLLO PROYECTO

**DESARROLLO
PROYECTO**

III. Desarrollo proyecto

III.1. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.

En este apartado del presente proyecto se procederá a describir el proceso que siguen las etapas de diseño a medida que se va avanzando en la creación de la primera lámina, lámina que se empleará para posteriormente realizar las simulaciones con diferentes materiales para comprobar que se cumple con los parámetros definidos de carga y resistencia, todo ello mediante la utilización del software de diseño *SolidWorks*.

En este primer diseño se describen las etapas hasta alcanzar la lámina definida con la forma final de la tabla de *skateboard* pero que no será la pieza final que se pretende llegar a obtener, puesto que está se mostrará más adelante en el proyecto (III.6 Diseño Final).

Etapa 1. Diseño del croquis en vista "planta".

El diseño comienza con la creación de un croquis en el plano "planta" en el cual se crea un primer rectángulo donde se definen las dimensiones largoxancho que tendrá la tabla [780x190mm], a continuación se crea otro rectángulo que queda definido en el interior del anterior con el mismo ancho pero diferente largo [550x190mm] el cual delimita el "tail" y el "nose" de la tabla. El siguiente paso es trazar una línea constructiva de centro a centro de cada extremo para poder construir las zonas de la tabla mencionadas. El siguiente paso es trazar una línea desde un extremo de la línea constructiva que se acaba de crear hasta una de las aristas del rectángulo interior, se repite esta acción con las cuatro aristas del rectángulo, dos desde el extremo superior de la línea constructiva y las otras dos desde el extremo inferior. Para finalizar esta etapa del diseño se obliga a estas cuatro últimas líneas a ser tangentes entre ellas y con el largo del rectángulo, quedando el croquis de esta forma:

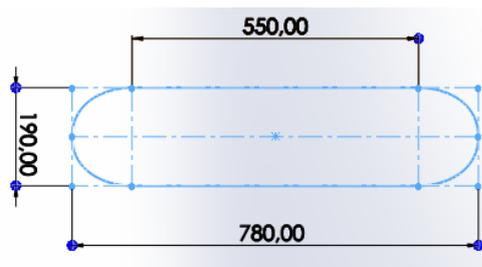


Figura III.1-1 Croquis inicial

III. Desarrollo proyecto

Etapa 2. Definición de la vista lateral.

Partiendo del plano "vista lateral" del croquis anterior trazamos una línea de 550mm cuyo centro coincide verticalmente con el centro del croquis anterior 30mm por debajo, lo siguiente es trazar una línea desde el extremo de la línea que acabamos de construir hasta el extremo del croquis anterior, realizamos la misma operación en el otro extremo de la línea y hacemos tangentes estas dos últimas líneas a la línea inicial que hemos construido. Con esto conseguimos el croquis de la línea central que conforma la tabla de *skateboard* desde un extremo a otro.

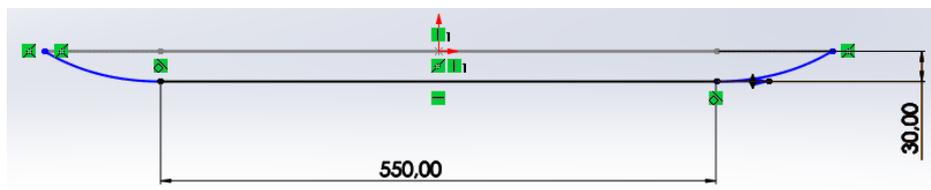


Figura III.1-2 Croquis línea central, vista lateral.

Etapa 3. Definición de las diferentes secciones.

En esta esta etapa del diseño se pretende diseñar las diferentes secciones que conforman la lámina de la tabla de *skateboard* para que esta tenga la forma deseada.

Una vez hemos diseñado el croquis en "planta" y en "vista lateral" pasamos a definir las diferentes secciones necesarias, para ello se crean diferentes planos, puesto que la geometría de la tabla es simétrica, partiendo del centro de la tabla se crea un "plano1" a 390mm del centro y un segundo "plano2" a 260mm, los 130mm de diferencia es la distancia estimada que ocupara la zona del "tail", se hace lo mismo en la otra dirección, se crea un "plano3" a -260mm del centro y un cuarto "plano4" a -390mm, en este caso la diferencia de 130mm es la zona del "nose".

III. Desarrollo proyecto

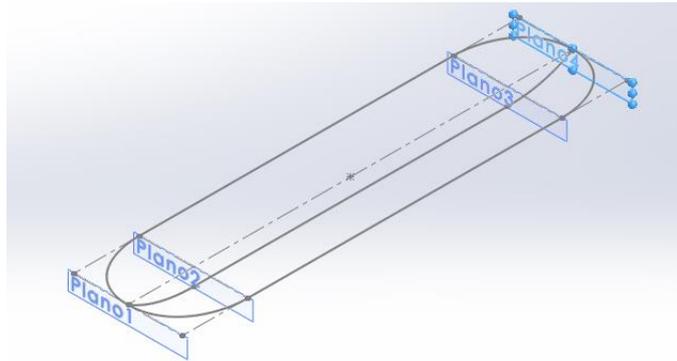


Figura III.1-3 Creación de planos.

Etapa 4. Diseño en las diferentes secciones.

El siguiente paso es dibujar los croquis en las diferentes secciones definidas anteriormente, para posteriormente crear la superficie límite que será la lámina de la tabla.

Planos 1 y 4: En la vista “alzado” trazamos una línea horizontal que va desde ocupa todo el ancho del croquis inicial de la tabla, es decir, el primer rectángulo dibujado.

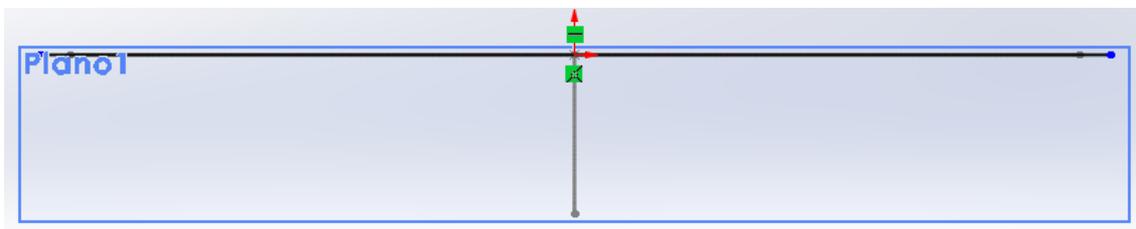


Figura III.1-4 Croquis Planos 1 y 4.

Planos 2 y 3: En la vista “alzado” creamos un rectángulo de 190mm de ancho por 8mm de alto, centrado en la vertical del croquis inicial y situado 30mm por debajo, y dibujamos un arco de tres puntos entre las aristas superiores del rectángulo y el punto central inferior del mismo. Estos dos croquis dibujados conformarán a base de la lámina de la tabla, es decir, la superficie que queda en contacto con el suelo.

III. Desarrollo proyecto

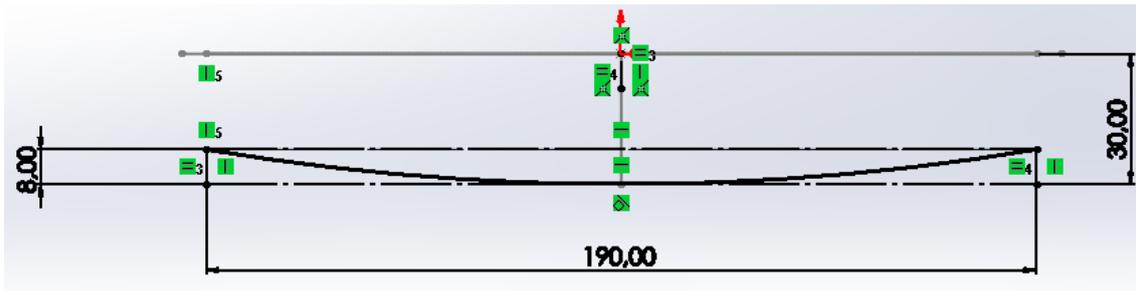


Figura III.1-5 Croquis Planos 2 y 3.

Etapa 5. Crear la superficie límite.

Una vez hemos creado todos los croquis necesarios para el diseño de la lámina procedemos a crear la superficie límite, para ello empleamos la función “límite – superficie”, seleccionamos en la primera dirección los croquis de los planos 1, 2, 3 y 4 y en la segunda dirección el croquis que da forma a la línea guía central inferior, es decir, la diseñada en la segunda etapa.

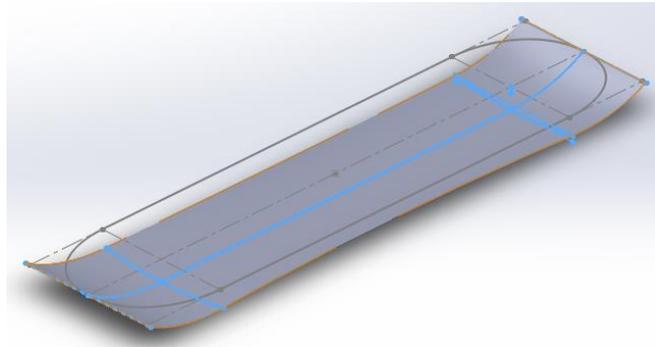


Figura III.1-6 Creación de la superficie límite.

Etapa 6. Recortar el exceso de superficie

Por último es necesario recortar el excedente de superficie creado, mediante la función “recortar superficie” seleccionamos las zonas de la superficie creada que deseamos eliminar del diseño.

III. Desarrollo proyecto

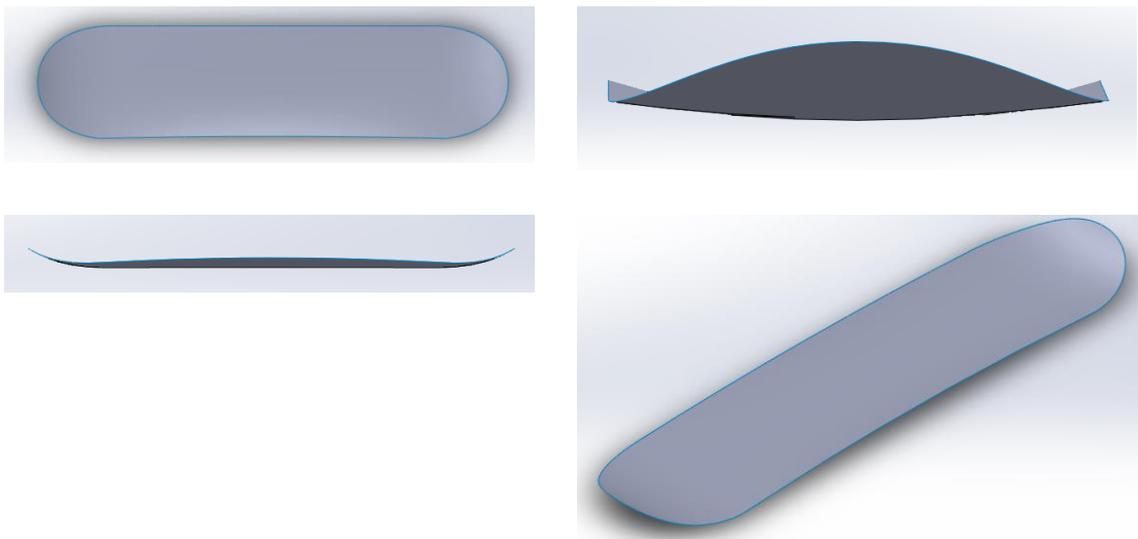


Figura III.1-7 Diseño final del prototipo de la lámina.

III. Desarrollo proyecto

III. Desarrollo proyecto

III.2. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES.

El siguiente paso siguiendo con el desarrollo del proyecto es analizar la forma en la que trabaja la pieza desde el punto mecánico, para ello se establecerá de una forma objetiva el estado tensional al que puede verse sometido una tabla en condiciones "límite", para una vez escogidos los materiales, someter al elemento a una análisis estático y poder verificar que está cumple con las sollicitaciones mecánicas establecidas.

Lo que se pretende que la simulación se asemeje lo máximo posible con la realidad, y teniendo en cuenta que los métodos de ensayo que se describen en la normativa referente al producto no son del todo significativos (I.3.5.5 Métodos de ensayo), puesto que la funcionalidad que se le va a dar a la pieza es mucho más agresiva que la descrita en los normativa, se establecerá un método de ensayo mucho más restrictivo que los ensayos de la norma.

La hipótesis de carga es la siguiente: la pieza deberá de soportar el impacto de una caída de 3m de altura realizada por usuario de 100kg de peso (I.3.5.3 Clasificación).

Con esta hipótesis se pretende cubrir todas las sollicitaciones mecánicas, puesto que si la pieza es capaz de soportar esta fuerza se da por hecho que será capaz de soportar un estado tensional menor ya que es una hipótesis de trabajo llevada al extremo, es decir, es un caso práctico que se puede dar en la vida real pero difícil de superar ya que se consideran un salto lo suficientemente alto y el peso del usuario es el máximo que permite la norma para monopatines de esta clasificación.

El cálculo de la fuerza que ejerce el usuario sobre la tabla se obtiene de la siguiente forma:

$$(1) F = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

III. Desarrollo proyecto

P, es la cantidad de movimiento.

t, es el tiempo estimado que tarda la tabla en recibir el impacto y estabilizarse. $t=0.1s$

Para calcular la cantidad de movimiento emplearemos la siguiente fórmula:

$$(2) \Delta P = m * (v_f - v_i)$$

m, es la masa del usuario. $m=100kg$

v, es la velocidad.

La velocidad final es un dato desconocido y para poder determinarlo aplicaremos el siguiente sistema de ecuaciones:

$$(3) v_f = v_i + g * t$$

$$(4) h = v_i * t + \frac{1}{2} g * t^2$$

g, es la gravedad. $g= 9.8m/s^2$

h, es la altura del salto. $h=3m$

t, es el tiempo que tarda en recorrer esa altura.

v_i , velocidad inicial. $v_i=0m/s$

Para poder resolver el sistema de estas dos ecuaciones, puesto que hay dos incógnitas (v_f y t) se plantea lo siguiente, se eleva la ecuación (3) al cuadrado y dividirla entre la ecuación (4), quedando el resultado de esta la siguiente forma:

$$\frac{v_f^2}{h} = 2g$$

$$v_f = \sqrt{h * 2 * g} = \sqrt{3 * 2 * 9.8} = 7.67m/s$$

Una vez hemos determinado la velocidad final la introducimos en la ecuación (2) para poder calcular el valor de la calidad de movimiento:

$$\Delta P = m * (v_f - v_i) = 100 * (7.67 - 0) = 767kg.m/s$$

III. Desarrollo proyecto

Y finalmente de esta forma poder calcular la fuerza que ejerce el usuario sobre la tabla:

$$F = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{767}{0.1} = 7670N$$

Por tanto y como se acaba de demostrar la fuerza que ha de soportar la pieza es de 7670N.

Una consideración a tener en cuenta es que la fuerza se reparte en dos zonas de la tabla, puesto que el usuario ejercerá esta fuerza al apoyarse sobre la tabla con sus dos pies. Por tanto esta fuerza queda repartida en dos de las zonas de apoyo definidas (III.4 Estudio y definición de condiciones de entorno), el centro será una obligatoriamente y la otra será uno de los extremos. Lo que equivale a:

$$F = \frac{7670}{2} = 3835N$$

Que deberá soportar cada una de las zonas de apoyo.

III. Desarrollo proyecto

III. Desarrollo proyecto

III.3. SELECCIÓN DE MATERIALES.

En este apartado del proyecto se procederá a realizar la elección del material idóneo para la fabricación del objeto que debe cumplir con las solicitaciones establecidas en el apartado anterior y a su vez pretende mejorar las prestaciones de una tabla de *skate* de disposición de 7 láminas de *maple* reduciendo el peso, e incrementando la resistencia y durabilidad de esta, tratando de competir en un mismo rango económico.

Para ello se divide la selección de materiales en dos apartados distintos, diferenciando entre la selección de la matriz y la selección de la fibra, dado que se trata de un material compuesto.

