

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Estudio técnico-económico de desarrollo y fabricación de una
tabla de *skate* ligera con refuerzos híbridos de carbono y fibras
naturales

Autor:

D. El Hjouji Abdessamad

Dirigido por:

Dr. Rafael Antonio Balart Gimeno

Dr. Octavio Ángel Fenollar Gimeno

Julio 2017

RESUMEN

Debido al creciente interés que ha ido adquiriendo la disciplina del *skateboarding*, principalmente entre la gente joven, este trabajo se centra en el diseño de un nuevo producto con prestaciones superiores a las de los que actualmente se encuentran en el mercado.

Teniendo en cuenta las necesidades de los usuarios finales, así como otras funcionalidades como ligereza, durabilidad y propiedades mecánicas, el objetivo final es diseñar y seleccionar los materiales más apropiados para la tabla de *skate*, fabricada con materiales compuestos mediante el empleo de herramientas basadas en el método de los elementos finitos (FEM) en SolidWorks. Se consideran diferentes configuraciones de tablas y se someten a ensayo mediante FEM en combinación con diferentes estructuras de laminados de materiales compuestos con fibras de carbono, basalto y lino, junto con resina epoxi, con el fin de seleccionar la mejor combinación.

Finalmente, se describe el proceso de fabricación de la tabla de *skateboard* y se lleva a cabo un estudio económico preliminar para estimar la viabilidad del producto.

SUMMARY

Due to the increasing interest that *skateboarding* is showing, mainly among young people, this work focuses on the design of a new product with higher performance than those of the currently sold.

By taking into account the users' needs, as well as additional features such as lightness, durability and mechanical performances, the final objective is to design and select the most appropriate materials for a *skateboard*, manufactured with composite materials, by using the Finite Element Method (FEM) tool in SolidWorks. Different *skate* configurations are tested by FEM with several composite ply structures with carbon, basalt and flax fibers and epoxy resin, and the best combination is selected.

Finally, the manufacturing process of the selected *skateboard* is shown together with an initial economical study to assess its potential viability.

RESUM

Com a conseqüència del creixent interès de la disciplina de l'*skateboarding*, principalment entre la gent jove, aquest treball es centra en el disseny d'un nou producte amb prestacions superiors a les dels que actualment es poden trobar al mercat.

Tenint en compte les necessitats dels usuaris finals, així com d'altres funcionalitats com ara la lleugeresa, durabilitat i propietats mecàniques, l'objectiu final és dissenyar i seleccionar els materials més apropiats per a la taula d'*skate*, fabricada amb materials compòsits mitjançant la utilització d'eines basades en el mètode dels elements finits (FEM) en SolidWorks. Es consideren diferents configuracions de taules i es sotmeten a assajos i simulacions amb FEM en combinació amb diferents estructures de laminats de materials compòsits amb fibres de carboni, basalt i lli, junt amb matrius d'epoxi; tot açò amb la finalitat de seleccionar la millor combinació.

Finalment, es descriu el procés de fabricació de la taula d'*skateboard* i es desenvolupa un estudi econòmic preliminar per tal d'estimar la viabilitat del producte.

Tabla de Contenidos

RESUMEN	3
SUMMARY.....	5
RESUM.....	7
ABREVIATURAS	13
LISTADO DE FIGURAS.....	15
LISTADO DE TABLAS	19

I. INTRODUCCIÓN..... 21

I.1. ANTECEDENTES.....	23
I.1.1 Historia del deporte <i>skateboarding</i>	23
I.1.2. Partes de una tabla <i>skate</i>	25
I.1.3 Características de una tabla <i>skate</i>	27
I.1.3.1 <i>Material</i>	27
I.1.3.2 <i>Precio</i>	27
I.1.3.3 <i>Medidas</i>	27
I.1.3.4 <i>Forma</i>	28
I.2. Materiales compuestos.	30
I.2.1. Materiales compuestos.....	30
I.2.2. Características de los materiales compuestos.....	30
I.2.3. Clasificación de los materiales compuestos	31
I.2.3.1. <i>Clasificación por la forma del refuerzo</i>	31
I.2.3.2. <i>Clasificación por tipo de matriz</i> :	33
I.3. Materiales de última generación en tablas de <i>skateboard</i>.....	35
I.3.1. Fibra de carbono.....	35

I.3.2. Fibras naturales.....	36
I.3.3. Resina epoxi o poliepóxido.....	38
II. OBJETIVOS	41
II.1. OBJETIVO GENERAL.....	43
II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	43
III. DESARROLLO PROYECTO	45
III.1. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.....	47
III.1.1. Prototipo de <i>skateboarding</i> 1:	47
III.1.2. Prototipo 2 de <i>skateboarding</i>	53
III.2. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES. ...	56
III.3. SELECCIÓN DE MATERIALES.....	57
III.4. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO.....	60
III.5. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM.....	62
III.5.1. Modelo FEM proyecto.....	62
III.5.1.1. Aplicación de materiales.	62
III.6.1.2. Estudio/Análisis de estados tensionales.	63
III.6.1.3. Estudio/Análisis de estados de deformación.	79
III.5.2. Análisis de estados tensionales y deformaciones.	95
III.6. DISEÑO FINAL.	106
III.7. FABRICACIÓN.....	107
III.8. ESTUDIO ECONÓMICO.	110
IV. APÉNDICES	113
IV.1. REFERENCIAS.....	115

IV.2. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM MODELO SKATE CON REFUERZO DE FIBRA DE CARBON Y BASALTO EN CONDICIONES DE REPOSO.....	116
IV.2.1. Descripción.....	117
IV.2.2. Suposiciones.....	118
IV.2.3. Información de modelo.....	118
IV.2.4. Propiedades de estudio.....	120
IV.2.5. Unidades	121
IV.2.6. Propiedades de material	121
IV.2.7. Cargas y sujeciones.....	123
IV.2.8. Definiciones de conector	124
IV.2.9. Información de contacto	124
IV.2.10. Información de malla	124
IV.2.11. Información de malla - Detalles	124
IV.2.1.12. Detalles del sensor.....	125
IV.2.13. Fuerzas resultantes.....	125
<i>Fuerzas de reacción.....</i>	<i>125</i>
<i>Momentos de reacción.....</i>	<i>125</i>
IV.2.14. Vigas.....	126
IV.2.15. Resultados del estudio	126
IV.3. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM MODELO SKATE CON REFUERZO DE FIBRA DE CARBON Y BASALTO EN CONDICIONES AGRESIVAS.	129
IV.3.1. Descripción.....	130
IV.3.2. Suposiciones.....	131
IV.3.3. Información de modelo.....	131

IV.3.4. Propiedades de estudio.....	133
IV.3.5. Unidades	133
IV.3.6. Propiedades de material	134
IV.3.7. Cargas y sujeciones.....	135
IV.3.8. Definiciones de conector	135
IV.3.9. Información de contacto	136
IV.3.10. Información de malla.....	136
IV.3.11. Información de malla - Detalles	136
IV.3.12. Detalles del sensor.....	137
IV.3.13. Fuerzas resultantes.....	137
<i>Fuerzas de reacción</i>	137
<i>Momentos de reacción</i>	137
IV.3.14. Vigas.....	137
IV.3.15. Resultados del estudio	137
IV.4. PLANOS ACOTADOS.....	140

ABREVIATURAS

E	Módulo elástico
EP	Resina epoxi
C	Carbono
B	Basalto
L	Lino
FEA	Método de los elementos finitos
E_e	Límite elástico (MPa)
E_x	Módulo elástico en dirección X (MPa)
E_y	Módulo elástico en dirección Y (MPa)
E_z	Módulo elástico en dirección Z (MPa)
ν_{xy}	Módulo Poisson en plano XY (MPa)
ν_{xz}	Módulo Poisson en plano XZ (MPa)
ν_{yz}	Módulo Poisson en plano YZ (MPa)
G_{xy}	Módulo cortante en plano XY (MPa)
G_{yz}	Módulo cortante en plano YZ (MPa)
G_{xz}	Módulo cortante en plano XZ (MPa)
ρ	Densidad de masa (kg/m^3)
X_{tx}	Límite de tracción en X (MPa)
Y_{tx}	Límite de tracción en Y (MPa)

X_{cx}	Límite de compresión en X (MPa)
Y_{cy}	Límite de compresión en Y (MPa)
SC_{xy}	Límite cortante en XY (MPa)

LISTADO DE FIGURAS

Figura I.1. Imagen de la primera tabla de <i>skateboarding</i> fabricada en los años 50.....	24
Figura I.2. Imagen de una tabla de <i>skateboard</i> con su desglose por elementos y/o componentes.....	26
Figura I.3. Imagen de una tabla de <i>skateboard</i> con geometría a) radial, b) progresiva, c) forma de W, d) cueva plana y e) asimétrica.....	29
Figura I.4. Imagen de una tabla de <i>skateboard</i> con curvatura de tipo a) Convexa, b) Plana, c) <i>Camber</i> , d) <i>Rocker</i> y e) <i>Kicktail</i>	29
Figura I.5. Imagen de clasificación de materiales compuestos por forma del refuerzo.	31
Figura I.6. Imagen de clasificación de materiales compuestos por el tipo de matriz.	33
Figura I.7. Imagen esquemática de la estructura de materiales poliméricos.....	34
Figura I.8. Imagen de la estructura química de la fibra de carbono.....	35
Figura I.9. Imagen de varias fibras naturales.....	38
Figura I.10. Imagen de resina epoxi en estado líquido previo al proceso de entrecruzamiento.....	39
Figura III.1. Vistas generales del prototipo 1.....	47
Figura III.2. Imágenes de creación y definición de los planos A) $a = 400$ mm, B) $a = 280$ mm, C) $a = -200$ mm y D) $a = -400$ mm; respecto al origen.....	49
Figura III.3. Imagen de línea de 226,16 mm dibujada en el plano A.....	49
Figura III.4. Imagen de definición de la curvatura $R = 693.06$ mm y de longitud 210 mm dibujada en el plano B.....	49
Figura III.5. Imagen del plano C y D que se trasladan los croquis de los planos A y B por simetría.....	50
Figura III.6. Imágenes de la línea guía central que une los croquis.....	50
Figura III.7. Imagen de la geometría de la tabla recortada y recubierta.....	51

Figura III.8. Imagen la tabla con los puntos de anclaje de los ejes.....	51
Figura III.9. Imagen la definición del espesor de 4 mm y redondeado a $r=2$ mm.	52
Figura III.10. Imagen 3D del diseño del prototipo de tabla <i>skate</i> 1 terminado.	52
Figura III.11. Imagen de las vistas generales del prototipo 2.....	53
Figura III.12. Imagen de línea Spline dibujada para definir la curvatura de la tabla. ...	54
Figura III.13. Imágenes de la línea Spline recubierta y con espesor aplicado.....	54
Figura III.14. Imagen de la pieza definida y luego recortada.	55
Figura III.15. Imagen de la pieza finalizada correspondiente al prototipo 2, con un redondeo en borde de $r=2$ mm.....	55
Figura III.16. Imagen de diseño de los prototipos 1 y 2.....	60
Figura III.17. Imagen de las zonas de la tabla en las que se contemplan los apoyos de los pies y los puntos de anclaje correspondientes a la zona donde se insertan los ejes con las ruedas.	61
Figura III.18. Estados tensionales de <i>skateboard</i> 1 de 10 capas en FEM (C-B).....	63
Figura III.19. Estados tensionales de <i>skateboard</i> 1 de 7 capas en FEM (C-B).....	64
Figura III.20. Estados tensionales de <i>skateboard</i> 1 de 5 capas en FEM (C-B).....	65
Figura III.21. Estados tensionales de <i>skateboard</i> 1 de 4 capas más núcleo de balsa en FEM.	66
Figura III.22. Estados tensionales de <i>skateboard</i> 1 de 10 capas en FEM (C-L).....	67
Figura III.23. Estados tensionales de <i>skateboard</i> 1 de 7 capas en FEM (C-L).	68
Figura III.24. Estados tensionales de <i>skateboard</i> 1 de 5 capas en FEM (C-L).	69
Figura III.25. Estados tensionales de <i>skateboard</i> 1 de 4 capas más núcleo de balsa en FEM (C-L).....	70
Figura III.26. Estados tensionales de <i>skateboard</i> 2 de 10 capas en FEM (C-B).....	71
Figura III.27. Estados tensionales de <i>skateboard</i> II de 5 capas en FEM (C-B).....	72
Figura III.28. Estados tensionales de <i>skateboard</i> 2 de 5 capas en FEM (C-B).	73

Figura III.29. Estados tensionales de <i>skateboard</i> 2 de 4 capas más núcleo de balsa en FEM (C-B).....	74
Figura III.30. Estados tensionales de <i>skateboard</i> 2 de 10 capas en FEM (C-L).....	75
Figura III.31. Estados tensionales de <i>skateboard</i> 2 de 7 capas en FEM (C-L).	76
Figura III.32. Estados tensionales de <i>skateboard</i> 2 de 5 capas en FEM (C-L).	77
Figura III.33. Estados tensionales de <i>skateboard</i> 2 de 4 capas más núcleo de balsa en FEM (C-L).....	78
Figura III.34. Análisis desplazamientos de <i>skateboard</i> 1 de 10 capas en FEM (C-B).....	79
Figura III.35. Análisis desplazamientos de <i>skateboard</i> 1 de 7 capas en FEM (C-B).....	80
Figura III.36. Análisis desplazamientos de <i>skateboard</i> 1 de 5 capas en FEM (C-B).....	81
Figura III.37. Análisis desplazamientos <i>skateboard</i> 1 de 4 capas + núcleo de balsa en FEM (C-B).....	82
Figura III.38. Análisis desplazamientos de <i>skateboard</i> 1 de 10 capas en FEM (C-L).....	83
Figura III.39. Análisis desplazamientos de <i>skateboard</i> 1 de 7 capas en FEM (C-L).....	84
Figura III.40. Análisis desplazamientos de <i>skateboard</i> 1 de 5 capas en FEM (C-L).....	85
Figura III.41. Análisis desplazamientos <i>skateboard</i> 1 de 4 capas + núcleo de balsa en FEM (C-L).....	86
Figura III.42. Análisis desplazamientos de <i>skateboard</i> 2 de 10 capas en FEM (C-B).....	87
Figura III.43. Análisis desplazamientos de <i>skateboard</i> 2 de 7 capas en FEM (C-B).....	88
Figura III.44. Análisis desplazamientos de <i>skateboard</i> 2 de 5 capas en FEM (C-B).....	89
Figura III.45. Análisis desplazamientos <i>skateboard</i> 2 de 4 capas + núcleo de balsa en FEM (C-B).....	90
Figura III.46. Análisis desplazamientos de <i>skateboard</i> 2 de 10 capas en FEM (C-L).....	91
Figura III.47. Análisis desplazamientos de <i>skateboard</i> 2 de 7 capas en FEM (C-L).....	92
Figura III.48. Análisis desplazamientos de <i>skateboard</i> 2 de 5 capas en FEM (C-L).....	93
Figura III.49. Análisis desplazamientos <i>skateboard</i> 2 de 4 capas + núcleo de balsa en FEM (C-L).....	94

Figura III.50. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones de reposo de <i>skate</i> 1 de carbono y basalto.	96
Figura III.51. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones agresivas de <i>skate</i> 1 de carbono y basalto.	97
Figura III.52. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones de reposo de <i>skate</i> 1 de carbono y lino.	98
Figura III.53. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones agresivas de <i>skate</i> 1 de carbono y lino.	99
Figura III.54. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones de reposo de <i>skate</i> 2 de carbono y basalto.	101
Figura III.55. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones agresivas de <i>skate</i> 2 de carbono y basalto.	102
Figura III.56. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones de reposo de <i>skate</i> 2 de carbono y lino.	103
Figura III.57. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones agresivas de <i>skate</i> 2 de carbono y lino.	104
Figura III.58. Imagen 3D de la tabla de <i>skate</i> 1 elegida de material carbono y basalto.	106
Figura III.59. Representación esquemática del molde 3D para la fabricación de la tabla mediante RTM.	107
Figura III.60. Representación esquemática de la disposición de las capas en la estructura del laminado compuesto.	108
Figura III.61. Representación esquemática del proceso de transferencia de resina mediante inyección.	108

LISTADO DE TABLAS

Tabla I.1. Tabla de componentes y definición de los elementos que integran una tabla de <i>skateboard</i>	25
Tabla I.2. Clasificación de las tablas de <i>skateboard</i> según la forma/geometría de la tabla.	28
Tabla I.3. Clasificación de las tablas de <i>skateboard</i> según su curvatura.....	28
Tabla III.1. Tabla de resultados de la caracterización del material.....	57
Tabla III.2. Tabla comparativa de porcentaje de volumen epoxi en las fibras y matrices.	58
Tabla III.3. Tabla comparativa de las propiedades mecánicas de materiales definitivos.	59
Tabla III.4. Tabla de materiales para los análisis tensionales y deformación.....	62
Tabla III.5. Tabla de resultados del análisis para el prototipo 1 de C-B.....	95
Tabla III.6. Tabla de resultado del analices para el prototipo 1 de C-L.....	97
Tabla III.7. Tabla de resultados del análisis para el prototipo 2 de C-B.....	100
Tabla III.8. Tabla de resultado del analices para el prototipo 2 de C-L.....	102
Tabla III.9. Tabla de los gastos durante un año.....	111

I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

I.1. ANTECEDENTES.

En el presente apartado se expone la historia del *skateboarding* y varios aspectos relacionados con el tema de mi trabajo de fin de grado; la tabla de *skateboarding*.

Se denomina “*tabla de skateboarding*” a la tabla con la que se practica un deporte conocido como *skateboarding*. Antes de adentrarnos en las tablas de *skateboarding* se considera necesario introducir brevemente la historia del deporte *skateboarding*.

I.1.1 Historia del deporte *skateboarding*.

El *skateboarding* es un deporte nacido en los años 50 en California, cuando los surfistas buscaban realizar sus técnicas sobre la tierra, evitando colisiones y manteniéndose en pie. Se podría decir que está muy relacionado con la cultura callejera debido a sus orígenes y a la popularidad que alcanzó gracias a Allan Gelfand y consiste en la propulsión con un *skate* por diferentes superficies a la vez que se realizan distintos trucos o maniobras.

En sus inicios fue necesario contar con un elemento para deslizarse por laderas o colinas, así que las primeras tablas de *skateboarding* o *skates* eran cajas de madera unidas a ruedas de patín.

Más adelante se construyeron las “*land surfboards*” en las que se reemplazó la caja por una tabla de madera de *surf*, pero no eran seguras. Pronto se sustituyeron las ruedas de los patines por ruedas de metal, y después por ruedas de arcilla, pero presentaban inestabilidad e inseguridad, aunque sí, menor coste.

La primera compañía en comercializar con las tablas de *skate* fue Makana en 1963 en EEUU, pero debido a la inseguridad que conllevaba practicar *skateboarding* se prohibió en 1965.

I. Introducción



Figura I.1. Imagen de la primera tabla de *skateboarding* fabricada en los años 50.

Más adelante el *skateboarding* volvió a hacerse popular cuando Richard Stevenson, reinventó la forma de la tabla añadiéndole una cola (*tail*) para hacerla más manejable y en 1970 el surfero Frank Nasworthy construyó una nueva rueda hecha de uretano que permitía mejor agarre con el suelo y revolucionaría este deporte.

En 1978 un joven llamado Alan Gelfand introdujo una novedad al *skateboarding* al inventar un nuevo movimiento llamado el “*ollie*” permitiendo hacer movimientos verticales en la calle.

A medida que resurgía la fama del *skateboarding* también la forma de la tabla cambió; el ancho aumentó con el objetivo de dar mayor estabilidad en terrenos verticales, se introdujeron mejoras como la lija para mejorar el agarre entre los zapatos y la tabla o el uso de varias capas de madera para fabricar el *skate* aumentando su resistencia y durabilidad.

En cuanto a la parte estética se popularizaron los *skates* con dibujos gracias a Wes Humpston y Jim Muir.

A finales de los 70, durante dos años se habían conseguido vender más de 40 millones de *skates* en EEUU y en los 80 surgieron las tablas elaboradas de fibra de vidrio.

I. Introducción

I.1.2. Partes de una tabla *skate*.

En una tabla de *skate* es posible diferenciar las siguientes partes, tal y como se resume en la siguiente tabla y la siguiente figura.

Tabla I.1. Tabla de componentes y definición de los elementos que integran una tabla de *skateboard*.

Componente	Definición
Lija o <i>griptape</i>	Trozo de lija con las medidas de la tabla, proporciona agarre entre el calzado y la tabla.
Tabla o <i>deck</i>	Parte sobre la que se apoyan los pies. El material de fabricación puede variar.
Nariz o <i>nose</i>	Rampa pronunciada en la parte frontal de la tabla.
Cola o <i>tail</i>	Rampa más suave en parte posterior de la tabla.
Ejes o <i>trucks</i>	Piezas acopladas a los lados de la tabla, pero sin tocar los extremos. Une las ruedas a la tabla mediante 8 tornillos de hierro acerado y 4 tuercas.
Ruedas o <i>wheels</i>	Ruedas de uretano que se colocan en los extremos de los ejes. El diámetro varía entre 50 mm a 80 mm y su dureza entre 85A a 100A en función del tipo de <i>skate</i> a practicar. Cuanto más grande sea la rueda mayor es su dureza.
Rodamientos o <i>bearings</i>	Son anillos metálicos con 6 a 8 cojinetes de acero en su interior, protegidos por dos finos discos de hierro o acero. Se colocan un par en cada rueda. Se eligen en función de la rapidez de giro que se pretende alcanzar.
Elevadores (<i>riser pad</i>)	Se colocan en la base del eje y la tabla para minimizar la vibración, suelen ponerse en los longboard, cruisers, slalom.
Tornillo principal (<i>Kingpin</i>)	Tornillo de hierro de 12.5mm donde se acoplan dos gomas.

I. Introducción



Figura I.2. Imagen de una tabla de *skateboard* con su desglose por elementos y/o componentes.

Debido a la naturaleza de este deporte, el diseño de un *skate* es decisivo ya que debe permitir que el deportista desarrolle su habilidad en cualquier lugar y superficie de la calle donde se pueda rodar y deslizar, ya sean aceras, barandillas, bordillos, etc.

A lo largo de los años, el diseño y ergonomía de la tabla han evolucionado mejorando su seguridad, estabilidad, aerodinamismo, maniobra, apariencia, resistencia y coste.

A continuación, se exponen las principales características de una tabla de *skate*.

I. Introducción

I.1.3 Características de una tabla *skate*.

I.1.3.1 Material.

El material de la tabla determina la aerodinámica, durabilidad, y coste.

En la fabricación de tablas de *skate* es común el uso de 7 láminas de madera, por lo general de arce canadiense, aunque también se usan otros materiales como plástico, o fibra de vidrio. Más adelante se abordarán estos aspectos en detalle.

I.1.3.2 Precio.

El precio de las tablas de *skate* lo determina el material del que están hechas; así las de plástico son más económicas mientras que las de madera de arce son más caras. Este aspecto está determinado por el tipo de *skate* a practicar.

I.1.3.3 Medidas

Las medidas elegidas varían en función de diferentes factores como:

Ancho: El ancho de las tablas de *skate* depende del tamaño de los pies, terreno y tipo de *skateboarding* que se va a practicar. Por lo general el ancho suele estar entre 18 cm y 21 cm.

Longitud: Medida longitudinal de la tabla empezando por el borde del *nose*, hasta el borde del *tail*. Actualmente la mayoría de tablas tienen una longitud entre 76,2 cm y 78,8 cm.

I. Introducción

I.1.3.4 Forma

Curvatura. - La forma de la curvatura de la parte central es fundamental ya que determina el grado de agarre de los pies con la tabla. Mientras más suave sea la curvatura habrá menos agarre. Así pues, se pueden considerar las siguientes curvaturas:

Tabla I.2. Clasificación de las tablas de *skateboard* según la forma/geometría de la tabla.

Tipo	Definición
Radial	Tiene una curvatura cóncava muy delicada y es la más común.
Plana	Permite más estabilidad y espacio para los pies.
Progresiva	Tiene una curvatura más acentuada que forma unas paredes, proporciona más agarre.
Forma W	Es una curvatura que permite que la tabla sea más precisa para hacer trucos ya que su forma transmite más energía de los talones a los dedos de los pies.
Cueva plana	Su curvatura es parecida a la radial, pero esta se extiende en ángulo afilado hacia la tabla. Permite mantener los pies planos sobre la tabla.
Asimétrica	Las tablas con esta forma tienen las dos esquinas curvadas a diferente ángulo; proporciona más potencia de giros.

Tabla I.3. Clasificación de las tablas de *skateboard* según su curvatura.

Tipo	Definición
Convexa	Cuya curvatura tiene forma de U invertida. El centro es más elevado pero proporciona menos estabilidad.
Camber	Son las tablas cuya curvatura longitudinal está más elevada por el centro, lo que proporciona más flexibilidad al patinador.
Rocker	La curvatura longitudinal está más baja por el centro. Con ello se permite más comodidad, pero menos flexibilidad.
Kicktail	Se denomina así a la curvatura de la cola; su función es permitir hacer trucos.

I. Introducción

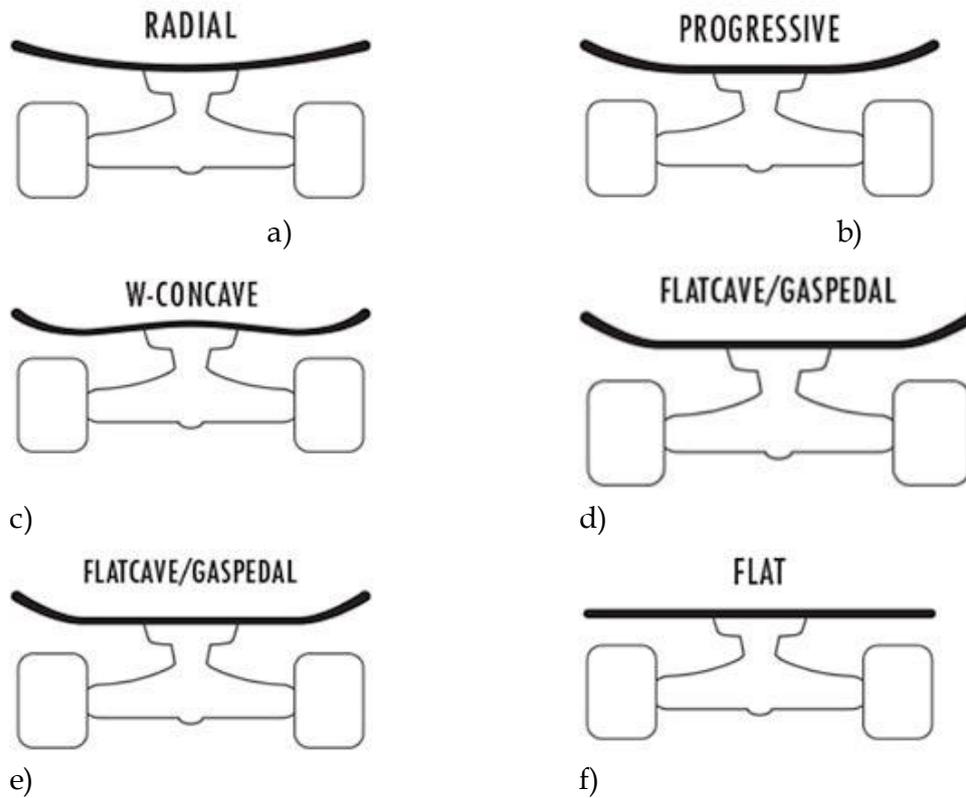


Figura I.3. Imagen de una tabla de *skateboard* con geometría a) radial, b) progresiva, c) forma de W, d) cueva plana y e) asimétrica.

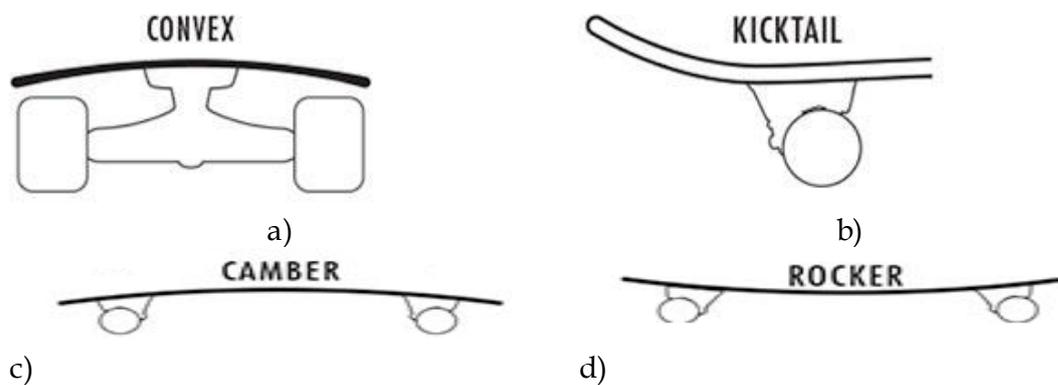


Figura I.4. Imagen de una tabla de *skateboard* con curvatura de tipo a) Convexa, b) Plana, c) Camber, d) Rocker y e) Kicktail.

I.2. Materiales compuestos.

A continuación, se resumen los aspectos importantes de los materiales compuestos, que plantean una posibilidad de sustitución de los materiales tradicionales empleados en la fabricación de tablas de *skate*.

I.2.1. Materiales compuestos.

Se denominan así a aquellos materiales que resultan de la combinación de dos o más materiales como resultado de una unión química o no química, alcanzando un efecto sinérgico; es decir, que las propiedades que se consiguen con el compuesto, son superiores a las de los componentes de forma individual.

Una de las ventajas del uso de estos materiales es que no pueden disolverse ni fusionarse completamente entre ellos ya que son heterogéneos y a su vez anisotrópicos (cuyas propiedades dependen de la orientación del material de refuerzo), por lo que sus propiedades no serán las mismas en todo su volumen.

I.2.2. Características de los materiales compuestos.

Los materiales compuestos se caracterizan principalmente por:

- Alta resistencia en relación a su peso.
- Baja densidad y buena resistencia por unidad de peso.
- Flexibilidad de formas. Debido a sus fibras de refuerzo permiten trabajar con mayor facilidad antes del proceso de curado de la matriz, y permite realizar una gran variedad de formas y acabados.
- Alta resistencia dieléctrica. Son aislantes eléctricos con gran capacidad de consolidación de las partes.

I. Introducción

- Resistencia a la corrosión. Esta propiedad viene determinada por el tipo de matriz que se utiliza. De esta manera se pueden seleccionar matrices con resistencia a cualquier medio corrosivo.
- Mayor resistencia y menor fatiga.
- Menor coste, debido a que precisa menos tareas de mantenimiento que el resto de materiales.

I.2.3. Clasificación de los materiales compuestos

A continuación, se muestra una clasificación de los materiales compuestos por forma del refuerzo y por el tipo de matriz.

I.2.3.1. Clasificación por la forma del refuerzo.

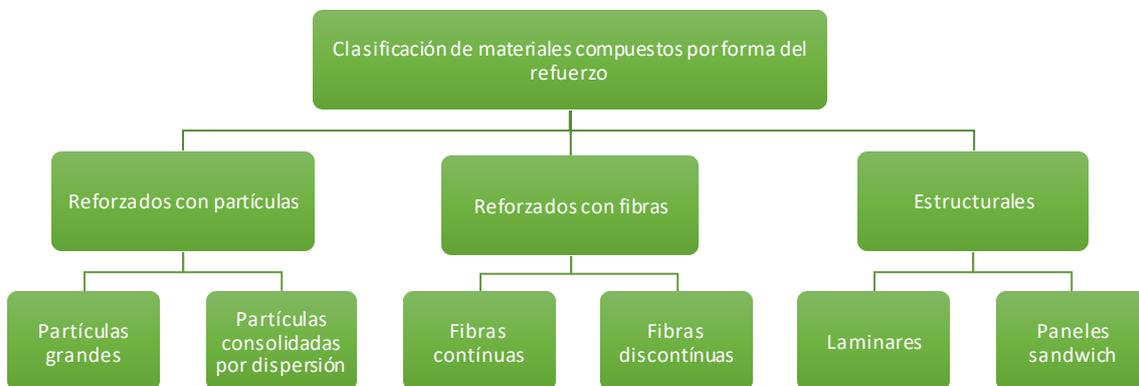


Figura I.5. Imagen de clasificación de materiales compuestos por forma del refuerzo.

I. Introducción

Compuesto reforzado por partículas.

La fase dispersa el material compuesto, es más resistente que la matriz ya que las partículas de refuerzo restringen el movimiento de la matriz en las proximidades de cada partícula. De esa manera, gran parte del esfuerzo se transfiere a las partículas.

Los materiales compuestos reforzados por partículas se subdividen en: reforzado con partículas grandes y endurecidas por dispersión.

Compuesto reforzado por fibras.

Los compuestos con los materiales dentro del grupo reforzado por fibras son los más destacados. El resultado es un material con elevada resistencia a la fatiga y a la rigidez, a las temperaturas extremas y con baja densidad. El objetivo es conseguir una buena relación resistencia-precio, y para ello se emplean materiales ligeros tanto en la matriz como en las fibras, cumpliendo con las propiedades mecánicas que se quieren otorgar al composite.

Compuestos estructurales.

Se obtienen con materiales compuestos y homogéneos. Sus propiedades dependen de los materiales y de la geometría de diseño de los elementos estructurales. Es posible encontrar varios compuestos estructurales como: laminares, estructuras sándwich y estructuras no-laminares.

I. Introducción

I.2.3.2. Clasificación por tipo de matriz:

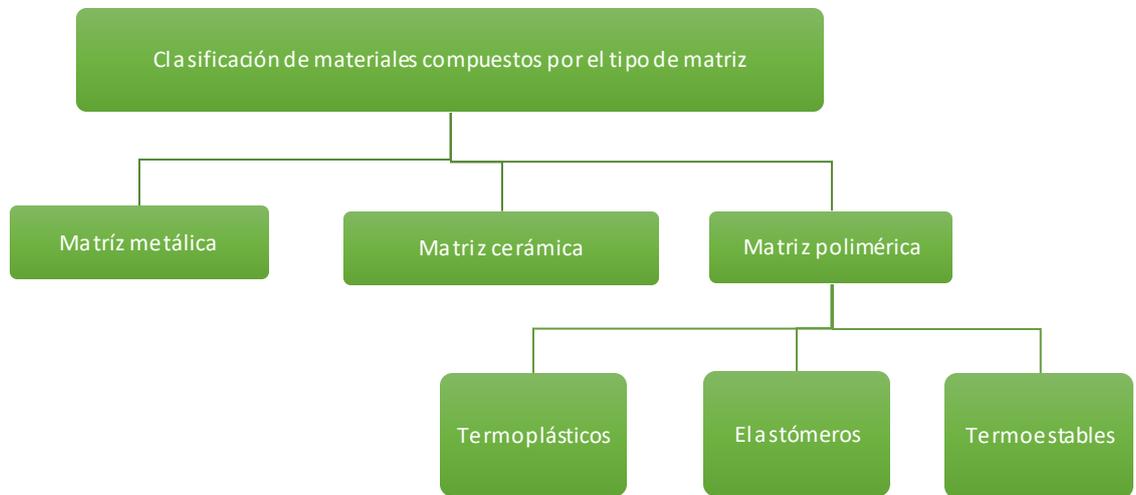


Figura I.6. Imagen de clasificación de materiales compuestos por el tipo de matriz.

a) Compuestos con matriz metálica (MMC).

Presentan alta resistencia y muy bajo peso.

b) Compuestos con matriz cerámica (CMC).

Presentan mejor resistencia y tenacidad, especialmente en bajas temperaturas.

c) Compuestos con matriz polimérica (PMC).

Presentan propiedades resistentes a la corrosión y a los agentes químicos, y gracias a sus propiedades físicas, pueden ser moldeados libremente. A su vez, las matrices se clasifican en tres grupos según el comportamiento térmico del polímero:

c1) Termoplásticos.

Son polímeros que a temperaturas altas se convierten en fluido que permite moldearlos libremente.

I. Introducción

c2) Elastómeros.

Polímeros que tienen cadenas con gran libertad de movimiento molecular lo que se traduce en flexibilidad.

c3) Termoestables.

Son polímeros que no pueden ser re-moldeados. Su estructura molecular está entrecruzada y tienden a ser resinas de mucha rigidez que, al someterlas a altas temperaturas, son estables hasta que se llega a la descomposición química del polímero. A temperatura ambiente son duros, rígidos y frágiles.



