

DESARROLLO DE UN MATERIAL HIBRIDO, MADERA/FIQUE-POLIESTER PARA LA FABRICACION DE TABLAS DE SKATEBOARD

JESUS OLIVO ORTEGA RUIZ

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA,
MECATRONICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, Junio 05 del 2018

DESARROLLO DE UN MATERIAL HIBRIDO, MADERA/FIQUE-POLIESTER PARA LA FABRICACION DE TABLAS DE SKATEBOARD

JESUS OLIVO ORTEGA RUIZ

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director: BLADIMIR RAMON VALENCIA

Doctor en Ingeniería de Materiales

Email: hbladimir@unipamplona.edu.co

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA,
MECATRONICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

Pamplona, Junio 5 del 2018

Dedico este trabajo de grado primeramente a Dios que me ha dado la vida y la bendición de estudiar.

Quiero dedicar este trabajo también a mi madre, Priscila Ruiz Ospina, quien no ha dejado de apoyarme ni un solo momento, su esfuerzo y su amor incondicional se han convertido en mi motivación e inspiración para lograr mis sueños y alcanzar todo lo que me proponga en la vida.

Finalmente, quiero dedicar este trabajo a mi padre, Jesús Olivo Ortega y a mis hermanos, Jairo Alexander Ortega y Marcos Ortega, personas que llevo en mi alma por apoyarme, guiarme y motivarme en cada momento de mi vida universitaria. Fueron ellos los que creyeron en mi potencial y en mis capacidades para sacar adelante esta meta en mi vida.

Dedicatoria

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis profundos agradecimientos a Dios por brindarme la sabiduría y entendimiento. A mi familia por su arduo sacrificio y esfuerzo para que mi título como Ingeniero mecánico fuera una realidad.

Un agradecimiento especial a mi director de trabajo de grado el Dr. Bladimir Ramón Valencia que me ha brindado parte de sus conocimientos y apoyo para culminar este proyecto de grado con éxito.

Al ingeniero William Mora quien me orientó en la fase de implementación de la norma para la realización de los ensayos a flexión.

Al Diseñador Industrial Rodolfo Arenas quien fue la persona que dispuso de su tiempo y conocimientos para hacer realidad el estudio de mercadeo.

Al compañero Antonio Velazco quien me colaboro en el diseño y simulación en Ansys.

A los ingenieros encargados del laboratorio de materiales por el espacio para realizar las pruebas mecánicas y al compañero Carlos Pinzón por el acompañamiento durante la realización de los ensayos a flexión.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCION	10
2.	ESTADO ACTUAL	11
2.1	Materiales compuestos	12
2.1.1	Generalidades	12
2.1.2	Clasificación de los materiales compuestos	12
2.1.3	Fibras convencionales.....	15
2.2	Materiales biocompuestos.	19
2.2.1	Generalidades	19
2.2.2	Aplicaciones de los biocompuestos.....	21
2.2.3	Fibras naturales como refuerzo	22
2.2.4	Métodos de fabricación de biocompuestos	25
2.3	Materiales híbridos.....	27
2.3.1	Generalidades	27
2.3.2	Antecedentes de materiales híbridos	27
3.	OBJETIVOS	30
3.1	Objetivo general.....	30
3.2	Objetivos específicos	30
4.	PARTE EXPERIMENTAL.....	31
4.1	Materiales	31
4.1.1	Fibra de fique.....	31
4.1.2	Resina poliéster PALATAL 5346 B.....	32
4.1.3	Catalizador.	33
4.1.4	Madera Triplex.....	33
4.2	Obtención de probetas del material híbrido	34
4.2.1	Preparación de materias primas.....	34
4.2.2	Proceso de moldeo por compresión	35
4.3	Métodos de caracterización	38
4.3.1	Pruebas de flexión.....	38
4.3.2	Propiedades físicas.	41