Para justificar la elección de los materiales se compararán sus diferentes propiedades mecánicas más relevantes mediante tablas para facilitar la visualización de estas.

Para la selección de los diferentes materiales se empleará el software CES Edupack, base de datos de materiales y procesos de fabricación que a su vez permite realizar una búsqueda acotada mediante la aplicación de filtros en función de las propiedades que se desee obtener en un material.

III.3.1 SELECCIÓN DE LA MATRIZ

Comenzaremos la elección del material por la selección de la matriz, como se ha mencionado en el apartado anterior se empleará la herramienta de filtro de la base de datos del CES Edupack para seleccionar las posibles opciones aptas.

Para poder establecer los parámetros de búsqueda y los intervalos óptimos es necesario haber realizado previamente un trabajo de investigación que permita conocer y poseer información acerca de estos, en el caso del objeto del proyecto, la tabla de *skate*, existe la problemática que apenas se fabrican tablas con materiales compuestos en su totalidad, pero se sabe que muchos fabricantes incorporan algunas láminas de

III. Desarrollo proyecto

fibras de refuerzo y utilizan como matriz de cohesión las resinas epoxídicas (I.3.3 Soluciones Tecnológicas), por tanto, para introducir los valores en los intervalos de las propiedades a la hora de aplicar los filtros fijaremos nuestros valores en base a los valores de esta resina con los datos obtenidos del CES Edupack, ampliando el intervalo para poder escoger entre más posibles opciones.

Las propiedades que en este caso afectan en la selección de la matriz son las que influirán en la forma de trabajo del producto desde el punto de vista mecánico así como las que se pretende optimizar: densidad, módulo de Young, límite elástico, tenacidad y elongación, a la par que el precio.

Tabla III.3.1-1 Intervalo de valores de las propiedades empleado en la selección de la matriz.

Filtro de propiedades	Mínimo	Máximo
Precio (€/kg)		4
ρ (kg/m ³)		2000
M.Young (GPa)	2	
L.elástico (MPa)	30	
Tenacidad (MPa.m ^{0.5})	0.5	
Elongación (% strain)	2	



Figura III.3.1-1 Resultados de las posibles opciones obtenidas tras aplicar los filtros en CES Edupack

Los resultados obtenidos tras aplicar la búsqueda son los que se muestran en la figura anterior, entre otros, que son los cuales cuyas propiedades están comprendidas entre las que se han mencionado anteriormente. De todos ellos se escogerán tres

III. Desarrollo proyecto

opciones posibles, las que además de cumplir con las propiedades, cumplen con nuestros intereses puesto que no todos los resultados se tratan de matrices de cohesión.

Por ello se escogen las tres siguientes: Epoxi o resinas epoxídicas, Fenólicos y Poliéster.

El motivo de la selección de estos tres materiales como opciones viables a la elección de la matriz es debido al carácter resinoso que las conforma haciendo de ellos polímeros considerablemente utilizados en el conformado de materiales compuestos de altas prestaciones.

En la siguiente tabla se muestran las propiedades mencionadas anteriormente características de cada material, mencionar que los datos son la media de los que muestra el CES Edupack, puesto que como hay varios grados de cada material el software muestra un valor mínimo y un valor máximo, para simplificar se escoge el valor medio de cada magnitud.

Tabla III.3.1-2 Propiedades de cada una de las matrices seleccionadas

Características matriz	Epoxi	Fenólicas	Poliéster
Precio (€/kg)	2.1	1.5	3.4
ρ (kg/m ³)	1250	1280	1220
M.Young (GPa)	2.7	3.8	3.2
Coef. Poisson	0.4	0.38	0.39
Lím. Elástico (MPa)	53.8	38.6	36.5
Elongación (%strain)	6	1.75	2.3
Tenacidad a la fractura (MPa*m ^{0.5})	1.3	1	1.4

Para proseguir con la elección de la matriz es necesario crear un laminado con cada uno de estos materiales para ver su comportamiento y propiedades en conjunto de una fibra, pues si bien es sabido es que cada uno de los componentes de un material compuesto no aporta gran cosa por separado pero al unirse se consigue el denominado efecto sinérgico.

Para crear el laminado escogeremos una fibra que no va a ser la elección final, puesto que esta se justificará en el siguiente apartado (III.3.2 Selección de la fibra). En este caso la fibra escogida es la fibra de carbono, pues como se ha mencionado anteriormente (I.3.3 Soluciones Tecnológicas) es una fibra muy utilizada en refuerzos de este producto.

III. Desarrollo proyecto

La idea es crear tres laminados idénticos, es decir, que la fibra utilizada, el número de capas, la disposición, orientación y espesor de estas así como el porcentaje de fibra sea constante y la única variable sea la matriz para ver cuáles son sus propiedades mecánicas y en base a esto hacer una valoración.

Para ello se empleará el software ElamX, herramienta de creación de laminados que permite conocer estos parámetros deseados. El software funciona de la siguiente manera:

- 1º: Se crea la fibra (CF) y se definen sus propiedades mecánicas
- 2º: Se crea la matriz (Epoxi, Fenólicas y Poliéster) y se definen sus propiedades mecánicas
- 3º: Se crea el material (CF+Epoxi, CF+Fenólicas y CF+Poliéster) indicando el porcentaje de fibra, hay que especificar que se trata de un “Material micro mecánico” al tratarse de un laminado.
- 4º: Se crea el laminado especificando el material ya creado así como el número de capas, el espesor y el ángulo al que están colocadas.

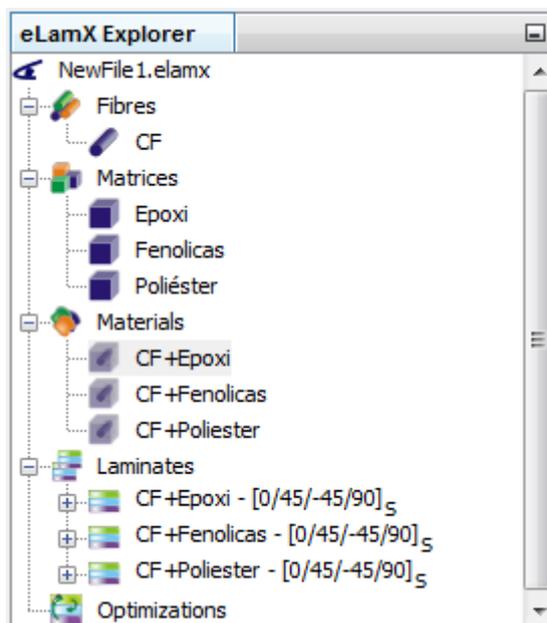


Figura III.3.1-2 Creación de laminados en ElamX

III. Desarrollo proyecto

La intención es conseguir un material cuasi-isotrópico, es decir, que se comporte igual en todas sus direcciones y para ello el laminado ha de ser simétrico y equilibrado como se muestra en la figura anterior.

Tabla III.3.1-3 Resultados de los valores obtenidos en ElamX

Resultados Elamx	Epoxi/FC	Fenólicas/FC	Poliéster/FC
M.Young (GPa)	41.6	42.4	42.1
M.Elasticidad transversal (GPa)	41.6	42.4	42.1
Coef. Poisson	0.313	0.304	0.308
Coeficiente cortadura (GPa)	15.8	16.2	16.1

Tras realizar las simulaciones en el software se puede comprobar que los datos obtenidos son bastante similares, por tanto para hacer la elección de la matriz se deberá tener en cuenta los demás factores mencionados anteriormente que influyen en esta elección y hacer una valoración subjetiva.

El proceso recibe el nombre de VTP (Valoración Total Ponderada) y consiste en darle una importancia (de 1-10) a cada uno de los factores en función de lo determinante que este sea en la elección. Después se multiplica el valor de cada magnitud por la importancia que esta recibe y se realiza el sumatorio de todos de todos los valores obteniendo así una cuantía que es dividida por el sumatorio de todos los valores dados a cada importancia de factor.

La cifra de mayor valoración obtenida representará la elección de la matriz puesto que está será la mejor calificación recibida, de este forma cada factor se ve afectado por la importancia subjetiva que recibe en la determinación de la elección.

Tabla III.3.1-4 Valoración Total Ponderada para la elección de la matriz

Matriz comparativa de factores	IMP (g)	Epoxi/FC		Fenólicas/FC		Poliéster/FC	
		p	p*g	p	p*g	p	p*g
Precio (€)	6	2.2	13.2	1.5	9.0	3.4	20.7
ρ (kg/m ³)	8	1.25e3	10	1.28e3	10.2	1.27e3	10.2
M.Young (GPa)	9	2.6	23.4	3.5	31.5	3.2	28.2
Tenacidad (MPa*m ^{0.5})	7	1.3	9.1	1.03	7.21	1.39	9.73
E1 (GPa) "prueba ElamX"	6	41.6	250.0	42.4	254.5	42.1	253.0
Límite Elástico (MPa)	8	53.8	430.4	38.6	308.8	36.5	292
ϵ (%strain)	7	6	42	1.75	12.25	2.3	16.1

III. Desarrollo proyecto

Total	51	778.1	633.5	629.9
VTP		15.25	12.40	12.35

El método indica, teniendo en cuenta los diferentes factores y la importancia que cada uno de estos recibe, que la matriz más apropiada para la fabricación del producto es la Resina Epoxi puesto que destaca notablemente sobre las otras dos.

III.3.1.2 Descripción de la matriz escogida

La matriz escogida para la fabricación de la tabla ha sido la resina epoxi. Se trata de un polímero termoestable en estado líquido que se endurece al mezclarse con un agente catalizador o endurecedor, puede utilizarse como adhesivo o como matriz de cohesión en un material compuesto, existen diferentes grados en función del uso al que vaya destinado.

Es una resina muy utilizada en la industria debido a las altas prestaciones que aporta al formar unión con la fibra, se caracteriza por sus excelentes propiedades mecánicas, eléctricas y de adhesión puesto que proporciona una elevada resistencia, además de una buena resistencia al calor y al ataque químico.

III.3.2 SELECCIÓN DE LA FIBRA

A continuación se explicará el proceso de selección de la fibra, al igual que en el apartado anterior se realizara nuestra selección de posibles opciones en la base de datos de materiales del software CES Edupack.

Para ello es necesario haber realizado un trabajo de investigación acerca de cuáles son los materiales empleados en la fabricación de este elemento (I.3.4 Materiales empleados en la fabricación de tablas) para tener una idea de las propiedades mecánicas necesaria que debe reunir el material para ser capaz de soportar las sollicitaciones que se espera que cumpla (III.2 Estudio y definición de estados tensionales).

El primer paso, igual que en el apartado de selección de la matriz es establecer los filtros de selección con unos rangos determinados que se han fijado en base a las

III. Desarrollo proyecto

propiedades que se pretenden optimizar, en este caso las propiedades de la madera con la que se fabrican las tablas típicas.

Tabla III.3.2-1 Intervalo de valores de las propiedades empleado en la selección de la fibra.

Filtro de propiedades	Mínimo	Máximo	Otros
Módulo Young (GPa)	15		
Límite Elástico (MPa)	30		
Elongación (%strain)	2		
Resistencia a compresión (MPa)	25		
Tenacidad (MPa.m ^{0.5})	1		
Forma			Fibra

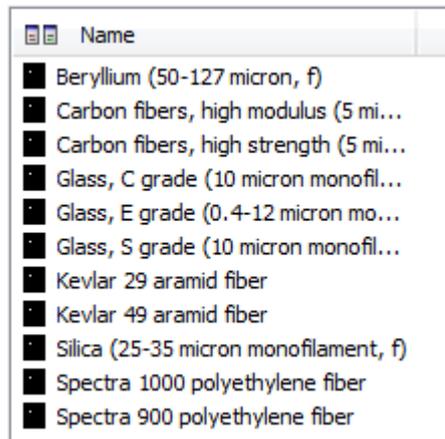


Figura III.3.2-1 Resultados de las posibles opciones obtenidas tras aplicar los filtros en CES Edupack.

Una vez establecidos los filtros, las que se muestran en la imagen anterior son las posibles opciones que el software muestra que están dentro de los límites establecidos. De las cuales se escogen las tres siguientes: Fibra carbono de alta fuerza (CF), Fibra de vidrio tipo-E (GF) y Kevlar 49 (KV49).

A continuación se muestran las propiedades obtenidas mediante el software CES Edupack de cada uno de los materiales seleccionados:

III. Desarrollo proyecto

Tabla III.3.2-2 Propiedades de las fibras seleccionadas.

Características Fibra	GF	CF	KV49
Precio (€/kg)	2.07	24.8	59.4
Densidad (Kg/m ³)	2570	1820	1450
E (Gpa)	78.5	235	123.5
σ (MPa)	1830	3870	2500
Elongación (%strain)	2.7	2.1	2.4
Tenacidad a fractura (MPa.m ^{0.5})	0.5	1.50	3.00
Resistencia a compresión (Mpa)	4500	4950	250
Cortadura (Gpa)	33	105	1.15
Coef. Poisson	0.22	0.10	0.35

III.3.2.1 Creación de laminados cuasi-isotrópicos.

El siguiente paso a realizar en el proceso de selección de la fibra es comprobar la interacción fibra-matriz y ver las propiedades mecánicas que ambos elementos poseen en conjunto. Para ello, al igual que en el apartado anterior, se empleará el software ElamX.

Conocida la matriz (III.3.1 Selección de la matriz) la idea es crear un laminado con cada una de las fibras seleccionadas y comparar sus constantes ingenieriles en conjunto de la matriz, resina epoxi.

Los laminados han de ser cuasi-isotrópicos, lo que quiere decir que el comportamiento tratará de ser constante en todas sus direcciones, para simplificar el cálculo y poder comparar los resultados de cada lamiando. Un laminado cuasi-isotrópico, se consigue con cumpliendo la condición de equilibrio (para cada lamina orientada en la sentido + hay una orientada en el sentido -) y la condición de simetría (cada lámina con características determinadas goza de una con las mismas características a la misma distancia de un plano medio).

Los laminados creados con los diferentes materiales deben de tener las mismas características, el laminado será el siguiente: [0/45/90/-45]_s, para los tres materiales diferentes, puesto que es la disposición más simple que cumple con las condiciones de equilibrio y simetría y partir de las cuales se podrá ir superponiendo capas de este laminado para verificar que cumpla con las sollicitaciones mecánicas.

III. Desarrollo proyecto

A continuación se muestran los laminados de cada material compuesto junto con sus constantes ingenieriles extraídas del software ElamX:

- **CF+EP**

Laminado formado por 4 láminas en simetría con la disposición mencionada anteriormente con el espesor de una fibra de carbono (0.015mm) del cual se puede apreciar su isotropía observando que el módulo de elasticidad longitudinal y el transversal son iguales ($E_x=E_y$) así como el coeficiente de Poisson en ambas direcciones ($\nu_{xy}=\nu_{yx}$).

...	Name	Angle	Thickness	Material
1	New Layer	0,0	0,015	C-'(HM)' EP-'-'
2	New Layer	45,0	0,015	C-'(HM)' EP-'-'
3	New Layer	90,0	0,015	C-'(HM)' EP-'-'
4	New Layer	-45,0	0,015	C-'(HM)' EP-'-'
5	New Layer	-45,0	0,015	C-'(HM)' EP-'-'
6	New Layer	90,0	0,015	C-'(HM)' EP-'-'
7	New Layer	45,0	0,015	C-'(HM)' EP-'-'
8	New Layer	0,0	0,015	C-'(HM)' EP-'-'

		without Poisson		with Poisson	
		Membrane	Flexural	Membrane	Flexural
E_x	=	91697,7	154206,7	82859,7	141452,2
E_y	=	91697,7	49299,8	82859,7	37478,0
G_{xy}	=	31614,9	21559,3	31614,9	15876,8
ν_{xy}	=	-	-	0,310	0,183
ν_{yx}	=	-	-	0,310	0,049
t_{tot}	=	0,12			
Area Weight	=	1,956E-10			

Figura III.3.2.1-1 Laminado de CF+EP junto con sus constantes ingenieriles.