Figura I.7. Imagen esquemática de la estructura de materiales poliméricos.

I.3. Materiales de última generación en tablas de *skateboard*.

Como ya se ha mencionado, para la construcción de las tablas de *skate* existen varias alternativas de materiales, ya sean madera de arce canadiense, fibra de Kevlar, fibra de vidrio, entre otros. En este caso, para la elaboración de las tablas objeto de este proyecto se recurrirá al empleo de materiales compuestos.

Los materiales compuestos que se emplearán son: fibras de carbono y fibras naturales, debido a las propiedades que proporcionan. Por otro lado, el material que se empleará como matriz para los laminados de compuestos es una resina de tipo epoxi. A continuación, se muestra información más detallada de cada uno de los materiales.

I.3.1. Fibra de carbono.

La fibra de carbono es una fibra sintética compuesta por finos filamentos principalmente de carbono cuyo diámetro se sitúa entre 5 y 10 μm . Esta fibra se obtiene a partir del poliacrilonitrilo (PAN) y proporciona propiedades parecidas al acero en cuanto dureza, pero con la ligereza de la madera o plástico. En cuanto a su estructura atómica se asemeja al grafito ya que las láminas de átomos de carbono se colocan al azar, proporcionándole una alta resistencia.

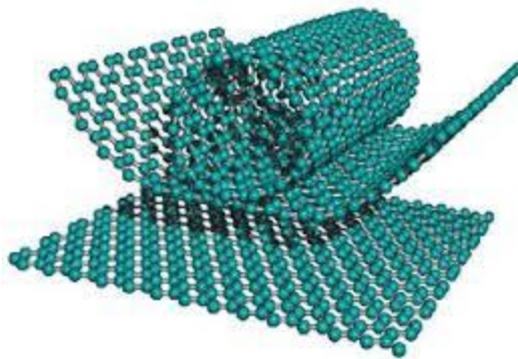


Figura I.8. Imagen de la estructura química de la fibra de carbono.

I. Introducción

De entre las propiedades más destacadas de la fibra de carbono se encuentran:

- Elevada elasticidad y resistencia mecánica.
- Elevada rentabilidad de producción.
- Resistencia a agentes externos.
- Gran capacidad de aislamiento térmico.
- Resistencia a las variaciones de temperatura.
- Baja densidad.

I.3.2. Fibras naturales.

Como su nombre indica el origen de estas fibras es natural, ya sea vegetal, animal o mineral. En las últimas décadas, la industria se ha decantado por las fibras de origen sintético debido a su bajo coste; sin embargo las fibras de origen natural presentan grandes ventajas y son más respetuosas con el medio ambiente.

En el caso de las fibras naturales de origen animal pueden derivar de las secreciones glandulares de ciertos insectos, tales como la fibroína de seda en la que dos filamentos están conectados por sericina.

En cambio, las fibras vegetales se pueden encontrar fácilmente debido a que tienen diversos orígenes ya sean a partir de fibras de semillas, tallo de fibras, fibra de hoja o frutas. Presentan una estructura delgada de sección redonda.

Se pueden destacar las ventajas de las fibras vegetales como: bajo coste, baja densidad, gran absorción de dióxido de carbono, biodegradabilidad y renovabilidad. Por otro lado, sus principales desventajas son: alta absorción de humedad, baja resistencia a los microorganismos, baja estabilidad térmica y propiedades mecánicas inferiores a las de las fibras no naturales.

I. Introducción

Y finalmente, las fibras de origen mineral se obtienen a partir de las rocas con estructura fibrosa y consisten esencialmente en silicatos y aluminatos. Un ejemplo de una fibra mineral es el basalto, la pizarra, alúmina, etc.

Las fibras naturales pueden clasificarse en dos tipos:

-**Celulosa**: Constituidas principalmente por celulosa derivada de fuente vegetal y tratada posteriormente, por ejemplo: yute, algodón, lino.

-**Proteica**: Tales como lana, seda y fibras de pelo de animal.

Así pues, las fibras naturales son ideales para usarlas como refuerzo en materiales compuestos con matriz polimérica gracias a sus principales propiedades y beneficios de fabricación como:

- Bajo coste comparado con fibras de Kevlar o fibras de vidrio.
- Bajo peso y biodegradabilidad.
- Excelente aislante térmico y acústico.
- Elevada resistencia a la tensión

Algunas de las fibras naturales que actúan como refuerzo pueden ser algodón, lino, cáñamo o fibras procedente de madera, papel reciclados o incluso subproductos procedentes de cultivos agrícolas. Mientras que las matrices pueden ser polímeros de origen renovable como aceites vegetales o almidón.

I. Introducción



a)



b)



c)



d)

Figura I.9. Imagen de varias fibras naturales.

I.3.3. Resina epoxi o poliepóxido

Se trata de un polímero estable que se endurece al ser mezclado con un agente catalizador. El uso de este tipo de resina es común en la construcción de moldes y piezas.

Esta resina se diferencia de otras por tener dos o más grupos de epoxi por molécula.

I. Introducción



Figura I.10. Imagen de resina epoxi en estado líquido previo al proceso de entrecruzamiento.

Las características destacables de esta resina son:

- Humectación y óptima adherencia.
- Buen aislamiento eléctrico.
- Buena resistencia mecánica a esfuerzo, tensión y carga.
- Resisten el ataque de fluidos corrosivos.
- Resistencia a las altas temperaturas.
- Excelente resistencia química y física.
- Poca contracción al curar.

Algunas de las ventajas de usar la resina epoxi son su relación coste-resistencia y su rápido proceso de fabricación. Además, se puede encontrar una amplia gama, desde líquidos de baja viscosidad hasta sólidos de alto punto de fusión y polvos. Se adquieren en el mercado en función del uso que se desea y existe una amplia gama comercial.

II. OBJETIVOS

OBJETIVOS

II. Objetivos

II.1. OBJETIVO GENERAL.

El objetivo central del proyecto es el desarrollo de una tabla de *skate* con alto ratio de resistencia/ligereza con materiales compuestos que incorporen estructuras híbridas de carbono y fibras naturales, abordando el proceso desde diversas disciplinas de la ingeniería mecánica: diseño, selección de materiales, dimensionamiento y estudio económico.

II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

Los objetivos particulares se resumen a continuación:

- 1.- Caracterización y selección de laminados composites con diferentes secuencias de empaquetamiento híbridas carbono-fibra natural.
- 2.- Diseño sobre la plataforma de SolidWorks de la tabla de *skate* considerando los requerimientos técnicos de este tipo de pieza.
- 3.- Simulación de estados tensionales y análisis de deformaciones en condiciones de servicio mediante herramientas FEM.
- 4.- Estudio preliminar de viabilidad económica del producto.

III. DESARROLLO PROYECTO

**DESARROLLO
PROYECTO**

III.1. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.

En el presente apartado se contemplarán las etapas de diseño para los prototipos iniciales.

III.1.1. Prototipo de *skateboarding* 1:

Para este prototipo se eligió un *skateboarding* de geometría radial y de curvatura *rocker*, ya que su posibilidad de maniobra la convierte en la más preferida y utilizada por los *skaters* actualmente.

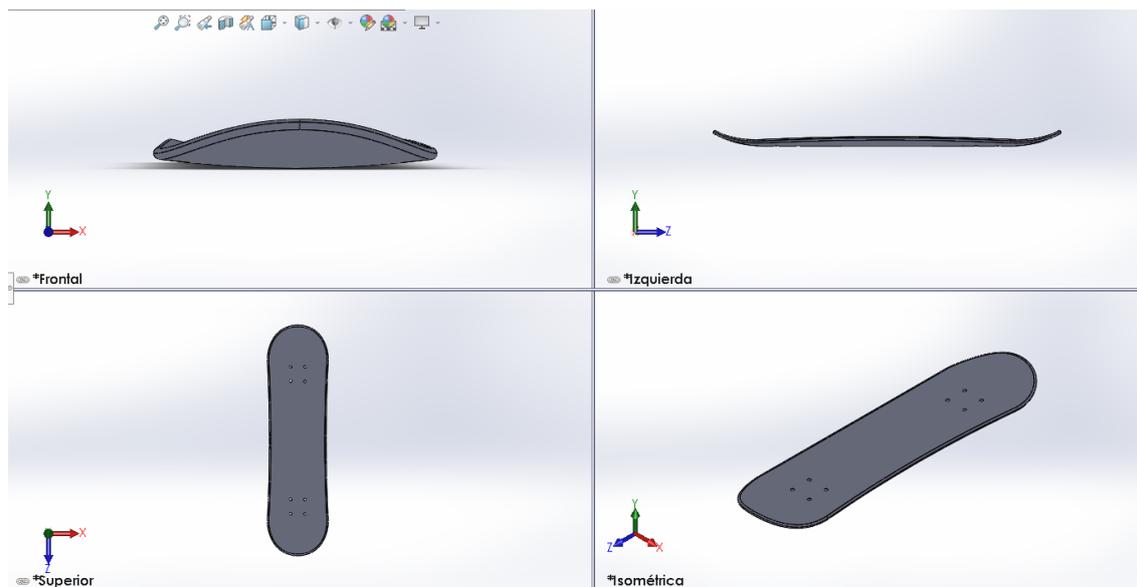
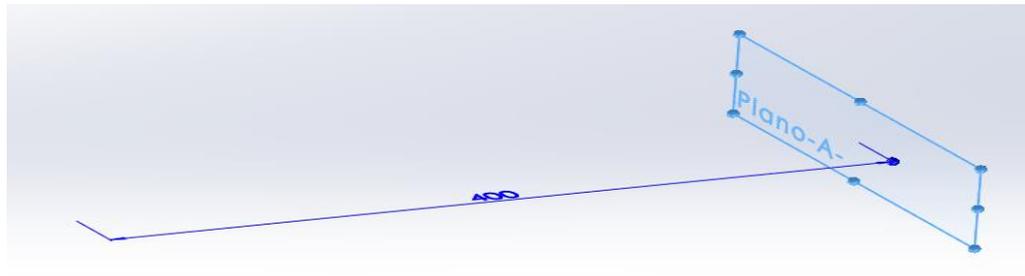


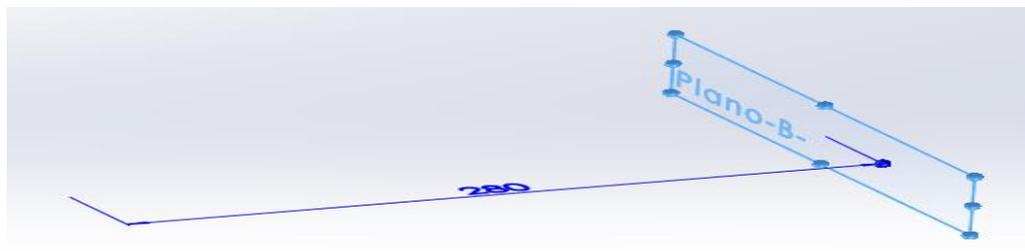
Figura III.1. Vistas generales del prototipo 1.

Etapa 1.-Para empezar, se crean los planos correspondientes a las imágenes A), B), C) y D) respecto a un punto origen. La imagen E es el resultado de crear los planos anteriores.

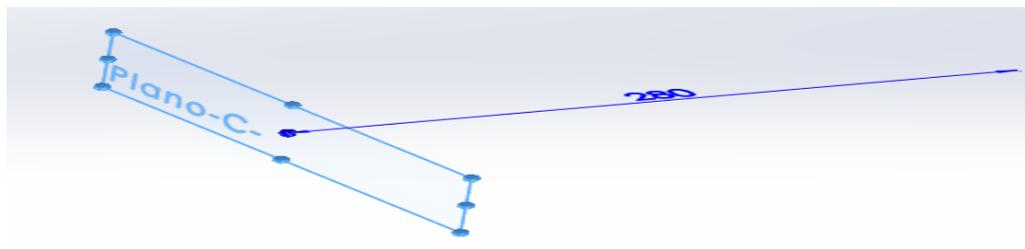
III. Desarrollo Proyecto



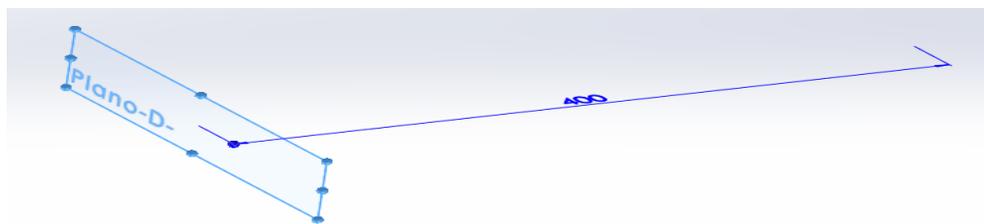
A)



B)



C)



D)

III. Desarrollo Proyecto

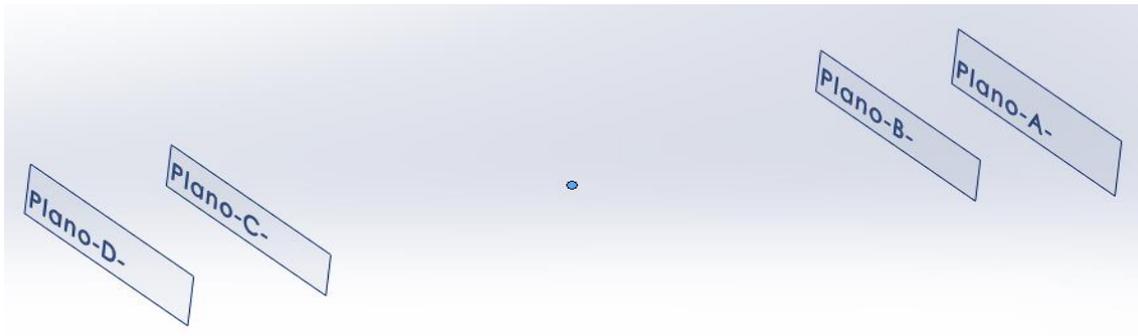


Figura III.2. Imágenes de creación y definición de los planos A) $a = 400$ mm, B) $a = 280$ mm, C) $a = -200$ mm y D) $a = -400$ mm; respecto al origen

Etapa 2.-En la siguiente etapa se definen los croquis en el plano correspondiente tal y como se refleja a continuación:

-Croquis 1:

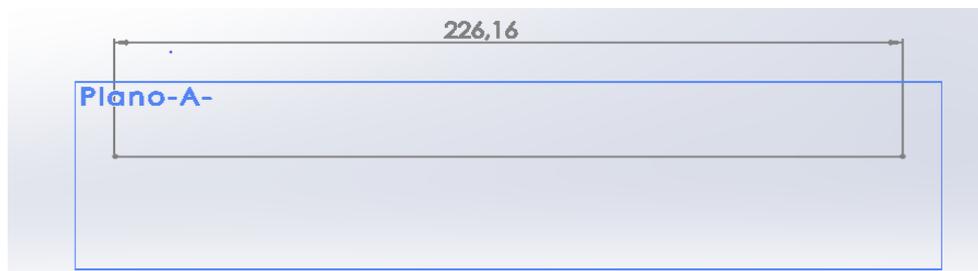


Figura III.3. Imagen de línea de 226,16 mm dibujada en el plano A.

-Croquis 2:

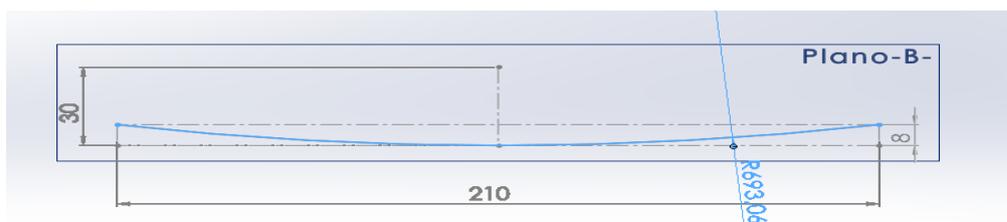


Figura III.4. Imagen de definición de la curvatura $R = 693.06$ mm y de longitud 210 mm dibujada en el plano B

III. Desarrollo Proyecto

-Croquis 3 y 4:



Figura III.5. Imagen del plano C y D que se trasladan los croquis de los planos A y B por simetría.

Etaapa 3.- En esta etapa se dibuja una línea guía central.

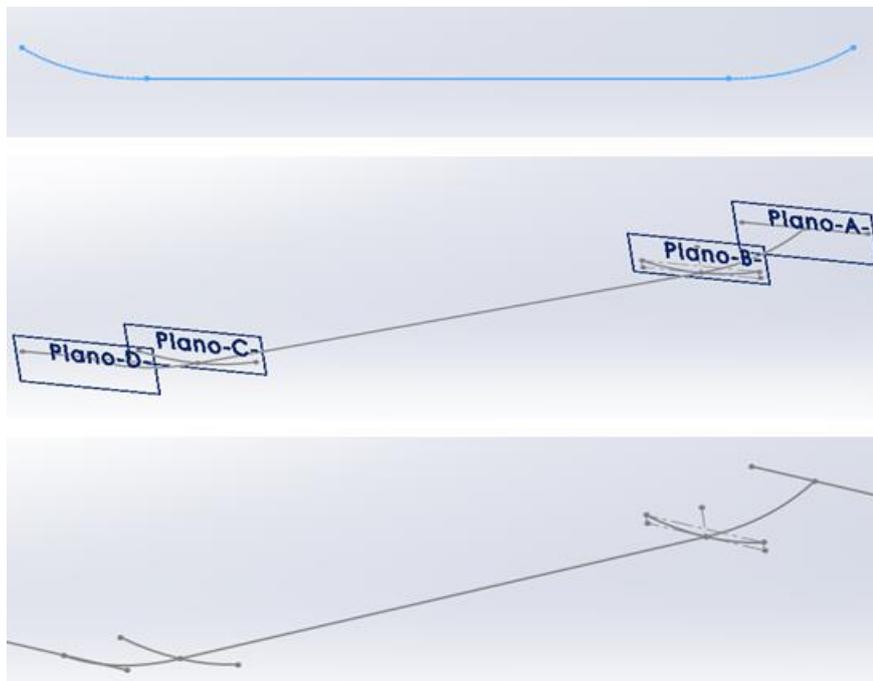


Figura III.6. Imágenes de la línea guía central que une los croquis.

III. Desarrollo Proyecto

Etapa 4.-Definir la geometría del *skateboarding* para recortar y recubrir la pieza.

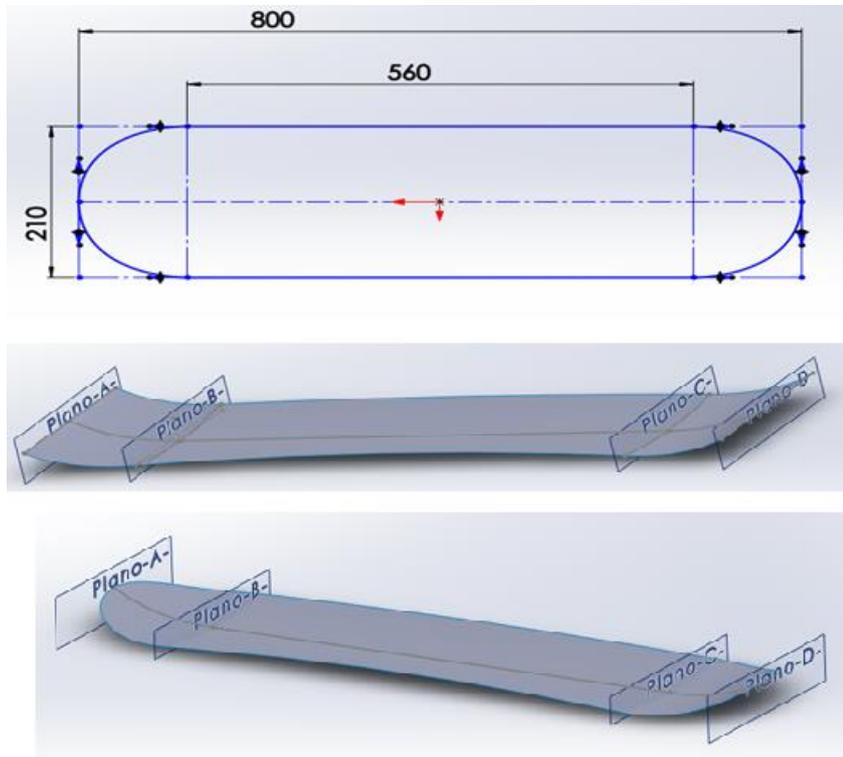


Figura III.7. Imagen de la geometría de la tabla recortada y recubierta.

Etapa 5.-Se realizan los puntos de anclaje.

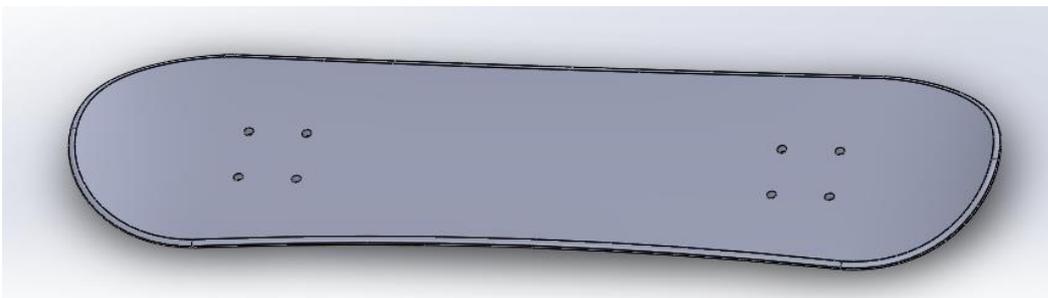


Figura III.8. Imagen la tabla con los puntos de anclaje de los ejes.

III. Desarrollo Proyecto

Etapa 6.- Por último, se da el espesor y se redondea la pieza.

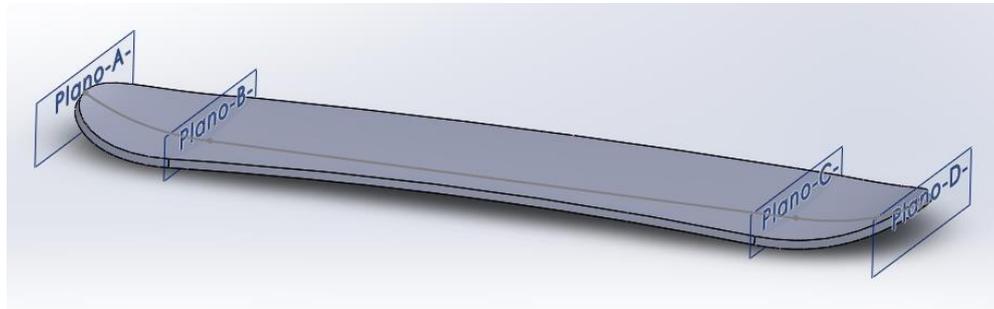


Figura III.9. Imagen la definición del espesor de 4 mm y redondeado a $r= 2$ mm.

Finalmente se obtiene el siguiente prototipo:

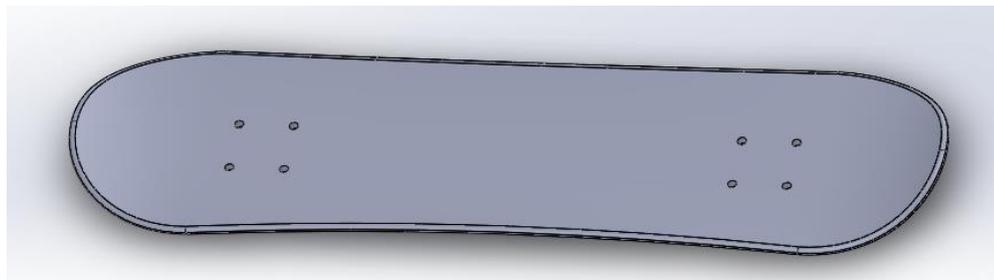


Figura III.10. Imagen 3D del diseño del prototipo de tabla *skate* 1 terminado.

III.1.2. Prototipo 2 de *skateboarding*

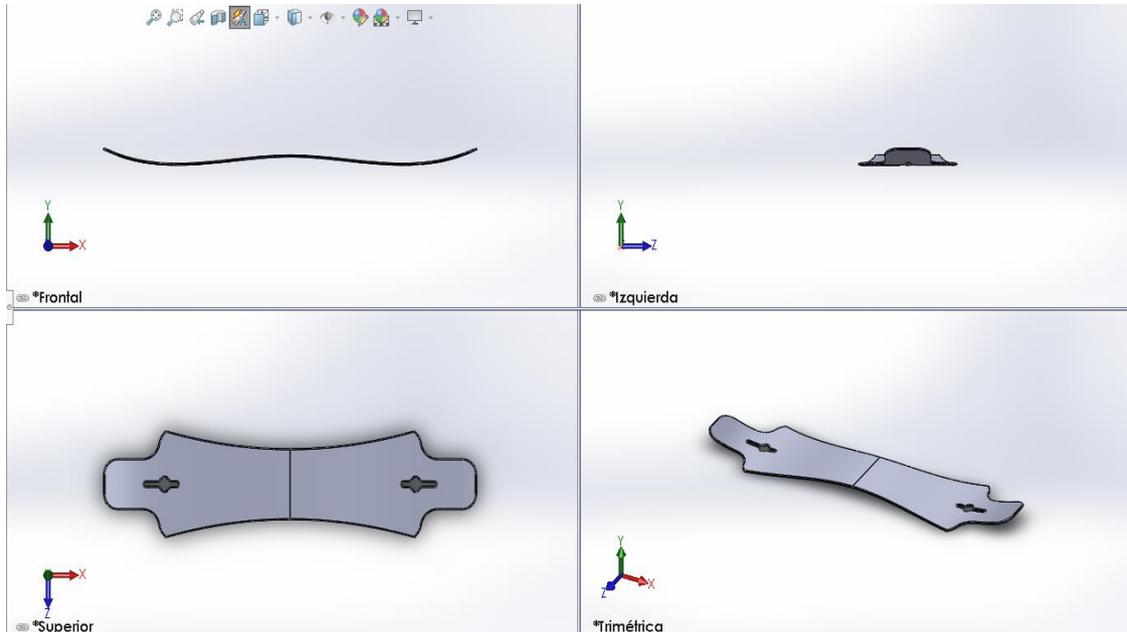


Figura III.11. Imagen de las vistas generales del prototipo 2.

Para este segundo prototipo se eligió un *skateboarding* de geometría Flat y de curvatura *CAMBER*, por ser la más cara y usada actualmente por los profesionales le otorga más flexibilidad y estabilidad a la hora de hacer trucos y acrobacias extremas.

Etapa 1.- Para empezar en el plano alzado se dibuja una línea Spline tal y como se determina en las imágenes siguientes y luego se le aplica la operación simetría.

III. Desarrollo Proyecto

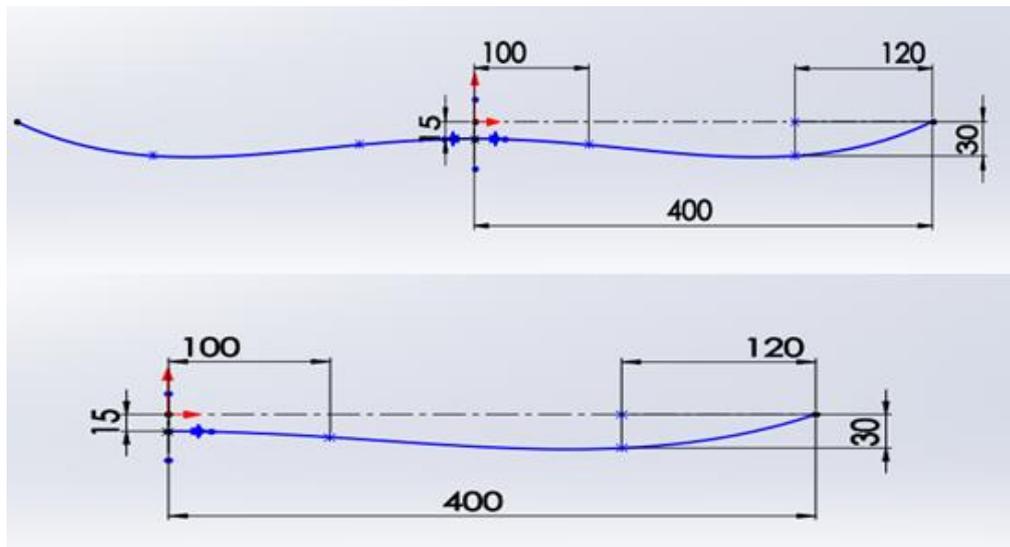


Figura III.12. Imagen de línea Spline dibujada para definir la curvatura de la tabla.

Etapa 2.- Extruir saliente la línea *Spline* a 210 mm y recubrir la pieza a espesor de 4 mm.

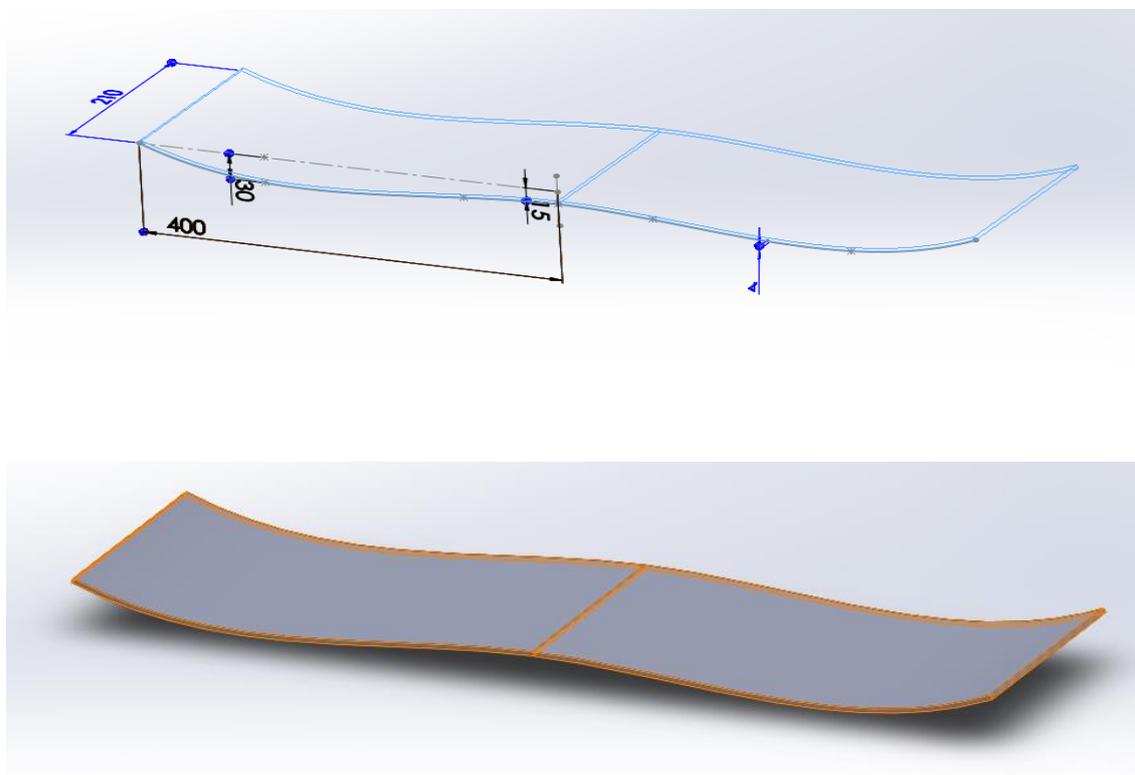


Figura III.13. Imágenes de la línea Spline recubierta y con espesor aplicado.

III. Desarrollo Proyecto

Etapa 3.- Definir la dimensión del *skateboarding* sobre la pieza ya creada y luego aplicar la operación de recortar

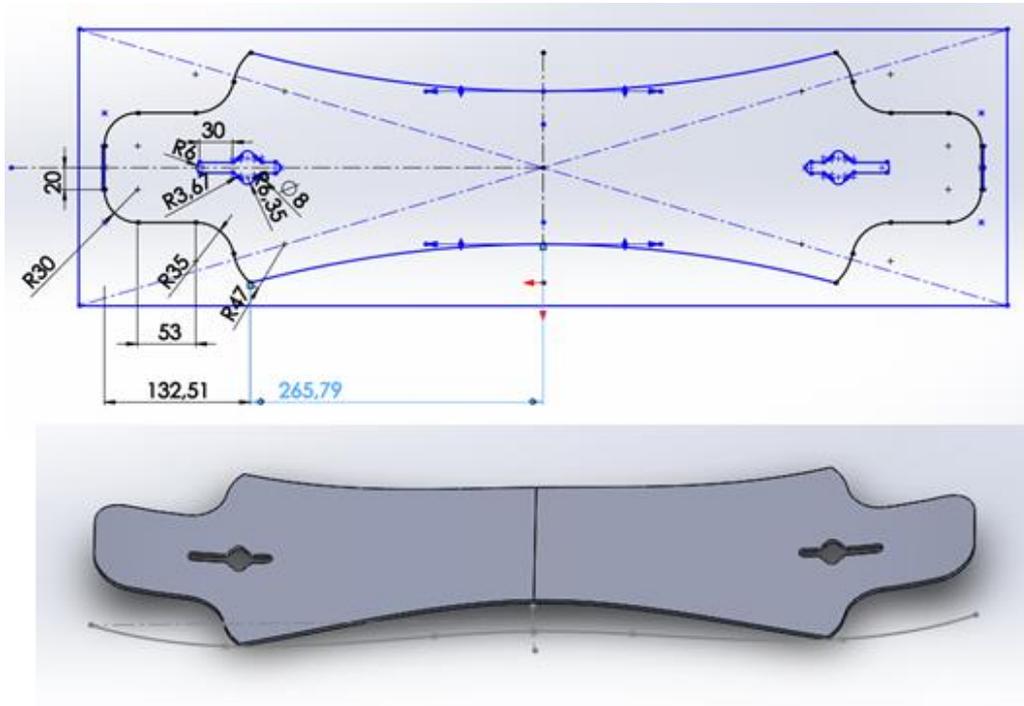


Figura III.14. Imagen de la pieza definida y luego recortada.

Etapa 4.- Por último, se aplica el redondeo a la pieza ya terminada

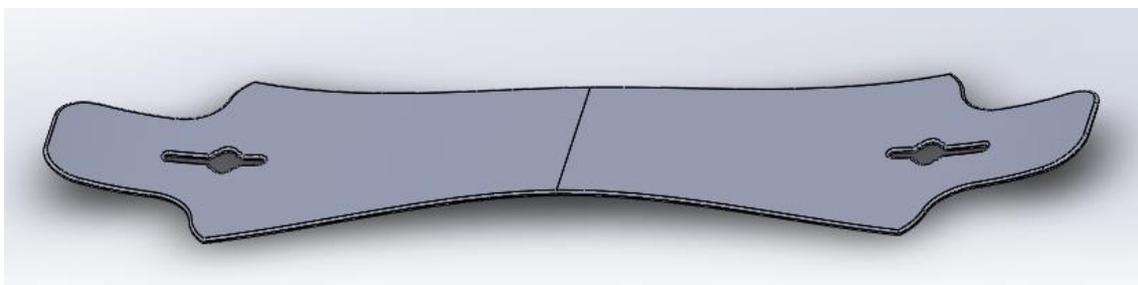


Figura III.15. Imagen de la pieza finalizada correspondiente al prototipo 2, con un redondeo en borde de $r=2$ mm.

III.2. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES.

Para determinar cuáles son los materiales idóneos para la fabricación de la tabla de *skate* final, se someterán la combinación de materiales a estudios de tensión y deformación aplicando el método de los elementos finitos (FEM) en la plataforma Solidworks. Si bien las funcionalidades FEM de SolidWorks no son tan potentes como en otras herramientas como ANSYS, NM, etc. la información que aporta SolidWorks es de gran calidad para la toma de decisiones en cuanto a geometrías y materiales.

El estudio de la acción de los estados tensionales, consiste en aplicar las fuerzas que actúan sobre el elemento para medir los niveles de tensión que se alcanzan en cada una de las partes del diseño cuando está sometido a dicha fuerza.

El estudio de deformación consiste en aplicar las fuerzas sobre el diseño para estimar los niveles de deformación y determinar las condiciones límite que soporta el material sin deformarse o romperse.

Una vez analizados, se escogerá el que mejores propiedades y comportamiento presentes en dichos estados.

Se ha estima como fuerza actuante sobre el prototipo el peso de una persona de 90 kg en reposo y 7 veces más en agresivo es decir 630 kg, que pueden corresponderse con las condiciones de un salto sobre la tabla.