4.4	Simulación por elementos finitos.	41
4.4.1	Análisis del sistema estático estructural.	42
5.	ANALISIS DE RESULTADOS.	49
5.1	Resultados de la caracterización a flexión.	49
5.2	Resultados de las mediciones para el cálculo de la densidad.	52
5.3	Resultados de la simulación en ansys del proprototipo virtual de la tabla de skateboard en el material híbrido madera/fique-poliéster.	52
5.3.1	Resultados de deformación total.	52
5.3.2	Resultados de máximos esfuerzos soportados.	54
5.3.3	Resultados del factor de seguridad.	55
5.4	Obtención del prototipo de la tabla de skateboard.	56
5.4.1	Preparación de materias primas.	56
5.4.2	Proceso de moldeo por compresión.	57
5.5	Estudio de mercado.	61
5.5.1	Estudio del mercado en Estados Unidos.	62
5.5.2	Estudio del mercado en Colombia.	68
6.	CONCLUSIONES.	73
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	74
8.	ANEXOS.	77
8.1	Anexo 1.	77
8.2	Anexo 2.	78
8.3	Anexo 3.	79
8.4	Anexo 4.	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características y propiedades de la fibra de fique	31
Tabla 2. Propiedades de la resina PALATAL 5346B en estado de suministro	32
Tabla 3. Propiedades de la resina PALATAL 5346 B endurecida sin carga	33
Tabla 4. Pesos de materiales empleados para la fabricación de una lámina de material híbrido de 7 capas de (19x19) cm ²	34
Tabla 5. Variables empleadas en el proceso de prensado del material híbrido de 7 capas de (19x19) cm ²	36
Tabla 6. Condiciones empleadas en el ensayo a flexión de tres puntos según la norma ASTM D790-10.....	39
Tabla 7. Softwares empleados en el proceso de simulación del prototipo virtual de la tabla de skateboard	42
Tabla 8. Características del enmallado para la tabla de skateboard.....	46
Tabla 9. Propiedades mecánicas del material híbrido madera/fique-poliéster.....	50
Tabla 10. Propiedad física del material híbrido madera/fique-poliéster	52
Tabla 11. Materiales y herramientas empleados en el proceso de fabricación de la tabla de skateboard.....	56
Tabla 12. Mercado objetivo	62
Tabla 13. Skateboarding en Estados Unidos	63
Tabla 14. Productores locales de skate.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 15. Precio en materia prima de la tabla de skateboard	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de matriz	13
Figura 2. Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo ...	14
Figura 3. Proceso de giro típico para fabricar fibras de vidrio	16
Figura 4. Snowboard y canoa fabricadas con tela de lino	21
Figura 5. Puertas moldeadas con alfombras de 60% de fibra natural en una resina de poliuretano.	22
Figura 6. Diagrama de clasificación de las fibras naturales	23
Figura 7. Etapas del proceso de obtención de fibra de fique	24
Figura 8. Prensa hidráulica	26
Figura 9. Molde de prensado	26
Figura 10. Preparación de materias primas	35
Figura 11. Etapas del proceso de fabricación del material híbrido	36
Figura 12. Montaje del material híbrido en la prensa hidráulica	37
Figura 13. Material híbrido de 7 capas de (19x19) cm ²	37
Figura 14. Corte de las probetas dimensionadas según la norma ASTM D790-10	38
Figura 15. Probetas de material híbrido obtenidas en el proyecto	38
Figura 16. Montaje de la probeta para ensayo a flexión	40
Figura 17. Curva típica de esfuerzo a flexión versus deformación en materiales compuestos	40
Figura 18. Longobardo tipo Vanguard	42
Figura 19. Pasos para realizar un análisis estático estructural en Ansys	43
Figura 20. Interfaz del engineering data para crear un nuevo material con propiedades específicas	44
Figura 21. Asignación de valores para cada propiedad específica del material híbrido	44
Figura 22. Modelado 3D de la geometría de la tabla por medio del software Solidworks	45
Figura 23. Asignar el material a la geometría	45
Figura 24. Mallado final de la geometría de la tabla por medio del software Ansys	46
Figura 25. Diagrama de fuerzas que actúan sobre la tabla de skateboard	47
Figura 26. Ubicación de las fuerzas en la geometría de la tabla de skateboard ...	48
Figura 27. Puntos de aplicación de cargas en la tabla de skateboard	48
Figura 28. Soportes fijos de la tabla de skateboard	49
Figura 29. Curva esfuerzo-deformación del material híbrido madera/fique-poliéster	50
Figura 30. Curva esfuerzo-deformación para un material rígido	51
Figura 31. Probetas de material híbrido madera/fique-poliéster después de realizados los ensayos de flexión	52
Figura 32. Deformación total en tabla de skateboard	53
Figura 33. Deformación total de la tabla de skateboard desde una vista lateral ...	53