- **Kevlar+EP**

Al igual que en el caso anterior, se puede observar un laminado de 4 láminas con la misma disposición [0/45/90/-45]_s también isotrópico, en este caso el espesor difiere del anterior dado que la fibra de KV es más gruesa (0.06mm).

...	Name	Angle	Thickness	Material
1	New Layer	0,0	0,06	A-'Kevlar-49' EP-'CE-3305'
2	New Layer	45,0	0,06	A-'Kevlar-49' EP-'CE-3305'
3	New Layer	90,0	0,06	A-'Kevlar-49' EP-'CE-3305'
4	New Layer	-45,0	0,06	A-'Kevlar-49' EP-'CE-3305'
5	New Layer	-45,0	0,06	A-'Kevlar-49' EP-'CE-3305'
6	New Layer	90,0	0,06	A-'Kevlar-49' EP-'CE-3305'
7	New Layer	45,0	0,06	A-'Kevlar-49' EP-'CE-3305'
8	New Layer	0,0	0,06	A-'Kevlar-49' EP-'CE-3305'

		without Poisson		with Poisson	
		Membrane	Flexural	Membrane	Flexural
E_x	=	35282,3	57471,2	31899,9	52981,0
E_y	=	35282,3	20127,7	31899,9	16239,3
G_{xy}	=	12179,1	8661,9	12179,1	6874,1
ν_{xy}	=	-	-	0,310	0,229
ν_{yx}	=	-	-	0,310	0,070
t_{tot}	=	0,48			
Area Weight	=	6,5136E-10			

Figura III.3.2.1-2 Laminado de KV49+EP junto con sus constantes ingenieriles.

- **GF+EP**

III. Desarrollo proyecto

Por último se muestra el mismo laminado, en este caso de fibra de vidrio más resina Epoxi con la misma disposición, en el que se puede observar la isotropía del conjunto en los parámetros descritos anteriormente, en este caso el espesor es aún mayor que en los dos anteriores dado que la fibra de vidrio es algo más gruesa (0.08mm).

...	Name	Angle	Thickness	Material	without Poisson		with Poisson		
					Membrane	Flexural	Membrane	Flexural	
1	New Layer	0,0	0,08	E-G-'E-Glas' EP-'-'	E_x	= 20676,6	29255,2	18939,9	27392,2
2	New Layer	45,0	0,08	E-G-'E-Glas' EP-'-'	E_y	= 20676,6	14754,5	18939,9	13439,7
3	New Layer	90,0	0,08	E-G-'E-Glas' EP-'-'	G_{xy}	= 7342,1	6013,8	7342,1	5613,5
4	New Layer	-45,0	0,08	E-G-'E-Glas' EP-'-'	ν_{xy}	=	-	-	0,290
5	New Layer	-45,0	0,08	E-G-'E-Glas' EP-'-'	ν_{yx}	=	-	-	0,278
6	New Layer	90,0	0,08	E-G-'E-Glas' EP-'-'	t_{tot}	=	0,64		
7	New Layer	45,0	0,08	E-G-'E-Glas' EP-'-'	Area Weight	=	1,344E-9		
8	New Layer	0,0	0,08	E-G-'E-Glas' EP-'-'					

Figura III.3.2.1-3 Laminado de GF+EP junto con sus constantes ingenieriles.

Mencionar que estos laminados creados son de forma orientativa, al igual que en el proceso de selección de matriz lo que se pretende es crear 3 laminados contantes para los tres materiales en los que la única variable sea la fibra para así poder comprobar su interacción con la matriz seleccionada.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de los tres materiales compuestos diferentes de modo que se facilita la visualización de los datos.

Tabla III.3.2.1 Resultado de los diferentes laminados en ElamX

Resultados ElanX	KV49+EP	CF+EP	GF+EP
E_x (GPa)	31.9	82.8	18.9
E_y (GPa)	31.9	82.8	18.9
G_{xy} (GPa)	12.2	31.6	7.3
ν_{xy}	0.31	0.31	0.29
Espesor (mm)	0.48	0.12	0.64
Densidad (kg/m ³)	1357	1630	2100

III.3.2.2 Optimización del espesor

El siguiente paso para proseguir con la elección de la fibra una vez se han obtenido las propiedades mecánicas de los diferentes laminados, es determinar el

III. Desarrollo proyecto

espesor mínimo necesario para que cada uno de los laminados soporte las sollicitaciones establecidas. Es aquí donde se realizará el primer cálculo por métodos FEM.

La hipótesis es la siguiente, partiendo de los tres laminados con cada una de las fibras seleccionadas y la resina Epoxi se realizará un análisis estático con el software de simulación del SolidWorks para comprobar si estos cumplen con el estado tensional establecido, se presupone que estos laminados excederán el límite elástico puesto que el espesor inicial es demasiado fino, por consiguiente se realizará un estudio dinámico para determinar cuál ha de ser el mínimo espesor necesario para que esto no suceda y en base a esto y junto con los demás factores (precio, peso del laminado, propiedades mecánicas...) hacer una valoración para la selección de la fibra.

Análisis Estático

En este subapartado se describirá el proceso a seguir para realizar el análisis estático del elemento, para ello se tomará como ejemplo uno los materiales en concreto, CF+EP, para simplificar con el desarrollo del proyecto puesto que en los anexos (IV.4 Anexos) se incluirán los procesos del resto de materiales.

Para proceder con la ejecución del análisis estático, mediante el software Solidorks, empleamos la función de Simulación> Nuevo estudio> Análisis Estático. El primer paso es mallar el elemento Malla> Crear malla, para concebir la pieza como un modelo de elementos finitos y poder realizar el análisis.

Una vez se ha mallado el elemento el siguiente paso es aplicar el material, en este caso CF+EP, para ello se ha de crear el material a partir de los datos obtenidos con la simulación en ElamX.

III. Desarrollo proyecto

Propiedades de material

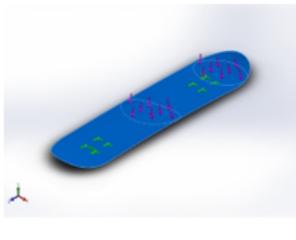
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: CF+EP</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 3.87e+09 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 8.2e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.31</p> <p>Densidad: 1630 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 3.1e+10 N/m²</p>	Sólido 1(Línea de partición1)(Tabla Skate App vqs)
Datos de curva:N/A		

Figura III.3.2.2-1 Extracto del informe del análisis estático para la aplicación del material.

El siguiente paso es introducir las sujeciones (III.4 Estudio y definición de condiciones de entorno), en este caso la opción más apropiada es establecer sujeciones de geometría fija en el lugar donde irán colocados los tornillos, elemento de unión entre la tabla y los ejes.

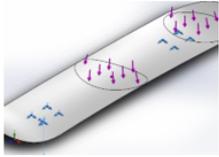
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<p>Entidades: 8 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	45.2397	7577.78	359.901	7586.46
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Figura III.3.2.2-2 Extracto del informe del análisis estático para la aplicación de las sujeciones.

Por último es necesario la aplicación de las cargas externas (III.2 Estudio y definición de estados tensionales), para ello se selecciona la opción de fuerza y se aplica en la zona de los apoyos (III.4 Estudio y definición de condiciones de entorno) una $F=3835\text{N}$ en cada uno de los apoyos, seleccionando 2 de las zonas de apoyo.

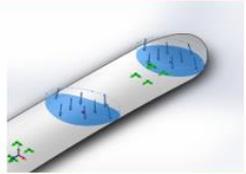
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 2 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza normal</p> <p>Valor: 3835 N</p>

Figura III.3.2.2-3 Extracto del informe del análisis estático para la aplicación de las cargas.

III. Desarrollo proyecto

Una vez realizados estos pasos previos las condiciones del análisis estático quedan definidas y por tanto se puede proceder con la ejecución del estudio para comprobar los resultados, los cuales son los siguientes para el caso del material CF+EP.

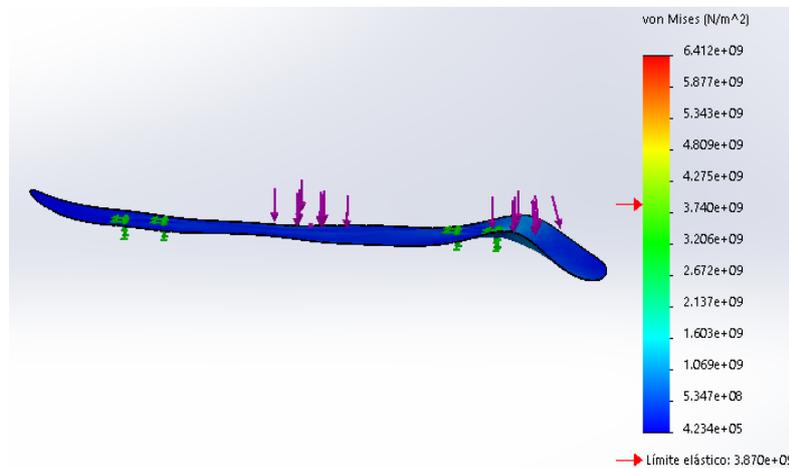


Figura III.3.2.2-4 Resultados análisis estático CF+EP. Tensión Von Mises.

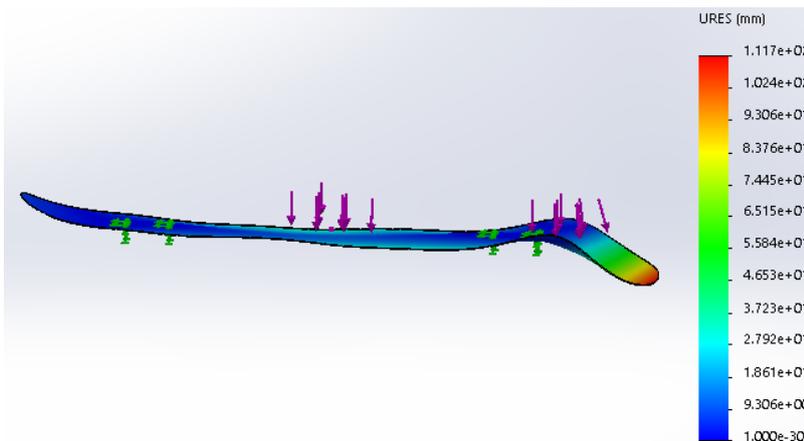


Figura III.3.2.2-5 Resultados análisis estático CF+EP. Deformaciones

De los resultados anteriores se puede apreciar, como era de esperar, que la tensión que sufre la pieza es muy superior a la que puede soportar, esto es debido como se ha mencionado anteriormente a que el espesor fijado es muy fino (0.24mm) para el caso del CF+EP.

Pero es un paso previo fundamental para poder realizar el estudio de diseño y con ello optimizar el espesor mínimo necesario que ha de tener cada material para sea capaz de soportar las cargas externas y poder comparar los tres materiales

III. Desarrollo proyecto

estableciendo de este modo el peso de la pieza lo que permitirá determinar el coste total a su vez.

Estudio de diseño

Una vez finalizado el análisis estático de la pieza se puede proceder con el estudio de diseño, en este subapartado al igual que en el anterior se describirá el proceso para un material en concreto, CF+EP también, para reducir el desarrollo del proyecto. Para ello Simulación> Nuevo Estudio> Estudio de diseño.

En esta simulación es necesario definir unas condiciones de estudio que se dividen en las siguientes:

- **Variables**

Es el factor que se pretende optimizar, para el estudio de diseño de este proyecto seleccionaremos como única variable el espesor, definido entre un mínimo que será el espesor del laminado obtenido en ElamX ($e=0.12\text{mm}$, CF+EP), un máximo del cual no se quiere exceder y un paso de 0.24mm , el equivalente a dos capas del laminado. Con la intención que el software arroje como resultado óptimo un valor múltiplo del espesor inicial, lo que significará que el espesor óptimo será el resultado de la superposición de X capas del laminado inicial.

- **Restricciones**

Como restricciones se implantará el límite elástico del material ($\sigma=3870\text{ N/mm}^2$, CF+EP) con la finalidad que el material no sufra deformaciones permanentes tras el impacto.

- **Objetivos**

El objetivo de la simulación como se ha mencionado anteriormente es optimizar el espesor con la finalidad de reducir el peso y con ello el precio de la pieza siendo capaz de soportar la fuerza establecida, de este modo en objetivos se impondrá la condición de minimizar el volumen con la intención de reducir el peso.

III. Desarrollo proyecto

Variables

Espesor Intervalo con Paso Mín: 0.12mm Máx: 10mm Paso: 0.24mm

Haga clic aquí para agregar Variabl

Restricciones

Tensión1 es menor que Máx: 3870 N/mm² Análisis estático

Haga clic aquí para agregar Restric

Objetivos

Volumen1 Minimizar

Haga clic aquí para agregar Objetiv

Figura III.3.2.2-6 Estudio de diseño CF+EP.

Una vez se han definido las condiciones del estudio de diseño se puede proceder a su ejecución para obtener los resultados, el software genera una serie de escenarios en los que van variando las condiciones impuestas (espesor, tensión y volumen) para finalmente seleccionar un escenario óptimo, el cual será el que tenga el menor espesor y a su vez esté dentro de la tensión máxima permitida.

	Actual	Inicial	Óptimo (6)	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7	Escenario 8	Escenario 9	Escenario 10
Espesor	0.24mm	0.24mm	1.32mm	0.84mm	1.08mm	1.32mm	1.56mm	1.8mm	2.04mm	2.28mm
Tensión1 < 3870 N/mm ²			3819.7 N/mm ²	36079 N/mm ²	5495.4 N/mm ²	3819.7 N/mm ²	3292.1 N/mm ²	2694.6 N/mm ²	2223.2 N/mm ²	1910.4 N/mm ²
Volumen1 Minimizar			186431.1221 mm ³	118776.1783 mm ³	152616.7734 mm ³	186431.1221 mm ³	220226.12 mm ³	253986.6686 mm ³	287678.5229 mm ³	321384.0285 mm ³

Figura III.3.2.2-7 Resultados del estudio de diseño CF+EP. Escenario óptimo.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos tras la realización de las simulaciones de los tres materiales, quedando los estudios reflejados en el apartado de anexos (IV.4 Anexos)

Tabla III.3.2.2 Resultados del estudio de diseño de los diferentes materiales

Resultados Estudio de Diseño	KV49+EP	CF+EP	GF+EP
Espesor (mm)	1.9	1.3	2.5
Tensión (MPa)	1835	3819	1621
Volumen (mm³)	270883	186431	352246

De los resultados se puede apreciar que el material más favorable es la fibra de carbono puesto que a un menor espesor es capaz de soportar una tensión del orden del doble que los otros dos materiales con la ventaja de una reducción de volumen considerable que repercutirá en el peso de la pieza.

III.3.2.3 Valoración y elección de la fibra

III. Desarrollo proyecto

Finalmente y una vez se han obtenido todos los resultados que permiten la comparación de los tres materiales de una forma analítica, se puede proceder a la valoración y elección de la fibra. Para ello se recopilan en la siguiente tabla todas las características y propiedades de intereses que entrarán en juego en la valoración.

Tabla III.3.2.3 Valoración final de la fibra. Características influyentes.

Valoración Final Fibra	KV49+EP	CF+EP	GF+EP
Precio fibra (€/Kg)	59.4	24.8	2.07
Densidad (kg/m ³)	1357	1630	2100
Espesor (mm)	1.92	1.32	2.5
Volumen (m ³)	0.00027	0.00018	0.00035
Peso laminado (kg)	0.36	0.29	0.73
Tensión (Mpa)	1835	3819	1621
Precio laminado 60% (€)	13.04	4.35	0.91

Se basará la elección de la fibra en el objetivo principal del proyecto (II.1 Objetivo general) que consiste en optimizar las propiedades mecánicas la pieza tratando de disminuir el peso del elemento.

La fibra de vidrio es de las tres opciones el material más económico, un factor a tener en cuenta, pero a su vez es de los tres el más pesado y la tensión que es capaz de soportar para el espesor es mínimo del laminado es la más baja de los tres, por ello es el primero que se descarta.