-Fuerza en reposo $F= 900 \text{ N}$

-Fuerza en agresivo $F= 6300 \text{ N}$

III.3. SELECCIÓN DE MATERIALES.

En este apartado se explican los posibles materiales para la fabricación de la tabla de *skate*, así como los estudios realizados para seleccionar el material definitivo.

En una primera aproximación, debido a su composición se consideró adecuados el empleo de los siguientes materiales:

- Fibra de carbono.
- Fibra de vidrio.
- Fibra de basalto.
- Fibra de lino.
- Fibra de yute.
- Fibra de bambú.

Después de realizar un estudio experimental de las propiedades mecánicas de cada material se obtuvieron los siguientes resultados que se usaron para comparar y elegir los materiales definitivos.

Tabla III.1. Tabla de resultados de la caracterización del material.

	Densidad (ϕ) (kg/m ³) 10^3	Módulo elástico en X (GPa)	Módulo elástico en Y (GPa)	Coef. Poisson (XY)	Módulo cortante en XY (GPa)	Espesor mm (1 capa)
Carbono	1,84	245	18,80	0,2	175,0	0,3
Vidrio	2,60	85	6,50	0,23	30,0	0,8
Basalto	2,89	110	8,40	0,28	40,7	0,5
Lino	1,40	70	5,40	0,30	2,1	1
Yute	1,45	50	3,85	0,35	22,2	1,2
Bambú	0,80	20	1,54	0,46	1,4	0,7

III. Desarrollo Proyecto

Se puede observar que los materiales de fibras naturales poseen menor densidad en comparación de las fibras de refuerzo como el vidrio y carbono.

Estos dos últimos son considerablemente más elásticos tanto en X como Y. En cuanto al carbono presenta un módulo cortante en XY mayor que todos los materiales y su espesor es el menor.

Sin embargo, las fibras de carbono y vidrio que presentan mejores resultados en cuanto a sus propiedades mecánicas son más costosas que las fibras naturales.

En base a estos resultados anteriores se seleccionaron el carbono y las fibras naturales de basalto y lino ya que la mezcla de estas dos puede proporcionar una buena relación calidad precio.

La siguiente tabla muestra el porcentaje de resina epoxi presente en cada lámina de compuesto después de realizar el proceso de infusión de resina. La resina empleada ha sido una resina epoxi derivada de aceites vegetales, de la marca comercial EcoPoxy.

Tabla III.2. Tabla comparativa de porcentaje de volumen epoxi en las fibras y matrices.

	% Vf	% Vm
Carbono/Ecopoxy	64%	36%
Vidrio/Ecopoxy	62%	38%
Basalto/Ecopoxy	58%	32%
Lino/Ecopoxy	70%	30%
Yute/Ecopoxy	35%	65%
Bambú/Ecopoxy	41%	59%

De esta tabla se puede decir que después del proceso de fabricación de la lámina, las fibras que más resina absorben son la de yute y bambú y los que menos resina absorbieron son basalto y lino. Por lo tanto, de entre las fibras naturales se eligen basalto y lino ya que absorben menor cantidad de resina epoxi y permiten porcentajes de fibra superiores en los correspondientes laminados.

III. Desarrollo Proyecto

Los materiales definitivos son carbono, lino y basalto. Cuyas propiedades mecánicas están definidas en detalle en la siguiente tabla y servirán para el proceso de simulación.

Tabla III.3. Tabla comparativa de las propiedades mecánicas de materiales definitivos.

	Carbono	Basalto	Lino
E_x (GPa)	240	110	70
E_y (GPa)	18.8	8.4	5.4
S_{cxy} (GPa)	0.0464	0.0454	0.032
μ_{xy}	0.2	0.3	0.3
G_{xy} (GPa)	175	40.7	2.1
ρ (g/m^3)	1.84	2.89	1.4
X_{tx} (GPa)	1.6	1.6	0.7
Y_{ty} (GPa)	0.0467	0.045	0.032
X_c (GPa)	0.96	0.082	0.06
Y_c (GPa)	0.0874	0.0852	0.06

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

Las tablas objeto del estudio son las que se muestran en la imagen.

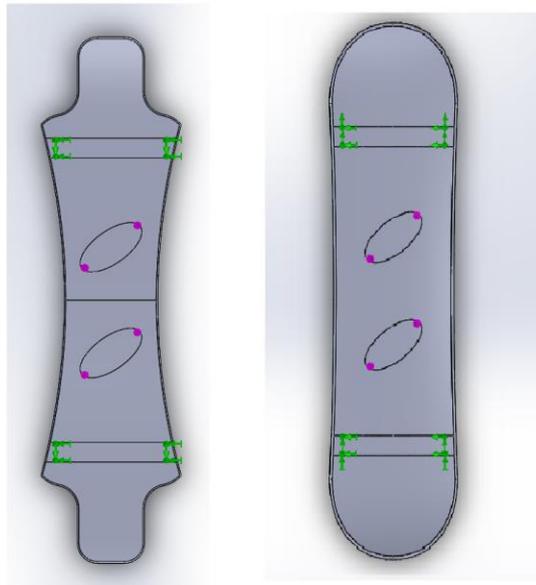


Figura III.16. Imagen de diseño de los prototipos 1 y 2.

En ambas tablas, se define como:

-**Zona de anclaje.** - Las zonas en las que se colocan los ejes de la tabla.

-**Zona de apoyo.** - Zona central de la tabla en la que el usuario apoyara los pies.

-**Fuerza:** El peso del usuario. Para nuestro análisis elegimos un usuario de 90 kg cuya fuerza en reposo es 900 N aprox. Y fuerza en agresivo es 6300 N.

III. Desarrollo Proyecto

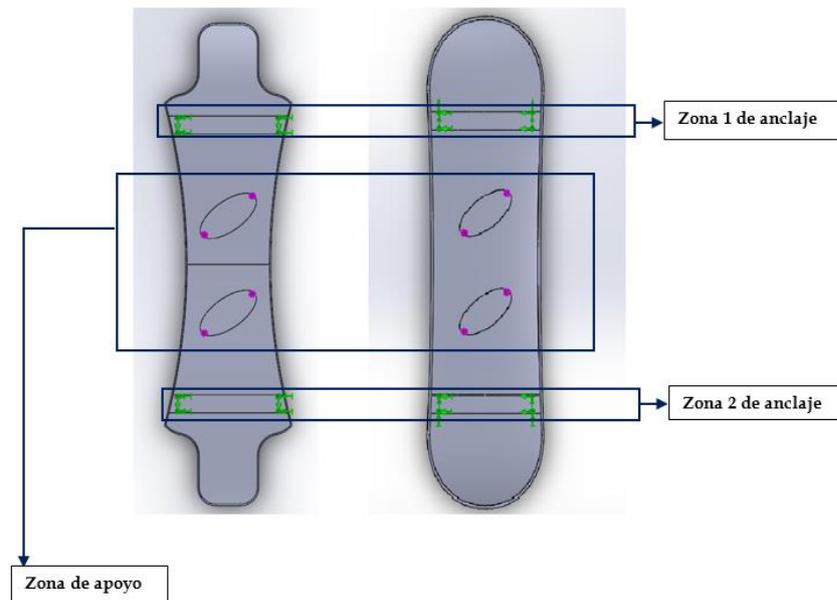


Figura III.17. Imagen de las zonas de la tabla en las que se contemplan los apoyos de los pies y los puntos de anclaje correspondientes a la zona donde se insertan los ejes con las ruedas.

III.5. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM.

En el siguiente apartado se lleva a cabo el análisis de los estados tensionales y de las deformaciones (desplazamientos) mediante el empleo del módulo de Simulación mediante el método de los elementos finitos (FEM) en SolidWorks, sobre dos tablas de *skate* diseñadas previamente y que se van a construir íntegramente con elementos compuestos, cuyas propiedades serán analizadas posteriormente. Para este estudio se toma como fuerza una persona de 90 kg.

Los estudios se realizarán tanto en reposo como en condiciones agresivas (equivalente al salto de una persona de 90 kg sobre la tabla de *skate*) para obtener resultados más reales.

-Fuerza en reposo 900 N.

-Fuerza en agresivo 6300 N.

III.5.1. Modelo FEM proyecto.

III.5.1.1. Aplicación de materiales.

En la siguiente tabla, se muestra un resumen de las configuraciones de materiales compuestos seleccionadas para el estudio mediante FEM.:

Tabla III.4. Tabla de materiales para los análisis tensionales y deformación.

Carbono y basalto		Carbono y lino	
N Capas	% Materiales	N Capas	% Materiales
10	50% Carbono 50% Basalto	10	50% Carbono 50% Lino
7	60% Carbono 40% Basalto	7	60% Carbono 40% Lino
5	40% Carbono 60% Basalto	5	40% Carbono 60% Lino
4 capas + núcleo	30% Carbono 40% Balsa 30% Basalto	4 capas + núcleo	30% Carbono 40% Balsa 30% Lino

III. Desarrollo Proyecto

III.6.1.2. Estudio/Análisis de estados tensionales.

Prototipo *skateboard* 1 de 10 capas:

Materiales: Carbono 50% / Basalto 50%

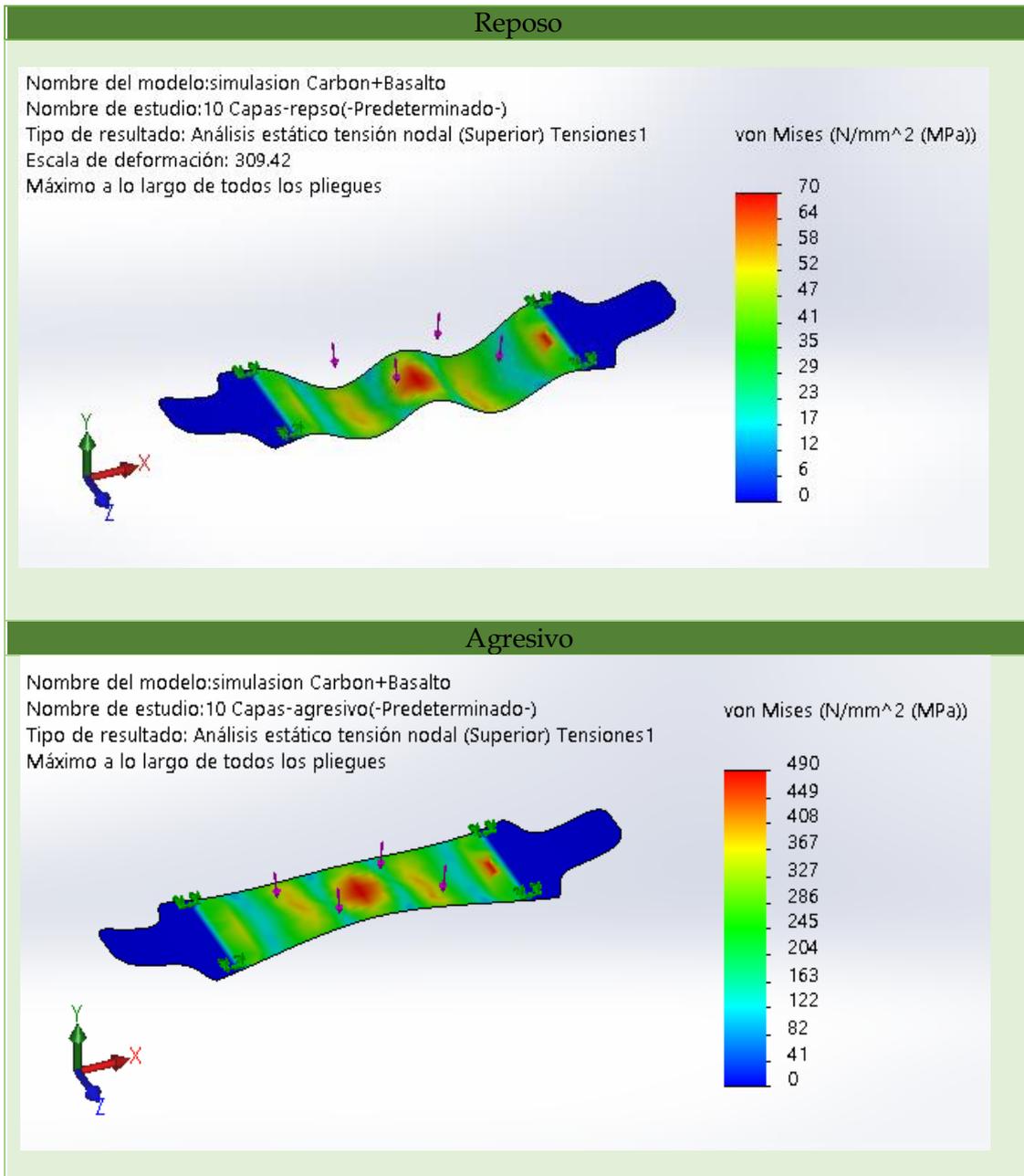


Figura III.18. Estados tensionales de *skateboard* 1 de 10 capas en FEM (C-B)

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 1 de 7 capas:

Materiales: Carbono 60% / Basalto 40%

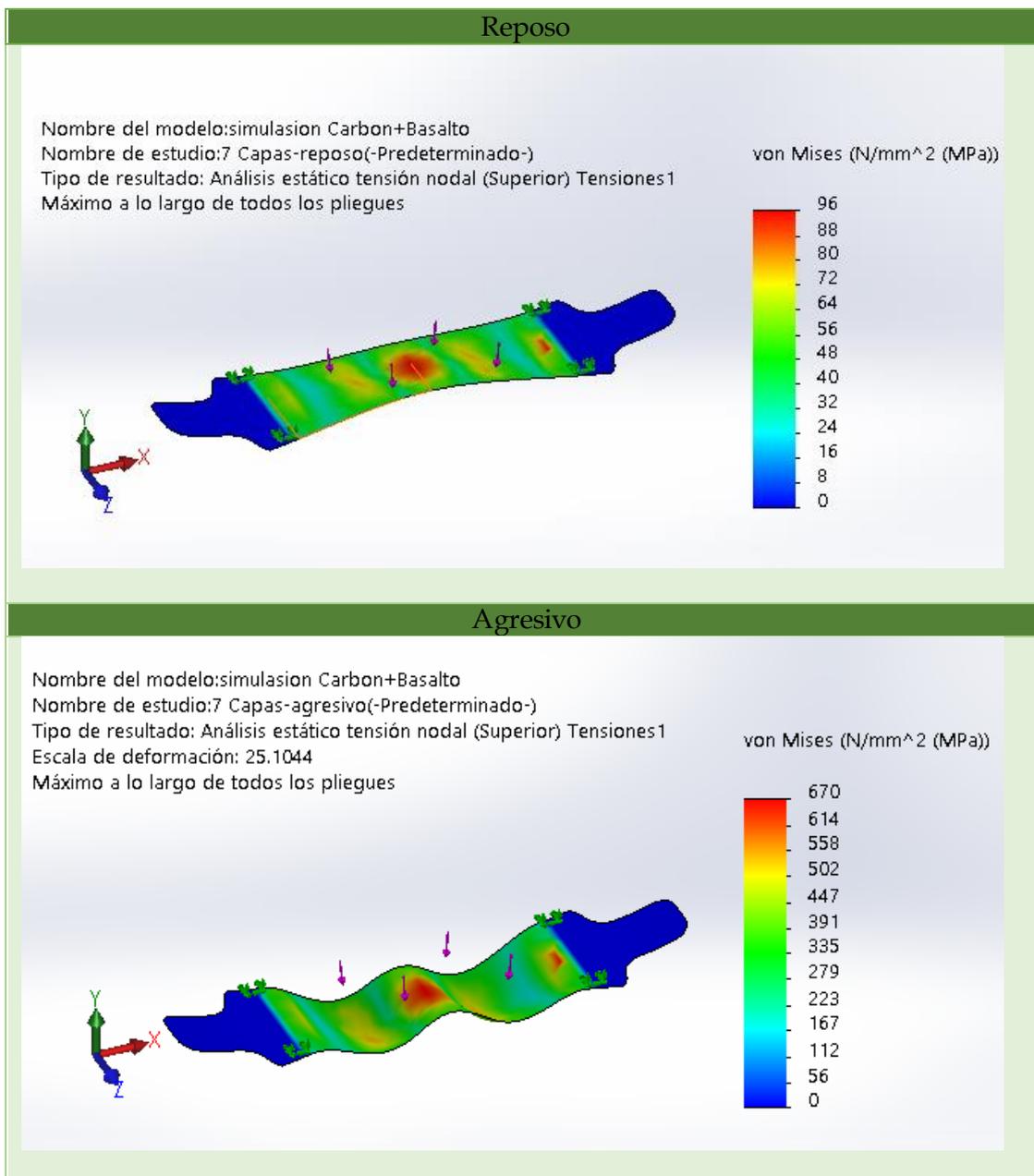


Figura III.19. Estados tensionales de *skateboard* 1 de 7 capas en FEM (C-B)

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 1 de 5 capas:

Materiales: Carbono 40% / Basalto 60%

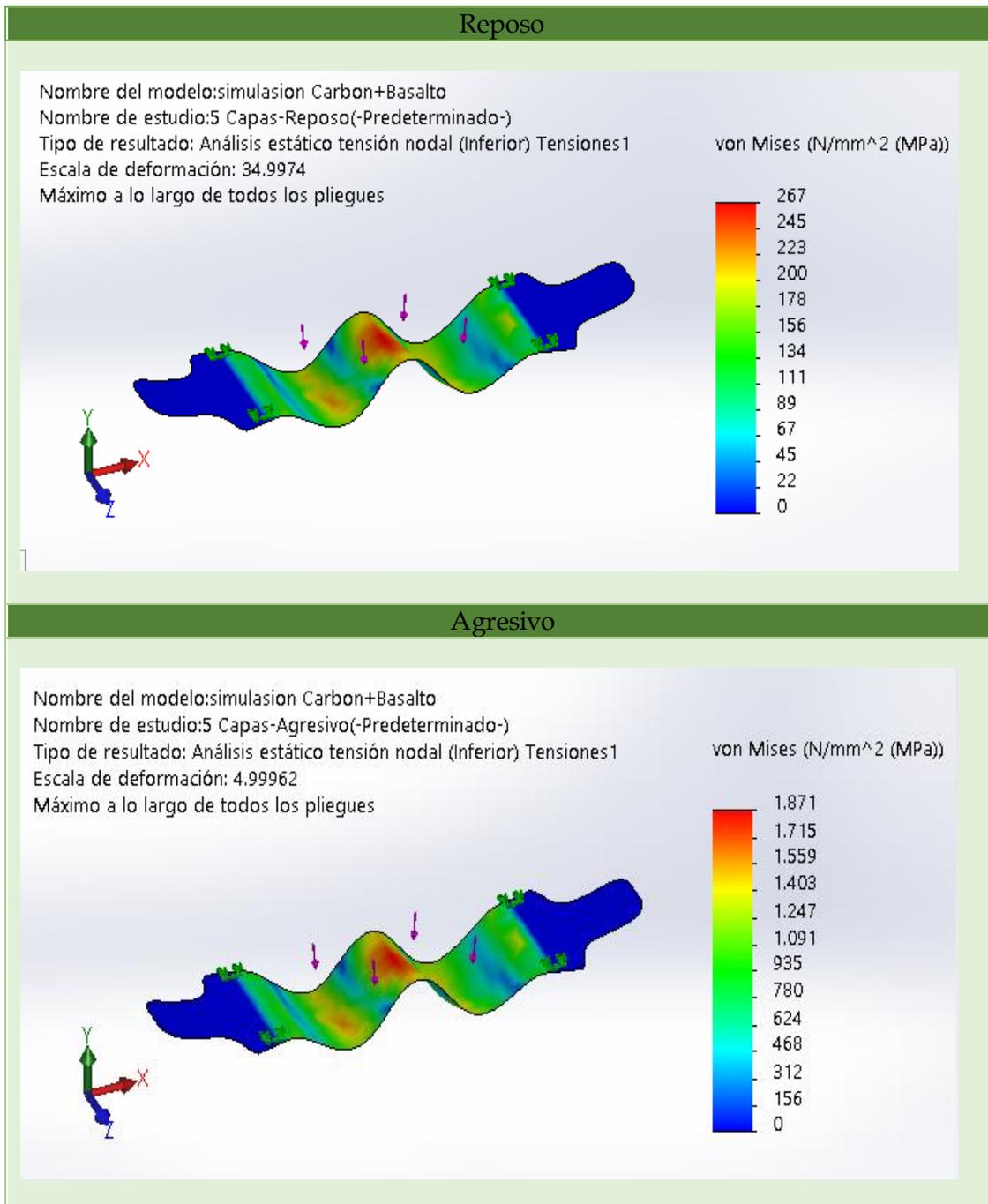


Figura III.20. Estados tensionales de *skateboard* 1 de 5 capas en FEM (C-B)

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 1 de 4 capas más núcleo de balsa:

Materiales: Carbono 30% / Núcleo mad. de balsa 40% / Basalto 30%

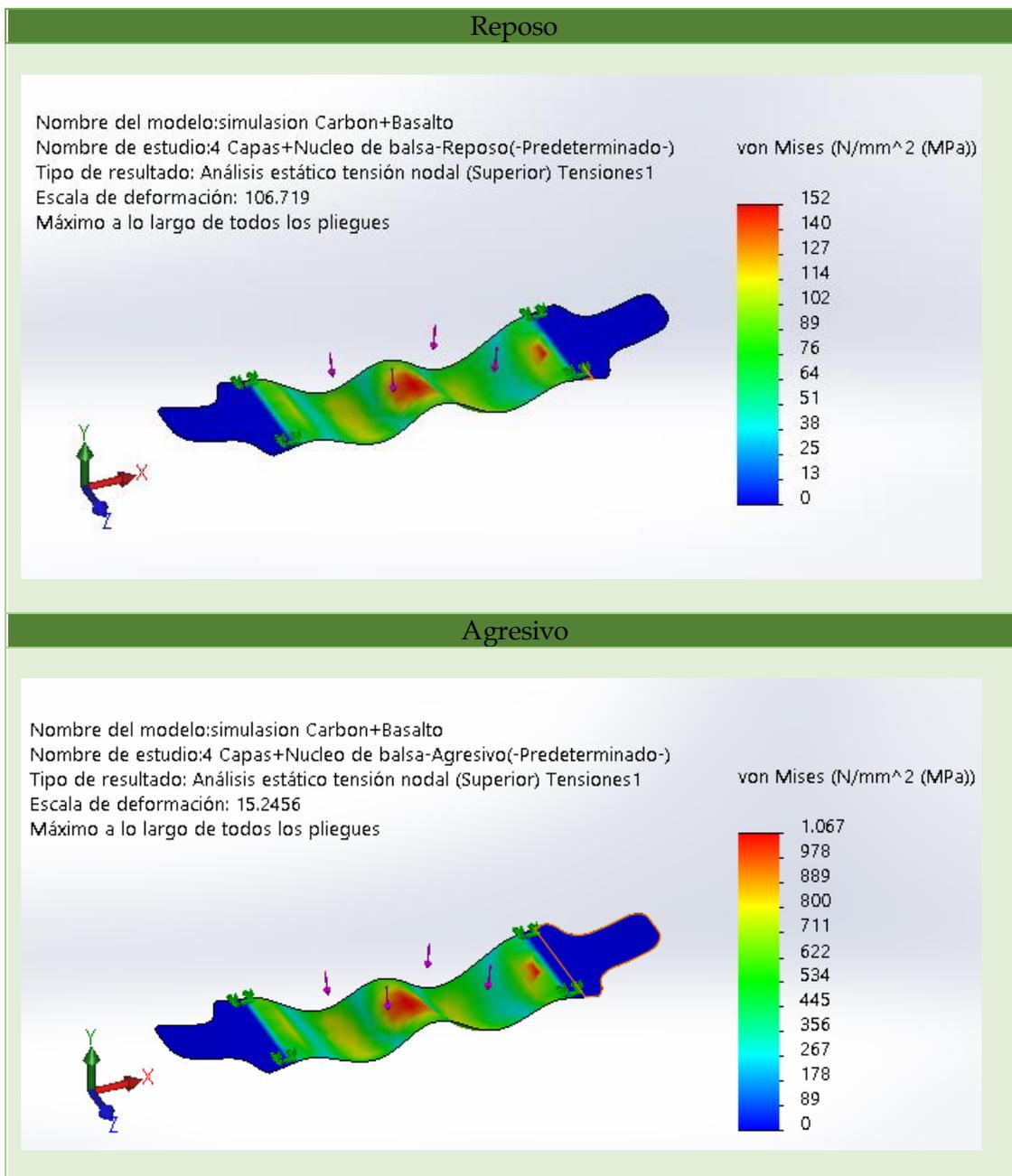


Figura III.21. Estados tensionales de *skateboard* 1 de 4 capas más núcleo de balsa en FEM.

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 1 de 10 capas:

Materiales: Carbono 50% / Lino 50%

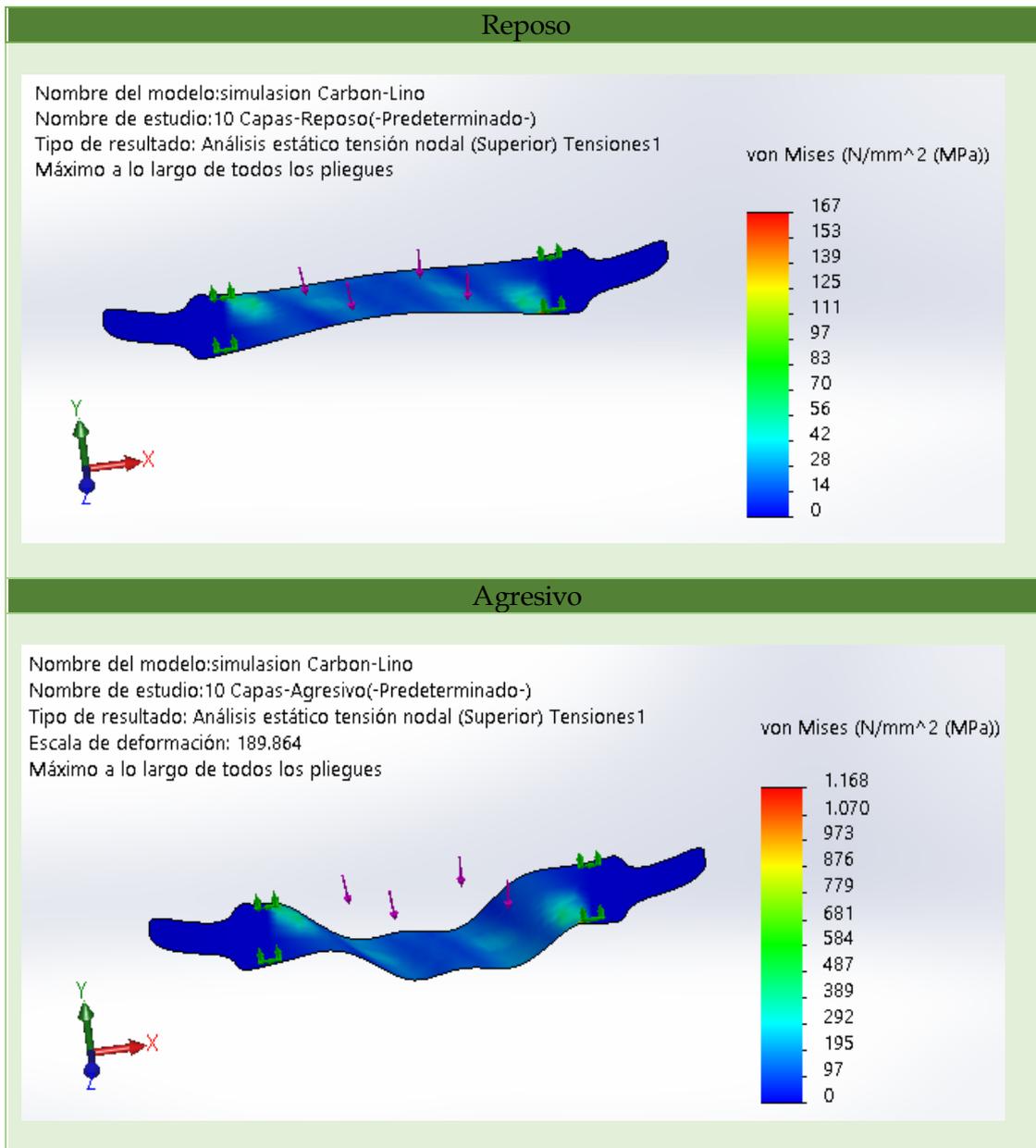


Figura III.22. Estados tensionales de *skateboard* 1 de 10 capas en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 1 de 7 capas:

Materiales: Carbono 60% / Lino 40%

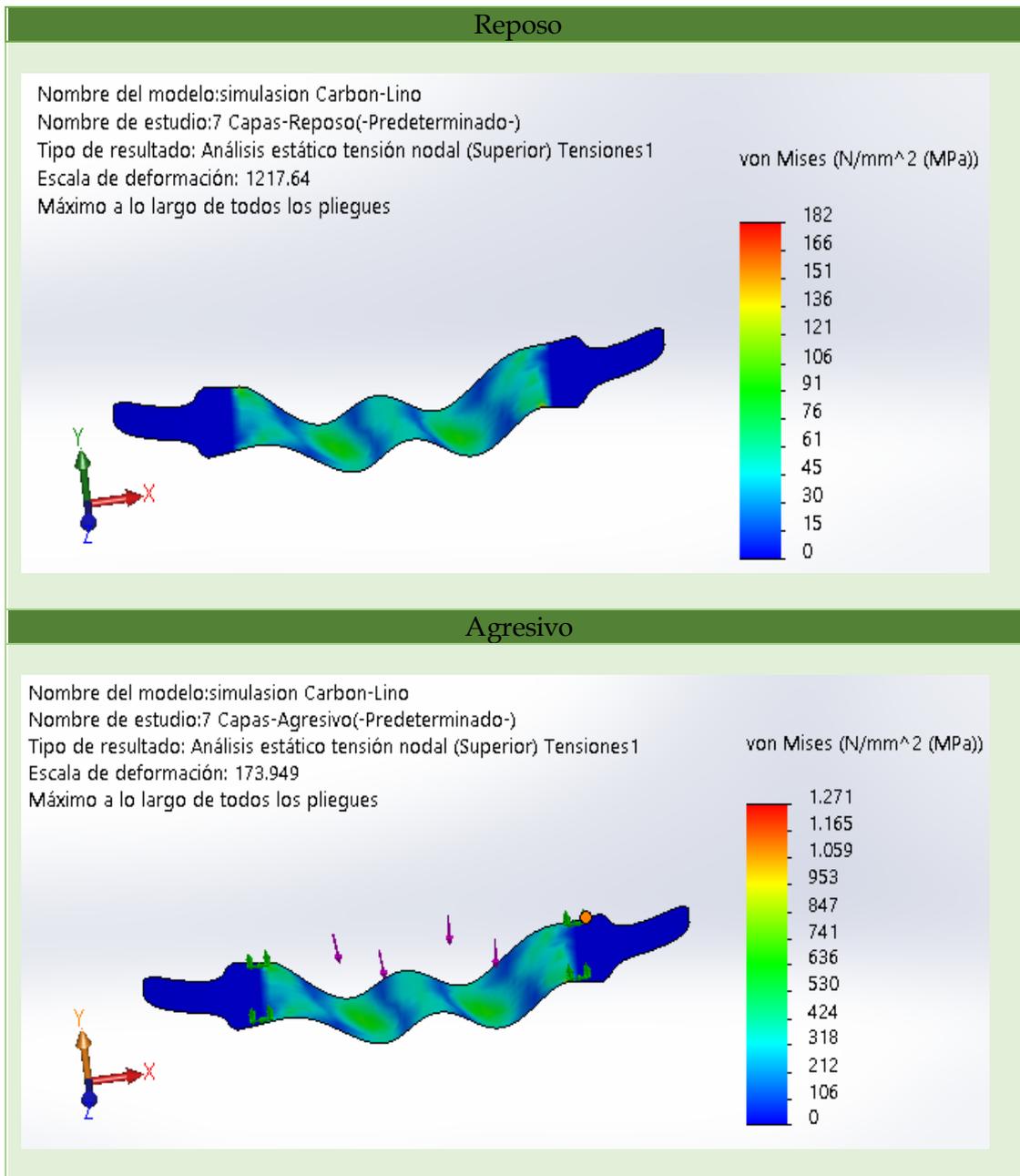


Figura III.23. Estados tensionales de *skateboard* 1 de 7 capas en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 1 de 5 capas:

Materiales: Carbono 40% / Lino 60%

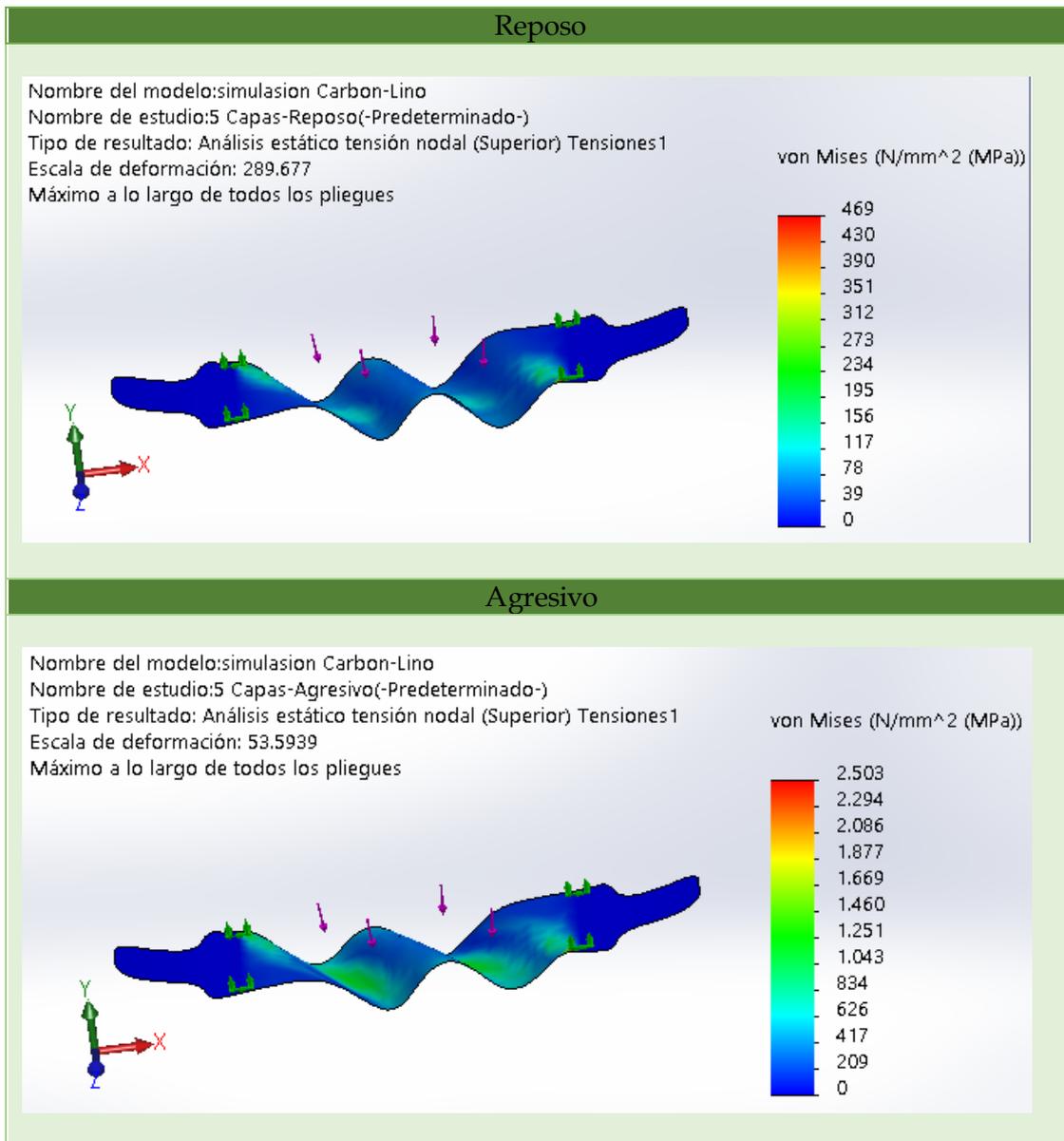


Figura III.24. Estados tensionales de *skateboard* 1 de 5 capas en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 1 de 4 capas más núcleo de balsa:

Materiales: Carbono 30% / Núcleo mad. de balsa 40% / Lino 30%

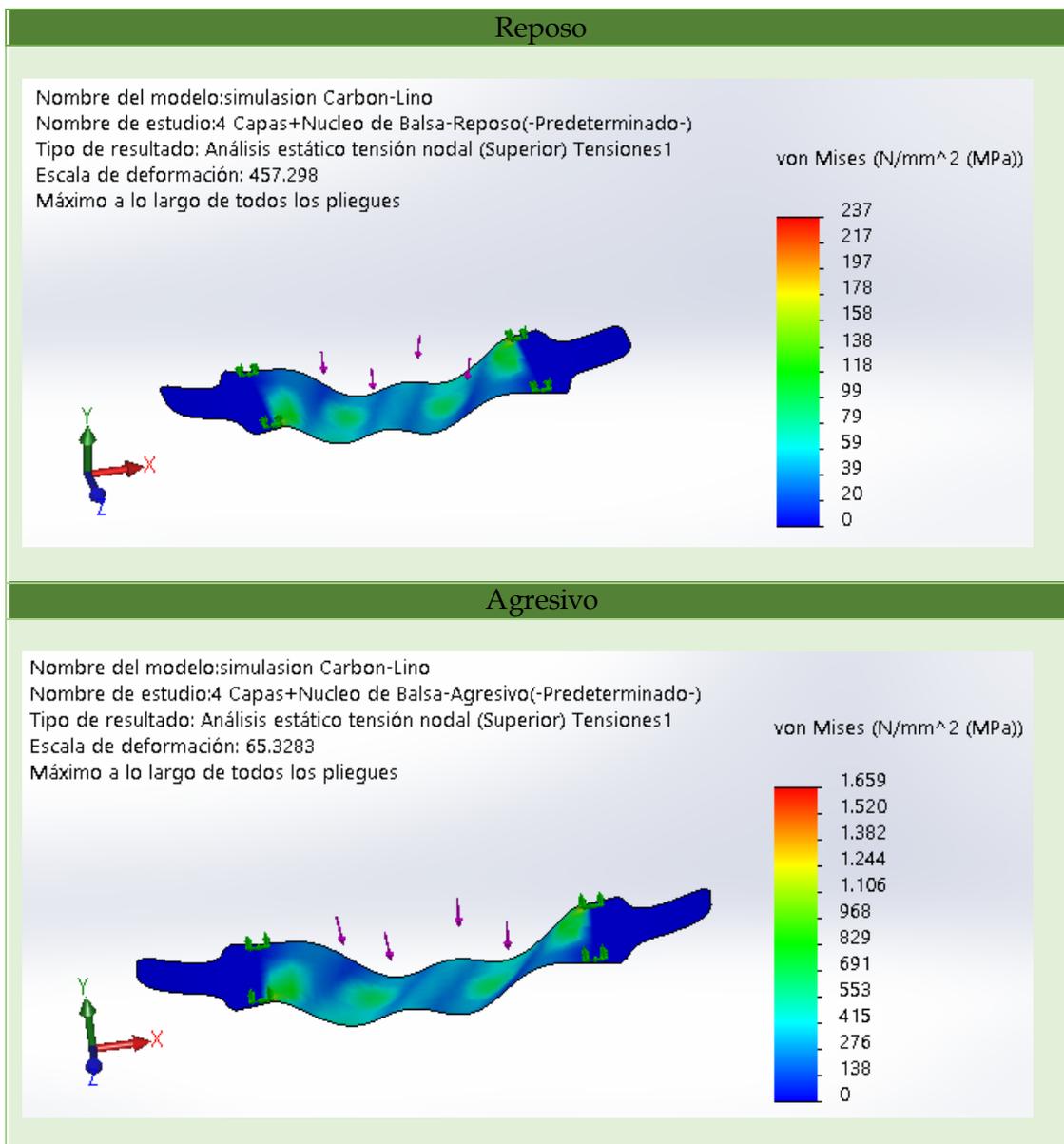


Figura III.25. Estados tensionales de *skateboard* 1 de 4 capas más núcleo de balsa en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 2 de 10 capas:

Material: Carbono 50% / Basalto 50%

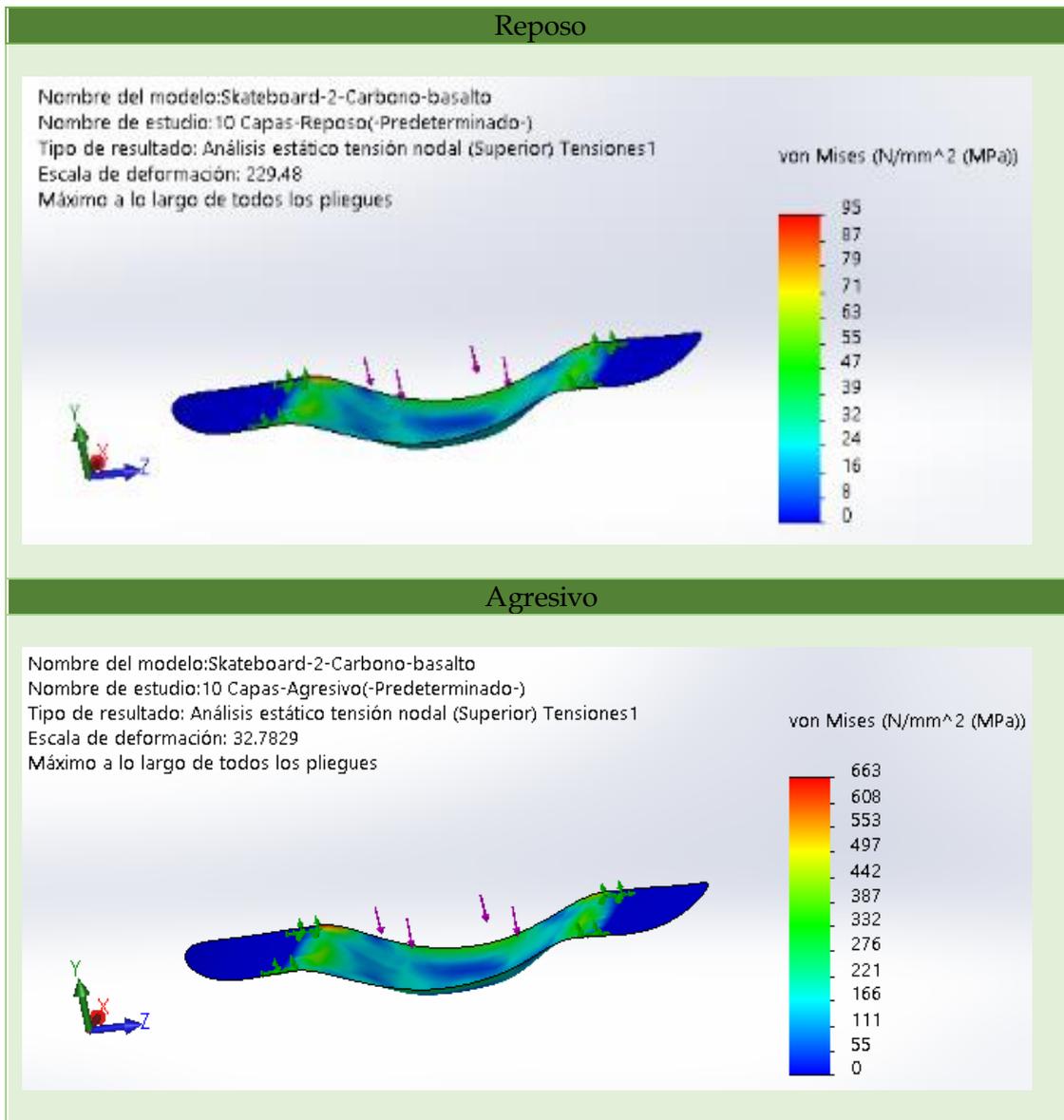


Figura III.26. Estados tensionales de *skateboard* 2 de 10 capas en FEM (C-B).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 2 de 7 capas:

Material: Carbono 60% / Basalto 40%

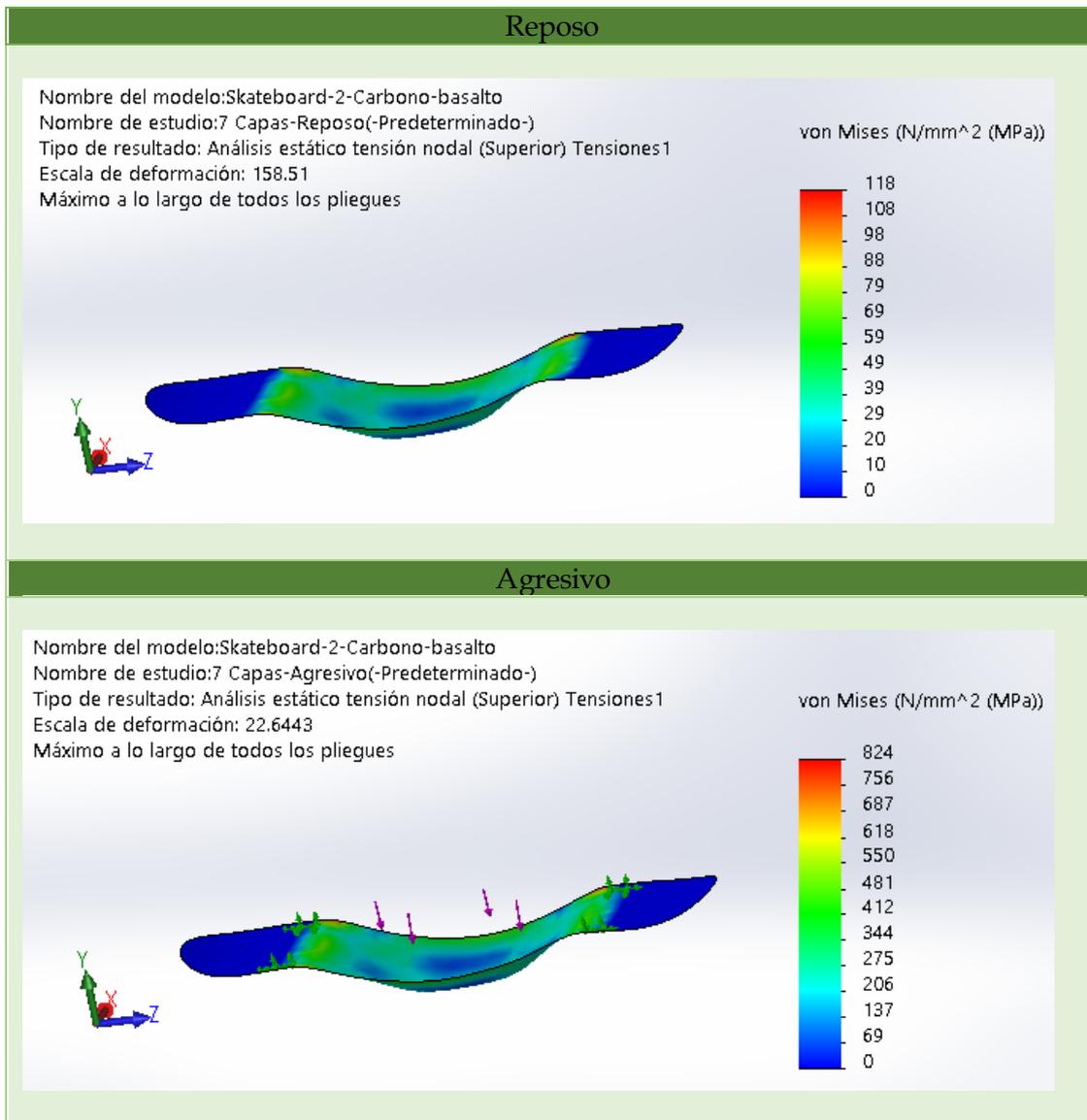


Figura III.27. Estados tensionales de *skateboard* II de 5 capas en FEM (C-B).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 2 de 5 capas:

Material: Carbono 40% / Basalto 60%

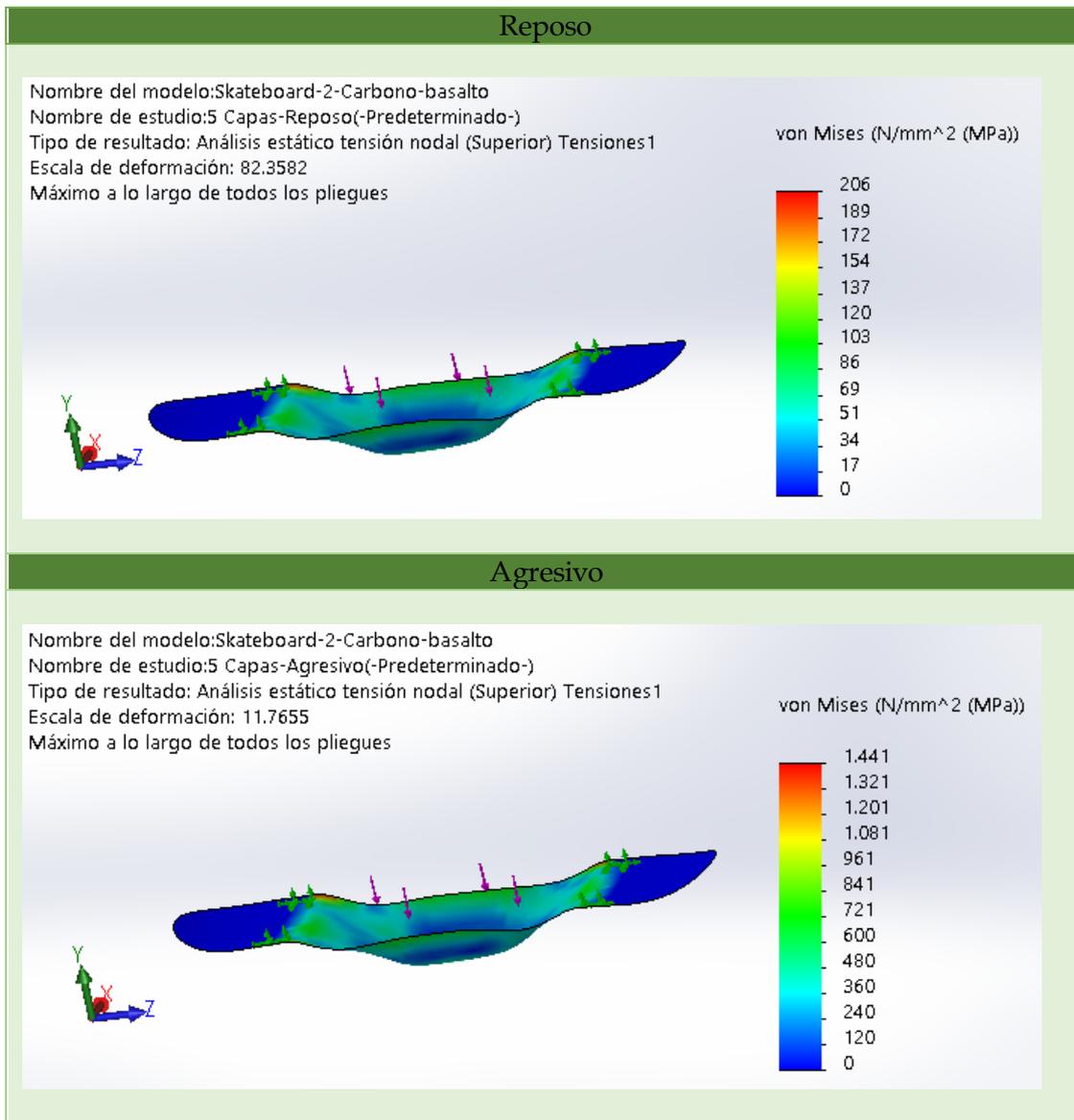


Figura III.28. Estados tensionales de *skateboard* 2 de 5 capas en FEM (C-B).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 2 de 4 capas más núcleo de balsa:

Material: Carbono 30% / Núcleo mad. de balsa 40% / Basalto 30%

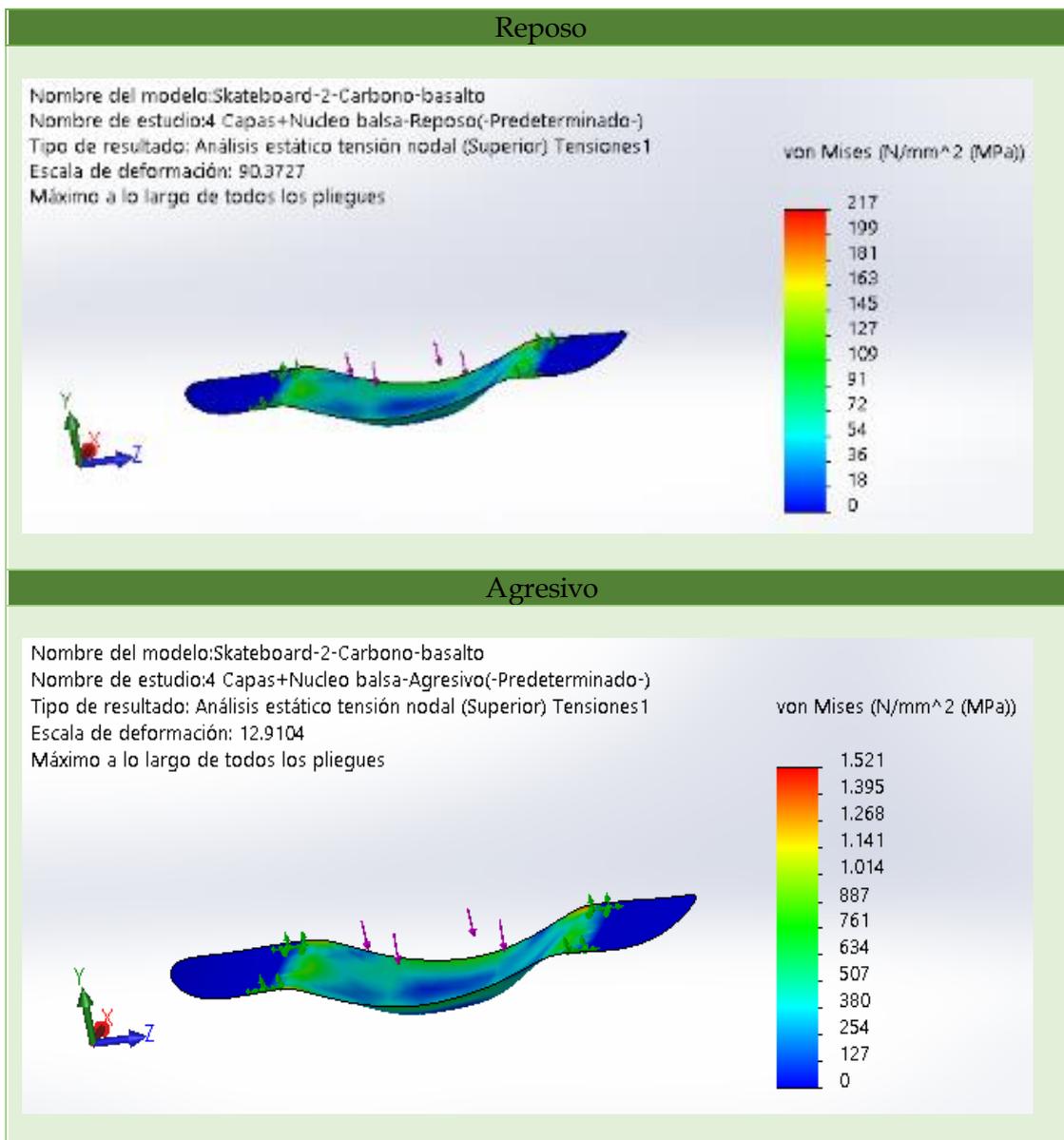


Figura III.29. Estados tensionales de *skateboard* 2 de 4 capas más núcleo de balsa en FEM (C-B).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 2 de 10 capas:

Material: Carbono 50% / Lino 50%

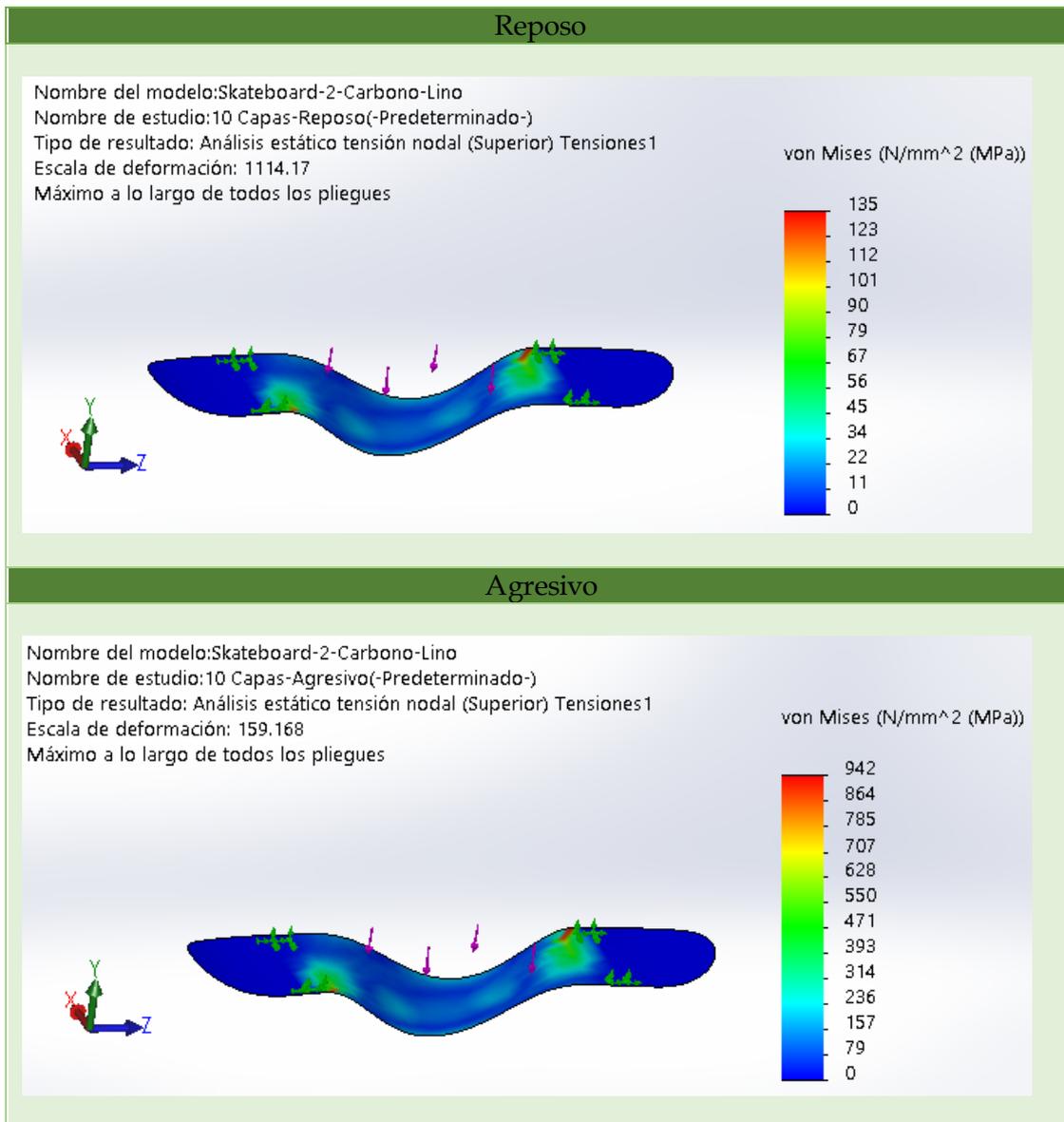


Figura III.30. Estados tensionales de *skateboard* 2 de 10 capas en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 2 de 7 capas:

Material: Carbono 60% / Lino 40%

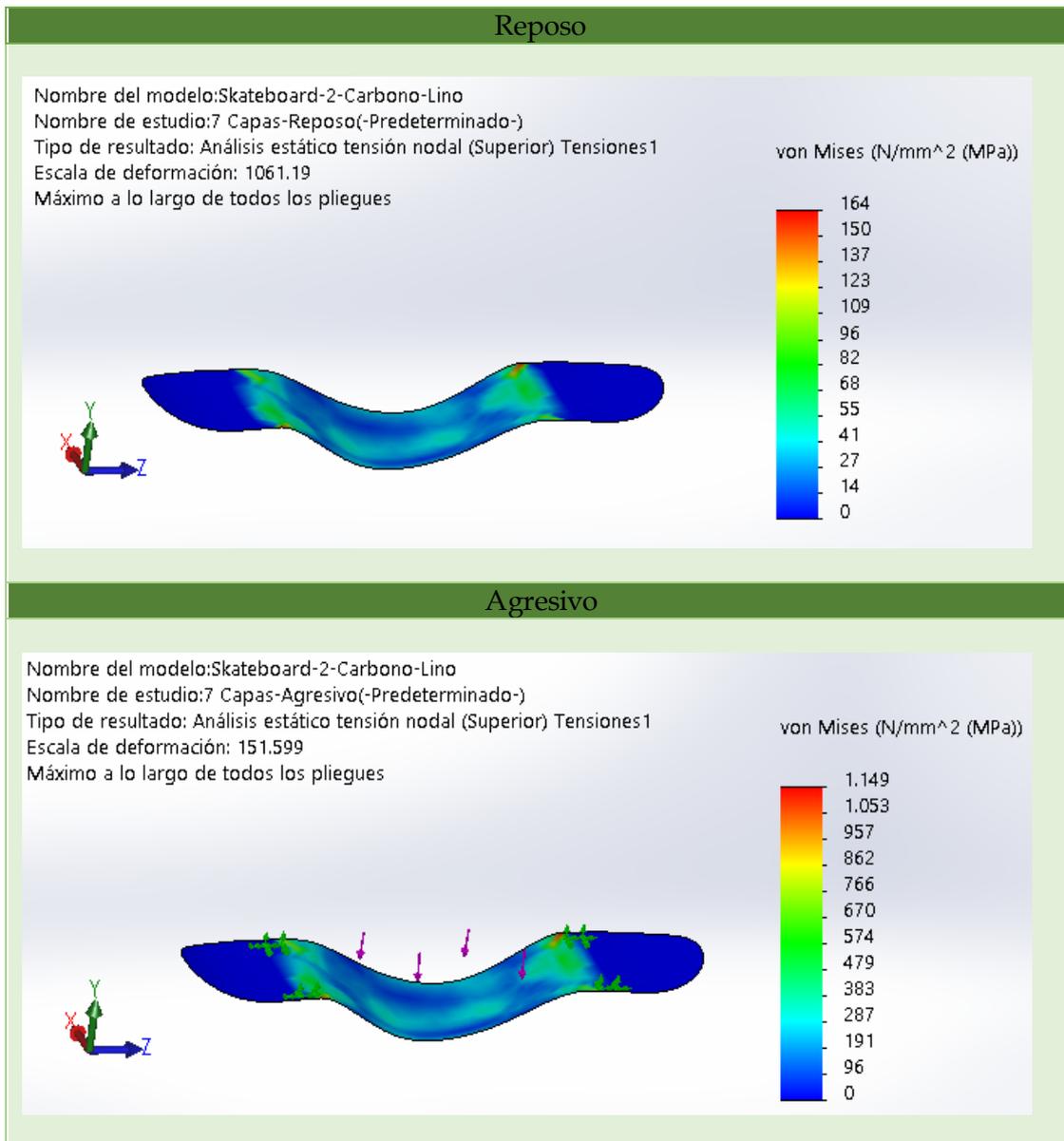


Figura III.31. Estados tensionales de *skateboard* 2 de 7 capas en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 2 de 5 capas:

Material: Carbono 40% / Lino 60%

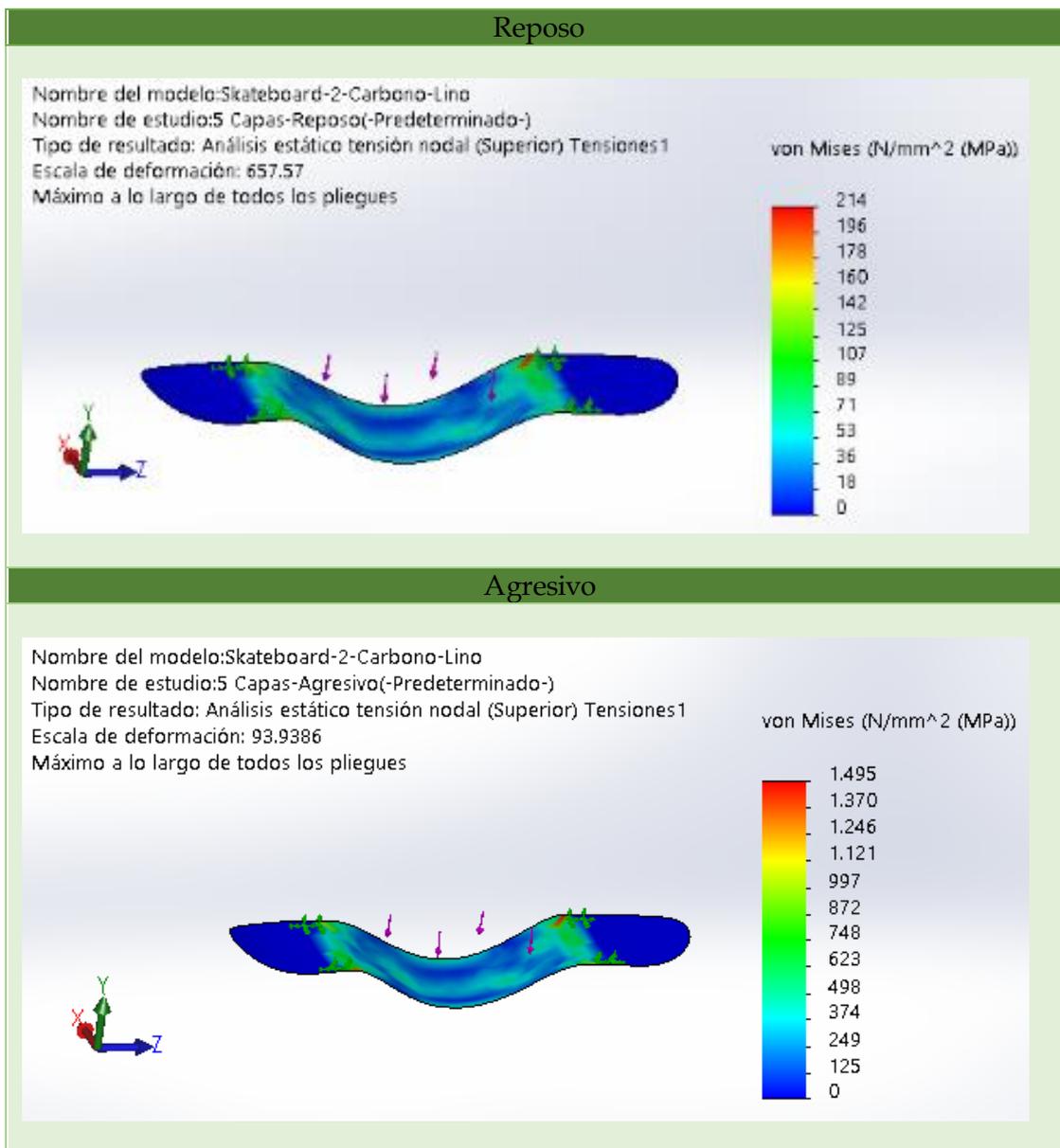


Figura III.32. Estados tensionales de *skateboard* 2 de 5 capas en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard 2* de 4 capas más núcleo de balsa:

Material: Carbono 30% / Núcleo mad. de balsa 40% / Lino 30%

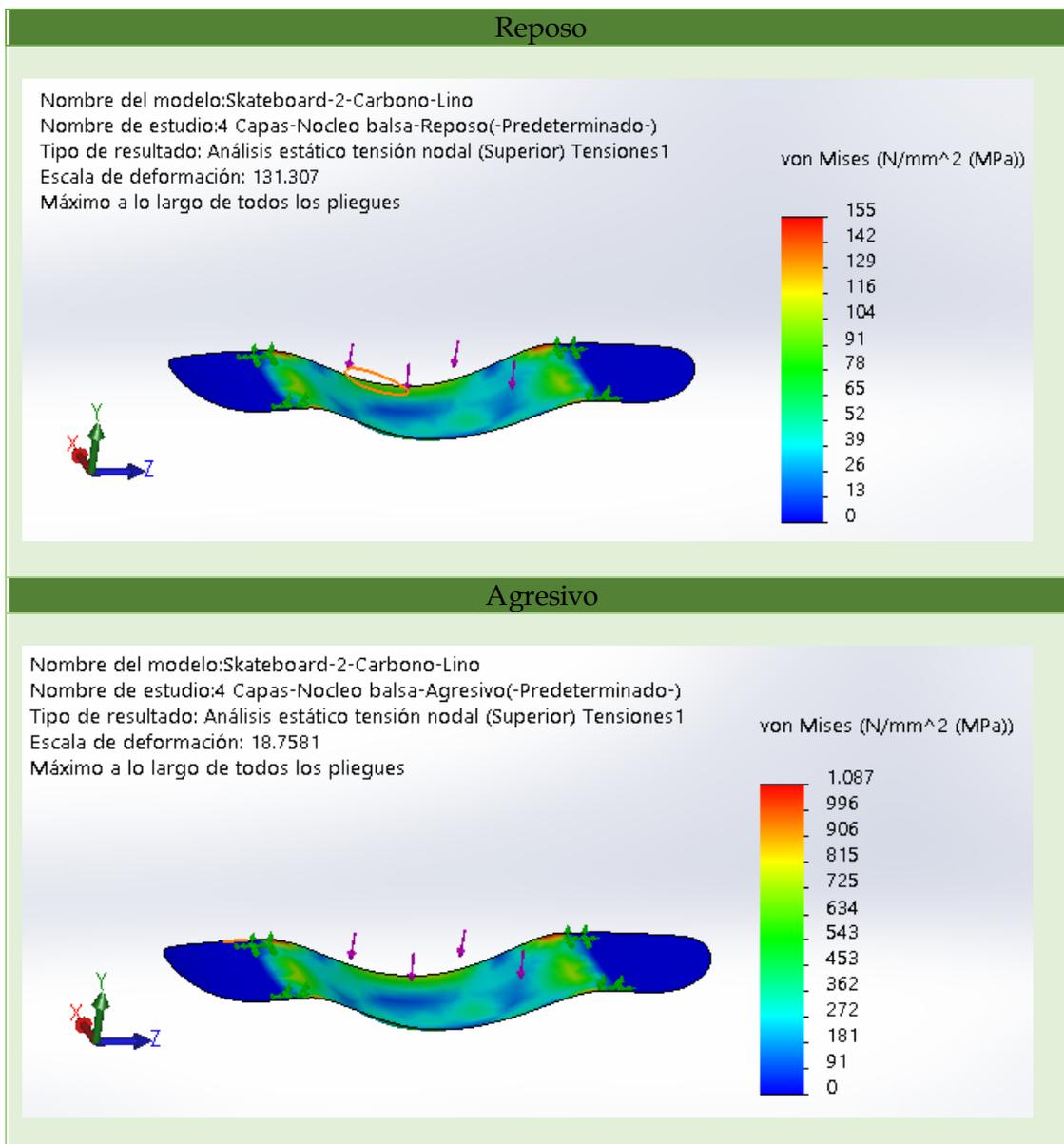


Figura III.33. Estados tensionales de *skateboard 2* de 4 capas más núcleo de balsa en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

III.6.1.3. Estudio/Análisis de estados de deformación.