Figura 34. Diagrama de esfuerzos soportados por la tabla de skateboard.....	54
Figura 35. Zonas de concentración de máximos esfuerzos.....	55
Figura 36. Factores de seguridad en la tabla de skateboard.....	55
Figura 37. Preparación de materias primas para la fabricación de la tabla de skateboard.....	57
Figura 38. Proceso de laminado manual con rodillo	58
Figura 39. Montaje del material híbrido laminado en la prensa artesanal, moldeo por compresión	59
Figura 40. Material híbrido de 7 capas de (92x30) cm ²	59
Figura 41. Trazado en la superficie de la lámina del material híbrido y corte de la tabla	60
Figura 42. Tabla de skateboard de material híbrido	60
Figura 43. Tabla de skateboard obtenida en el proyecto	61
Figura 44. Porcentaje de practicantes de skateboarding en Estados Unidos.....	64
Figura 45. Porcentaje de practicantes que compran longboard en Estados Unidos	64
Figura 46. Ventas mensuales de tablas de skateboarding en Estados Unidos.....	65
Figura 47. Peny longboard 36"	¡Error! Marcador no definido.
Figura 48. Escala de precios de tablas longboard.....	69
Figura 49. Porcentaje de practicantes que compran longboard en Colombia.	70
Figura 50. Ventas mensuales de tablas de skateboarding en Colombia.....	71

1. INTRODUCCION

El actual proyecto de investigación tiene como finalidad proponer alternativas de mejoramiento a un problema ocasionado por el uso de fibras sintéticas (Fibra de vidrio y fibra de carbono), en la fabricación de implementos deportivos, específicamente en las tablas de skateboard, debido a que las fibras de vidrio se producen a elevadas temperaturas (1550°C, energía requerida para fundir sílice y otras materias primas para la formación de filamentos de vidrio), incrementando el gasto energético y las emisiones de gases de efecto invernadero (Deng & Tian, 2015). También, algunos problemas de salud se han presentado por la manipulación con fibras de vidrio cuando se están en contacto con la piel humana, provocando una lesión cutánea denominada dermatitis. Además, la mayoría de los residuos de fibra de vidrio terminan en vertederos impactando al medio ambiente por su baja degradabilidad (López, y otros, 2012).

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un compuesto híbrido laminado (madera/fique-poliéster) cuya finalidad principal es aportar una alternativa a los materiales convencionales comúnmente utilizados en la fabricación de tablas de skateboard, se evaluara el comportamiento mecánico del nuevo material mediante ensayos destructivos y se estudiara su desempeño estructural en condiciones de uso como producto por medio del método de los elementos finitos. Este trabajo se centra en el desarrollo de biomateriales siendo naturales los refuerzos utilizados.

Para tal fin, el proyecto se llevó a cabo en 5 etapas En la primera etapa se fabricó el material híbrido mediante técnicas de moldeo por comprensión. En la segunda etapa se realizaron los ensayos a flexión según la norma ASTM D790-10, mientras que la tercera etapa consistió en simular el desarrollo del producto por medio de un prototipo virtual de la tabla. Para finalizar se realizó un estudio de mercadeo para analizar la factibilidad del producto en el mercado.

Con la realización del siguiente proyecto se logró un resultado prometedor, a partir de un material alternativo y viable para la fabricación de tablas de skateboard. Se evidencio un material estructuralmente funcional bajo cargas estáticas en condiciones de uso como producto.