Si se comparan los dos restantes, la fibra de KV y la fibra de carbono podemos observar que ambos son materiales de refuerzo muy livianos, el peso de ambos materiales para el espesor mínimo del laminado es bastante parecido, la desigualdad la encontramos en la tensión que son capaces de soportar siendo el KV muy inferior, entorno a la mitad del valor, otra de las desventajas del material es el precio del laminado siendo este del orden de tres veces superior a la CF.

Por tanto y en base a los resultados obtenidos tras la realización de los análisis estáticos y estudios de diseño en los tres laminados la mejor opción para la elección de la fibra de refuerzo es la fibra de carbono.

III. Desarrollo proyecto

La fibra de carbono seleccionada para la fabricación del elemento es un tipo de "Spread tow" al igual que se menciona en el apartado de antecedentes (I.3.3 Soluciones tecnológicas). Con un espesor de laminado de 0.3mm, la ficha técnica del material viene detallada en los anexos (IV.4 Anexos).

III. Desarrollo proyecto

III. Desarrollo proyecto

III.4. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO.

En este apartado se procederá a definir los elementos ajenos al producto del proyecto, la tabla de *skate*, pero que están en contacto directo con él y por tanto ejercen una influencia sobre el producto por lo que es necesario tenerlos en consideración, ya que afectarán en el cálculo y las simulaciones FEM.

En la siguiente figura se muestran los elementos que entran en contacto directo con la tabla.

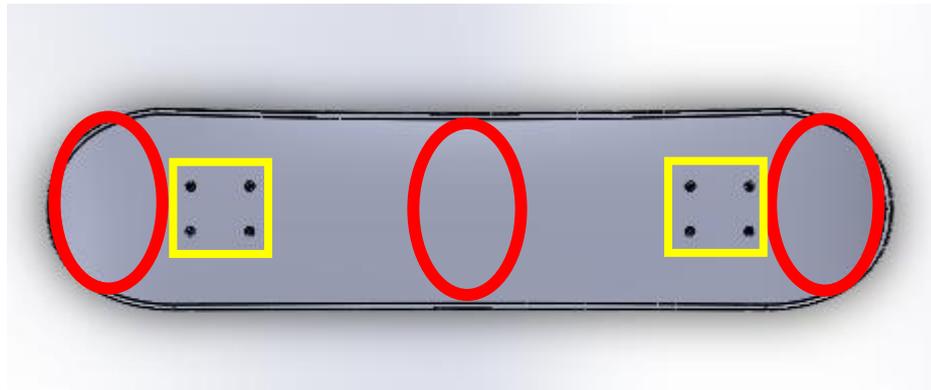


Figura III.4 Condiciones de entorno

Las condiciones de entorno que se han de tener en consideración son las siguientes:

- **Zonas de apoyo:** Vienen representadas en la figura por elipses de color rojo, estas simbolizan los apoyos de los pies del usuario. El motivo de 3 zonas de apoyo es debido a que la tabla al ser simétrica se puede utilizar en ambas direcciones por tanto se han de tener en cuenta los dos extremos.

Son las zonas donde se aplicará la fuerza a la hora de realizar el análisis de estados tensionales.

- **Zonas de anclaje:** Vienen representadas en la figura por cuadros amarillos, son las zonas donde van atornillados los ejes.

Estas se tomarán como restricciones estáticas cuando se realice el análisis.

III. Desarrollo proyecto

III. Desarrollo proyecto

III.5. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM.

En el siguiente apartado se procederá a describir la simulación mediante FEM del elemento llevada a cabo con el software SolidWorks. La simulación se basará en realizar una comparativa de los resultados obtenidos tras realizar un análisis estático de los estados tensionales descritos en el apartado anterior (III.2 Estudio y definición de estados tensionales) a una tabla de disposición típica de 7 láminas de madera de arce y a una con los materiales escogidos (III.3 Selección de materiales)

Se partirá de la hipótesis de una reducción del espesor del 50%, ya que se sabe que una tabla 7 láminas de madera de arce consta de un espesor de 10mm, por tanto comenzaremos la simulación con un espesor de 5mm para el material escogido (CF+EP) con el objetivo de ir reduciendo el espesor siempre y cuando este cumpla con las solicitaciones establecidas hasta dar con el espesor óptimo consiguiendo así una reducción del peso del elemento, en caso de no cumplir con un la hipótesis de la reducción del 50% del espesor, este se irá incrementando hasta que cumpla con las solicitaciones fijadas.

III.5.1. Aplicación materiales.

La simulación mediante FEM comienza por la aplicación de los materiales mencionados sobre el diseño de la tabla creado previamente, para ello seguimos los pasos siguiente: Simulación> Nuevo Estudio> Análisis estático> Definir vaciado por caras seleccionadas>Tipo: Compuesto.

III.5.1.1 7 láminas de madera de arce canadiense

Para el modelo FEM de 7 láminas de madera maple se creará un laminado de 7 capas dispuestas todas ellas en orientación 90° con espesor de 1.4mm (10mm/7capas=1.4mm). El material se deberá haber creado previamente para su posible aplicación.

III. Desarrollo proyecto

Propiedad	Valor	Unidad
Módulo elástico	10000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.26	N/D
Módulo cortante	1250	N/mm ²
Densidad de masa	750	kg/m ³
Límite de tracción	27	N/mm ²
Límite de compresión	16.5	N/mm ²
Límite elástico	20	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica		/K

< >

Aplicar Cerrar Guardar Config... Ayuda

Figura III.5.1.1 Creación del material “madera” en SolidWorks.

III.5.1.2 CF+EP

Para el modelo FEM de CF+EP se comenzará por crear un laminado de 5mm a partir de capas de 0.3mm de espesor ($5\text{mm}/0.3\text{mm}=16$ capas) y se irá disminuyendo/incrementando el espesor a razón de 1mm en función de si cumple o no. Los laminados deberán cumplir las condiciones de equilibrio y simetría para tratar que su comportamiento sea cuasi-isotrópico.

- 7mm > 22 capas > [0,45,90,-45,0,45,90,-45,0,45,90]_s
- 6mm > 20 capas > [0,45,90,-45,0,45,90,-45,0,45]_s
- 5mm > 16 capas > [0,45,90,-45,0,45,90,-45]_s
- 4mm > 14 capas > [0,45,90,-45,0,45,90]_s
- 3mm > 10 capas > [0,45,90,-45,0]_s

Propiedad	Valor	Unidad
Módulo elástico	247712.8	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.2525	N/D
Módulo cortante	6245.6	N/mm ²
Densidad de masa	1600	kg/m ³
Límite de tracción	1625	N/mm ²
Límite de compresión	975	N/mm ²
Límite elástico	1462.5	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica		/K

< >

Aplicar Cerrar Guardar Config... Ayuda

Figura III.5.1.2 Creación del material “CF+EP” en SolidWorks.

III. Desarrollo proyecto

III.5.2. Aplicación de restricciones

Para ambas simulaciones se aplican las mismas restricciones, las cuales son sujeciones de tipo geometría fija situadas en el zona de anclaje (III.4 Estudio y definición de condiciones de entorno).

III.5.3. Aplicación de estados tensionales.

Al igual que en el apartado anterior, los estados tensionales que se aplique a los modelos FEM serán iguales para ambos. Estos son los que se definen en el apartado (III.2 Estudio y definición de estados tensionales), una fuerza de 3835N que se aplicará sobre de dos de las zonas de apoyo, siendo la zona central siempre una de ellas.

III.5.4 Análisis de estados tensionales y deformaciones.

- 7 láminas de madera de arce canadiense

Tensión Von Mises

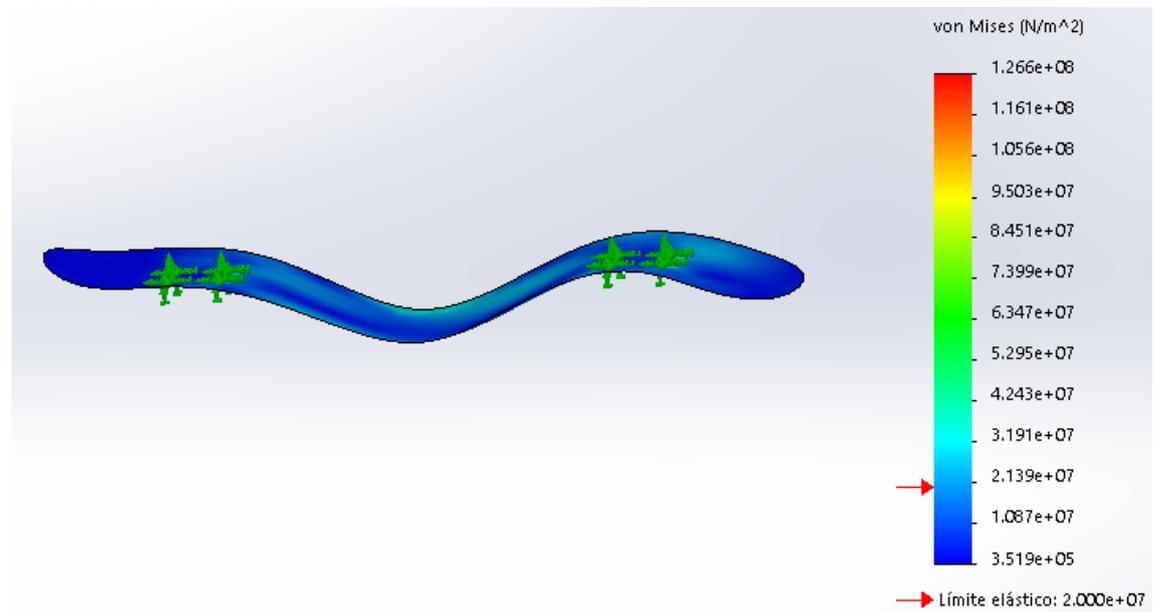


Figura III.5.4-1 Tensión máxima que sufre la madera.

III. Desarrollo proyecto

Desplazamiento

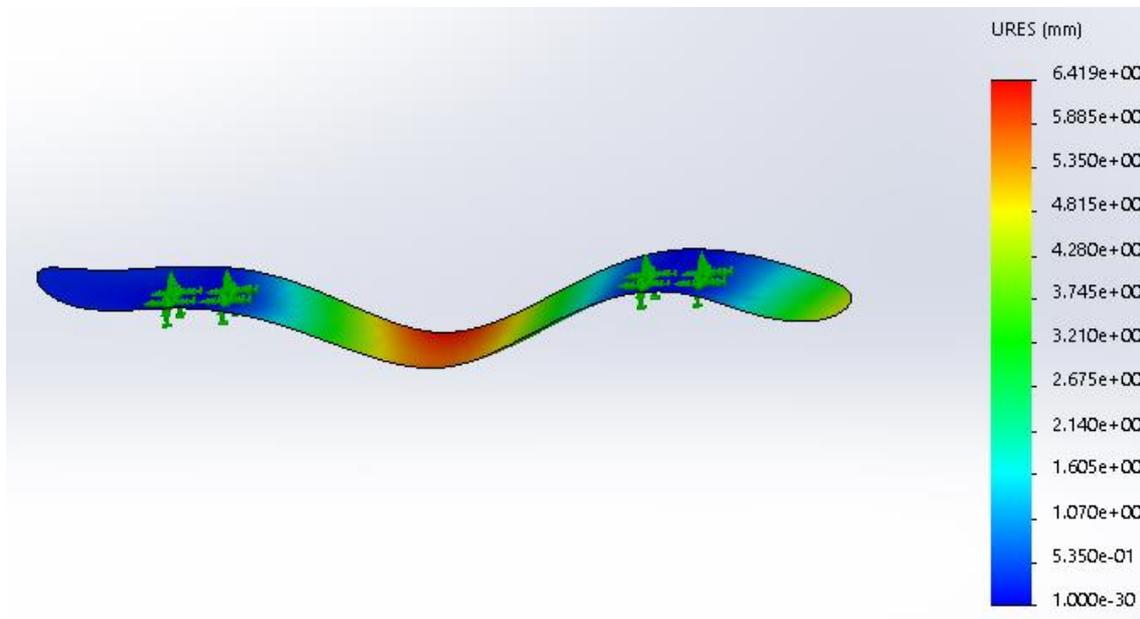


Figura III.5.4-2 Desplazamiento máximo que sufre la madera.

- CF+EP (e=5mm)

Tensión Von Mises

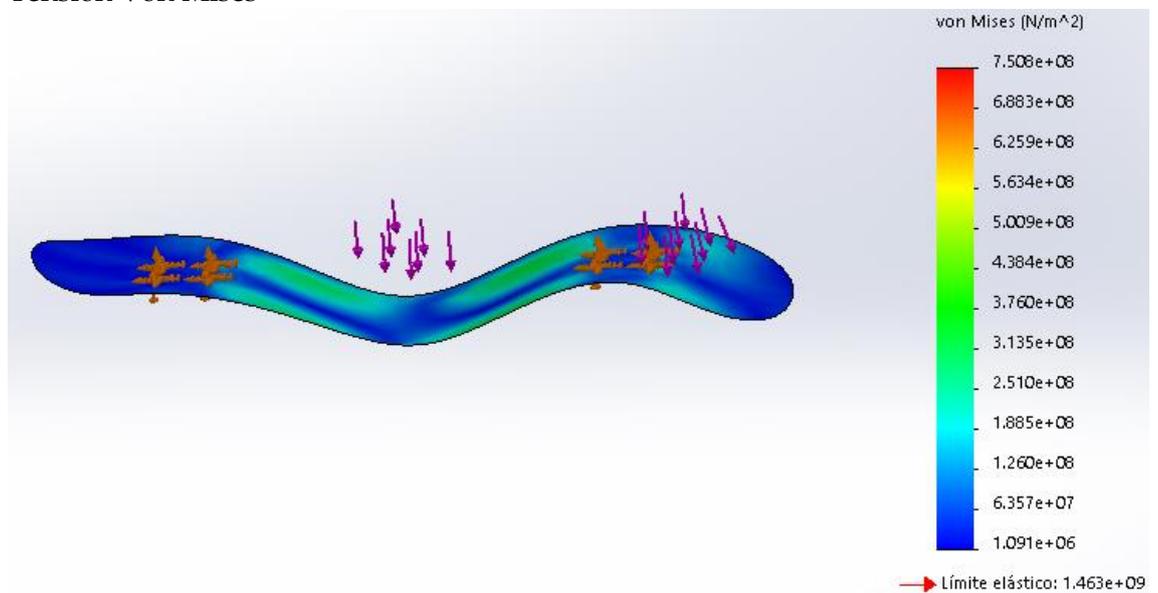


Figura III.5.4-3 Tensión máxima para un espesor de 5mm.

III. Desarrollo proyecto

Desplazamiento

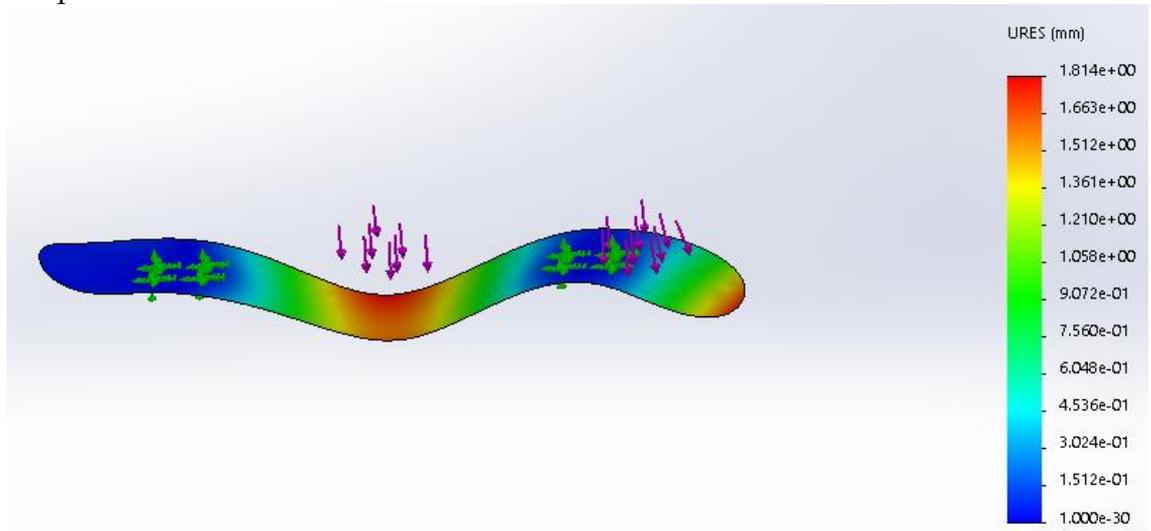


Figura III.5.4-4 Desplazamiento máximo para un espesor de 5mm.