Prototipo *skateboard* 1 de 10 capas:

Materiales: Carbono 50% / Basalto 50%

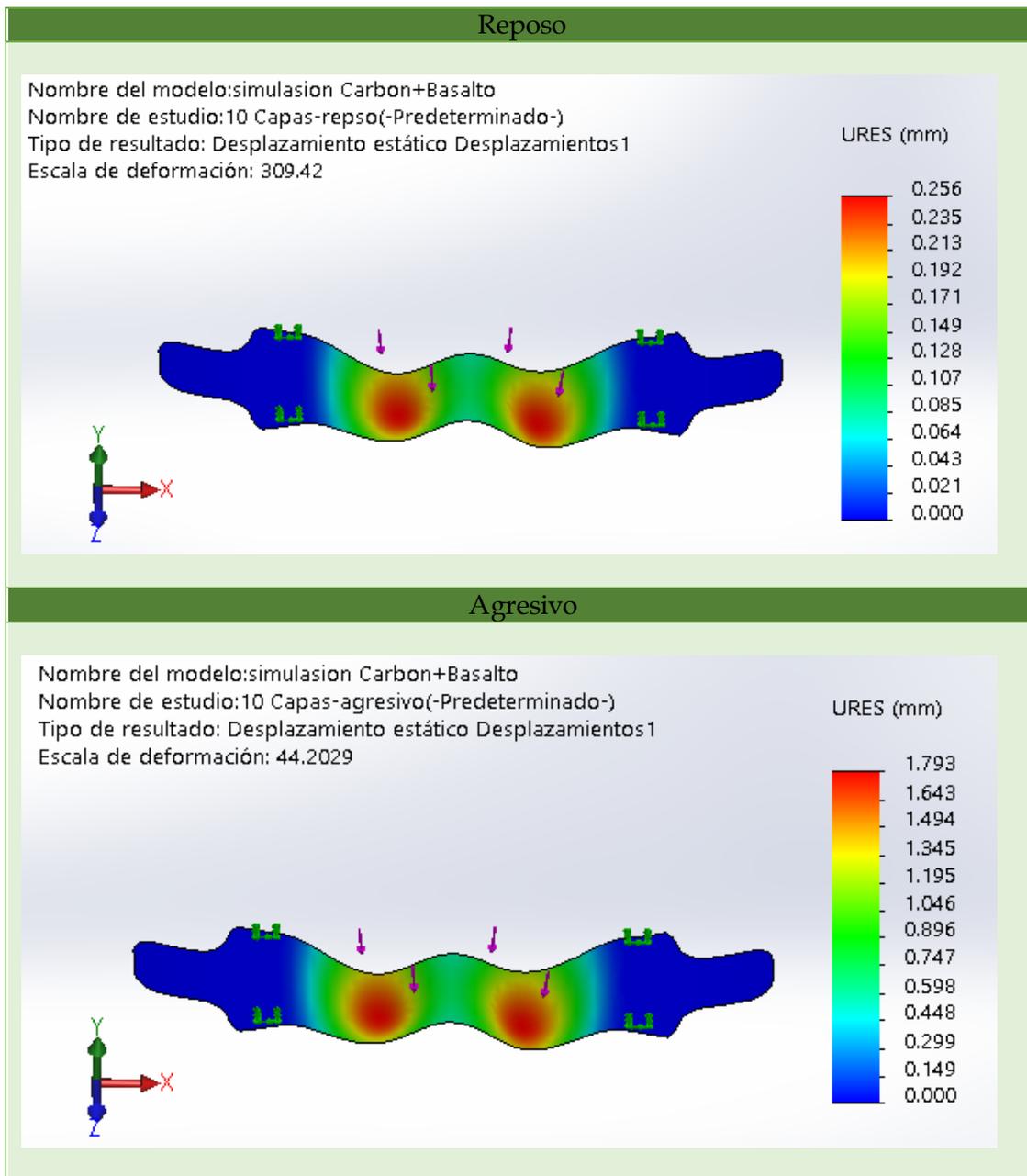


Figura III.34. Análisis desplazamientos de *skateboard* 1 de 10 capas en FEM (C-B).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 1 de 7 capas:

Materiales: Carbono 60% / Basalto 40%

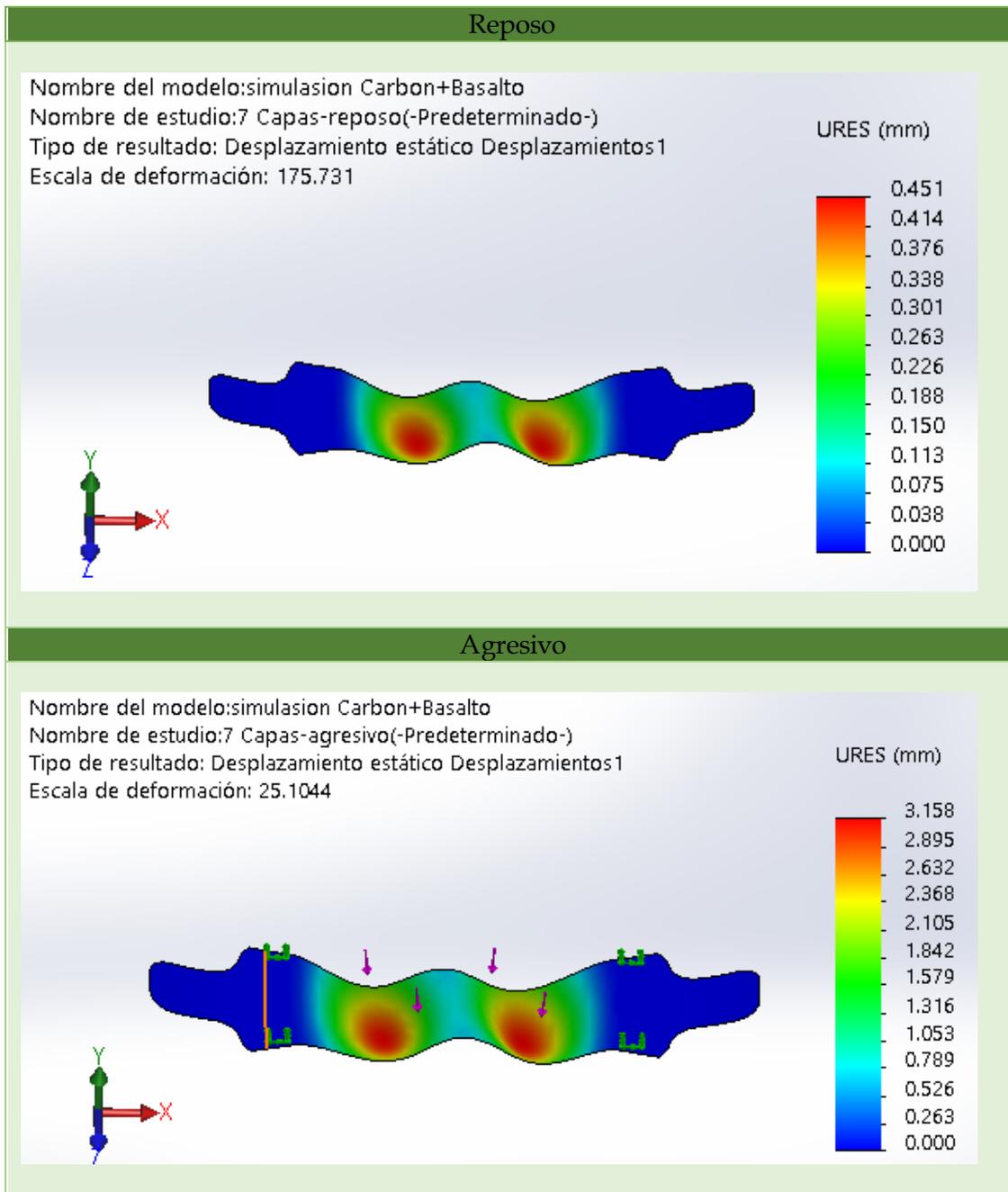


Figura III.35. Análisis desplazamientos de *skateboard* 1 de 7 capas en FEM (C-B).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 1 de 5 capas:

Materiales: Carbono 40% / Basalto 60%

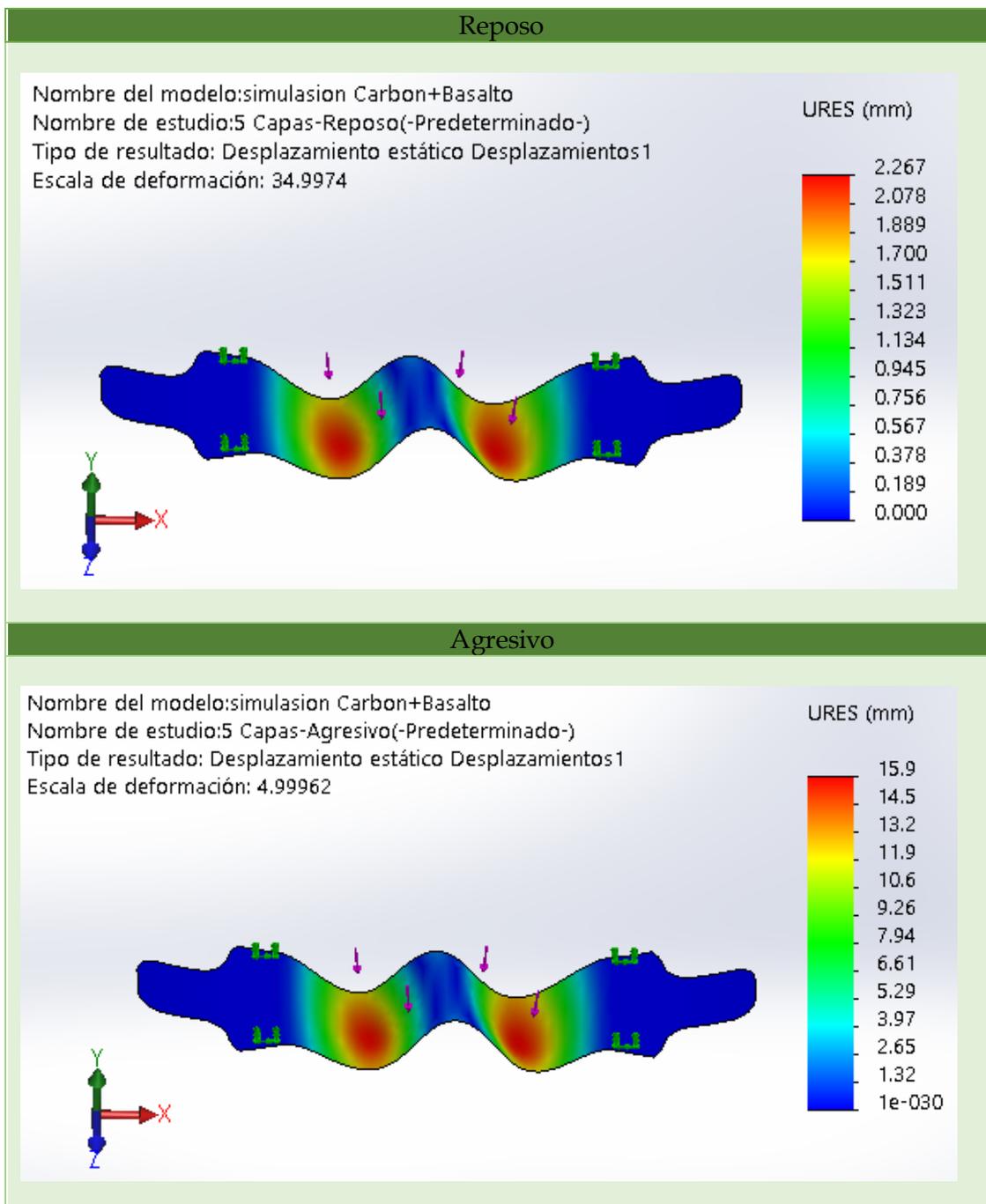


Figura III.36. Análisis desplazamientos de *skateboard* 1 de 5 capas en FEM (C-B).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 1 de 4 capas más núcleo de balsa:

Materiales: Carbono 30% / Núcleo mad. de balsa 40% / Basalto 30%

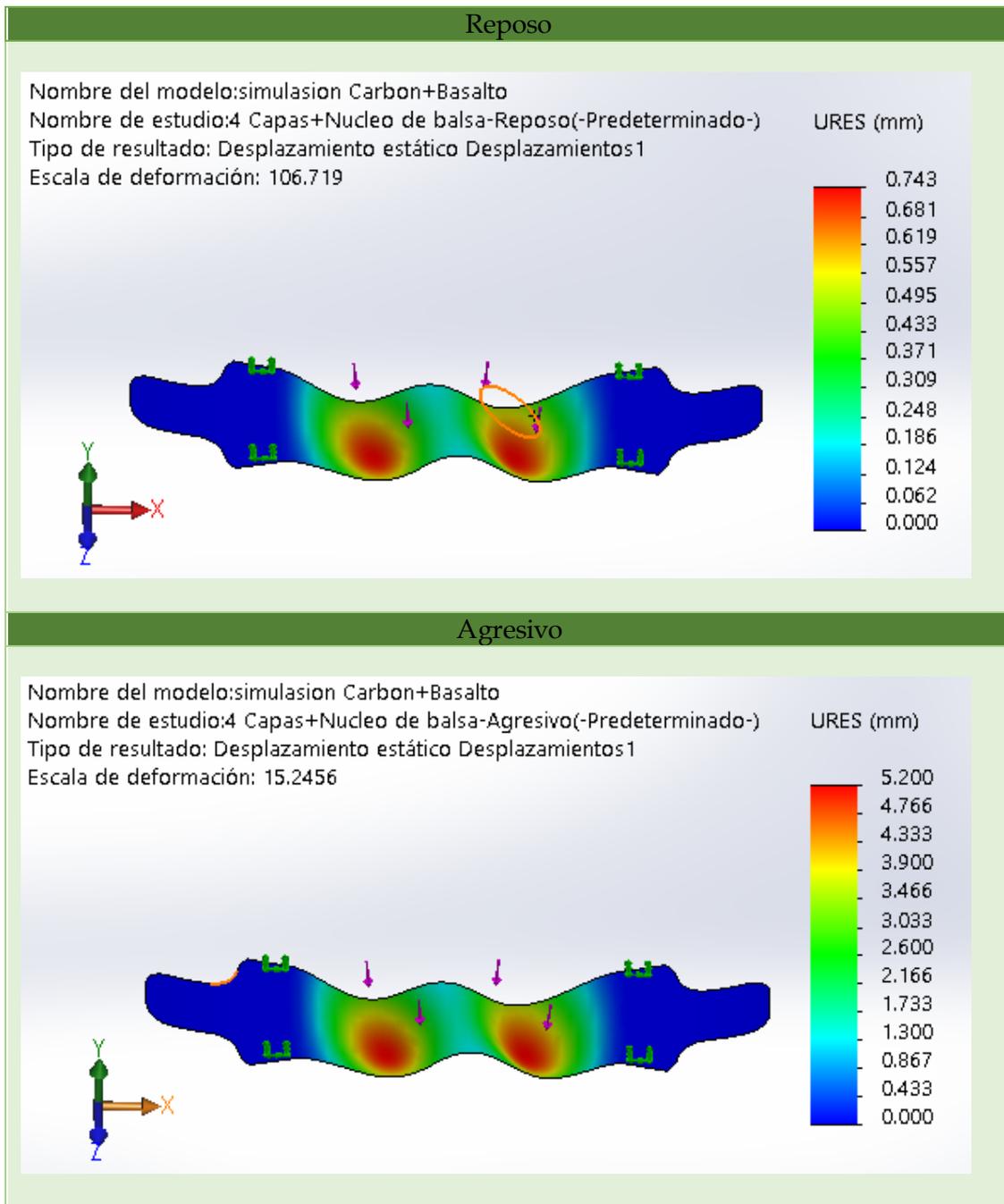


Figura III.37. Análisis desplazamientos *skateboard* 1 de 4 capas + núcleo de balsa en FEM (C-B).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 1 de 10 capas:

Materiales: Carbono 50% / Lino 50%

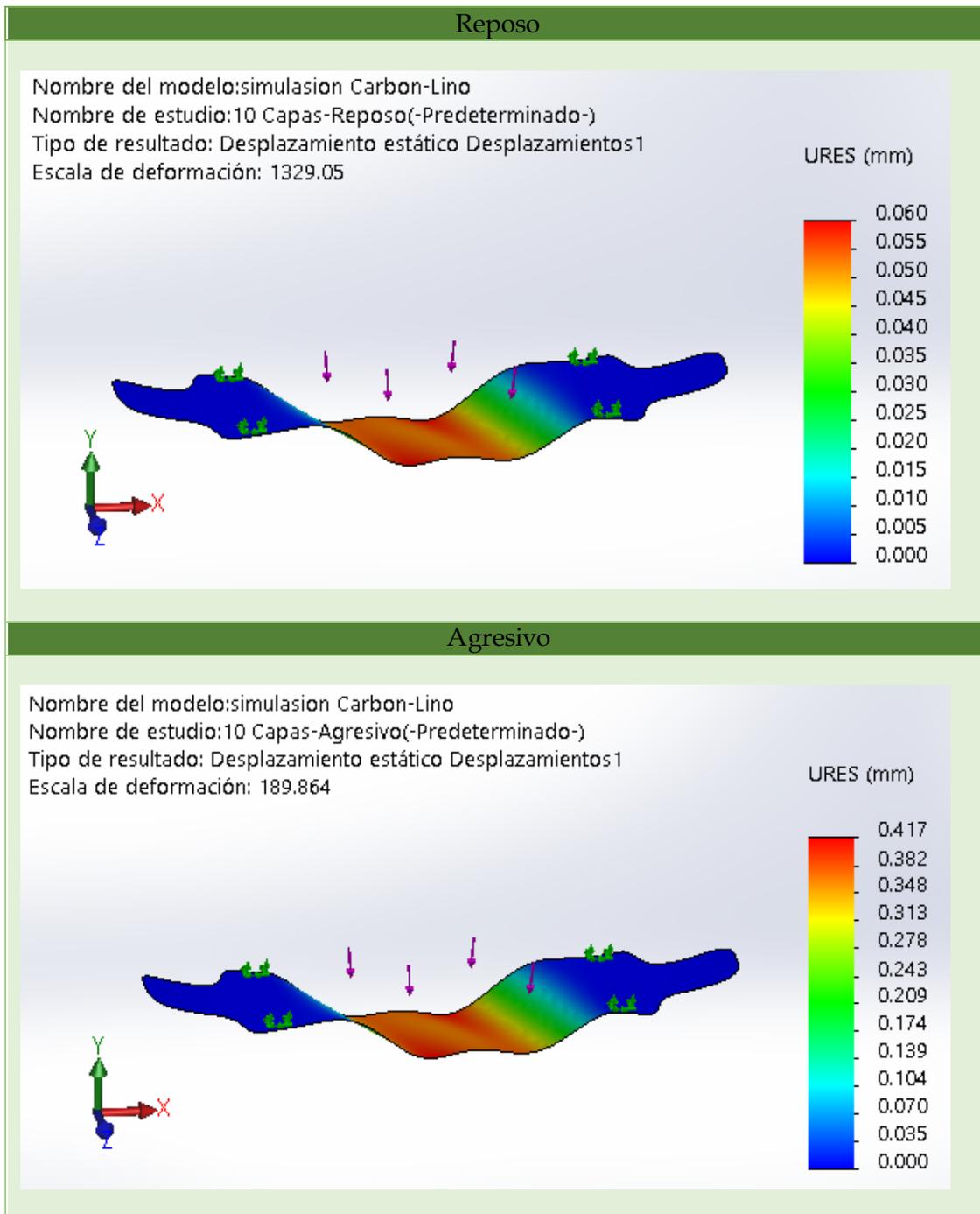


Figura III.38. Análisis desplazamientos de *skateboard* 1 de 10 capas en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 1 de 7 capas:

Materiales: Carbono 60% / Lino 40%

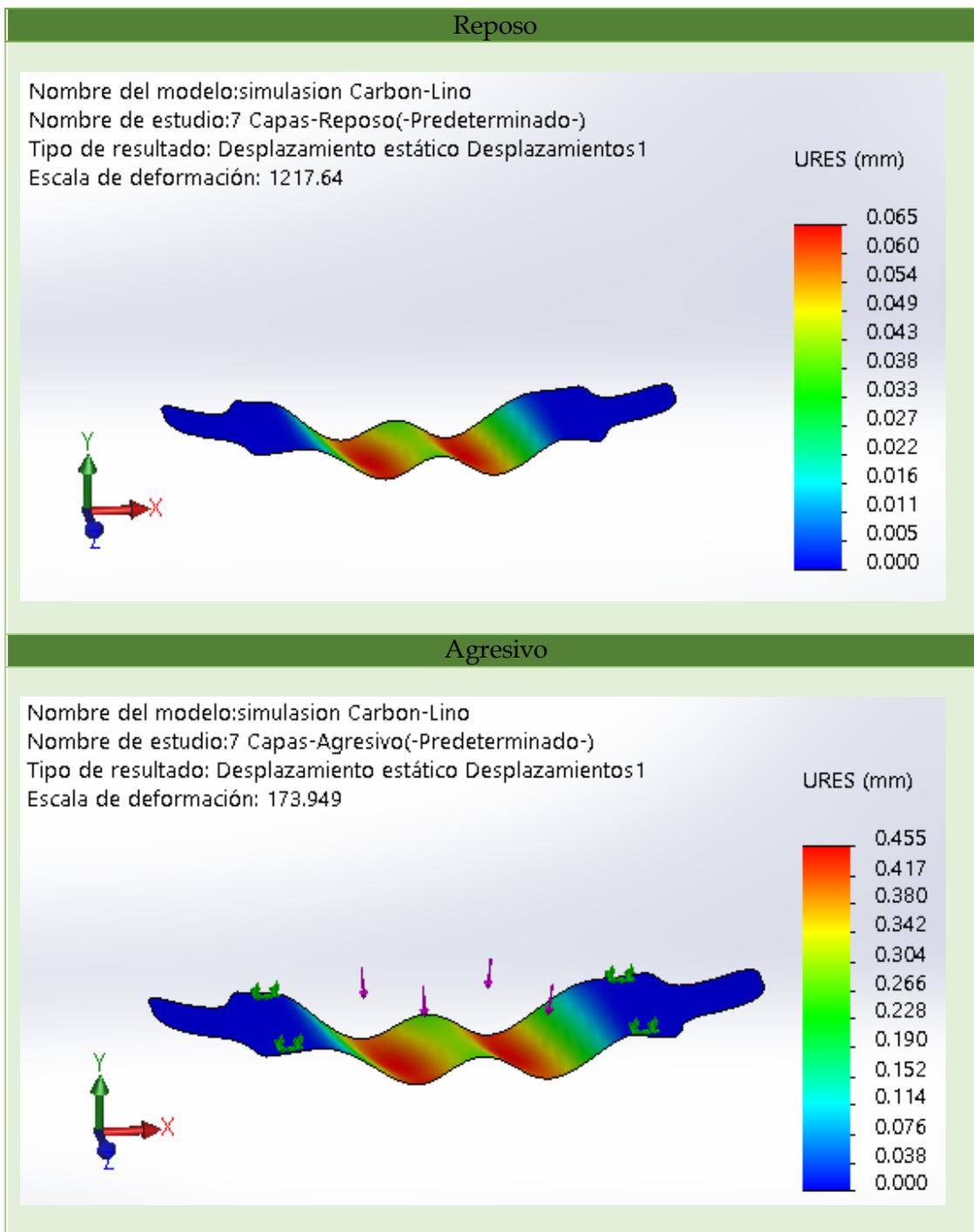


Figura III.39. Análisis desplazamientos de *skateboard* 1 de 7 capas en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 1 de 5 capas:

Materiales: Carbono 40% / Lino 60%

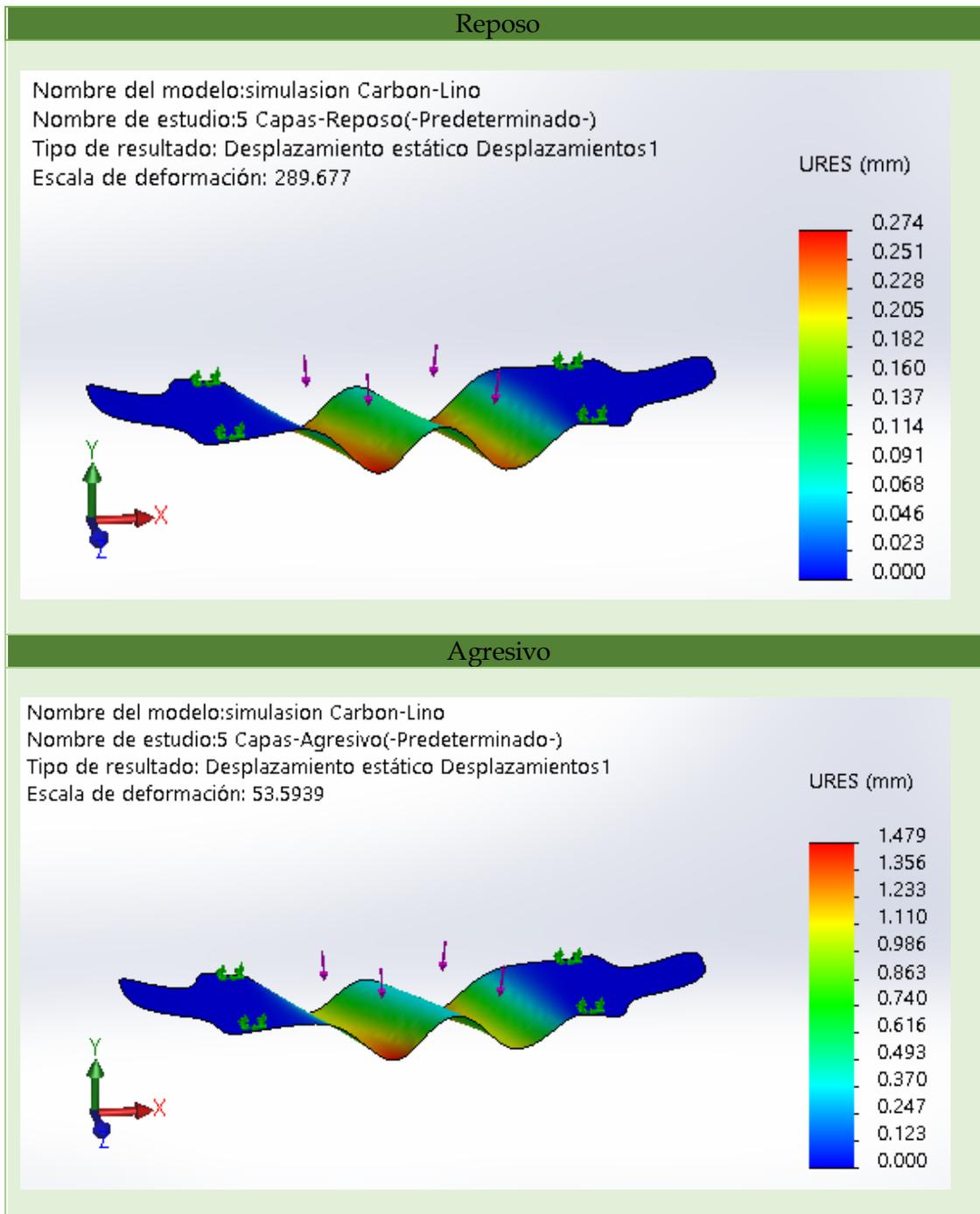


Figura III.40. Análisis desplazamientos de *skateboard* 1 de 5 capas en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 1 de 4 capas más núcleo de balsa:

Materiales: Carbono 30% / Núcleo mad. de balsa 40% / Lino 30%

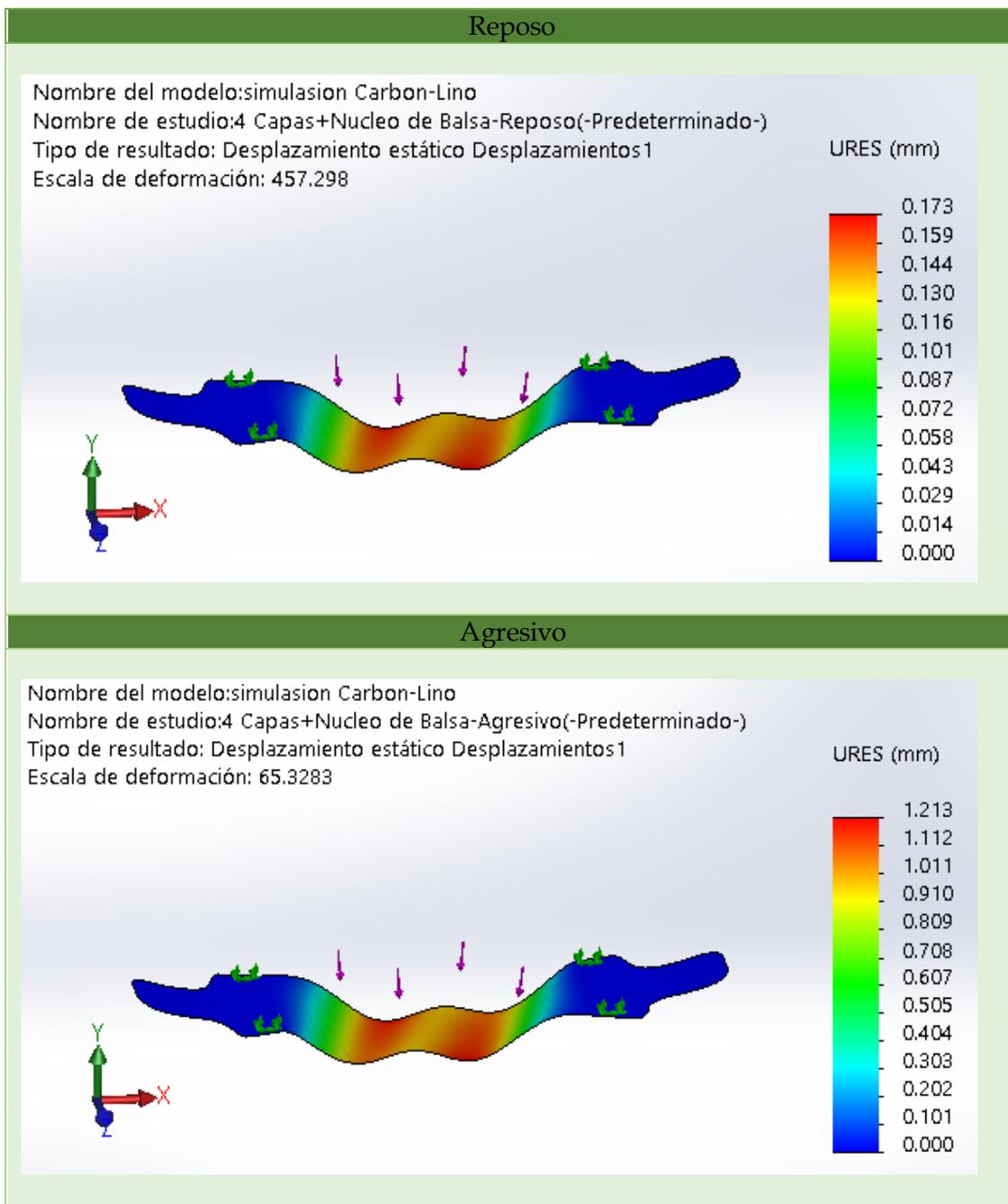


Figura III.41. Análisis desplazamientos *skateboard* 1 de 4 capas + núcleo de balsa en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 2 de 10 capas:

Materiales: Carbono 50% / Basalto 50%

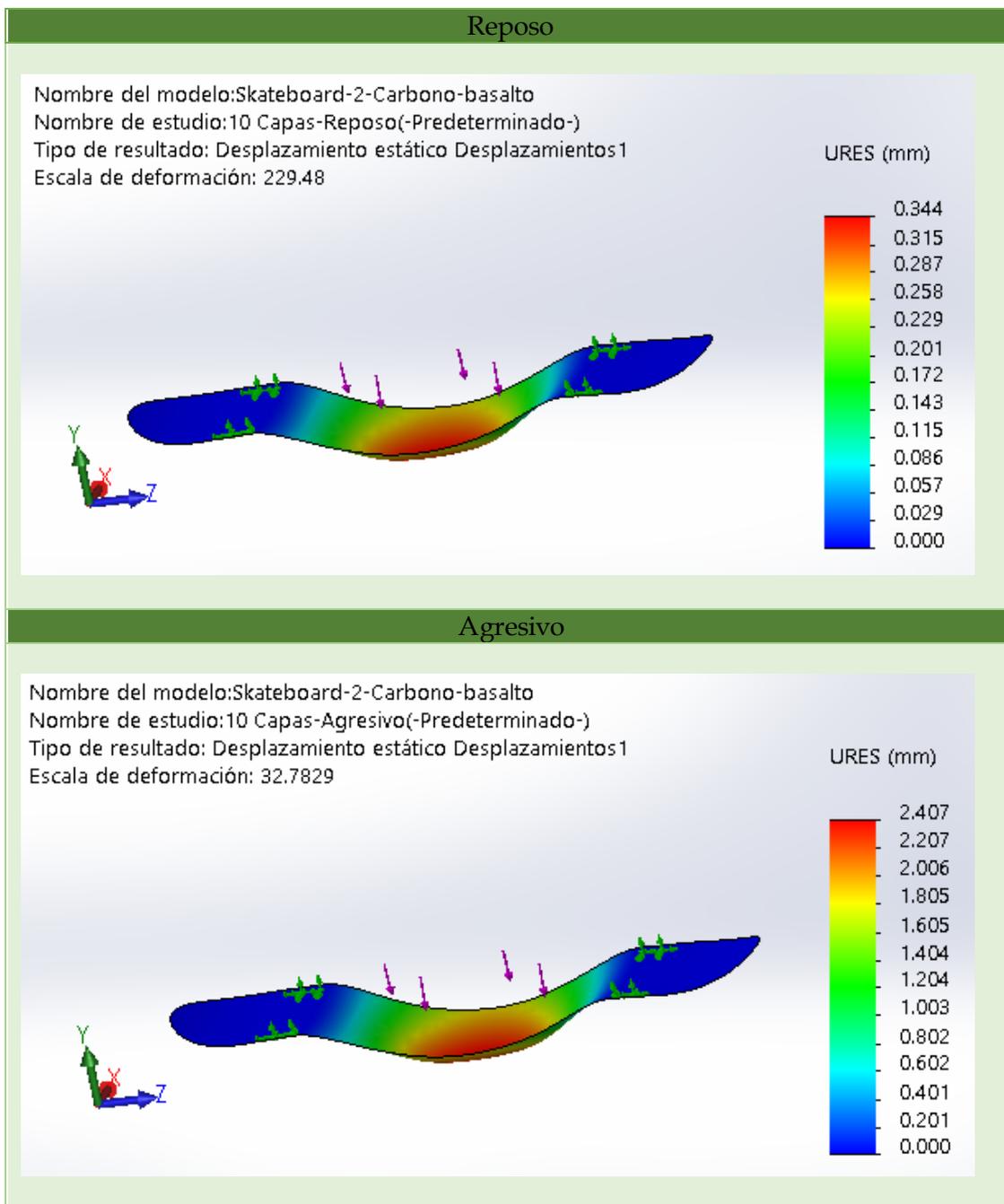


Figura III.42. Análisis desplazamientos de *skateboard* 2 de 10 capas en FEM (C-B).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 2 de 7 capas:

Materiales: Carbono 60% / Basalto 40%

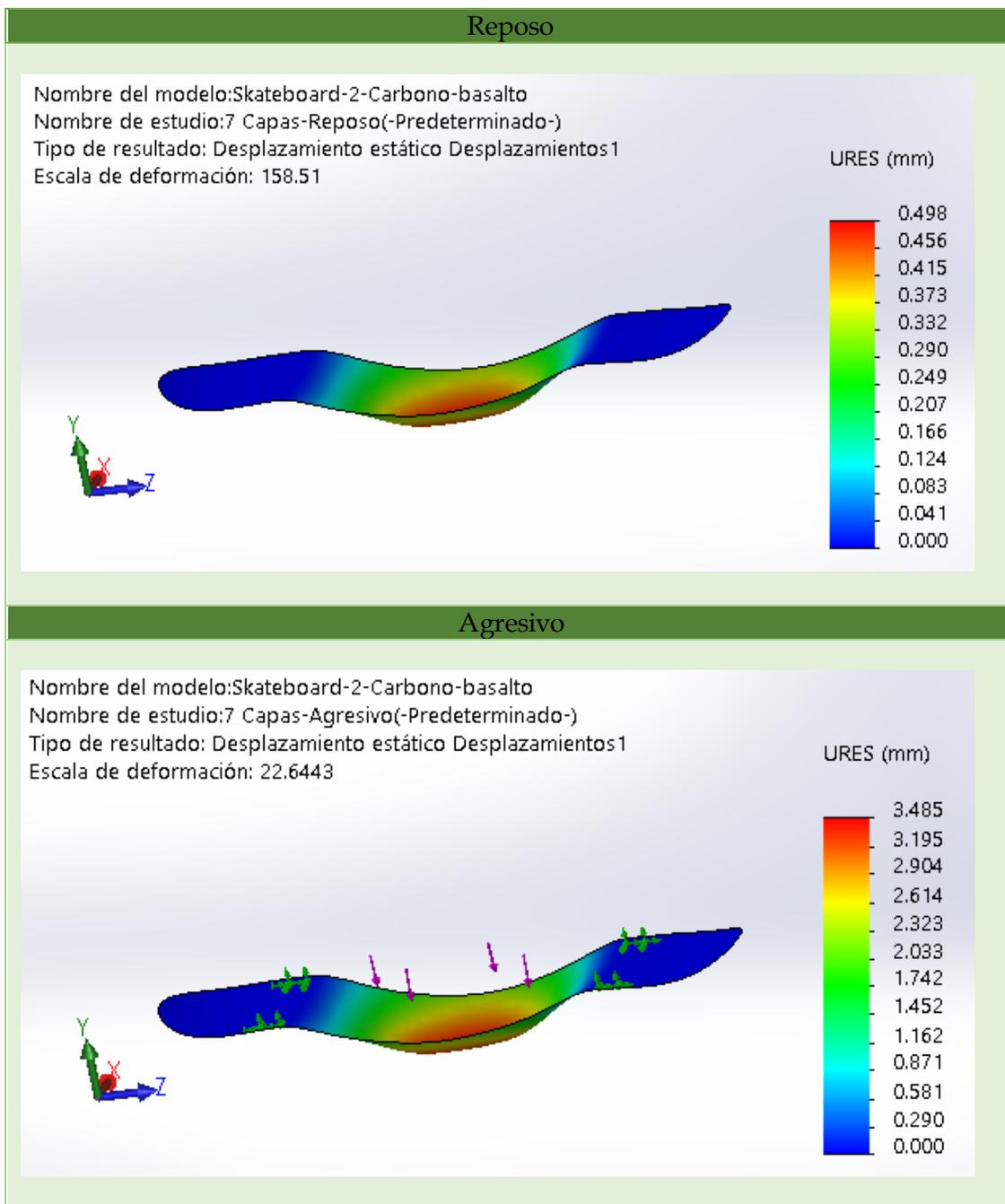


Figura III.43. Análisis desplazamientos de *skateboard* 2 de 7 capas en FEM (C-B).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 2 de 5 capas:

Materiales: Carbono 40% / Basalto 60%

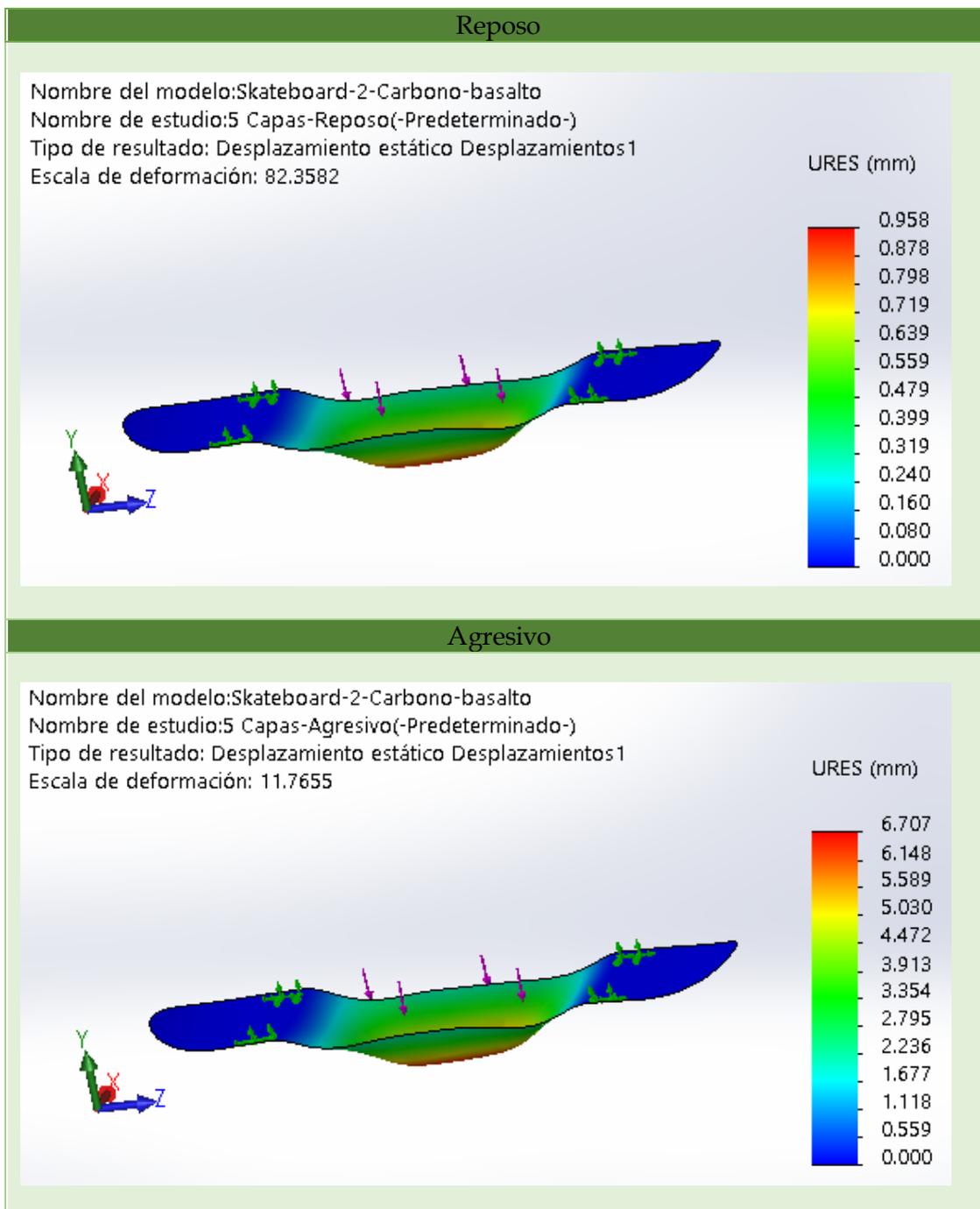


Figura III.44. Análisis desplazamientos de *skateboard* 2 de 5 capas en FEM (C-B).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 2 de 4 capas más núcleo de balsa:

Materiales: Carbono 30% / Núcleo mad. de balsa 40% / Basalto 30%

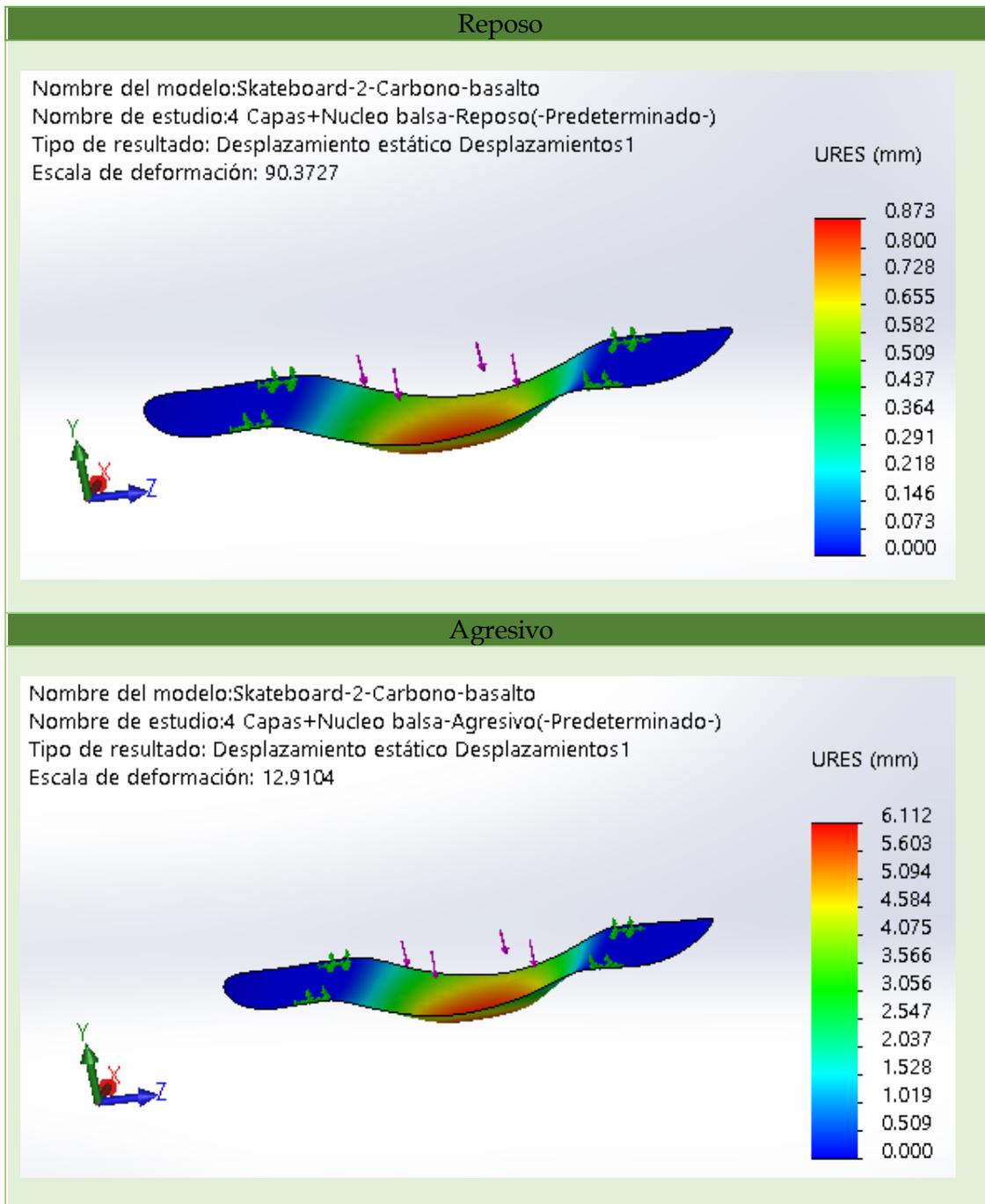


Figura III.45. Análisis desplazamientos *skateboard* 2 de 4 capas + núcleo de balsa en FEM (C-B).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 2 de 10 capas:

Materiales: Carbono 50% / Lino 50%

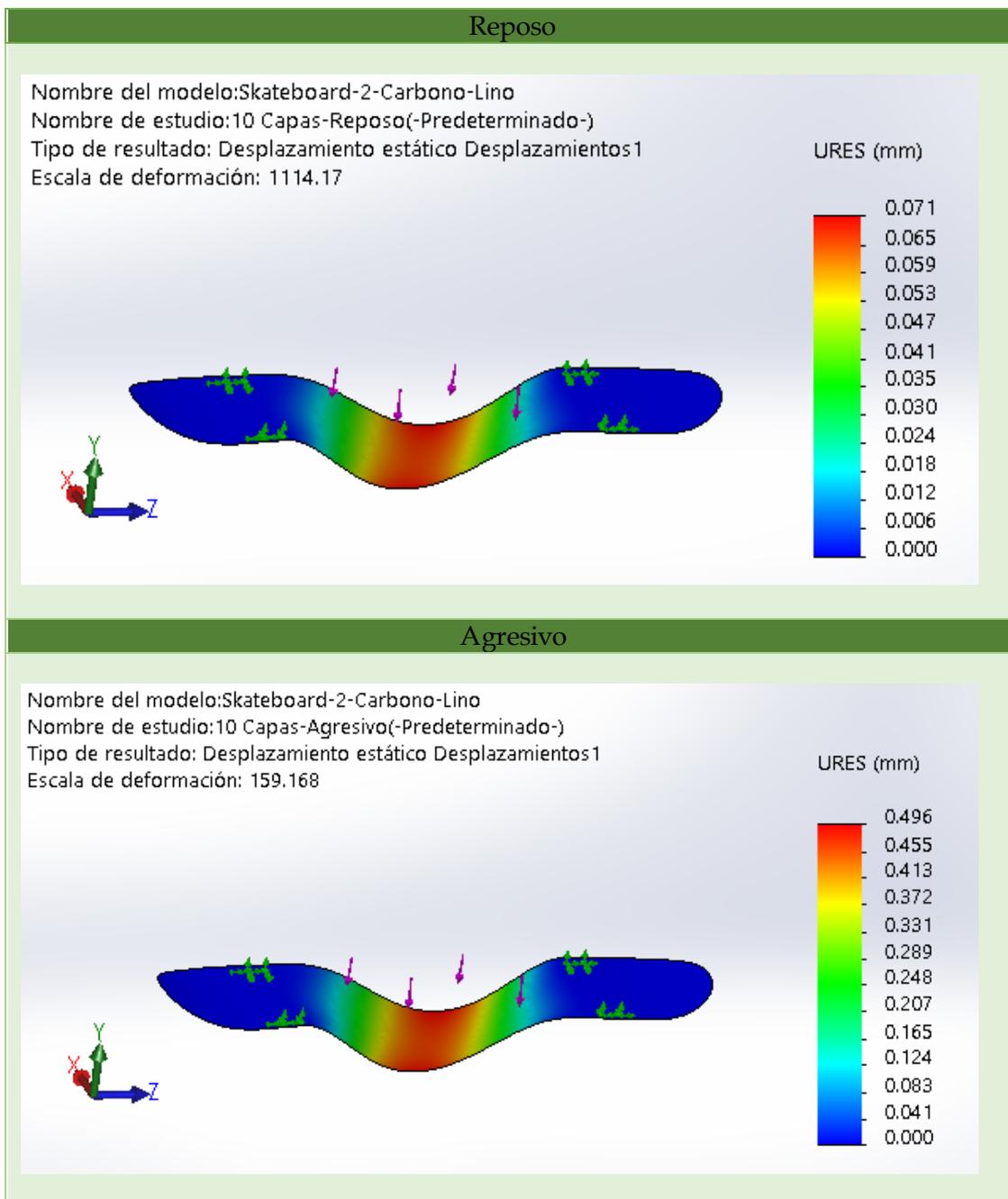


Figura III.46. Análisis desplazamientos de *skateboard* 2 de 10 capas en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 2 de 7 capas:

Materiales: Carbono 60% / Lino 40%

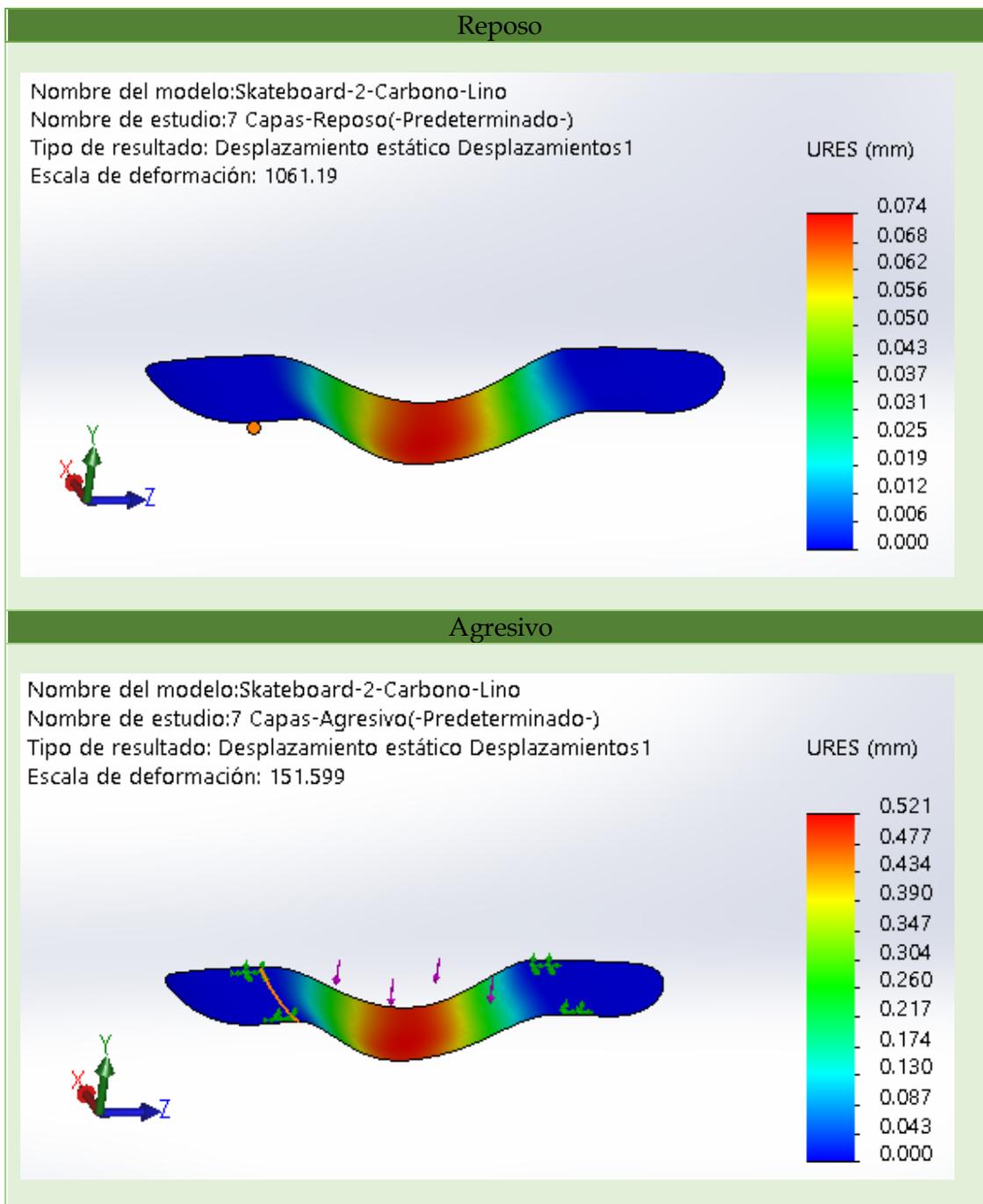


Figura III.47. Análisis desplazamientos de *skateboard* 2 de 7 capas en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 2 de 5 capas:

Materiales: Carbono 40% / Lino 60%

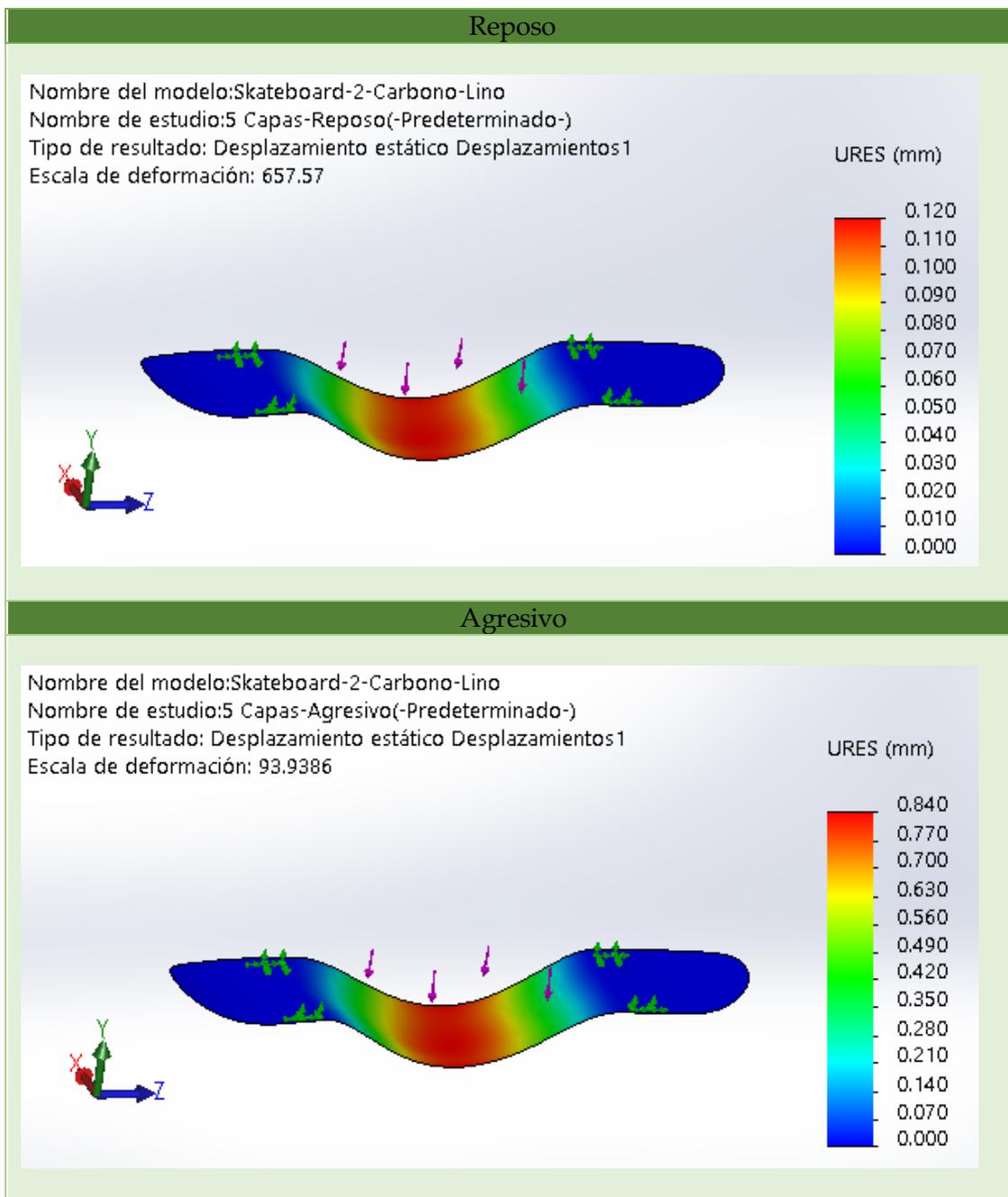


Figura III.48. Análisis desplazamientos de *skateboard* 2 de 5 capas en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

Prototipo *skateboard* 2 de 4 capas más núcleo de balsa:

Materiales: Carbono 30% / Núcleo mad. de balsa 40% / Lino 30%

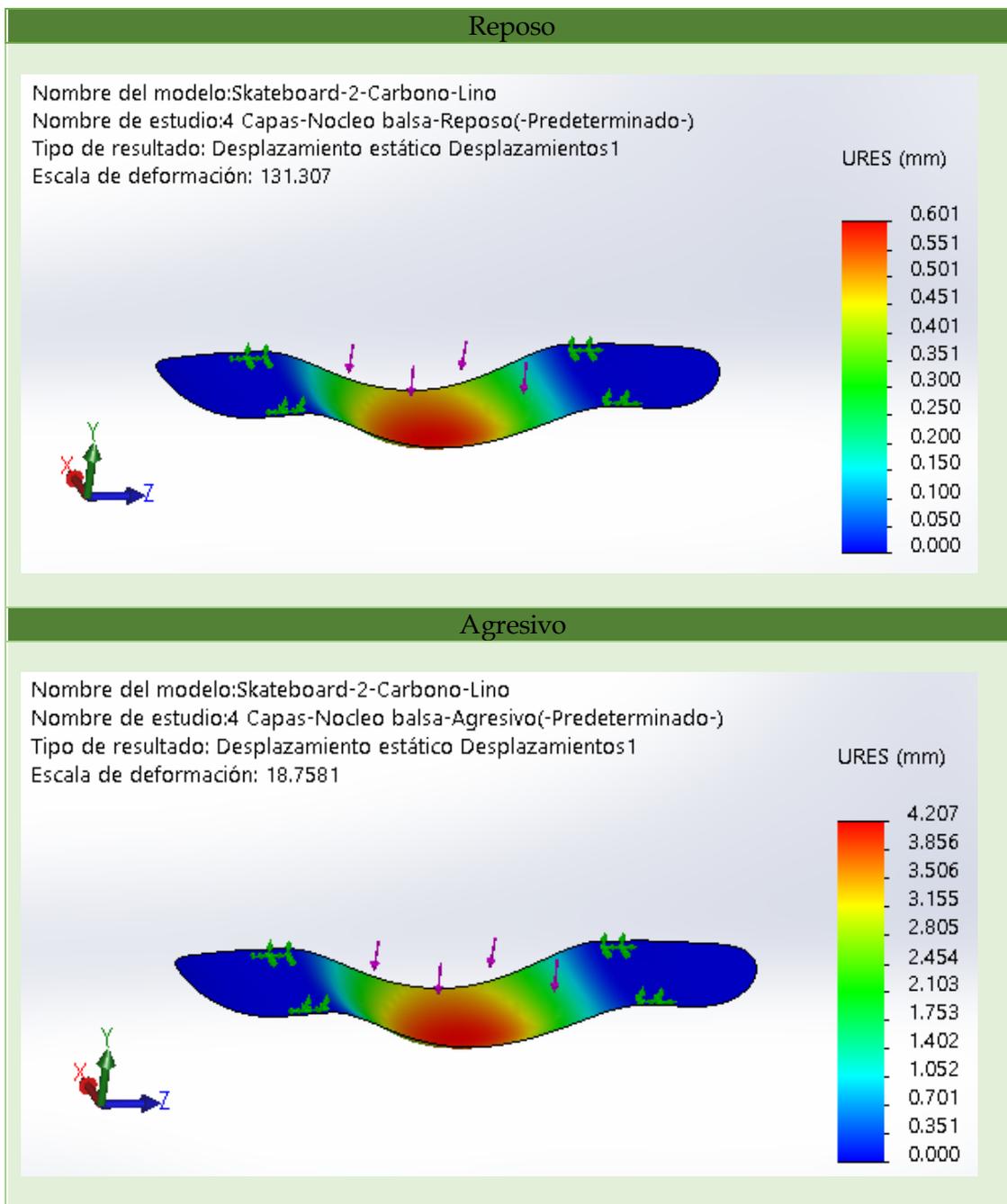


Figura III.49. Análisis desplazamientos *skateboard* 2 de 4 capas + núcleo de balsa en FEM (C-L).

III. Desarrollo Proyecto

III.5.2. Análisis de estados tensionales y deformaciones.

En este apartado mostraré una serie de gráficas radiales con el fin de seleccionar el prototipo con la composición más adecuada para la fabricación del producto final. Se plantean dos prototipos de tablas con las siguientes combinaciones de materiales:

Prototipo de *skate* 1:

-Composición: Carbono y basalto.

-Composición: Carbono y lino.

Prototipo de *skate* 2:

-Composición: Carbono y basalto.

-Composición: Carbono y lino.

A continuación, se analizará la tensión en reposo y la tensión en agresivo, así como la deformación, elongación y factor de seguridad para el prototipo 1 y después para el prototipo 2 con sus respectivas composiciones.

Tabla III.5. Tabla de resultados del análisis para el prototipo 1 de C-B

Skateboard 1				
Reposo (450 N)				
Capas	Tensión máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Factor de seguridad	Elongación
10	70	0,25	1,04	0,0002
7	96	0,45	0,82	0,0002
5	267	2,26	0,34	0,0009
4+N	152	0,74	0,52	0,0003
Agresivo (3150 N)				
Capas	Tensión máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Factor de seguridad	Elongación
10	490	1,8	0,15	0,001
7	670	3,15	0,11	0,002
5	1871	15,9	0,05	0,006
4+N	1067	5,2	0,07	0,002

III. Desarrollo Proyecto

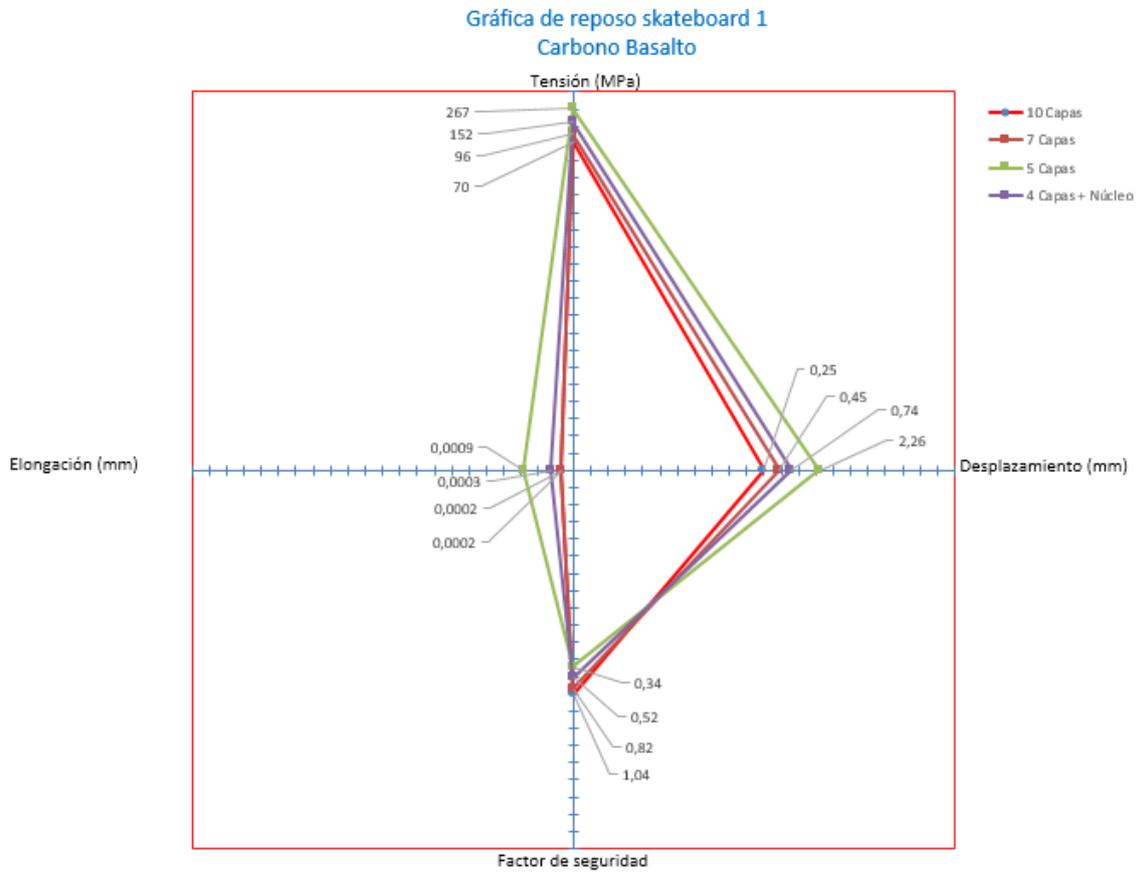


Figura III.50. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones de reposo de *skate* 1 de carbono y basalto.

III. Desarrollo Proyecto

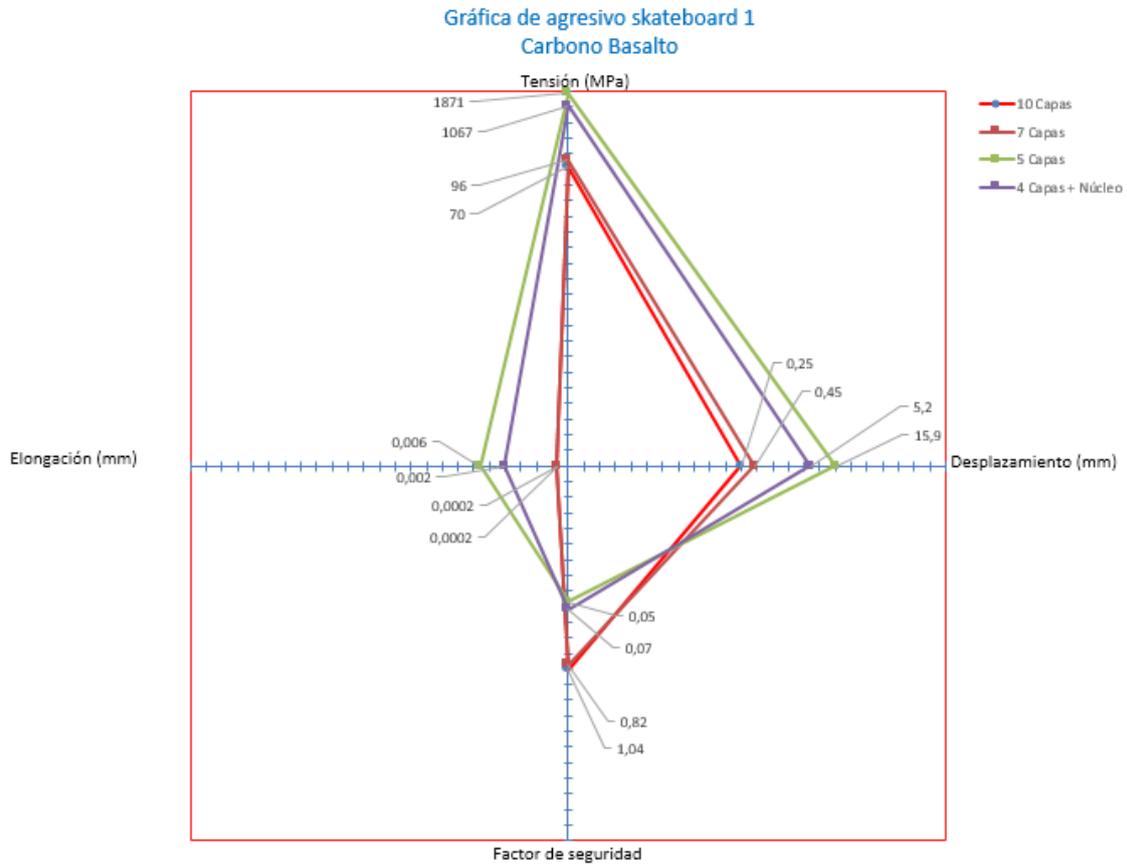


Figura III.51. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones agresivas de *skate* 1 de carbono y basalto.

Tabla III.6. Tabla de resultado del analices para el prototipo 1 de C-L

Skateboard 1				
Reposo (450 N)				
Capas	Tension máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Factor de seguridad	Elongación
10	167	0,06	2,42	0,00009
7	182	0,06	2,8	0,00006
5	469	0,27	1,33	0,0003
4+N	237	0,17	1,11	0,0002
Agresivo (3150 N)				
Capas	Tension máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Factor de seguridad	Elongación
10	1168	0,42	0,34	0,0006
7	1271	0,45	0,4	0,0004
5	2503	1,48	0,21	0,002
4+N	1659	1,21	0,15	0,001

III. Desarrollo Proyecto

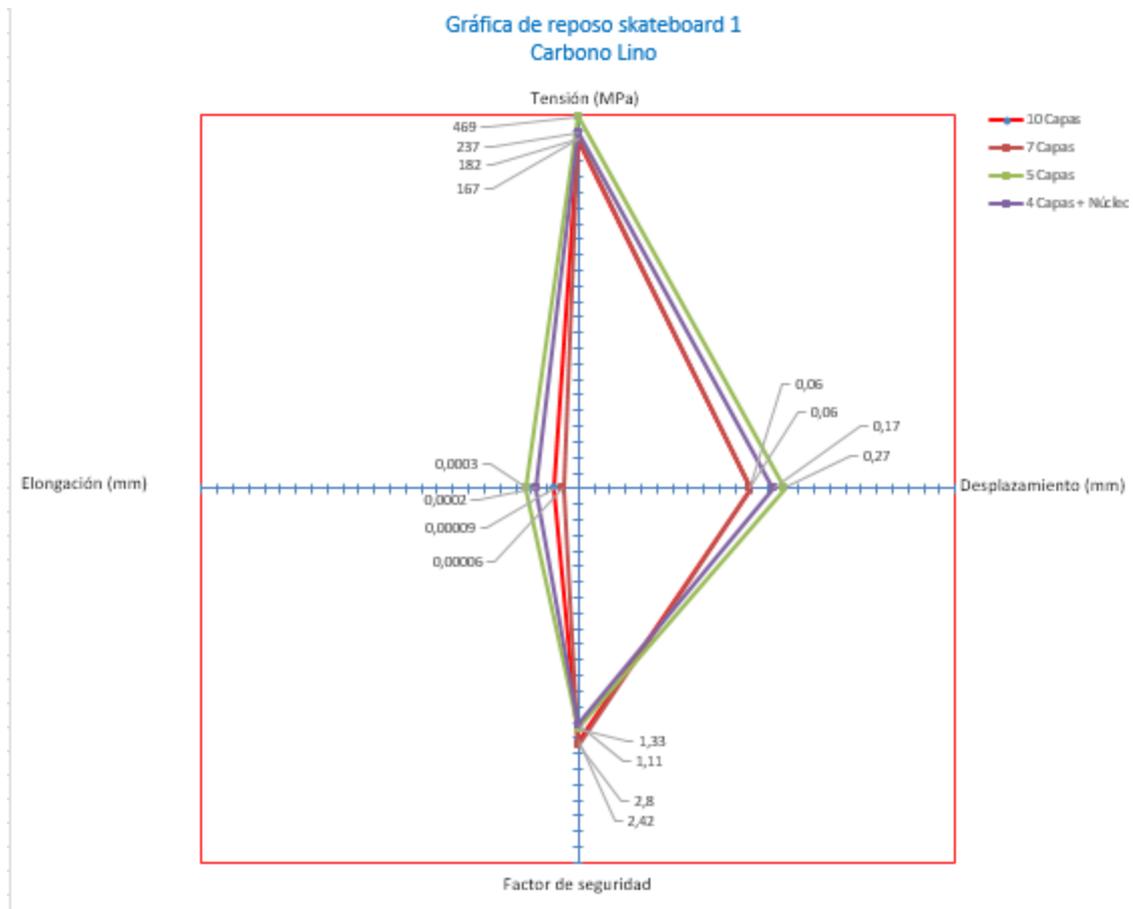


Figura III.52. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones de reposo de skate 1 de carbono y lino.