- CF+EP (e=4mm)

Tensión Von Mises

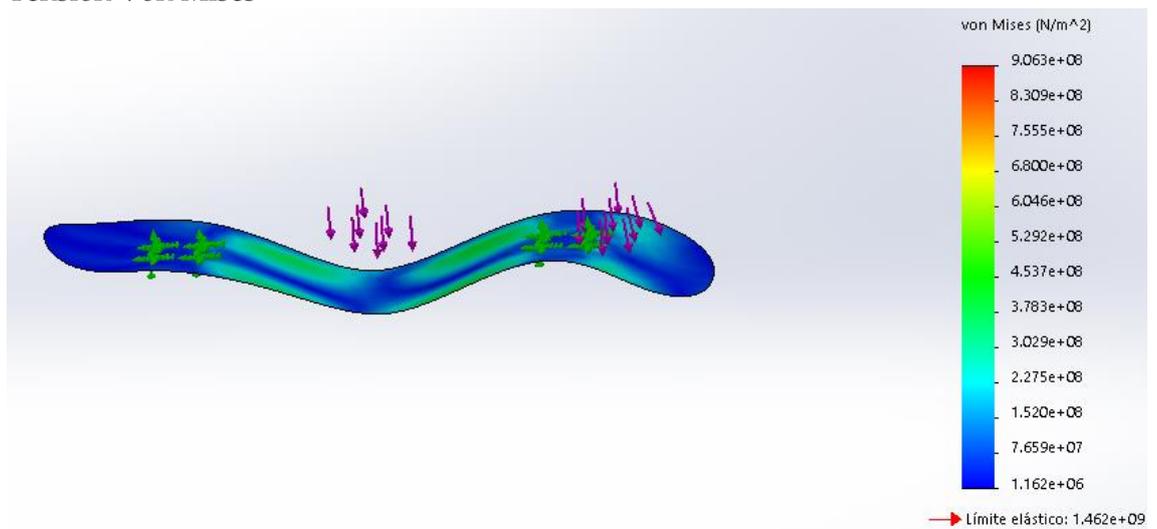


Figura III.5.4-5 Tensión máxima para un espesor de 4mm.

III. Desarrollo proyecto

Desplazamiento

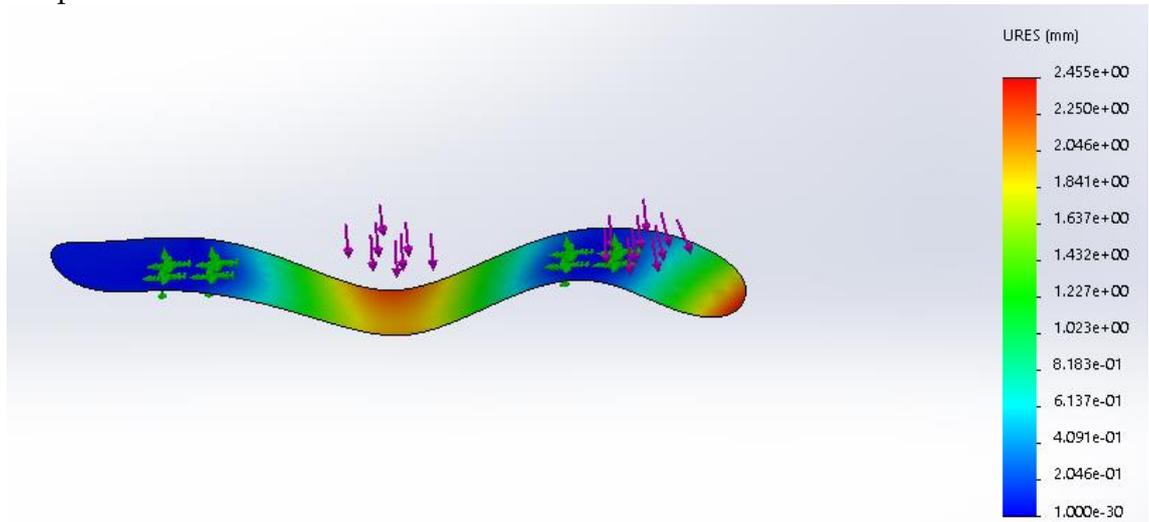


Figura III.5.4-6 Desplazamiento máximo para un espesor de 4mm

- CF+EP (e=3mm)

Tensión Von Mises

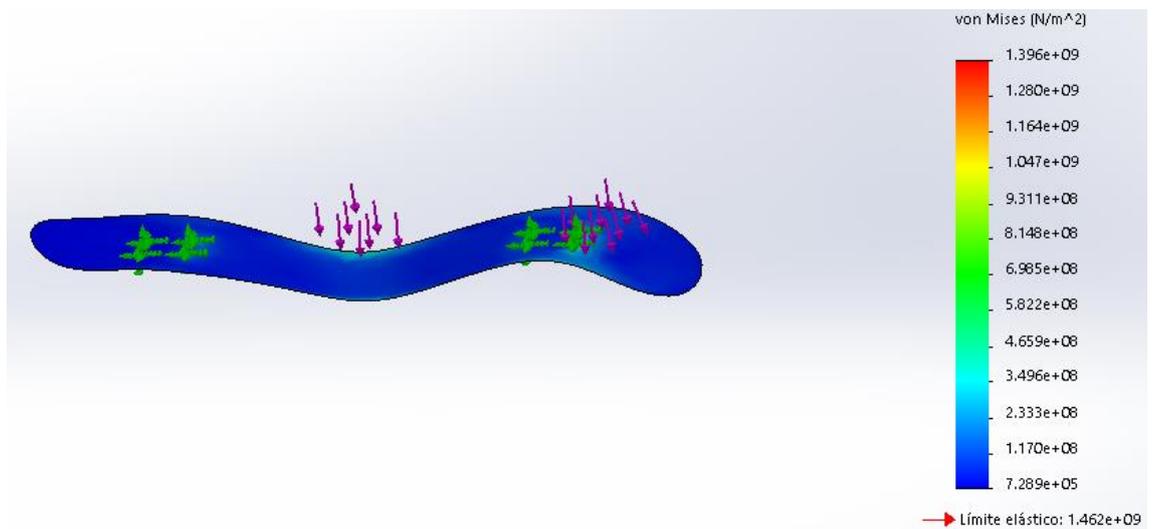


Figura III.5.4-7 Tensión máxima para un espesor de 3mm

III. Desarrollo proyecto

Desplazamiento

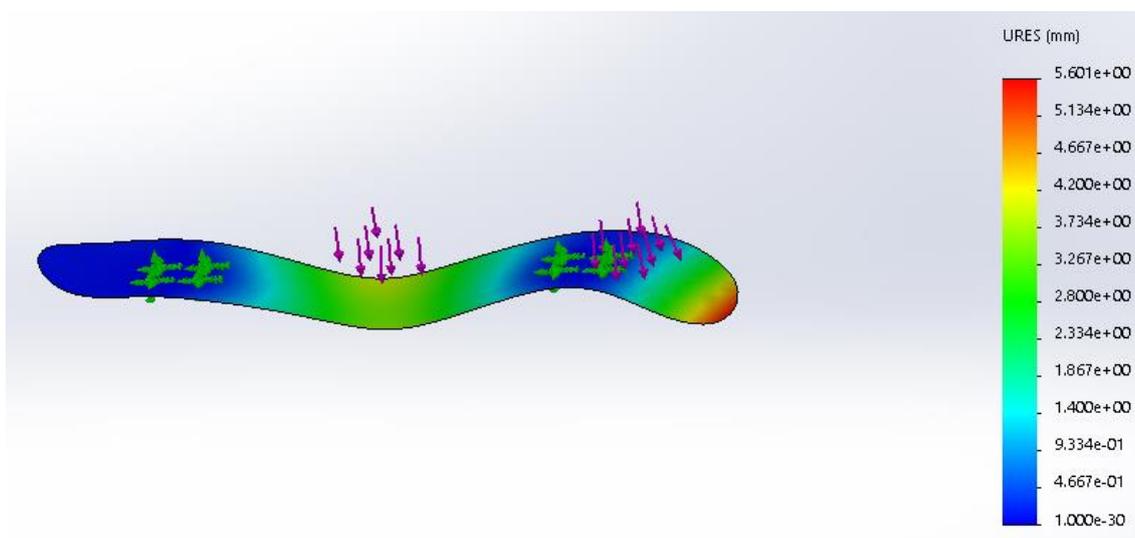


Figura III.5.4-8 Deformación máxima para un espesor de 3mm.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de los análisis estáticos realizados a los diferentes modelos FEM.

Tabla III.5.4-1 Resultados obtenidos de los análisis estáticos a los diferentes modelos.

Material	Límite de tracción (MPa)	σ (MPa)	Tensión máx (MPa)	Desplazamiento (mm)	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Madera	32	20	126	-	0.0015	1.13
CF+EP (5mm)	1625	1426	750	1.8	0.0007	1.12
CF+EP (4mm)	1625	1426	906	2.5	0.0006	0.96
CF+EP (3mm)	1625	1426	1396	5.6	0.0004	0.64

Los resultados muestran en primer lugar que la madera de arce no es capaz de soportar las sollicitaciones mecánicas establecidas puesto que la tensión máxima que sufre el material excede con creces el límite elástico.

Por otra parte, las simulaciones muestran que los laminado de CF+EP cumplen con estados tensionales fijados sin llegar ninguno de ellos al límite de tracción, ni tan siquiera al límite elástico.

En vista de los resultados obtenido su puede observar que el laminado de 5 mm cumple con creces las sollicitaciones exigidas ya que la tensión máxima que sufre es del

III. Desarrollo proyecto

orden de la mitad que el límite elástico pero en cambio el peso del laminado apenas mejora el de una tabla de madera convencional.

Si se observa los laminados de 3mm y 4mm ambos están dentro de los límites permitidos, el laminado de 4mm arroja unos resultados muy óptimos con una reducción del peso de entorno al 15% y un buen margen de seguridad hasta llegar al límite de tracción. Por otra parte con el laminado de 3mm se consigue una reducción de peso entorno al 40% en cambio la tensión máxima que sufre esta cerca del límite elástico del material, lo que no sería una opción del todo viable.

Por ello se decide realizar una última simulación, creando una laminado de un espesor de 3.6mm para comprobar los resultados con la intención de reducir un poco más el peso con respecto al laminado de 4mm y con ello disminuir el precio, verificando a su vez que este cumpla con los estados tensionales.

El laminado quedara de la siguiente forma: [0,45,90,-45,0,45]_s

- CF+EP (3.6mm)

Tensión Von Mises

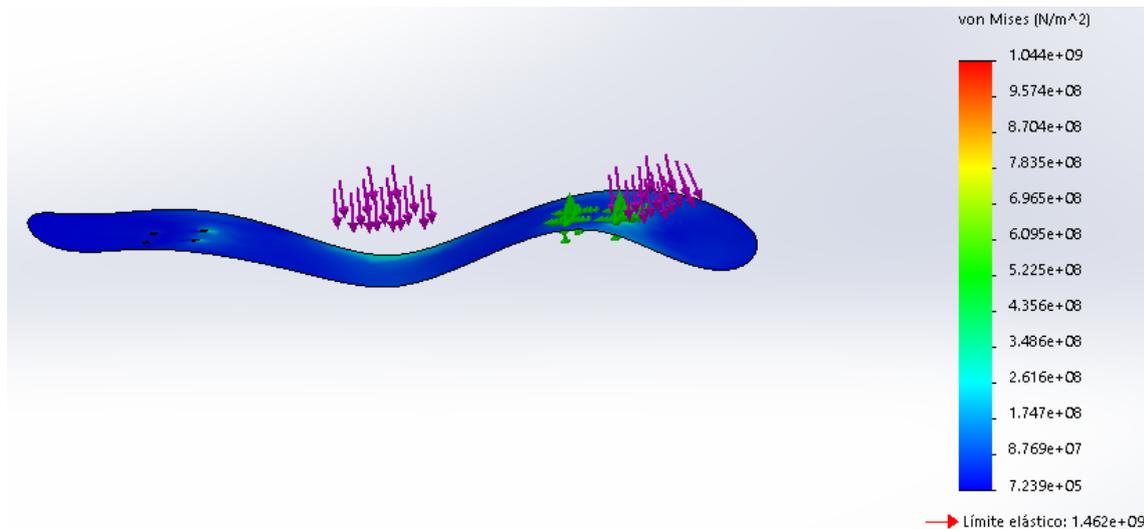


Figura III.5.4-9 Tensión máxima para un espesor de 3.6mm.

III. Desarrollo proyecto

Desplazamientos

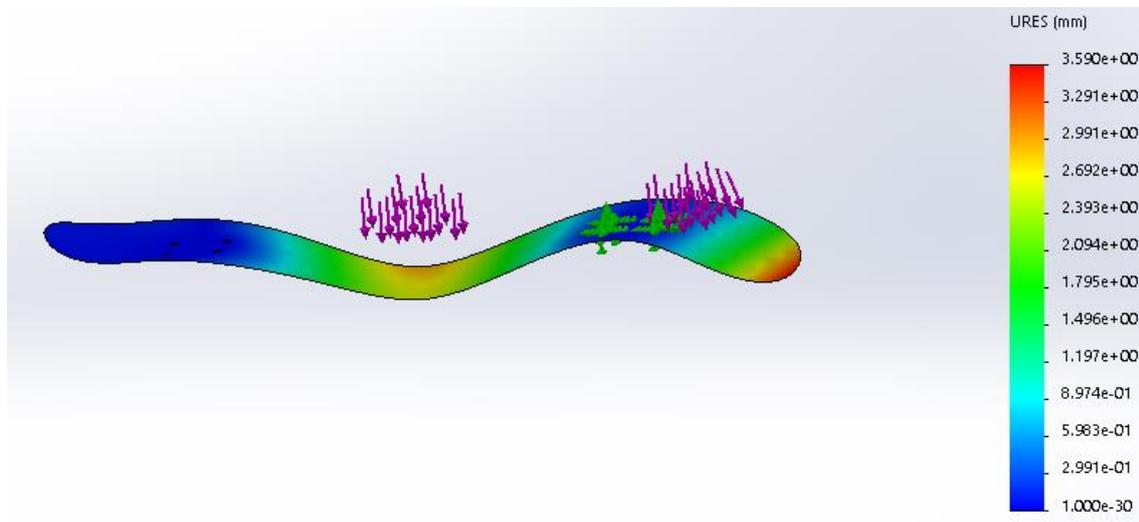


Figura III.5.4-10 Desplazamiento máximo para un espesor de 3.6mm.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos tras realizar el análisis estático del modelo del laminado de CF+EP de espesor 3.6mm.

Tabla III.5.4-2 Resultados obtenido tras el análisis estático del modelo de 3.6mm de espesor.

Material	Límite de tracción (Mpa)	σ (MPa)	Tensión máx (MPa)	Desplazamiento (mm)	Volumen (m3)	Peso (kg)
CF+EP (3.6mm)	1625	1426	1044	3.6	0.0005	0.8

Los resultados obtenidos son muy favorables ya que con ello se consigue reducir el peso casi un 20% con respecto al laminado de 4mm de espesor y a su vez la tensión máxima que sufre el material queda lejos de límite elástico y con ello del límite de rotura.

Por lo que la opción final escogida para la fabricación del modelo será la del último análisis realizado, el laminado de CF+EP de 3.6mm de espesor, el equivalente a 12 capas dispuestas de la siguiente forma: [0,45,90,-45,0,45]_s.