III. Desarrollo Proyecto

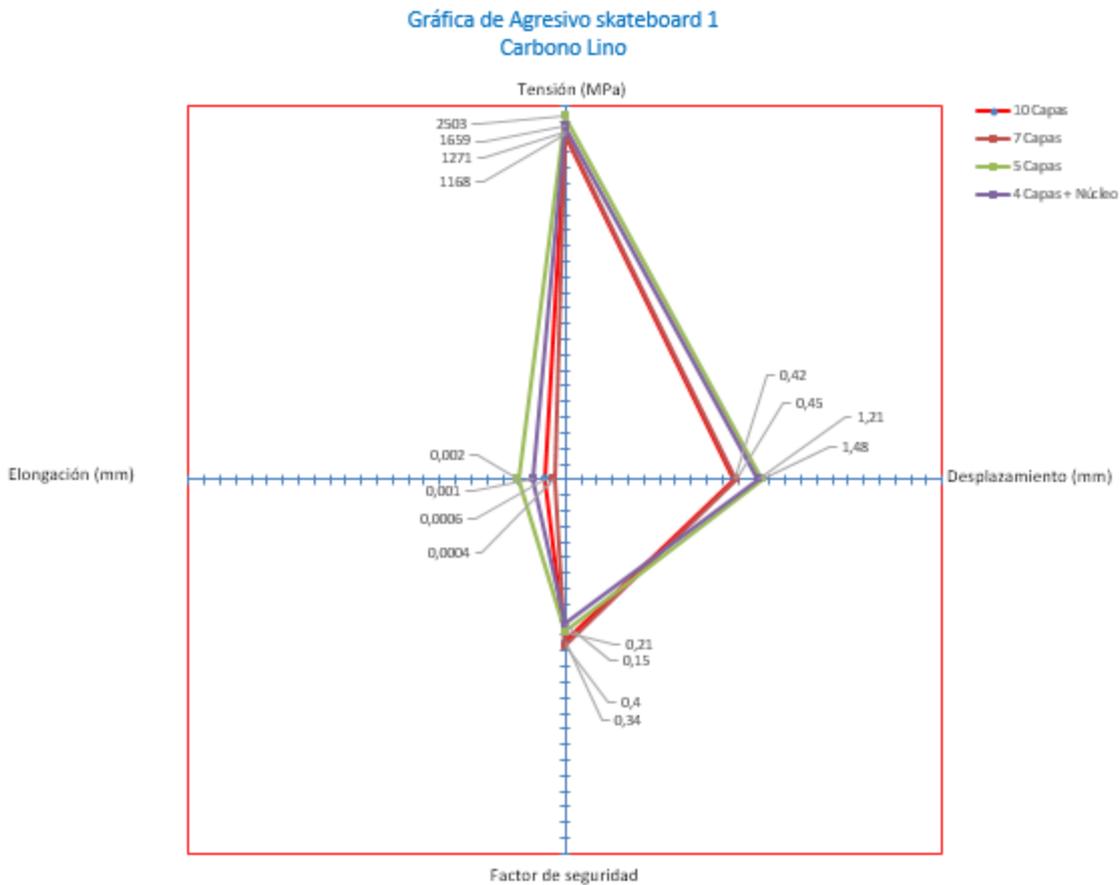


Figura III.53. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones agresivas de *skate* 1 de carbono y lino.

Para el *skateboard* 1 se puede observar que, los prototipos de 10 y 7 capas poseen propiedades que le proporcionan estados tensionales de menor magnitud, menor desplazamiento y mayor seguridad tanto para el prototipo de carbono y lino como para el de carbono y basalto.

Sin embargo, se aprecian severas diferencias entre el compuesto por carbono y basalto en comparación del compuesto de carbono y lino ya que este último casi roza el límite de rotura en el análisis agresivo.

III. Desarrollo Proyecto

Para continuar, se analiza el prototipo 2 con sus respectivas combinaciones:

Tabla III.7. Tabla de resultados del análisis para el prototipo 2 de C-B

<i>Skateboard 2</i>				
Reposo (450 N)				
Capas	Tensión máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Factor de seguridad	Elongación
10	95	0,34	1,04	0,0002
7	118	0,5	0,9	0,0002
5	206	0,95	0,48	0,0005
4+N	217	0,87	0,48	0,0004
Agresivo (3150 N)				
Capas	Tensión máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Factor de seguridad	Elongación
10	663	2,4	0,15	0,001
7	824	3,5	0,13	0,002
5	1441	6,7	0,07	0,003
4+N	1521	6,11	0,07	0,003

III. Desarrollo Proyecto

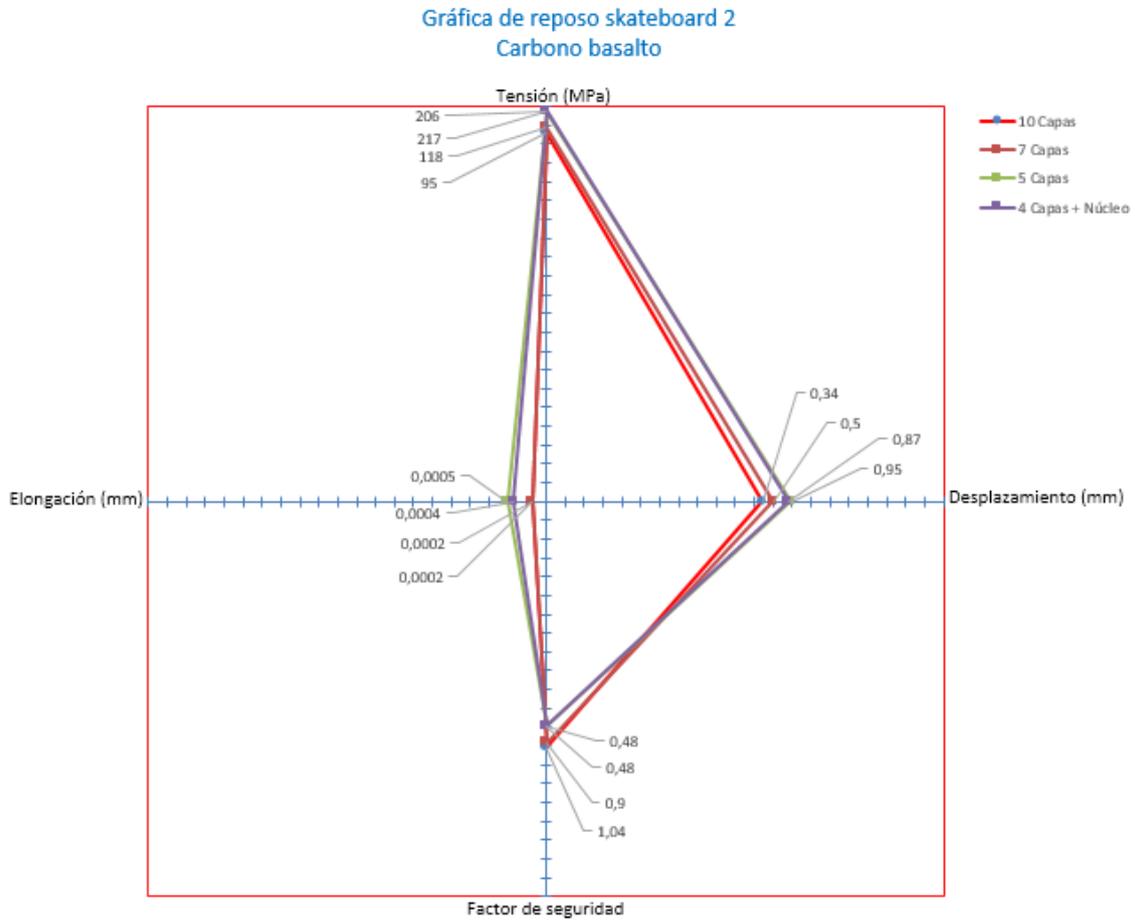


Figura III.54. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones de reposo de *skate* 2 de carbono y basalto.

III. Desarrollo Proyecto

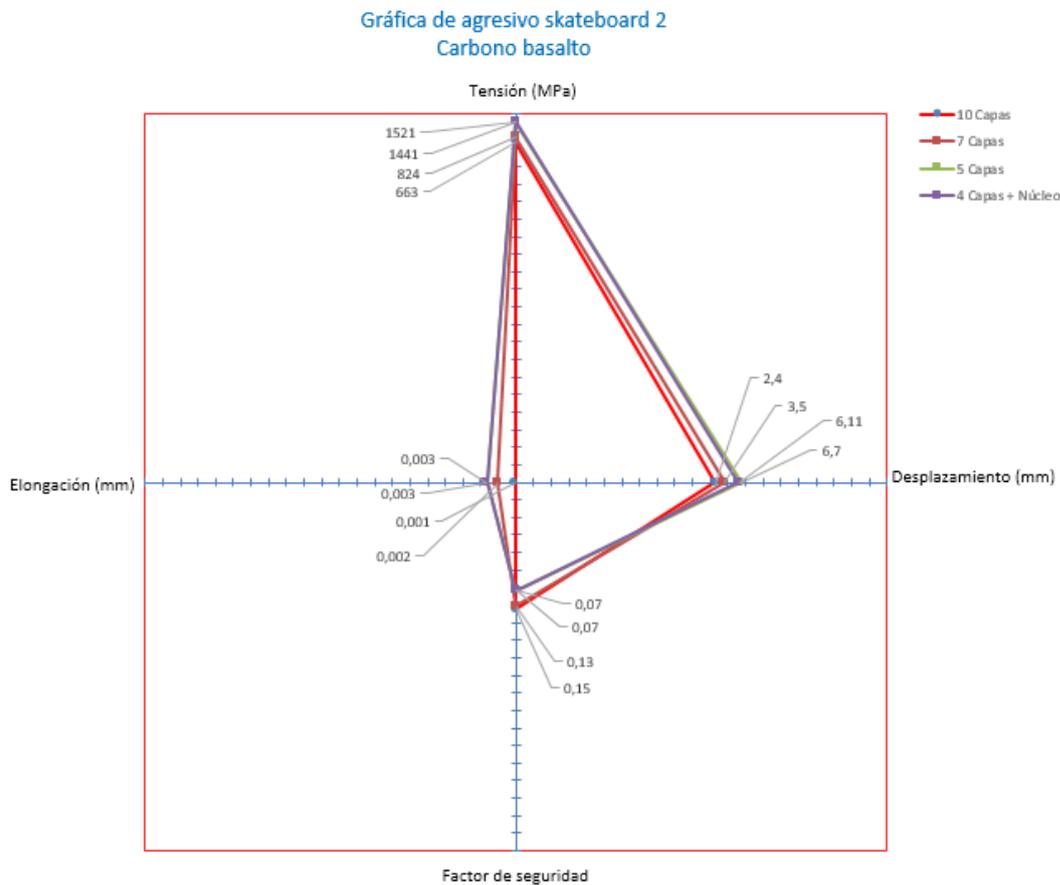


Figura III.55. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones agresivas de skate 2 de carbono y basalto.

Tabla III.8. Tabla de resultado del analisis para el prototipo 2 de C-L

Skateboard 2				
Reposo (450N)				
Capas	Tensión máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Factor de seguridad	Elongación
10	135	0,07	1,97	0,0001
7	164	0,07	1,64	0,0001
5	214	0,12	1,36	0,0001
4+N	155	0,6	0,57	0,0003
Agresivo (3150N)				
Capas	Tensión máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Factor de seguridad	Elongación
10	942	0,5	0,28	0,0007
7	1149	0,52	0,23	0,0007
5	1495	0,84	0,19	0,001
4+N	1087	4,2	0,08	0,002

III. Desarrollo Proyecto

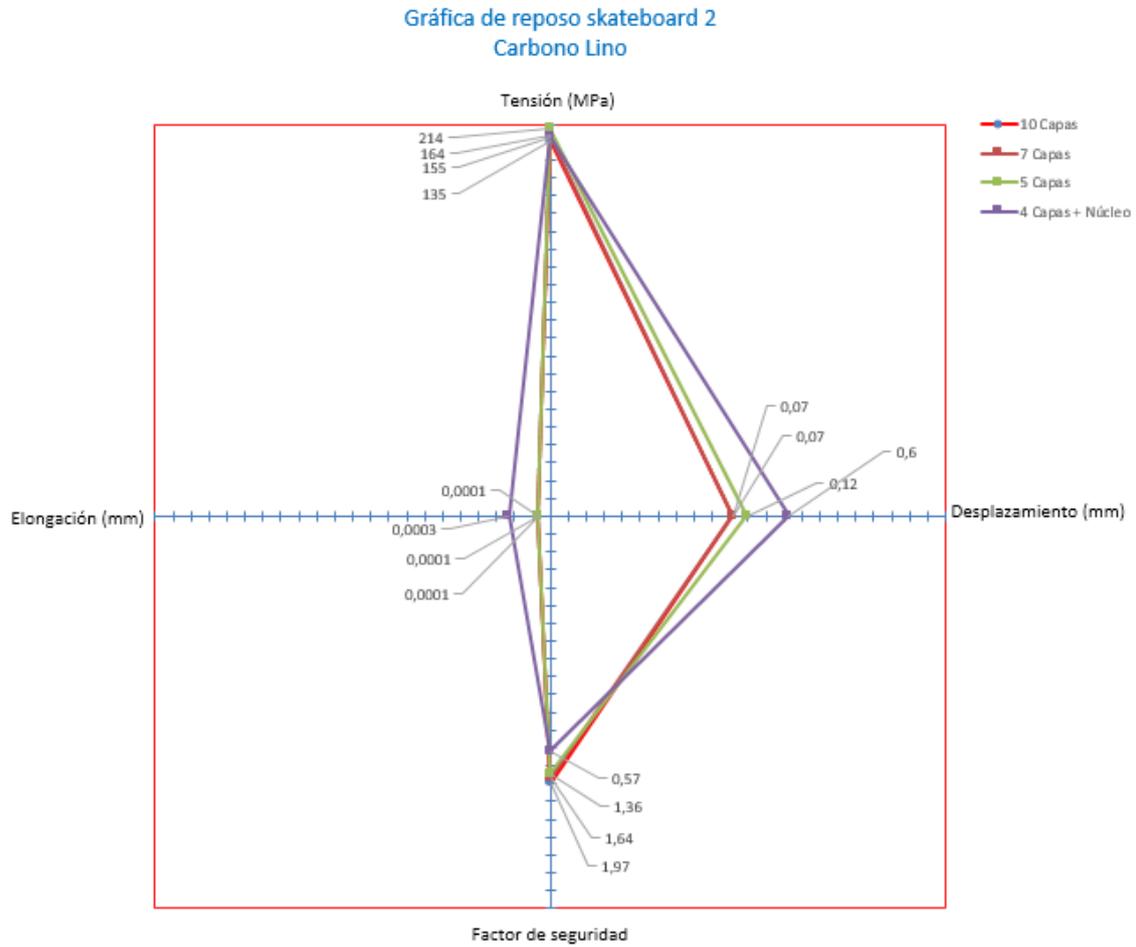


Figura III.56. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones de reposo de *skate* 2 de carbono y lino.

III. Desarrollo Proyecto

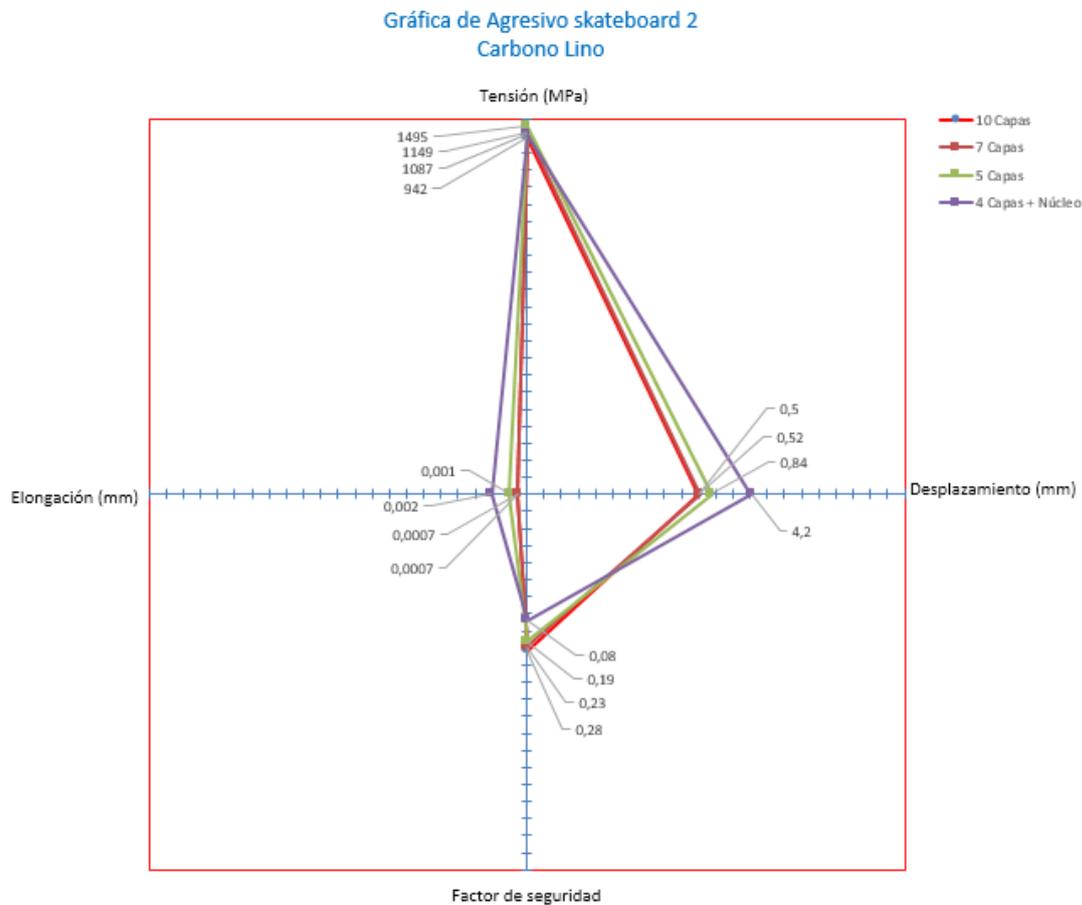


Figura III.57. Gráfico de diamantes correspondiente al análisis en condiciones agresivas de *skate* 2 de carbono y lino

Para el prototipo 2 se observa un comportamiento parecido al prototipo 1, ya que, los prototipos de 10 y 7 capas poseen propiedades que le proporcionan estados tensionales de menor magnitud, menor desplazamiento y mayor seguridad tanto para el prototipo de carbono y lino como para el de carbono y basalto.

En conclusión, se aprecia que la composición con mejores resultados es la de carbono y basalto de 10 y 7 capas tanto en el análisis en reposo como en condiciones más agresivas. Se puede decir que la tensión es menor cuando el número de capas aumenta, lo cual es bastante lógico, dada la rigidez que aportan las estructuras de laminados.

III. Desarrollo Proyecto

Los prototipos de 5 capas y de 4 capas más núcleo, su comportamiento en reposo es aceptable, pero en agresivo supera el límite de rotura por esa razón se descartan para ser fabricadas.

III.6. DISEÑO FINAL.

Después de analizar los comportamientos de cada uno de los posibles materiales y diseño se llega a la conclusión de que la composición de carbono y basalto presenta mejores resultados en sus dos prototipos a diferencia del carbono y lino.

A continuación, los dos prototipos de carbono basalto presentan buenos resultados, aunque con valores diferentes; por ello, es posible decantarnos por el prototipo 1 de carbono y basalto ya que su forma y diseño favorece a sus propiedades y por ende a los resultados obtenidos. Este prototipo en su conjunto permite alcanzar el objetivo de realizar una tabla con mayor resistencia para contrarrestar los impactos.

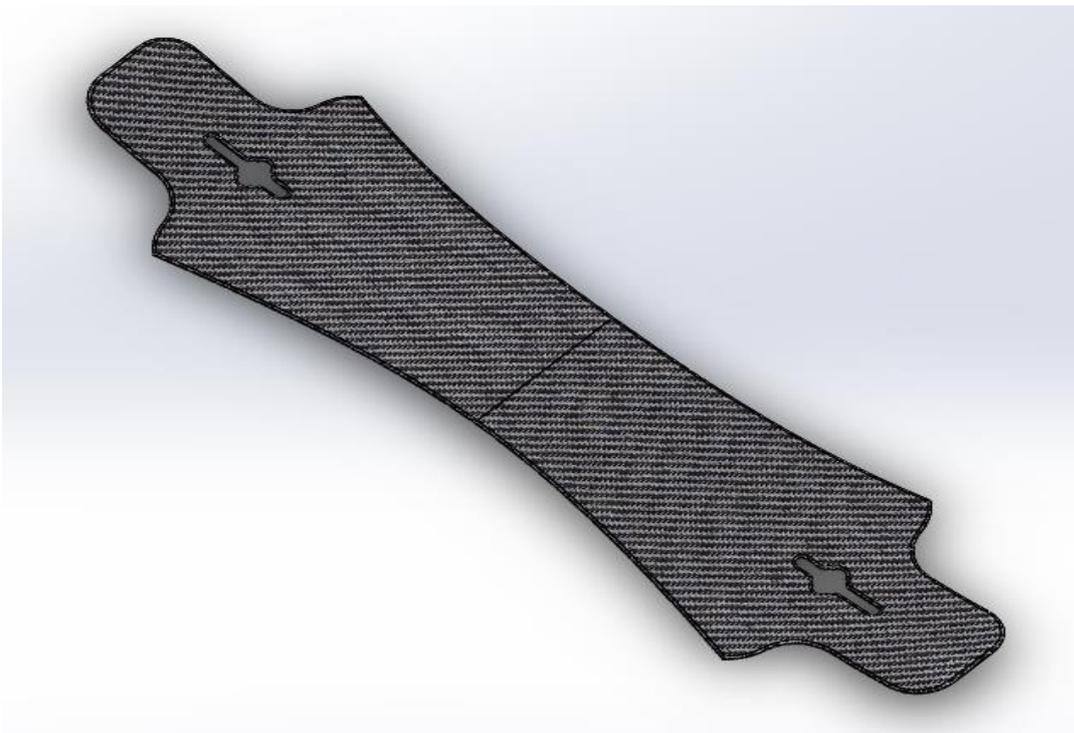


Figura III.58. Imagen 3D de la tabla de *skate 1* elegida de material carbono y basalto.

III.7. FABRICACIÓN.

Para fabricar el producto final es necesario contar con los siguientes materiales:

-**Resina epoxi:** Que actuará como resina matriz pasando de un estado líquido a un estado sólido a través de un proceso de entrecruzamiento.

-**Fibras de carbono:** Para el cuerpo de la tabla.

-**Fibras de basalto:** Para el cuerpo de la tabla.

-**Desmoldeante gelcoat:** Ayuda a que el proceso de desmoldado sea más fácil.

Adicionalmente se necesita un molde con la forma final del *skate*. En este caso, con la forma del prototipo 1. Dicho molde es cerrado y rígido compuesto por dos partes; macho y hembra, tal y como se muestra en la imagen

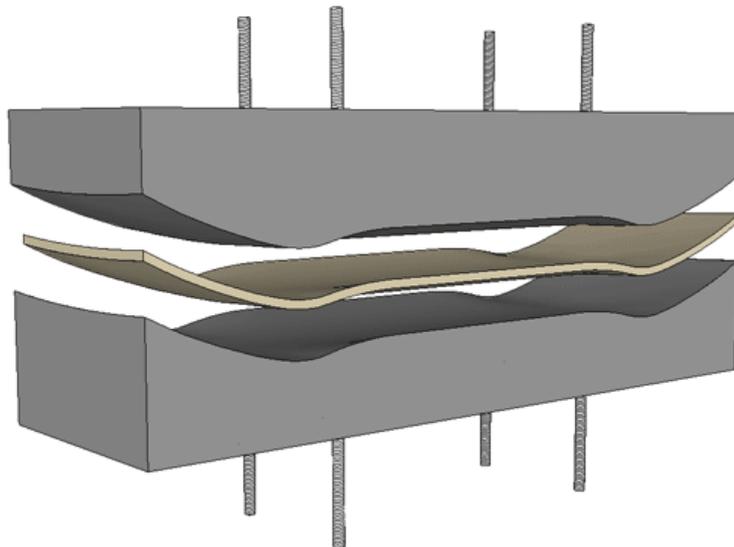


Figura III.59. Representación esquemática del molde 3D para la fabricación de la tabla mediante RTM.

III. Desarrollo Proyecto

Debido a las prestaciones que se quieren obtener de la tabla, se selecciona el método RTM (*Resin Transfer Moulding*) en un molde cerrado con resina inyectada a alta presión.

A continuación, se describen las etapas que componen este proceso:

Impregnar desmoldeante *gelcoat* en el molde en la zona que se depositará el material.

Se coloca en el molde; 5 capas de tejido de fibras secas de carbono y 5 capas de tejido de fibras secas de basalto, alternándolas entre ellas.

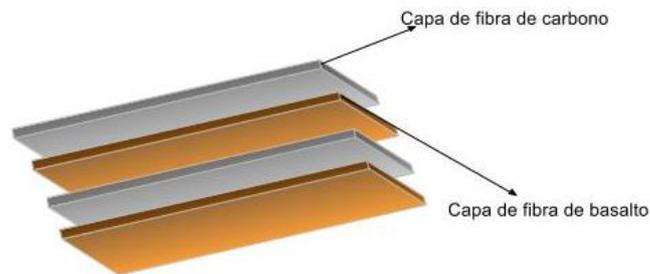


Figura III.60. Representación esquemática de la disposición de las capas en la estructura del laminado compuesto.

Se inyecta la resina epoxi en el molde mediante una bomba. La resina provocará una reacción de curado en las fibras impregnadas.



Figura III.61. Representación esquemática del proceso de transferencia de resina mediante inyección.

III. Desarrollo Proyecto

- Se sella la entrada de resina y la salida de aire.
- Se aplica calor para acelerar el curado.
- Se deja enfriar.
- Se abre el molde y se retira la pieza

Una vez acabado el procedimiento se obtiene una tabla cuyas propiedades mecánicas son mejores que las que se podría obtener usando madera. Ya que este producto presenta mejor resistencia y durabilidad, y gracias al proceso RTM reducimos el tiempo de fabricación.

Posteriormente se realiza la fase de acabado del material tales como:

- Realizar los agujeros para atornillar los ejes.
- Pulir las curvaturas y superficies.

III.8. ESTUDIO ECONÓMICO.

Para determinar el estudio económico preliminar de la fabricación del prototipo de tabla se excluyen los elementos secundarios como ruedas, ejes, tornillos, lija ya que no forman parte de los objetivos. En este caso únicamente se contempla la fabricación de la tabla.

Para la elaboración de la tabla se ha tenido en cuenta los siguientes factores:

- Material
- Equipo y maquinaria.
- Tiempo de producción
- Personal necesario para producción.
- Capacidad de producción en un intervalo de tiempo.

Material.- Los materiales necesarios para la fabricación de la tabla son:

- Fibra de carbono.
- Fibra de basalto.
- Resina epoxi.

Equipo y maquinaria:

- Maquina RTM.
- Molde macho y hembra con la forma de la pieza.

Tiempo de producción.- Se estima que el tiempo empleado para la fabricación de una tabla es de 20 minutos.

Personal necesario para producción.- Inicialmente se necesitaría un operario para las tareas de:

III. Desarrollo Proyecto

-Colocación de capas de fibra en el molde

-Desmoldamiento de la pieza.

-Realizar agujeros para los ejes.

Capacidad de producción en un intervalo de tiempo. Teniendo en cuenta que en una hora se fabrican 3 tablas se estima que en 250 días se fabricarían 6.000 tablas.

Así pues, los gastos para elaborar 6.000 tablas de *skate* son los siguientes:

Tabla III.9. Tabla de los gastos durante un año.

Material	Cantidad/unidad	Precio/unidad	Cantidad total (6000 tablas)	Precio total
Fibra de carbono	0,84 m ²	30,00 euros/ m ²	5.040 m ²	151.200,00 euros
Fibra de basalto	0,84 m ²	6,00 euros/ m ²	5.040 m ²	30.240,00 euros
Resina epoxi	23 g	8,00 euros/kg	1380 kg	11.040,00 euros
Equipos/Maquinaria	Cantidad	Precio	Cantidad total (6000 tablas)	Precio total
Máquina RTM	1	38.000,00 euros	1	38.000,00 euros
Molde	1	18.000,00 euros	1	18.000,00 euros
Categoría de personal	Cantidad	Precio		Precio total
Operario	1	--	--	17.000,00 euros brutos/año
Otros	Cantidad	Precio		Precio total
Logística , empaquetado y distribución	--	--	---	12.000,00 euros brutos/año
Consumo de suministros y alquiler.	--	--	--	26.000,00 euros

El gasto de producción al año para 6.000 tablas es de: 303.480,00 euros.

Los ingresos de vender 6.000 tablas a 60 euros cada unidad es de 360.000,00 euros

III. Desarrollo Proyecto

Las ganancias al año suponen 56.520,00 euros brutos al año.

De las ganancias se destinará a pago de impuestos el 15% del beneficio equivalente a 8.478,00 euros.

El beneficio final es de 48.042,00 euros. De manera que el coste de comprar la maquinaria y el molde se ha amortizado en menos de un año y a partir de la segunda anualidad, los beneficios serán superiores. Por otro lado, el precio de venta que se ha establecido es un precio de mercado para tablas de alta gama, muy valoradas por los practicantes de este deporte, con lo cual, el proyecto presenta una viabilidad preliminar, tanto técnica como económica, positiva.

IV. APÉNDICES

APÉNDICES

IV. Apéndices

IV.1. REFERENCIAS

DIRECCIONES WEB

<http://www.fillow.net/guia-tablas-de-skate-i153>

<http://www.trickon.com/skate/articulo/como-se-fabrica-una-tabla-de-skate>

<http://files.educacionucuenca.webnode.es/200000029-d6ebed7e4d/SKATE.pdf>

<http://patineta.net/2015/08/santa-cruz-skateboards-el-inicio-de-la-industria-del-skate/>

<http://skatessentials.com/index.php/learning-to-skateboard-the-parts-of-a-skateboard/>

<https://es.slideshare.net/gonzalomartinezbarre/fibras-de-carbono>

<http://www.naturalfibres2009.org/es/fibras/>

<https://www.kickstarter.com/projects/202203352/n2r-longboard-technology-revolution-from-yachts-to>

LIBROS

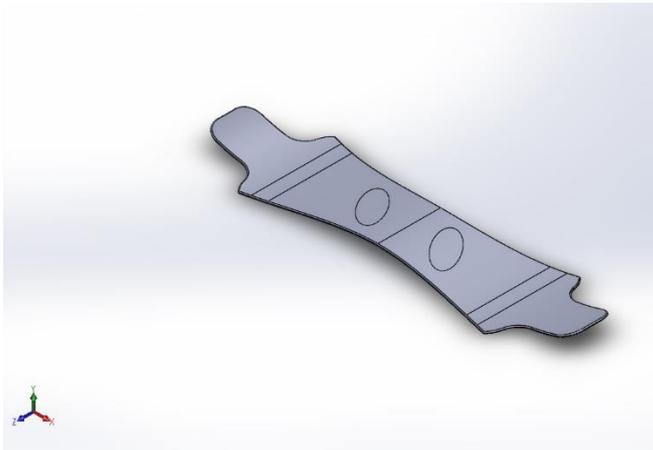
Fundamentos de la mecánica de los materiales compuestos

Marco A. Pérez y Montserrat Sánchez, Editorial: Omnia Publisher, 2014.

Materiales compuestos

D. Hull; Editorial Reverté, 1987

IV.2. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM MODELO *SKATE* CON REFUERZO DE FIBRA DE CARBON Y BASALTO EN CONDICIONES DE REPOSO.



Simulación de en reposo Carbon+Basalto

Fecha: jueves, 27 de julio de 2017

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: 10 Capas-
repsa

Tipo de análisis: Análisis estático

IV. Apéndices

IV.2.1. Descripción

Tabla de contenidos

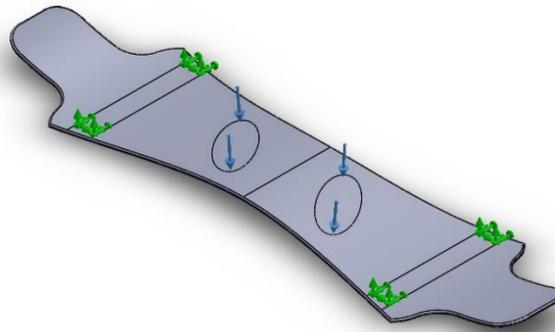
Descripción	117
Suposiciones	118
Información de modelo	118
Propiedades de estudio	120
Unidades	121
Propiedades de material	121
Cargas y sujeciones	123
Definiciones de conector	124
Información de contacto	124
Información de malla	124
Detalles del sensor	125
Fuerzas resultantes	125
Vigas	126
Resultados del estudio	126
Conclusión ..	¡Error! Marcador no definido.

IV. Apéndices

IV.2.2. Suposiciones

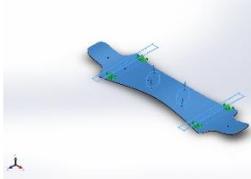
IV.2.3. Información de modelo

IV. Apéndices



Nombre del modelo: simulacion Carbon+Basalto
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos compuestos

Nombre de documento y referencia	Propiedades							
<p>Shell-1</p> 	Número total de pliegues: 10							
	Simétrico: No							
	Pliegue	Espesor (mm)	Ángulo(deg)	Área(m ²)	Volumen(m ³)	Densidad (kg/m ³)	Masa(kg)	Peso(N)
	1	0.5	45	0.113083	5.65417e-005	2890	0.163406	1.60138
	2	0.3	-45	0.113083	3.3925e-005	1840	0.0624221	0.611736
	3	0.5	45	0.113083	5.65417e-005	2890	0.163406	1.60138
	4	0.3	-45	0.113083	3.3925e-005	1840	0.0624221	0.611736
	5	0.5	45	0.113083	5.65417e-005	2890	0.163406	1.60138
	6	0.3	-45	0.113083	3.3925e-005	1840	0.0624221	0.611736
	7	0.5	45	0.113083	5.65417e-005	2890	0.163406	1.60138
	8	0.3	-45	0.113083	3.3925e-005	1840	0.0624221	0.611736
9	0.5	45	0.113083	5.65417e-005	2890	0.163406	1.60138	
10	0.3	-45	0.113083	3.3925e-005	1840	0.0624221	0.611736	

IV. Apéndices

	Nombre de documento: C:\Users\ABDE\Desktop\simulacion tfg\Skateboard-1-Carbon+Basalto\simulacion Carbon+Basalto.SLDPRT Fecha de modificación: Jul 25 22:36:43 2017
--	---

IV.2.4. Propiedades de estudio

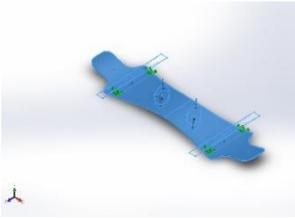
Nombre de estudio	10 Capas-repo
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\ABDE\Desktop\abde tfg\Skateboard-1-Carbon+Basalto)

IV. Apéndices

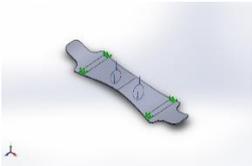
IV.2.5. Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

IV.2.6. Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: basalto_Epoxi_Vf_0.58 (2)</p> <p>Tipo de modelo: Ortotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 1.44e+010 N/m²</p> <p>Límite de tracción en x: 1.6e+009 N/m²</p> <p>Límite de tracción en y: 4.5e+007 N/m²</p> <p>Límite de tracción en z: 8.52e+007 N/m²</p> <p>Módulo de elasticidad en x: 1.1e+011 N/m²</p> <p>Módulo de elasticidad en y: 8.4e+009 N/m²</p> <p>Módulo de elasticidad en z: 8.4e+009 N/m²</p> <p>Coeficiente de Poisson en xy: 0.28</p> <p>Coeficiente de Poisson en yz: 0.28</p>	<p>Sólido 1(Línea de partición1)(simulacion Carbon+Basalto), Shell-1(Sólido 1(Línea de partición1))(luckaku)</p>

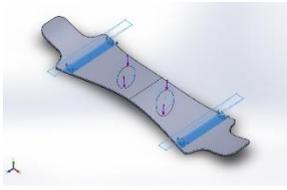
IV. Apéndices

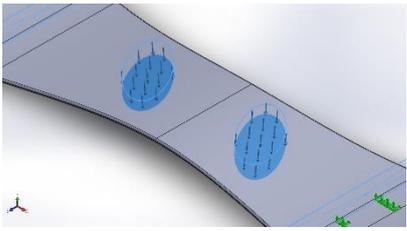
	Coefficiente de Poisson en xz: 0.28 Densidad: 2890 kg/m ³ Módulo cortante en xy: 4.07e+009 N/m ² Límite cortante: 4.54e+007 N/m ²	
Datos de curva:N/A		
	Nombre: Carbon_Epoxi_Vf_0.64 Tipo de modelo: Ortotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 1.44e+009 N/m ² Límite de tracción en x: 1.6e+009 N/m ² Límite de tracción en y: 4.67e+007 N/m ² Límite de compresión en x: 9.6e+008 N/m ² Límite de compresión en y: 8.74e+007 N/m ² Módulo de elasticidad en x: 2.45e+011 N/m ² Módulo de elasticidad en y: 1.88e+010 N/m ² Módulo de elasticidad en z: 1.88e+010 N/m ² Coefficiente de Poisson en xy: 0.2 Coefficiente de Poisson en yz: 0.2 Coefficiente de Poisson en xz: 0.2 Densidad: 1840 kg/m ³	<Material_ComponentList1/>

IV. Apéndices

	Módulo cortante en xy: 1.75e+011 N/m ² Límite cortante: 4.64e+007 N/m ²	
Datos de curva:N/A		

IV.2.7. Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades:	2 cara(s)		
		Tipo:	Geometría fija		
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	-0.000396729	896.443	-0.00101089	896.443	
Momento de reacción(N.m)	0.228299	0.0430236	0.00369859	0.232347	

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga			
Fuerza-1		Entidades:	2 cara(s)		
		Tipo:	Aplicar fuerza normal		
		Valor:	450 N		

IV. Apéndices

IV.2.8. Definiciones de conector

No hay datos

IV.2.9. Información de contacto

No hay datos

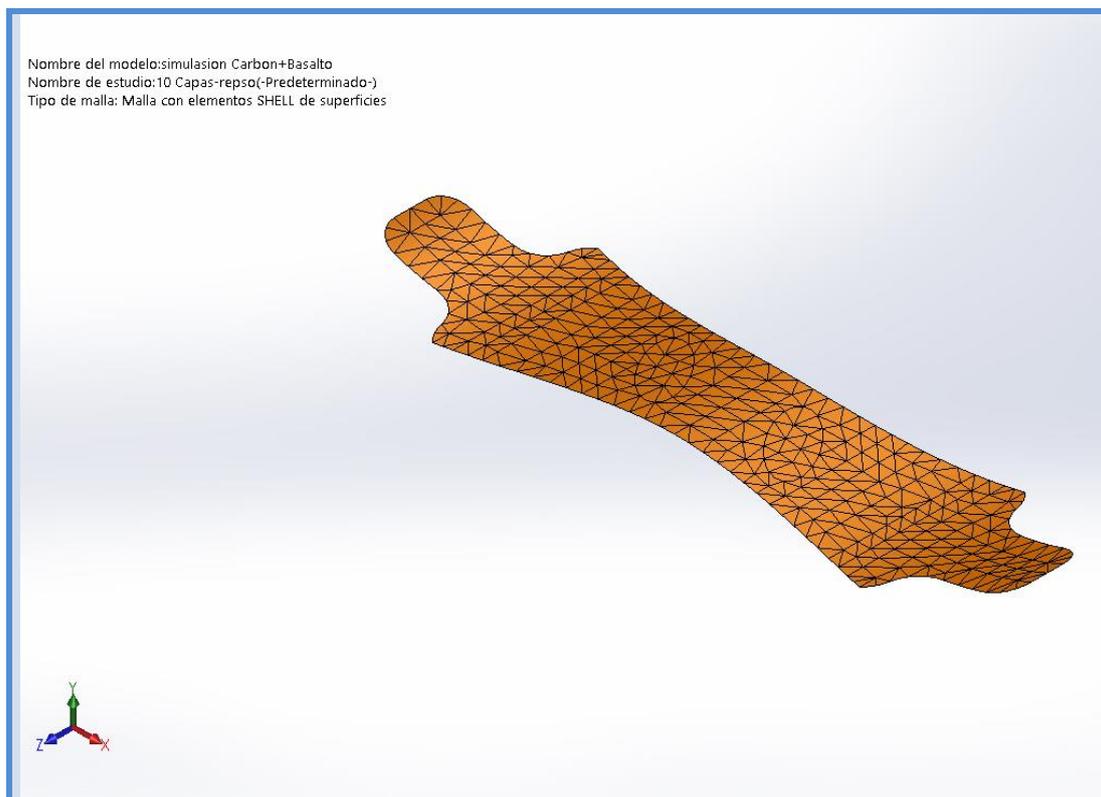
IV.2.10. Información de malla

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Verificación jacobiana para el vaciado	Desactivar
Tamaño de elementos	19.5632 mm
Tolerancia	0.97816 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

IV.2.11. Información de malla - Detalles

Número total de nodos	1341
Número total de elementos	614
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01
Nombre de computadora:	

IV. Apéndices



IV.2.1.12. Detalles del sensor

No hay datos

IV.2.13. Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.000396729	896.443	-0.00101089	896.443

Momentos de reacción

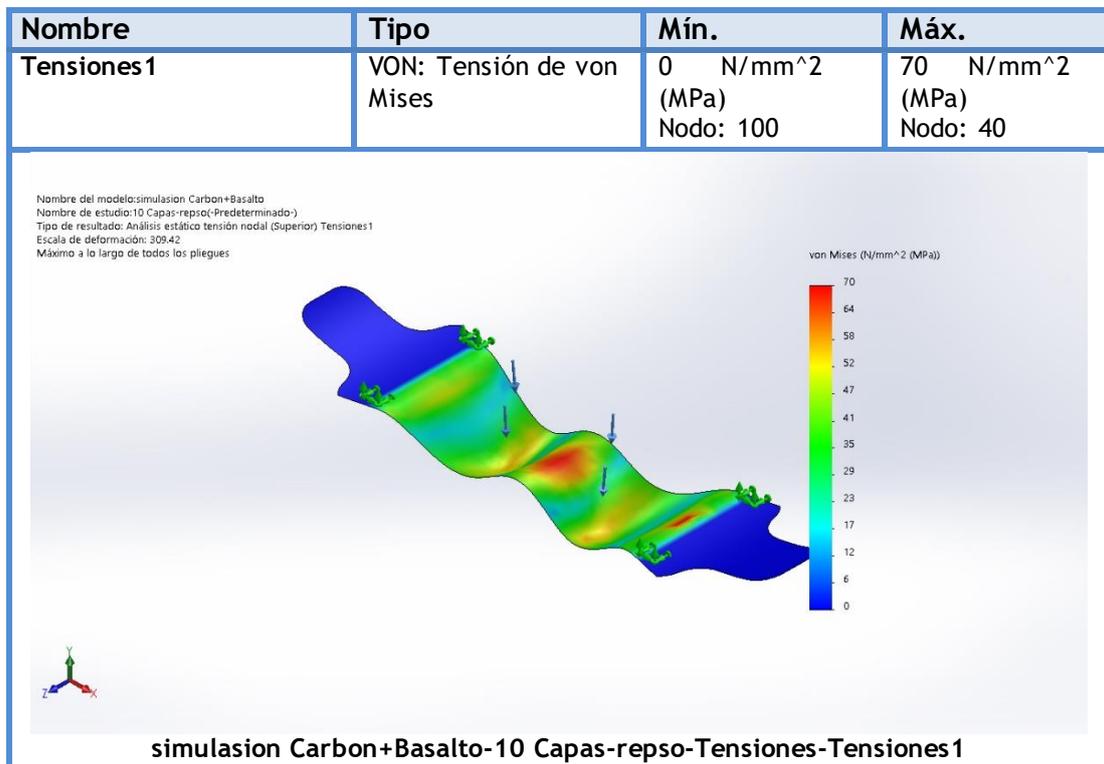
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0.228299	0.0430236	0.00369859	0.232347

IV. Apéndices

IV.2.14. Vigas

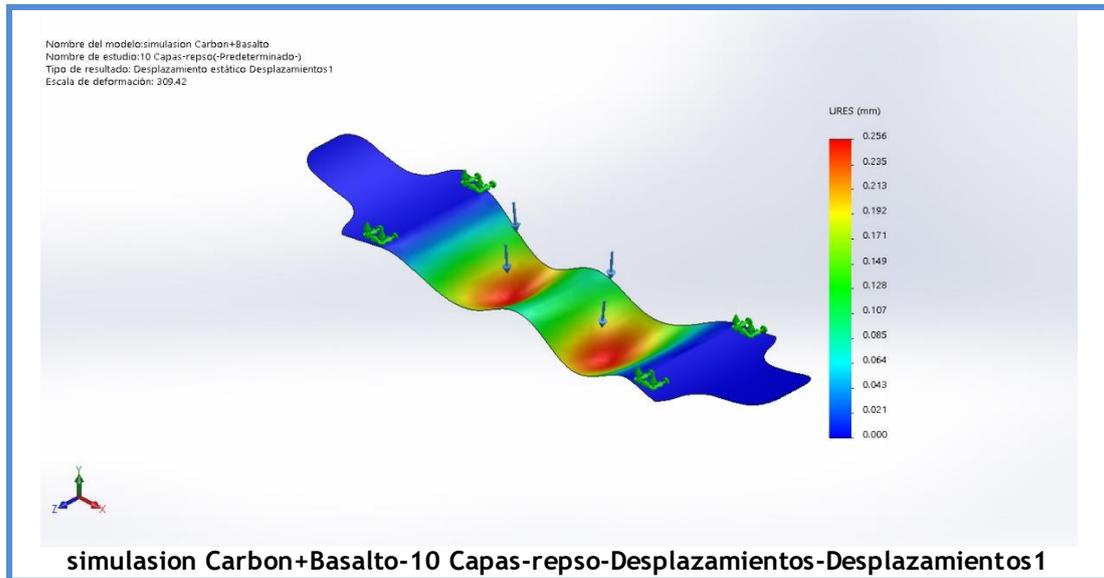
No hay datos

IV.2.15. Resultados del estudio

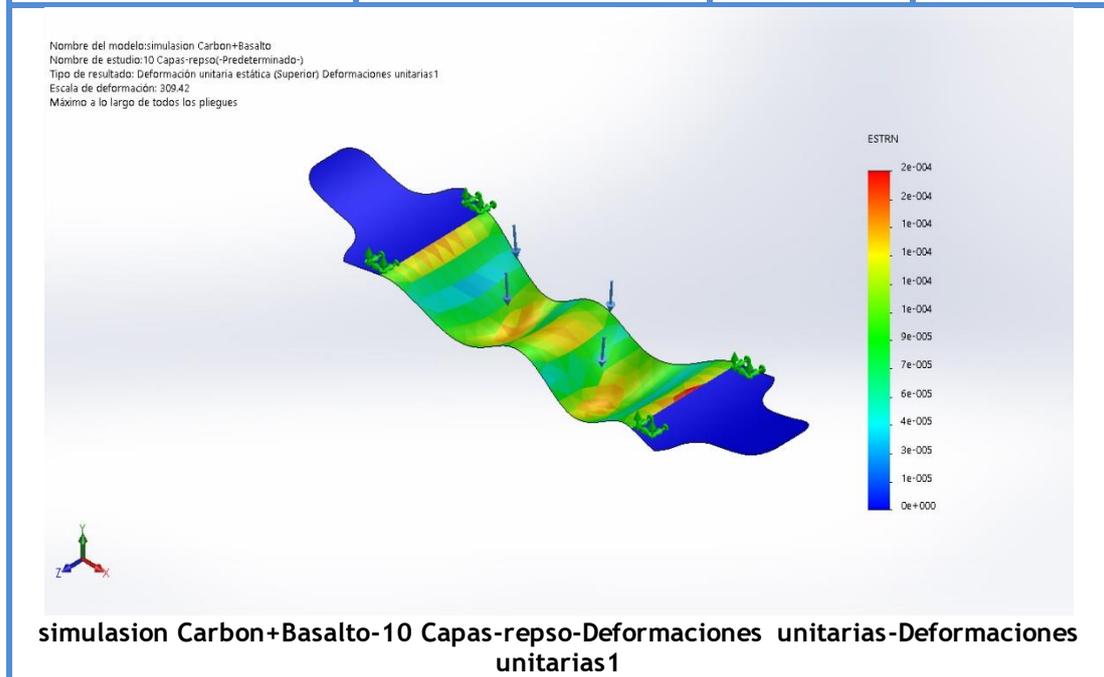


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000 mm Nodo: 15	0.256 mm Nodo: 380

IV. Apéndices

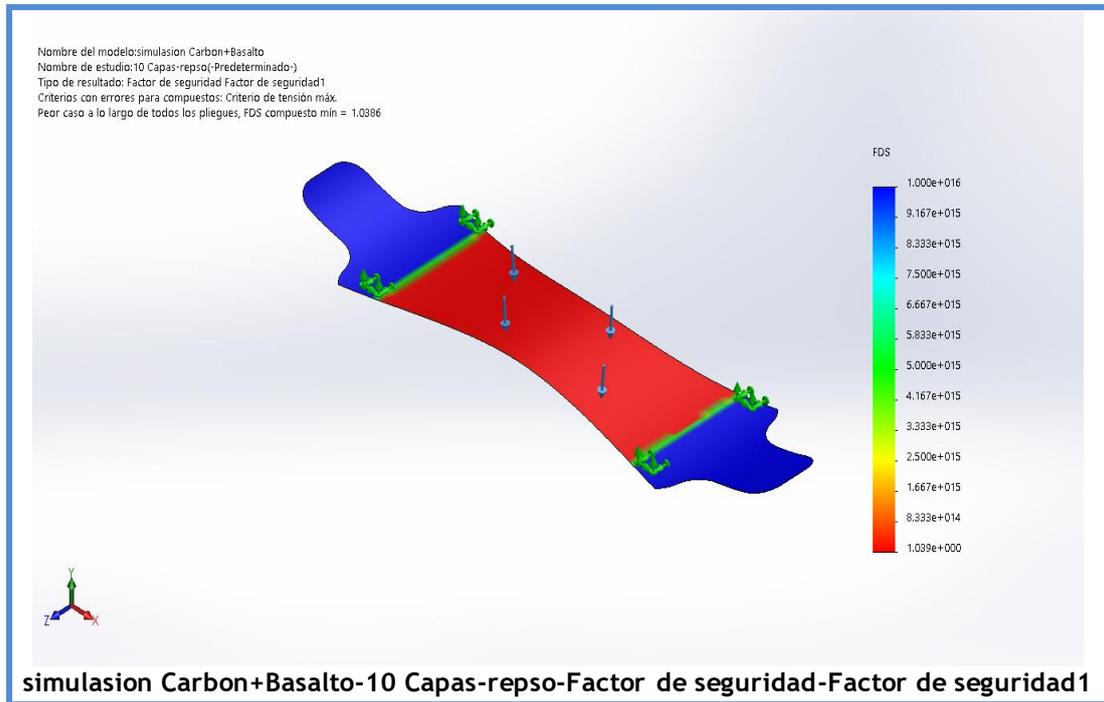


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0e+000 Elemento: 144	2e-004 Elemento: 419



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1.039e+000 Nodo: 144	1.000e+016 Nodo: 419

IV. Apéndices



IV.3. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM MODELO *SKATE* CON REFUERZO DE FIBRA DE CARBON Y BASALTO EN CONDICIONES AGRESIVAS.



Simulación agresivo Carbon+Basalto

Fecha: jueves, 27 de julio de 2017

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: 10 Capas-agresivo

Tipo de análisis: Análisis estático

IV. Apéndices

IV.3.1. Descripción

Tabla de contenidos

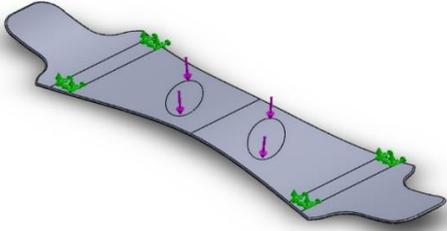
Descripción	130
Suposiciones	131
Información de modelo	131
Propiedades de estudio	133
Unidades	133
Propiedades de material	134
Cargas y sujeciones	135
Definiciones de conector	135
Información de contacto	136
Información de malla	136
Detalles del sensor	137
Fuerzas resultantes	137
Vigas	137
Resultados del estudio	137
Conclusión	¡Error! Marcador no definido.

IV. Apéndices

IV.3.2. Suposiciones

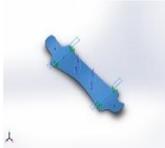
IV.3.3. Información de modelo

IV. Apéndices



Nombre del modelo: simulacion Carbon+Basalto
 Configuración actual: Predeterminado

Sólidos compuestos

Nombre de documento y referencia	Propiedades							
Shell-1 	Número total de pliegues: 10							
	Simétrico: No							
	Pliegue	Espesor (mm)	Ángulo (deg)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Masa (kg)	Peso (N)
	1	0.5	45	0.113083	5.65417e-005	2890	0.163406	1.60138
	2	0.3	-45	0.113083	3.3925e-005	1840	0.0624221	0.611736
	3	0.5	45	0.113083	5.65417e-005	2890	0.163406	1.60138
	4	0.3	-45	0.113083	3.3925e-005	1840	0.0624221	0.611736
	5	0.5	45	0.113083	5.65417e-005	2890	0.163406	1.60138
	6	0.3	-45	0.113083	3.3925e-005	1840	0.0624221	0.611736
	7	0.5	45	0.113083	5.65417e-005	2890	0.163406	1.60138
	8	0.3	-45	0.113083	3.3925e-005	1840	0.0624221	0.611736
9	0.5	45	0.113083	5.65417e-005	2890	0.163406	1.60138	
10	0.3	-45	0.113083	3.3925e-005	1840	0.0624221	0.611736	
Nombre de documento: C:\Users\ABDE\Desktop\simulacion tfg\Skateboard-1-Carbon+Basalto\simulacion Carbon+Basalto.SLDPRT Fecha de modificación: Jul 25 22:36:43 2017								

IV. Apéndices

IV.3.4. Propiedades de estudio

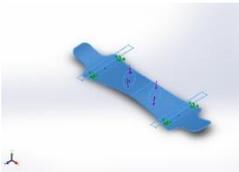
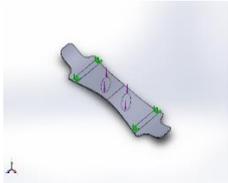
Nombre de estudio	10 Capas-agresivo
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\ABDE\Desktop\abde tfg\Skateboard-1-Carbon+Basalto)

IV.3.5. Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

IV. Apéndices

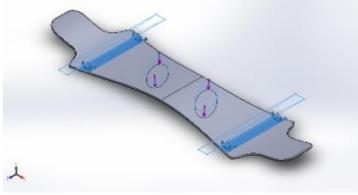
IV.3.6. Propiedades de material

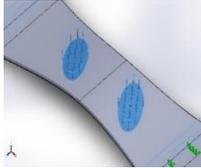
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: basalto_Epoxi_Vf_0.68 (2)</p> <p>Tipo de modelo: Ortotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 1.44e+010 N/m²</p> <p>Límite de tracción en x: 1.6e+009 N/m²</p> <p>Límite de tracción en y: 4.5e+007 N/m²</p> <p>Límite de compresión en y: 8.52e+007 N/m²</p> <p>Módulo de elasticidad en x: 1.1e+011 N/m²</p> <p>Módulo de elasticidad en y: 8.4e+009 N/m²</p> <p>Módulo de elasticidad en z: 8.4e+009 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson en xy: 0.28</p> <p>Coefficiente de Poisson en yz: 0.28</p> <p>Coefficiente de Poisson en xz: 0.28</p> <p>Densidad: 2890 kg/m³</p> <p>Módulo cortante en xy: 4.07e+009 N/m²</p> <p>Límite cortante: 4.54e+007 N/m²</p>	<p>Sólido 1(Línea de partición1)(simulacion Carbon+Basalto), Shell-1(Sólido 1(Línea partición1))(luckaku)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: Carbon_Epoxi_Vf_0.68</p> <p>Tipo de modelo: Ortotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 1.44e+009 N/m²</p> <p>Límite de tracción en x: 1.6e+009 N/m²</p> <p>Límite de tracción en y: 4.67e+007 N/m²</p> <p>Límite de compresión en x: 9.6e+008 N/m²</p> <p>Límite de compresión en y: 8.74e+007 N/m²</p> <p>Módulo de elasticidad en x: 2.45e+011 N/m²</p>	<p>Material_ComponentL0.Material_ComponentL1/></p>

IV. Apéndices

	Módulo de elasticidad en y:	1.88e+010 N/m ²
	Módulo de elasticidad en z:	1.88e+010 N/m ²
	Coefficiente de Poisson en xy:	0.2
	Coefficiente de Poisson en yz:	0.2
	Coefficiente de Poisson en xz:	0.2
	Densidad:	1840 kg/m ³
	Módulo cortante en xy:	1.75e+011 N/m ²
	Límite cortante:	4.64e+007 N/m ²
Datos de curva:N/A		

IV.3.7. Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.00390625	6275.1	-0.00698853	6275.1
Momento de reacción(N.m)	1.59809	0.301165	0.0258865	1.62643

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 3150 N

IV.3.8. Definiciones de conector

IV. Apéndices

No hay datos

IV.3.9. Información de contacto

No hay datos

IV.3.10. Información de malla

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Verificación jacobiana para el vaciado	Desactivar
Tamaño de elementos	19.5632 mm
Tolerancia	0.97816 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

IV.3.11. Información de malla - Detalles

Número total de nodos	1341
Número total de elementos	614
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01
Nombre de computadora:	



IV. Apéndices

IV.3.12. Detalles del sensor

No hay datos

IV.3.13. Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	- 0.00390625	6275.1	- 0.00698853	6275.1

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	1.59809	0.301165	0.0258865	1.62643

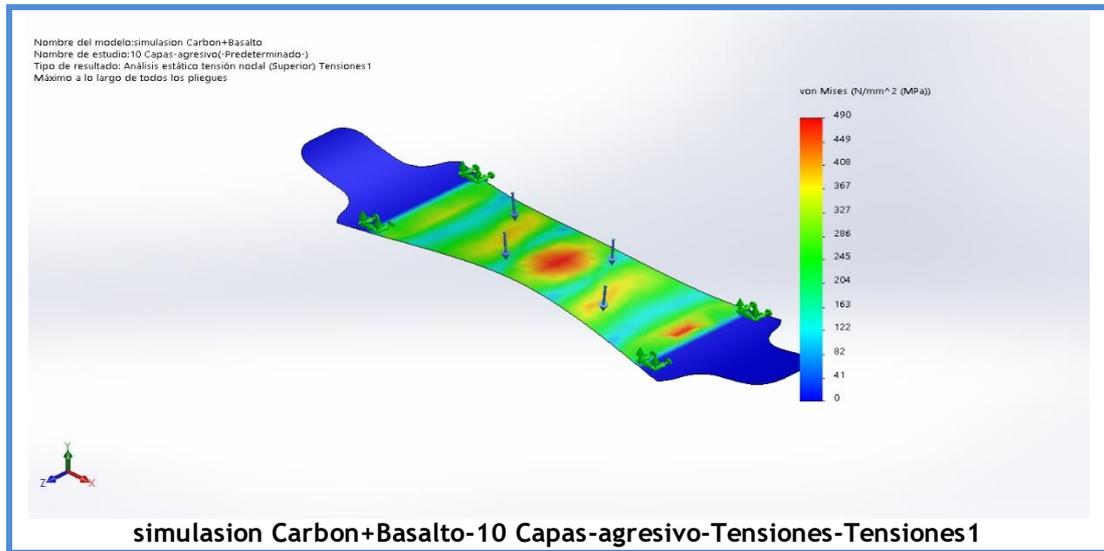
IV.3.14. Vigas

No hay datos

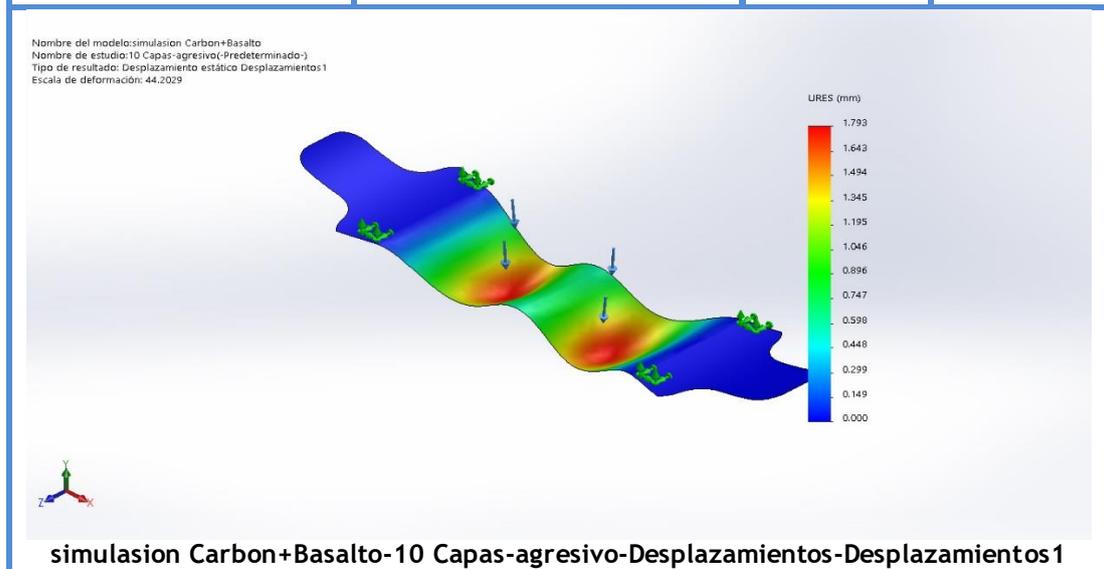
IV.3.15. Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0 N/mm ² (MPa) Nodo: 100	490 N/mm ² (MPa) Nodo: 40

IV. Apéndices

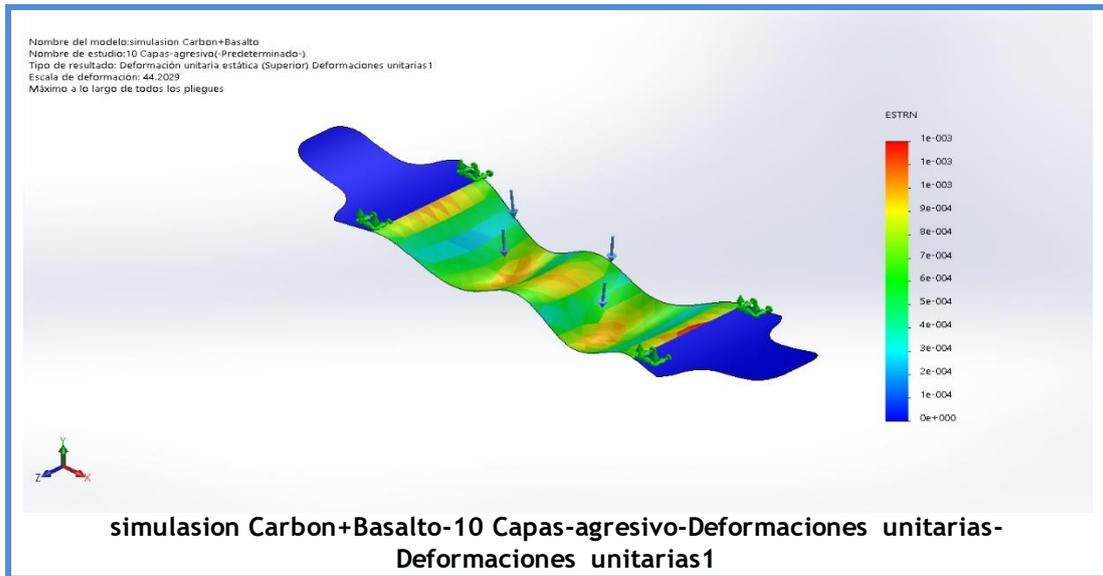


Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos 1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000 mm Nodo: 15	1.793 mm Nodo: 380

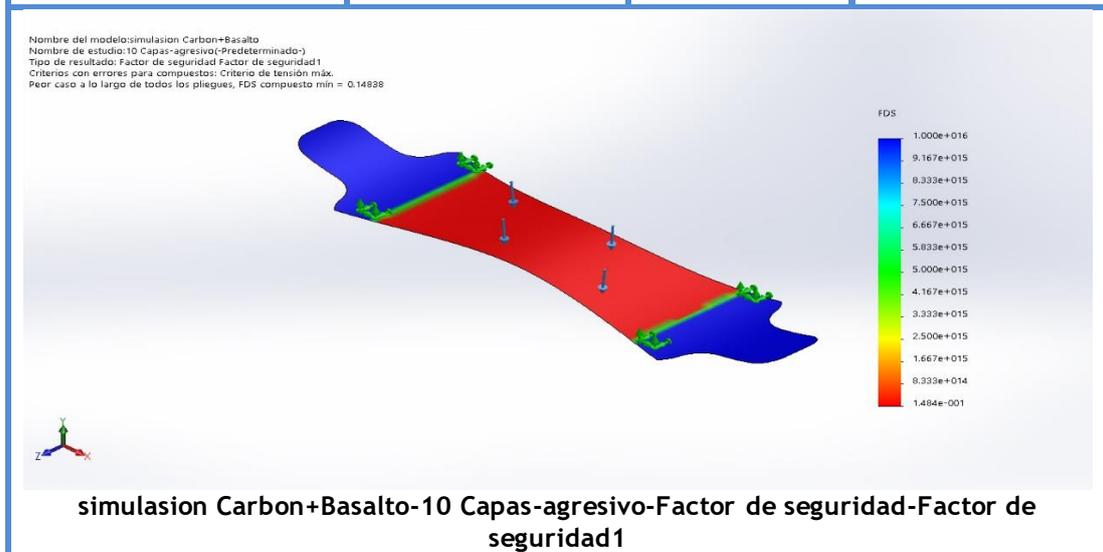


Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Deformaciones unitarias 1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0e+000 Elemento: 144	1e-003 Elemento: 419

IV. Apéndices

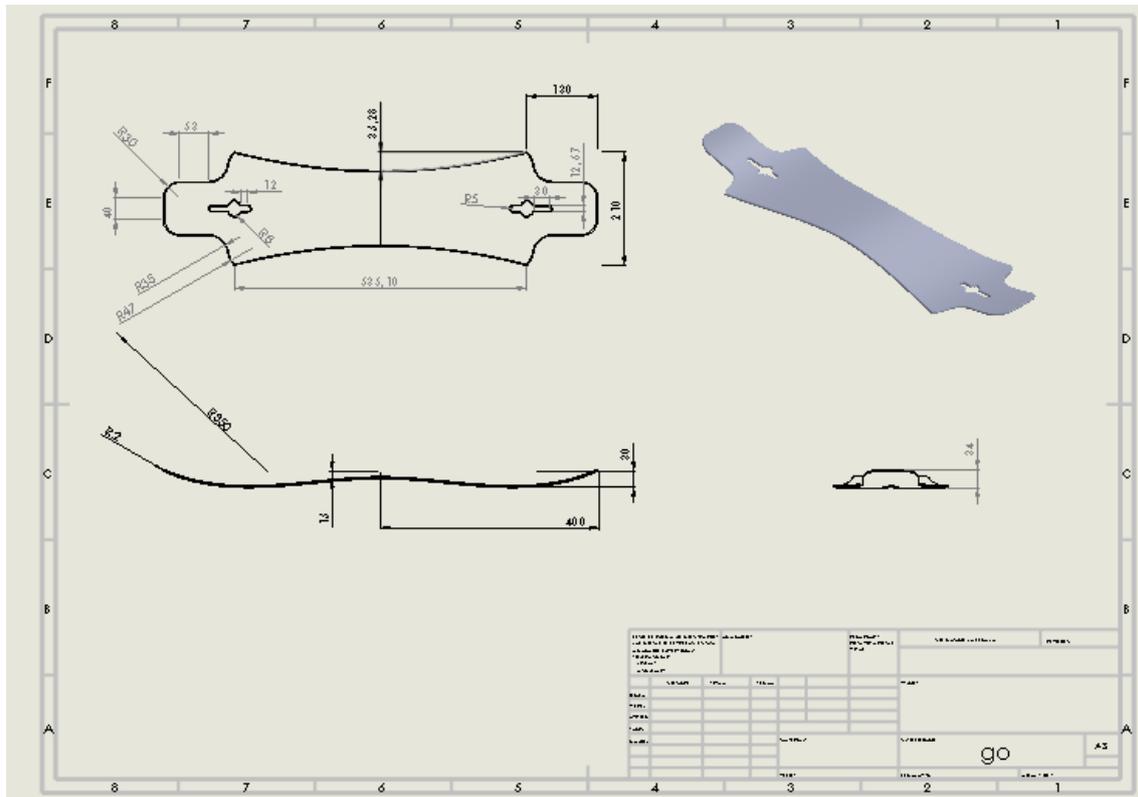


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1.484e-001 Nodo: 144	1.000e+016 Nodo: 419



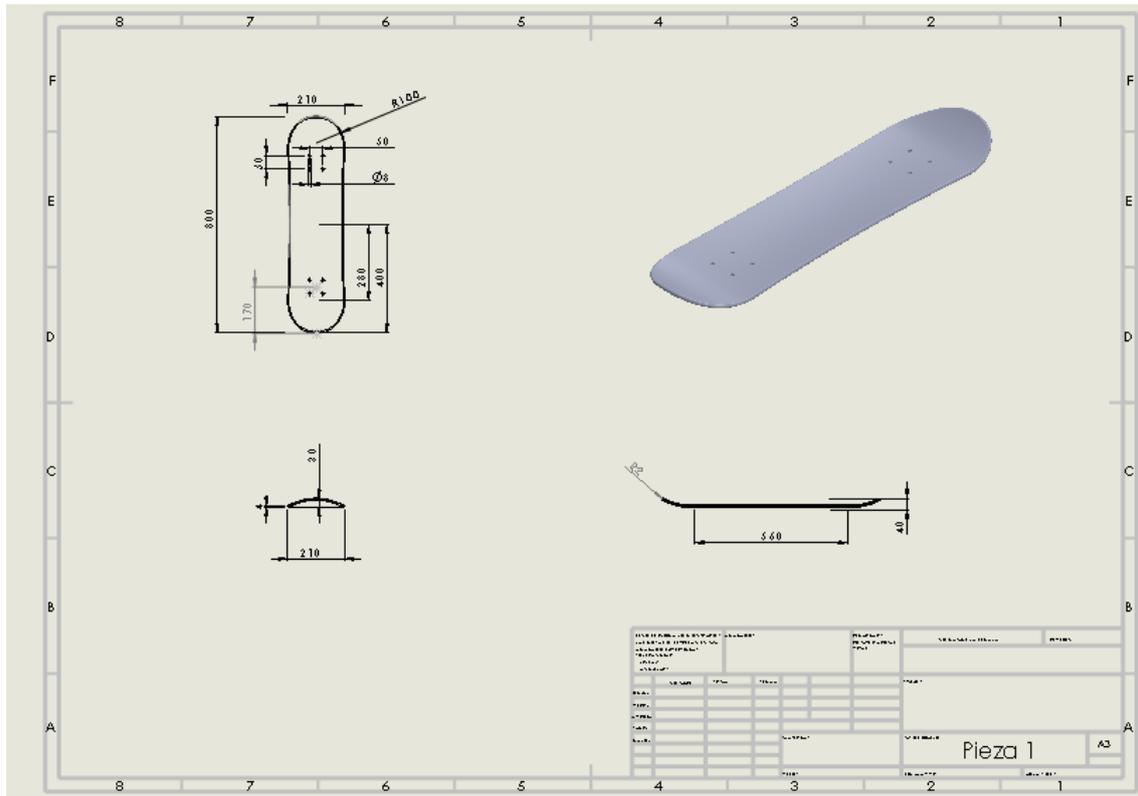
IV. Apéndices

IV.4. PLANOS ACOTADOS.



plano acotado prototipo 1

IV. Apéndices



plano acotado prototipo 2