III. Desarrollo proyecto

III. Desarrollo proyecto

III.6. DISEÑO FINAL.

En este apartado se describirán las operaciones necesarias que se aplican al diseño del prototipo de la lámina para conseguir el diseño final de la pieza.

A partir del prototipo obtenido en el apartado anterior (III.1 Diseño inicial y prototipos) la lámina de la tabla se prosigue por dotar a esta de un espesor determinado con la función “Dar espesor”, es este caso el obtenido en el apartado anterior (III.5.4 Análisis de estados tensionales y deformaciones) 3.6mm

El siguiente paso es crear las zonas de anclaje donde irán atornillados los ejes, para ello se diseña un croquis sobre el plano “planta” y se definen los cuatro puntos de anclaje donde se insertarán los tornillos, posteriormente con la función “Crear simetría de entidades” sobre el plano “alzado” obtenemos los otro cuatro en el otro lado.

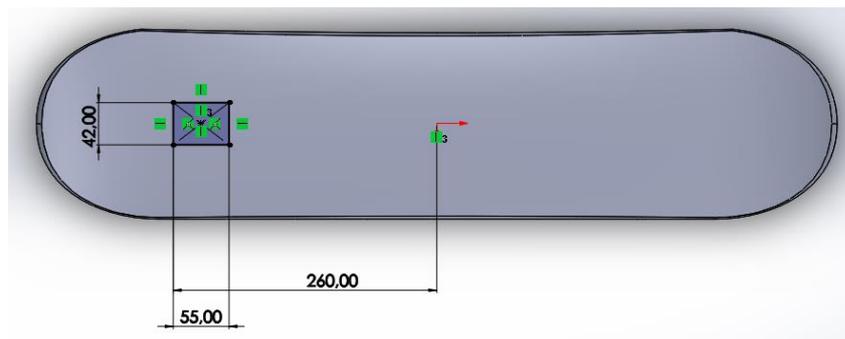
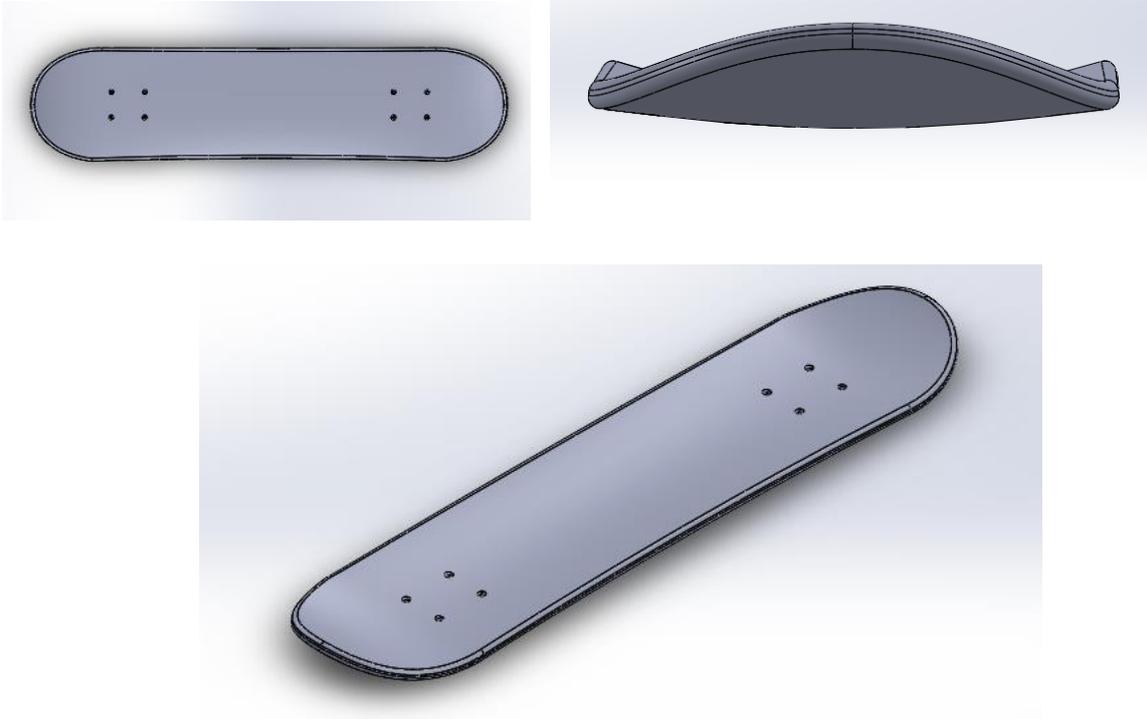


Figura III.6-1 Orificios para las fijaciones de los ejes.

Para concluir empleamos la función “Asistente para taladro” para realizar los orificios, seleccionamos la opción de avellanado con métrica 4, puesto que son los tornillos normalizados que se utilizan para fijar los ejes.

A continuación es necesario realizar un redondeo de los bordes, que se equipararía con la operación de lijado para evitar las rebabas que puedan surgir tras cortar la tabla en el proceso de fabricación, para ello se utiliza la función “Redondeo” y se seleccionan las caras donde se desea aplicar, en este caso los bordes.

III. Desarrollo proyecto



Figuras III.6-2 Diseño pieza final.

El último paso es aplicar el material escogido en el apartado anterior (III.3 Selección de materiales), CF+EP.

III. Desarrollo proyecto

III.7. FABRICACIÓN.

A continuación se comentarán los posibles procesos de fabricación para poder construir la pieza del proyecto, y de entre todas las mencionadas se escogerá la mejor opción en base unos criterios determinados, como pueden ser la calidad del producto terminado, el número de piezas a fabricar, alcance del proyecto...

Los procesos de fabricación para materiales compuestos posibles para la construcción de este objeto se diferencian principalmente en dos grupos:

- **Procesos en molde abierto:** Colocación manual, moldeo a vacío y a presión de aire y moldeo en autoclave.
- **Procesos en molde cerrado:** RTM (Resin Transfer Moulding), Infusión de resina (Vacuum Infusion Process) y SMC (Sheet Moulding Compound).

Uno de los criterios más importantes a la hora de seleccionar el proceso de fabricación es determinar el número de piezas a fabricar puesto que esto condicionará la inversión y amortización del proyecto. Dado que el objetivo del proyecto es la fabricación de una única tabla de *skate* se abstenerse de los procesos que conlleven una inversión inicial elevada, por tanto los procesos RTM, SMC y moldeo en autoclave quedan descartados debido a la implicación de maquinaria y moldeo que suponen.

Por tanto quedan tres posibles opciones: moldeo por colocación manual, moldeo a vacío y a presión de aire e infusión de resina.

El moldeo por colocación manual es proceso relativamente sencillo que no implica una alta cualificación del operario ni requiere de una inversión inicial elevada, el principal inconveniente de este proceso es la calidad final otro de los criterios fundamentales que se pretende conseguir al fabricar la pieza, por este motivo se decide prescindir de este proceso.

Finalmente quedan dos posibles procesos, moldeo a vacío y a presión e infusión de resina, cuyas ventajas e inconvenientes son muy similares además del método de realización de este proceso. Ambos procesos permiten un relación resina-fibra óptima (entorno al 60% fibra), una buena impregnación de la resina en la fibra, el coste en

III. Desarrollo proyecto

ambos procesos es relativamente bajo además de reducir la exposición del operario a COVs (Compuestos Orgánicos Volátiles) perjudiciales para la salud.

Las pequeñas diferencias son las que permitirán decantarse por un proceso en concreto, con el proceso de infusión de resina se consiguen laminados más resistentes, a su vez la cantidad de resina necesaria para la impregnación es mucho menor lo que reduce el gasto del material y con ello el coste del proceso disminuyendo también el desperdicio generado y por último el tiempo empleado en la aplicación de las láminas es ilimitado puesto que hasta que estas no están correctamente colocadas no comienza el proceso de infusión de resina mientras que en el proceso de moldeo a vacío y a presión de aire la resina se aplica sobre las láminas para posteriormente introducirlo en la bolsa hermética lo que deja un tiempo de reacción limitado antes de que la resina comience el proceso de curado.

Por estos motivos el proceso escogido para la fabricación de la pieza es la infusión de resina.

III.7.1 Infusión de resina (Vacuum Infusion Process)

La infusión de resina es un proceso mediante el cual el vacío succiona resina hacia un laminado de fibra seca. Se coloca una membrana de película rígida o flexible sobre la parte superior y se sella alrededor de la periferia del molde, se utiliza una presión por debajo de la atmosférica para distribuir la resina en la cavidad del molde donde del molde donde se fabrica la pieza e integrarla con el sistema de refuerzo. Para ello hay que preparar previamente el molde con la forma que se desee obtener.

El proceso consta de las siguientes etapas:

1. **Fabricar el molde**, para el caso del proyecto se utilizara una tabla de *skate* de madera.
2. **Prepara la superficie del molde**, es necesario aplicar un agente desmoldeante para facilitar la extracción de la pieza del molde y evitar que la pieza, una vez finalizado el proceso de curado de la resina, quede adherida a este.
3. **Selección y posicionamiento de las láminas de fibra**, éstas se deben cortar de un tamaño adecuado para cubrir la superficie del molde, sin excederse demasiado.

III. Desarrollo proyecto

4. **Aplicar la capa peel-ply**, se trata de una lámina de tejido pelable la cual se dispone sobre la fibra y cuya función es absorber la resina en exceso.
5. **Añadir la malla de infusión**, la cual favorece el flujo de resina y la impregnación entre las láminas de refuerzo.
6. **Selección de la resina**, la cual actúa como soporte de las láminas y permite la unión de las mismas.
7. **Preparación de las líneas de alimentación de la resina**, se disponen conductos en forma de espiral con orificios con el objeto de suministrar uniformemente la resina.
8. **Instalación de las líneas de vacío**, se extienden los conductos que aplicarán el vacío dentro de la bolsa sellada.
9. **Construcción de la bolsa de vacío**, tras realizar los pasos anteriores se ha de cerrar todo herméticamente para evitar fugas de aire que impidan el vacío.
10. **Posicionar el contenedor de resina**, junto con el agente endurecedor que permite el curado de la resina para que esta solidifique.
11. **Preparación de la bomba de vacío**, en la entrada se le conecta la bomba y en la salida el tubo de distribución de vacío en el laminado.
12. **Comienza el proceso de vacío**, se enciende la bomba y se comprueba que no hayan fugas.
13. **Preparación de la impregnación**, se tienen preparadas las entradas de resina sujetadas, justo entonces se cataliza cierta cantidad de resina y se sumerge el conducto de alimentación.
14. **Parte final del proceso**, se continúa aplicando el vacío hasta que la resina se cura por completo.
15. **Desmoldeo de la pieza.**

III. Desarrollo proyecto

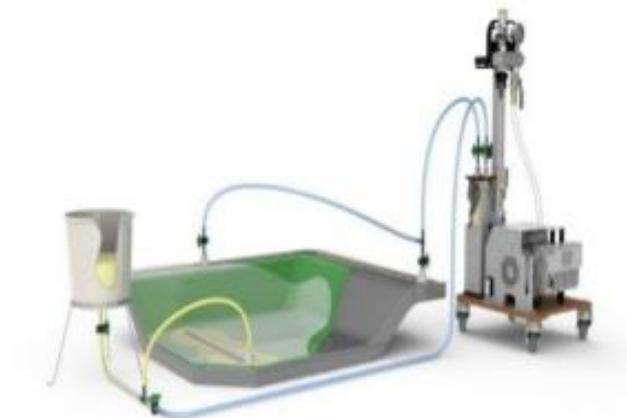


Figura III.7 Esquema del proceso de infusión de resina.

III. Desarrollo proyecto

III.8. ESTUDIO ECONÓMICO.

Por concluir con el desarrollo del proyecto se realizará un estudio económico de la fabricación de la pieza en base al proceso de fabricación descrito previamente (III.7 Fabricación) y teniendo en cuenta los materiales seleccionados (III.3 Selección de materiales) así como la materia prima necesaria para el proceso de fabricación.

Se tiene en consideración un IVA del 21%.

En las siguientes tablas se desglosa presupuesto para fabricar una única pieza, en el apartado de anexos (IV.4 Anexos) se muestran los precios de cada uno de los materiales necesarios, el precio de la materia prima se ha extraído del software CES Edupack, al igual que sus propiedades para apartados anteriores, y para determinar el precio de los costes de fabricación así como el salario y el nivel de cualificación de los operarios se hace una estimación en base a los conocimientos adquiridos.

Tabla III.8-1 Precio materia prima.

Materia Prima	Volumen %	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)	Precio con IVA (€/kg)	Precio Total (€)
CF	60	1820	0.48	24.8	11.90
EP	40	1250	0.32	2.1	0.67
				TOTAL	12.57€

Tabla III.8-2 Costes material necesario para el proceso de fabricación.

Material Necesario para el Proceso de Fabricación	Cantidad	Precio (€)	Precio con IVA (€)
Agente Desmoldeante	0.5L	6.31	7.64
Tejido Pelable	5m	2.63	3.18
Malla de Infusión	1m ²	7.35	8.89
Masilla de Cierre	15m	5.78	6.99
Tubo de Infusión	5m	6.2	7.50
Tubo de Vacío	5m	4.2	5.08
Conexión	1u	0.32	0.38
Toma de Infusión	1u	2	2.41
Bolsa de vacío	5m	5.25	6.35
Bomba de Vacío	1u	230	278.30
		TOTAL	326.72€

III. Desarrollo proyecto

Tabla III.8-3 Costes procesos de fabricación.

Proceso de fabricación	Tiempo (h)	Nivel Operario	Salario operario (€/h)	Precio Total (€)
Infusión de resina	2	3	20	40.00
Cortado	0.15	1	15	2.25
Taladrado	0.08	1	15	1.20
Lijado	0.08	1	15	1.20
			TOTAL	44.65€

Tabla III.8-4 Presupuesto final.

Presupuesto Total	Precio (€)
Materia prima	12.57
Materiales necesarios	326.72
Procesos de fabricación	44.65
TOTAL	383.97€

Mencionar que el presupuesto estimado es muy elevado debido a la condición de fabricar una única pieza y teniendo en cuenta la compra de todos los materiales necesarios para llevar a cabo el proceso de fabricación, ya que muchos de los materiales (tejido pelable, masilla de cierre, bolsa de vacío...) se podrían reutilizar en la fabricación de más piezas debido a la cantidad en la que se compran o ya bien tenerlos "de por vida" como es el caso de la bomba de vacío o la toma de infusión. Añadir también que el precio se ve encarecido ya que se trata de un proceso de fabricación manual, artesanal podría decirse.

Por tanto para determinar el precio real de una tabla habría que descontar por lo menos el precio de la bomba de vacío ya que en caso de querer fabricar una única pieza no sería viable la compra de este elemento.

Por tanto si se descuenta al presupuesto final el coste de la bomba de vacío obtendríamos un coste de fabricación de entorno a los 100€.

Como conclusión final añadir que es un precio más que razonable teniendo en cuenta que el precio medio de cualquier tabla típica de madera de cualquier marca gira entorno a los 70€. El incremento del precio con respecto a una tabla de madera se puede ver justificado tanto en las prestaciones que esta ofrece, como pueden ser un

III. Desarrollo proyecto

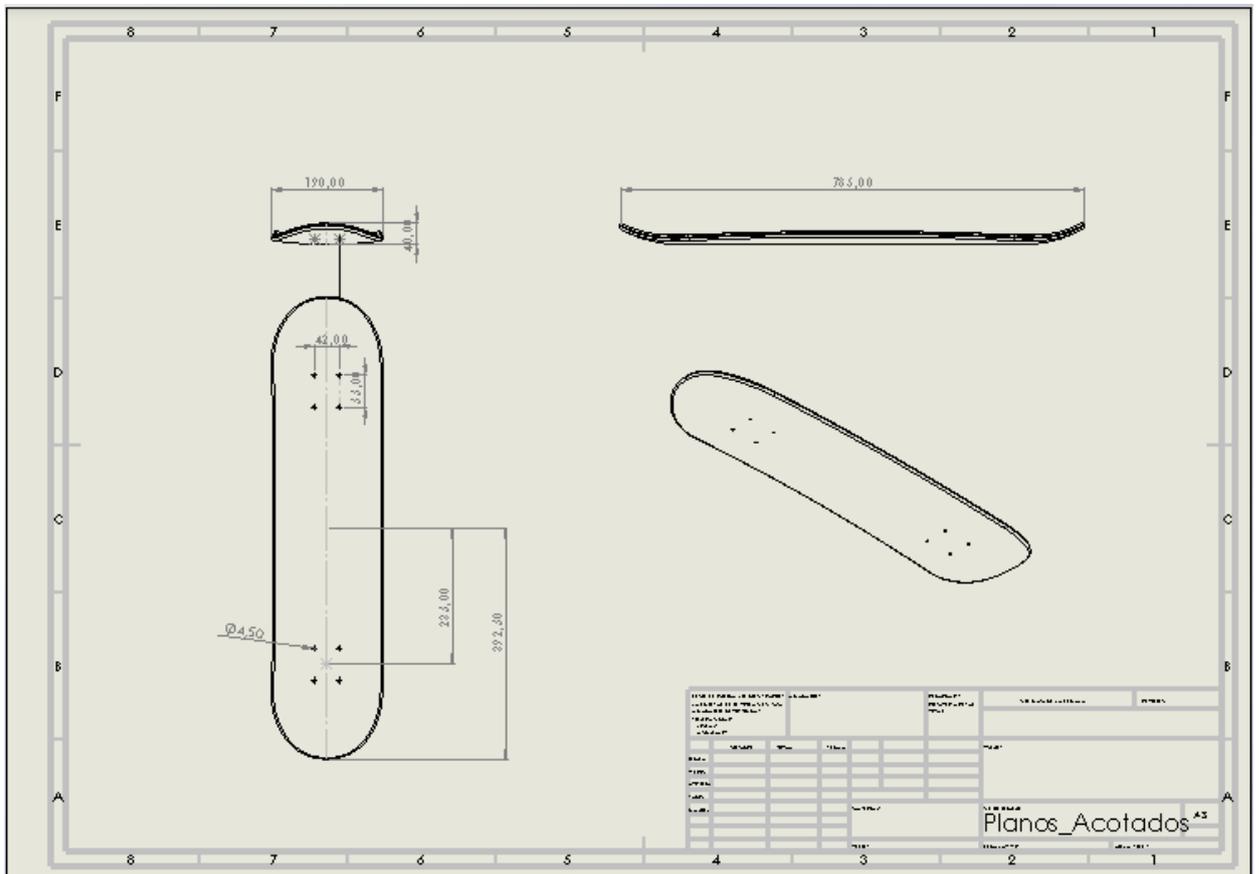
incremento notable de la resistencia y por ende de la durabilidad del elemento así como una reducción del peso del 30%.

IV. APÉNDICES

APÉNDICES

IV. Apéndices

IV.1. PLANOS ACOTADOS.



IV. Apéndices

IV.2. NORMATIVA.

La normativa vigente europea que regula la fabricación y los métodos de ensayo de monopatines es: “UNE-EN 13613: 2009”

Cuyo título es: “Equipo para deportes sobre ruedas. Monopatines. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.”

IV.3. BIBLIOGRAFÍA.

Direcciones web

- www.skateboard-factory.com
- www.locorider.com/blog/materiales-construcción-tecnología-tabla-de-skateboard
- www.fillow.net
- www.litheskateboards.com
- www.underskaters.es/tl/La-Historia-del-Skate.htm
- [AENOR INTERNACIONAL SA \[ES\]. www.aenor.com](http://www.aenor.com)
- [WIKIPEDIA. \(s.f.\). WWW.WIKIPEDIA.ORG.](http://www.wikipedia.org)
- www.youtube.com
- www.castrocompositesshop.com

Libros y apuntes

- Asignatura 4º curso GIM (E.P.S.A.): Ingeniería de materiales compuestos de matriz polimérica.
 - T1. Estructura de materiales compuestos
 - T2. Componentes de materiales compuestos
 - T3. Comportamiento de materiales compuestos

IV. Apéndices

- T4. Aplicaciones de materiales compuestos
- Asignatura 4º curso GIM (E.P.S.A.): Procesos de conformado de materiales compuestos de matriz polimérica.
 - T1. Procesos en molde abierto. Colocación manual
 - T3. Procesos en molde abierto. Moldeo a vacío y a presión de aire
 - T4. Procesos en molde abierto. Moldeo en autoclave
 - T6. Procesos en molde cerrado. SMC (Sheet Moulding Compound)
 - T10. Procesos en molde cerrado. Infusión de resina
 - T11. Procesos en molde cerrado. RTM (Resin Transfer Moulding)

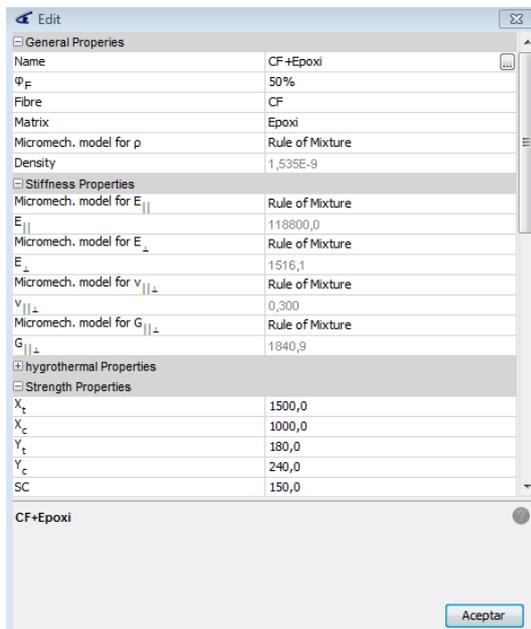
IV. Apéndices

IV.4 ANEXOS

III.3.1 Selección de la matriz

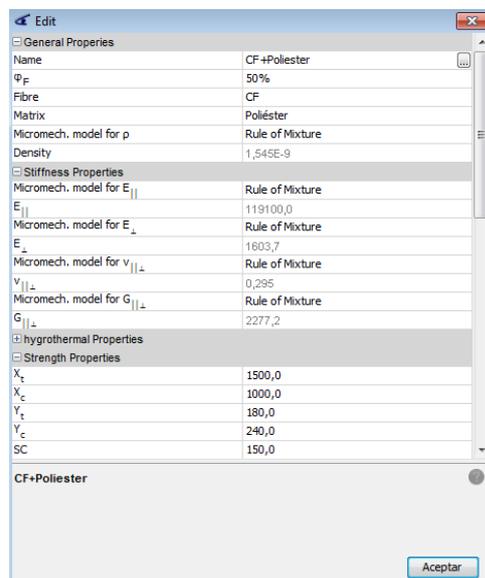
- Creación de los laminados en ElamX

CF+Epoxi: Propiedades del laminado, constantes ingenieriles y matriz ABD.



		without Poisson		with Poisson	
		Membrane	Flexural	Membrane	Flexural
E_x	=	46204,7	81857,9	41668,1	72810,0
E_y	=	46204,7	15809,9	41668,1	12372,3
G_{xy}	=	15863,4	13234,2	15863,4	11292,0
ν_{xy}	=	-	-	0,313	0,707
ν_{yx}	=	-	-	0,313	0,120
t_{tot}	=	1,0			
Area Weight	=	1,535E-9			
		46204,7	14477,9	0,0	0,0
		14477,9	46204,7	0,0	0,0
		0,0	0,0	15863,4	0,0
		0,0	0,0	0,0	6821,5
		0,0	0,0	0,0	987,4
		0,0	0,0	0,0	458,7
		0,0	0,0	987,4	1317,5
		0,0	0,0	458,7	458,7
		0,0	0,0	0,0	1102,8

CF+Poliéster: Propiedades del laminado, constantes ingenieriles y matriz ABD.



		without Poisson		with Poisson	
		Membrane	Flexural	Membrane	Flexural
E_x	=	46574,0	82255,2	42169,7	73516,0
E_y	=	46574,0	16086,1	42169,7	12715,8
G_{xy}	=	16125,9	13529,2	16125,9	11608,8
ν_{xy}	=	-	-	0,308	0,685
ν_{yx}	=	-	-	0,308	0,118
t_{tot}	=	1,0			
Area Weight	=	1,545E-9			
		46574,0	14322,3	0,0	0,0
		14322,3	46574,0	0,0	-0,0
		0,0	0,0	16125,9	0,0
		0,0	-0,0	0,0	6854,6
		-0,0	0,0	0,0	977,1
		0,0	0,0	0,0	459,5
		0,0	0,0	0,0	459,5
		0,0	0,0	459,5	1127,4

IV. Apéndices

CF+Fenólicas: Propiedades del laminado, constantes ingenieriles y matriz ABD

	without Poisson		with Poisson	
	Membrane	Flexural	Membrane	Flexural
E_x	= 46757,8	82453,5	42425,6	73877,2
E_y	= 46757,8	16220,7	42425,6	12886,7
G_{xy}	= 16262,6	13683,3	16262,6	11772,6
ν_{xy}	= -	-	0,304	0,674
ν_{yx}	= -	-	0,304	0,118
t_{tot}	=	1,0		
Area Weight	=	1,56E-9		

46757,8	14232,5	0,0	0,0	-0,0	0,0
14232,5	46757,8	0,0	-0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	16262,6	0,0	0,0	0,0
0,0	-0,0	0,0	6871,1	971,1	459,9
-0,0	0,0	0,0	971,1	1351,7	459,9
0,0	0,0	0,0	459,9	459,9	1140,3

III.3.2 Selección de la fibra

- Fibra seleccionada

IV. Apéndices

TECHNICAL DATA SHEET



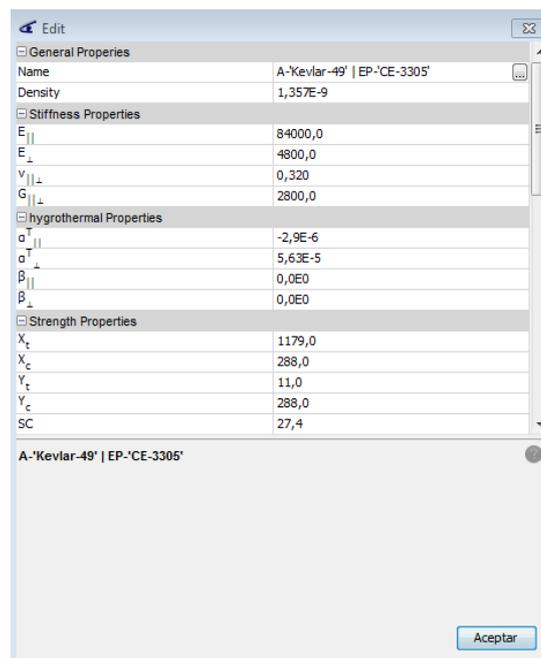
Article: Style 447
 Setting [threads/cm]: 4,0/4,0
 Weave: Plain
 Finish: loomstate

Construction:	Warp	Weft
Material:	Carbon	Carbon
Yield:	200 tex	200 tex

Technical Data		Unit	Target	+/-	Tolerance
Fibre density ¹⁾³⁾	Warp	g/cm ³	n.G.	+/-	n.G.
	Weft	g/cm ³	n.G.	+/-	n.G.
Linear density ¹⁾	Warp	tex	200	+/-	10
	Weft	tex	200	+/-	10
Twist ¹⁾	Warp	T/m		+/-	
	Weft	T/m		+/-	
Setting	Warp	thr./10cm	4,0	+/-	0,2
	Weft	thr./10cm	4,0	+/-	0,2
Weight		g/m ²	160	+/-	-4/+6
Dry Weight		g/m ²	160	+/-	-4/+6
Moisture content		%	0,5		
Thickness ²⁾		mm	0,30	+/-	0,04
Width		cm	as ordered	+/-	1
1) or n.G.: depending on order and yarn specification					
2) approximate value, not for release					
3) no measure, certified by supplier					

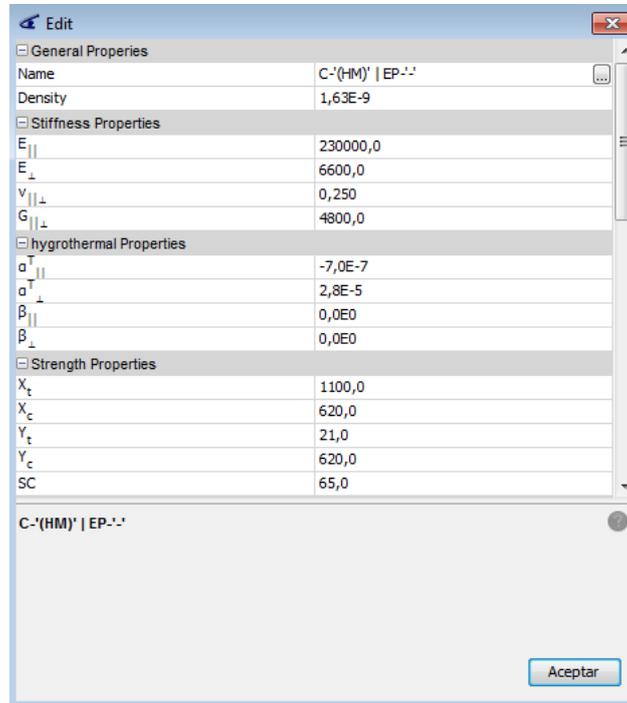
- Resultado de los laminados creados en ElamX

KV49+EP

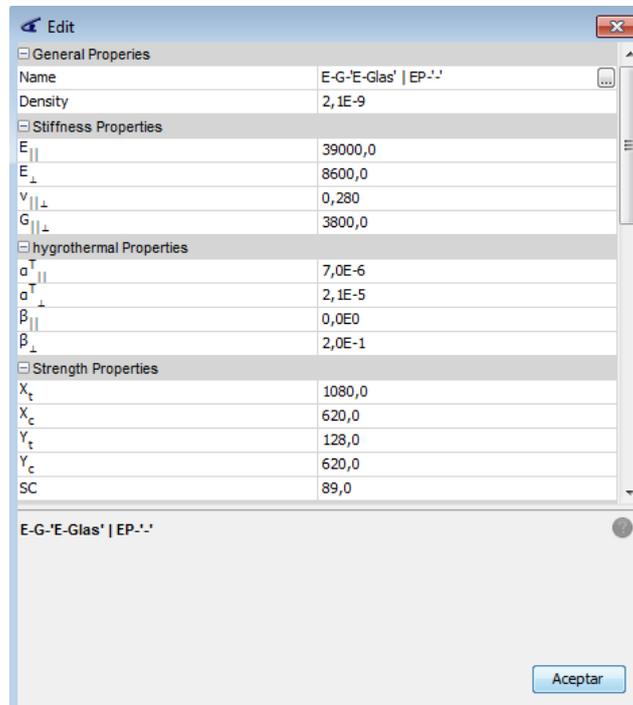


IV. Apéndices

CF+EP



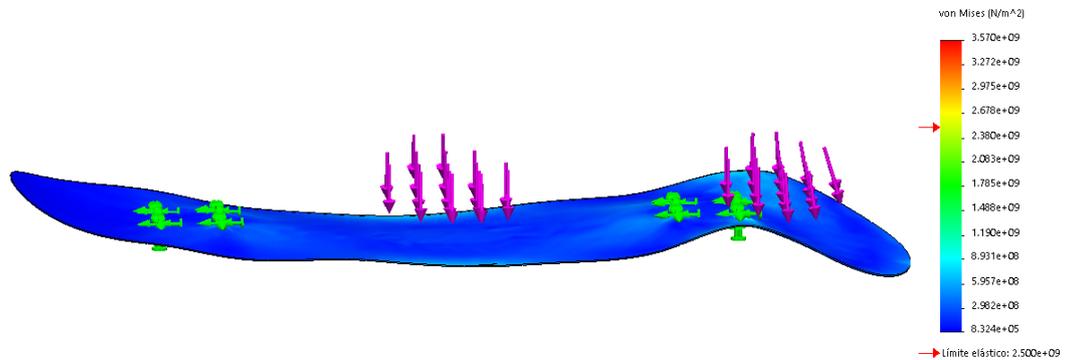
GF+EP



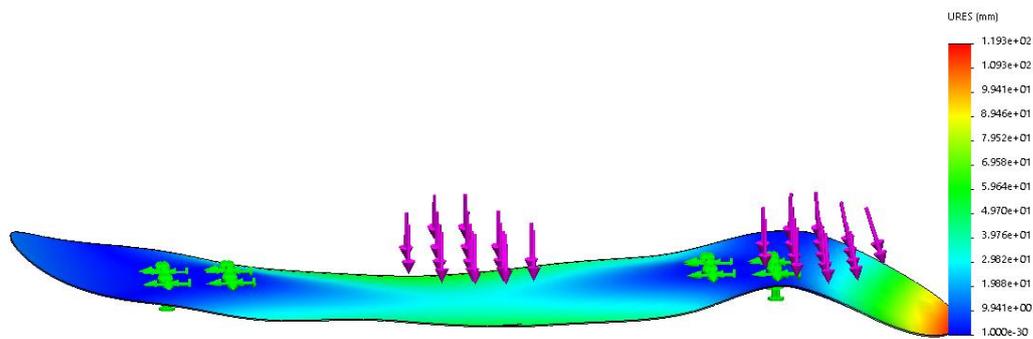
- Resultados del análisis estático en SolidWorks para el material KV49+EP.

IV. Apéndices

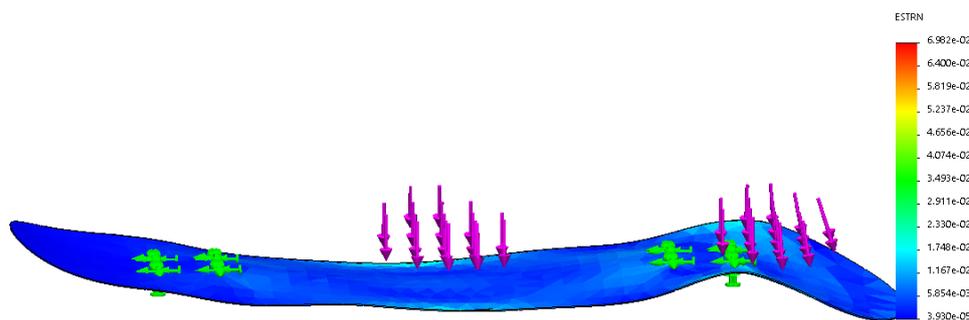
Tensión Von Mises



Desplazamientos



Deformación Unitaria



- **Resultados del estudio de diseño en SolidWorks para el material KV49+EP.**

Condiciones del estudio

IV. Apéndices

☐ Variables

espesor	Intervalo con	Mín: 0.96mm	Máx: 15mm	Paso: 0.48mm
<i>Haga clic aquí para agregar Variabl</i>				

☐ Restricciones

Tensión1	es menor que	Máx: 2500 N/mm ²	Análisis estático
<i>Haga clic aquí para agregar Restric</i>			

☐ Objetivos

Volumen1	Minimizar
<i>Haga clic aquí para agregar Objetiv</i>	

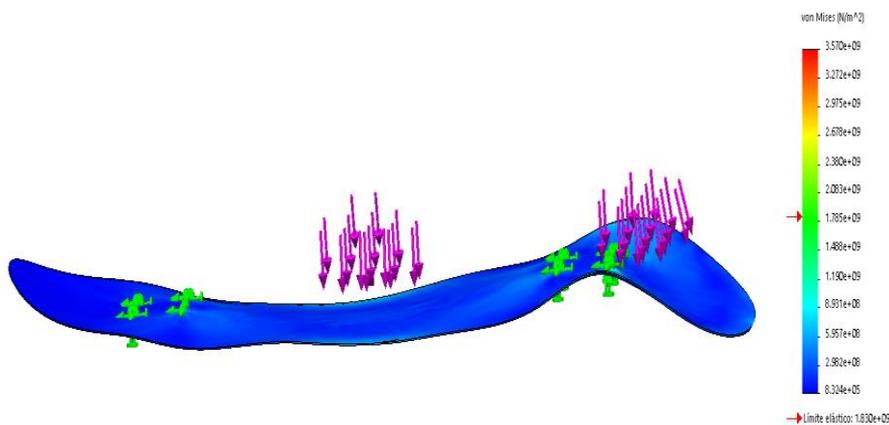
Resultados del estudio

	Actual	Inicial	Óptimo (3)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
espesor	0.96mm	0.96mm	1.92mm	0.96mm	1.44mm	1.92mm	2.4mm	2.88mm	3.36mm
Tensión1 < 2500 N/mm ²	3569.8 N/mm ²	3569.8 N/mm ²	1853.6 N/mm ²	3569.8 N/mm ²	2623.5 N/mm ²	1853.6 N/mm ²	1521.1 N/mm ²	1201.3 N/mm ²	959.28 N/mm ²
Volumen1 Minimizar	135726.607 mm ³	135726.607 mm ³	270883.5519 mm ³	135726.607 mm ³	203363.2268 mm ³	270883.5519 mm ³	336254.6638 mm ³	405498.5857 mm ³	472651.7521 mm ³

Escenario 7	Escenario 8	Escenario 9	Escenario 10	Escenario 11	Escenario 12	Escenario 13	Escenario 14	Escenario 15	Escenario 16	Escenario 17	Escenario 18
3.84mm	4.32mm	4.8mm	5.28mm	5.76mm	6.24mm	6.72mm	7.2mm	7.68mm	8.16mm	8.64mm	9.12mm
818.31 N/mm ²	715.09 N/mm ²	632.11 N/mm ²	577.87 N/mm ²	493.74 N/mm ²	461.8 N/mm ²	418.42 N/mm ²	370.52 N/mm ²	342.91 N/mm ²	312.92 N/mm ²	293.53 N/mm ²	264.27 N/mm ²
539728.6459 mm ³	606686.5656 mm ³	673530.1266 mm ³	740277.8754 mm ³	806924.0479 mm ³	873529.7173 mm ³	939950.3064 mm ³	1006293.685 mm ³	1072482.026 mm ³	1138543.66 mm ³	1204509.185 mm ³	1270263.719 mm ³

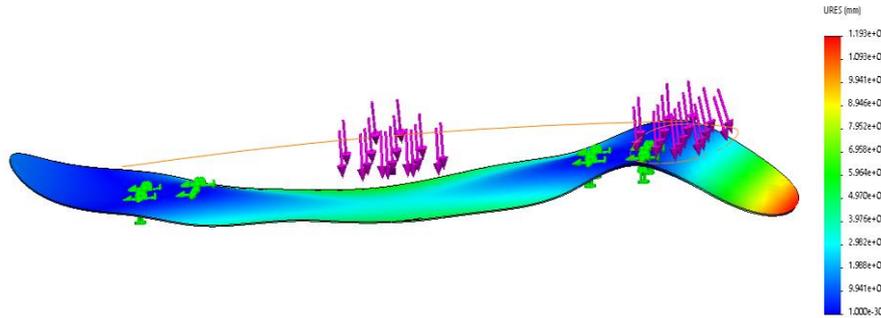
- Resultados del análisis estático en SoliWorks para el material GF+EP

Tensión Von Mises

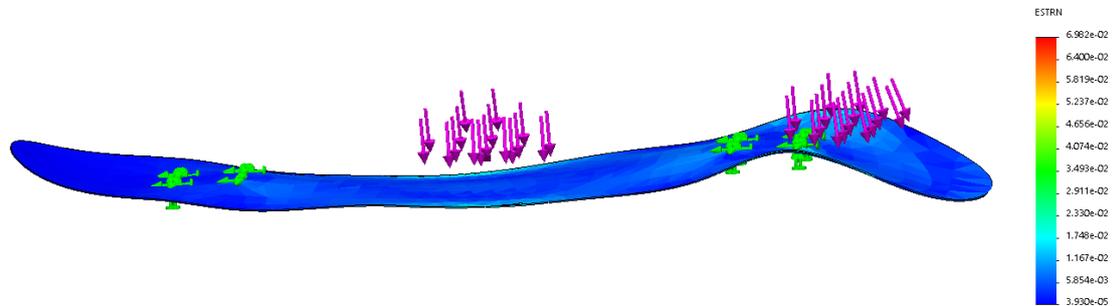


Desplazamientos

IV. Apéndices



Deformaciones Unitarias



- Resultados del estudio de diseño en SolidWorks para el material GF+EP

Condiciones del ensayo

Variables			
Espeor	Intervalo con	Mín: 0.64mm	Máx: 10mm
Haga clic aquí para agregar Variabl			
Restricciones			
Tensión2	es menor que	Máx: 1830 N/mm ²	Análisis estático
Haga clic aquí para agregar Restric			
Objetivos			
Volumen1	Minimizar		
Haga clic aquí para agregar Objetiv			

Resultados del ensayo

	Actual	Inicial	Óptimo (4)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
Espeor	0.64mm	0.64mm	2.5mm	0.64mm	1.26mm	1.88mm	2.5mm	3.12mm	3.74mm
Tensión2	< 1830 N/mm ²		1621 N/mm ²	7652.5 N/mm ²	3450.6 N/mm ²	2329.3 N/mm ²	1621 N/mm ²	1230.2 N/mm ²	1029.3 N/mm ²
Volumen1	Minimizar		352246.2986 mm ³	90575.0076 mm ³	178003.4074 mm ³	265261.3533 mm ³	352246.2986 mm ³	439104.74 mm ³	525763.126 mm ³

Escenario 7	Escenario 8	Escenario 9	Escenario 10	Escenario 11	Escenario 12	Escenario 13	Escenario 14	Escenario 15	Escenario 16	Escenario 17
4.36mm	4.98mm	5.6mm	6.22mm	6.84mm	7.46mm	8.08mm	8.7mm	9.32mm	9.94mm	10mm
788.02 N/mm ²	684.51 N/mm ²	599.21 N/mm ²	521.02 N/mm ²	458.88 N/mm ²	384.43 N/mm ²	355.21 N/mm ²	318.6 N/mm ²	305.67 N/mm ²	291.28 N/mm ²	286.15 N/mm ²
612262.4025 mm ³	698573.2423 mm ³	784705.2532 mm ³	870759.6437 mm ³	956538.3903 mm ³	1042156.528 mm ³	1127536.662 mm ³	1212743.812 mm ³	1297580.841 mm ³	1382262.3 mm ³	1390464.502 mm ³

IV. Apéndices

III.8 Estudio económico.

A continuación se muestra el precio de cada uno de los materiales necesarios para llevar a cabo el proceso de fabricación:

- Bolsa de vacío



Bolsa vacío tubular 50 micrones de 30 cm FIPO180

Bolsa vacío tubular de 50 micrones y 30 cm de ancho FIPO180. Bolsa de vacío tubular de poliamida/polipropileno para aplicaciones de infusión y compactación al vacío con cualquier tipo de resina, así como para el curado de preimpregnados en horno hasta una temperatura máxima de 180 °C.

En stock

6,35 € con IVA

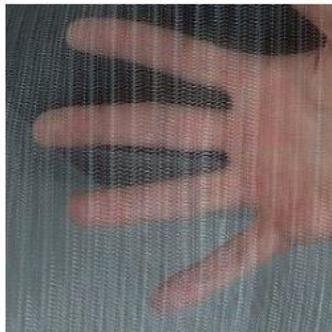
5,25 € sin IVA

i Más

♥ Añadir a la lista de deseos

+ Agregar para comparar

- Malla de infusión



Vi5 Malla de Infusión Interna

Vi5 es una malla tejida de infusión interna diseñada para su uso en procesos de infusión en los que se quiere ayudar a un mejor flujo de la resina en el medio del laminado.

En stock

8,89 € con IVA

7,35 € sin IVA

i Más

♥ Añadir a la lista de deseos

+ Agregar para comparar

- Agente desmoldeante



Alcohol polivinílico

Desmoldante líquido de baja viscosidad que se puede aplicar a brocha o a pistola formando una película física similar a una piel de cebolla entre el molde y la pieza laminada sobre aquel. Proporciona una barrera muy fiable para aplicaciones con resinas termoestables de poliéster, uretano-acrílicas, viniléster y epoxis.

En stock

7,64 € con IVA

6,31 € sin IVA

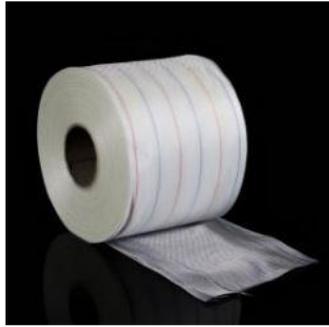
i Más

♥ Añadir a la lista de deseos

+ Agregar para comparar

- Tejido pelable (peel-ply)

IV. Apéndices



PA80 peel ply cinta de tejido pelable 83 gr/m² 120 mm

Tejido pelable (peel ply) de 100% poliamida de alta resistencia térmica (185 °C) para adaptar sobre los laminados fabricados con resinas de tipo termoestable y fibras de refuerzo con el fin de obtener superficies curadas rugosas, una vez separado del laminado endurecido. Ancho del rollo: 120 mm Gramaje: 83 g/m²

En stock

3,18 € con IVA

2,63 € sin IVA

i Más

♡ Añadir a la lista de deseos

+ Agregar para comparar

- Masilla de cierre



LSM5200 Masilla de Cierre de Alta Pegajosidad (140 °C)

LSM5200 es una masilla de cierre para bolsas de vacío con resistencia térmica de hasta 140 °C.

En stock

6,99 € con IVA

5,78 € sin IVA

i Más

♡ Añadir a la lista de deseos

+ Agregar para comparar

- Conexión



Conexión en T para tubería de 10 mm

Conexión plástica en T para tubería de diámetro interno de 10 mm. Ideal para la conexión de tuberías en procesos de infusión y vacío.

En stock

0,38 € con IVA

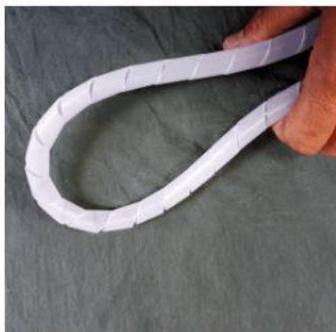
0,32 € sin IVA

i Más

♡ Añadir a la lista de deseos

+ Agregar para comparar

- Toma de infusión



Tubo Espiral Translúcido Diatex de 12 x 14,9 mm

Tubo de plástico flexible para la infusión de todo tipo de resinas termoestables y para la generación de vacío. Máxima temperatura de servicio: 90 °C.

En stock

7,50 € con IVA

6,20 € sin IVA

i Más

♡ Añadir a la lista de deseos

+ Agregar para comparar

- Toma de infusión

IV. Apéndices



Toma de infusión de 12 mm para canal plano de infusión Diadrain

Toma de infusión plástica desechable, de un solo uso, para conexión al canal plano de infusión de resina "Diadrain". Ideal para la conexión de los tubos de absorción de diámetro externo 12 mm y diámetro externo de 10 mm.

En stock

2,41 € con IVA

2,00 € sin IVA

 Añadir al carrito

 Más

 Añadir a la lista de deseos

 Agregar para comparar

- Tubo de vacío



Tubo de Absorción PEBD de Infusión Ø 10 x 12 mm

Tubo de plástico de polietileno de baja densidad para la absorción de resinas de tipo termoestable en procesos de infusión y para realizar el vacío en moldes. Máxima temperatura de servicio: 90 °C.

En stock

5,08 € con IVA

4,20 € sin IVA

 Más

 Añadir a la lista de deseos

 Agregar para comparar

- Bomba de vacío



Bomba de vacío QS5 de 8,52 m3/h

La bomba de vacío QS5 es una bomba con características premium sin el coste de una bomba premium. Su sistema de doble voltaje, sus accesorios de latón y su extractor anti vaho, hacen que sea una bomba versátil y de uso diario.

En stock

278,30 € con IVA

230,00 € sin IVA

 Añadir al carrito

 Más

 Añadir a la lista de deseos

 Agregar para comparar