2. ESTADO ACTUAL

El deporte esta llamado para contribuir en los objetivos de desarrollo, salud y paz. La directora general de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) Irina Bokova, expreso que la falta de actividad física provoca cada año 3.2 millones de muertos.

El skateboard es un deporte que consiste en montar y deslizarse sobre una tabla con ruedas y a su vez poder realizar diversos trucos (Soliz, 2010), este deporte se practica con una patineta. Los componentes principales que la conforman son: tabla contrachapada unida en sus extremos por dos trucks y estos unidos a cuatro ruedas por medio de rodamientos.

Los materiales compuestos con los cuales se construyen las patinetas de skateboard están reforzados con fibras sintéticas (Fibra de vidrio y fibra de carbono). Las fibras artificiales como las nombradas anteriormente tienen grandes aplicaciones como refuerzo de plásticos, actualmente se usan en la industria del deporte (Tadeusz & Andrzej, 2013).

Estos materiales compuestos reforzados con fibras artificiales tienen buenas propiedades mecánicas, pero, alto costo, muy baja o nula biodegradabilidad (Tadeusz & Andrzej, 2013), alta intensidad energética para producirlas (Joost R. , Yelin, & Dewulf, 2012), emisiones de gases de efecto invernadero en su fase de producción (Yelin & Yajun, Yelin Deng 1 and Yajun Tian), problemas de salud (Konzen , 2002) y difícil reciclaje (Lopez, y otros, 2012).

El aumento del precio del petróleo y las restricciones sobre el medio ambiente obliga a las industrias a adaptar otros materiales más baratos y amigables con el medio ambiente (Tadeusz & Andrzej, 2013). La fibra de fique es una fibra natural que se extiende a lo largo de las hojas de fique, cuya extracción produce fibra. La fibra de fique o sisal es un refuerzo prometedor para uso en materiales compuestos debido a su bajo costo, baja densidad, alta resistencia específica y modulo, sin riesgo para la salud, fácil disponibilidad en Colombia y renovabilidad. En los últimos años ha habido un interés creciente en encontrar nuevas aplicaciones industriales para materiales compuestos reforzados con fibra de fique que tradicionalmente se utilizan para fabricar cuerdas, tapetes, alfombras, artículos de lujo y otros (Yan , Yiu-Wing, & Lin, 2000).

2.1 Materiales compuestos

2.1.1 Generalidades

En el pasado reciente los materiales compuestos se convirtieron en un tema importante para las soluciones de ingeniería innovadora y toma cada vez más campos de aplicación.

Los materiales compuestos se obtienen al unir dos o más materiales para conseguir una combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales. Los materiales compuestos pueden seleccionarse para lograr combinaciones poco usuales de rigidez, resistencia, peso, rendimiento a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad (Askeland D. R., 1998).

En general, la idea principal que subyace al desarrollo de compuestos es la de combinar las propiedades de distintos materiales para poder obtener unas propiedades finales deseadas llegando a un material de buen desempeño en determinada aplicación.

2.1.2 Clasificación de los materiales compuestos.

En todo material compuesto se distinguen dos componentes o fases: la matriz que rodea, protege y soporta las fibras para protegerlas de las condiciones medioambientales, proteger a las superficies de las fibras contra el desgaste, proteger a las fibras frente a los esfuerzos de compresión y prevenir el pandeo de las fibras (M. Olivares , C. Galan, & J. Roa, 2003). Por otro lado se encuentra el refuerzo: que cumple la función de proporcionar las mayores características mecánicas del material. Las fibras del refuerzo han de ser fuertes, resistentes, rígidas y ligeras. La influencia del refuerzo sobre las características totales del material compuesto es definitiva. Las propiedades del compuesto son función tanto del porcentaje como de la orientación de las fibras (M. Olivares , C. Galan, & J. Roa, 2003), también es muy importante la conectividad de las fases (fase continua y fase dispersa).

Una primera clasificación es la que analiza el tipo de matriz, viene dividida en 3 grandes grupos básicos de materiales compuestos:

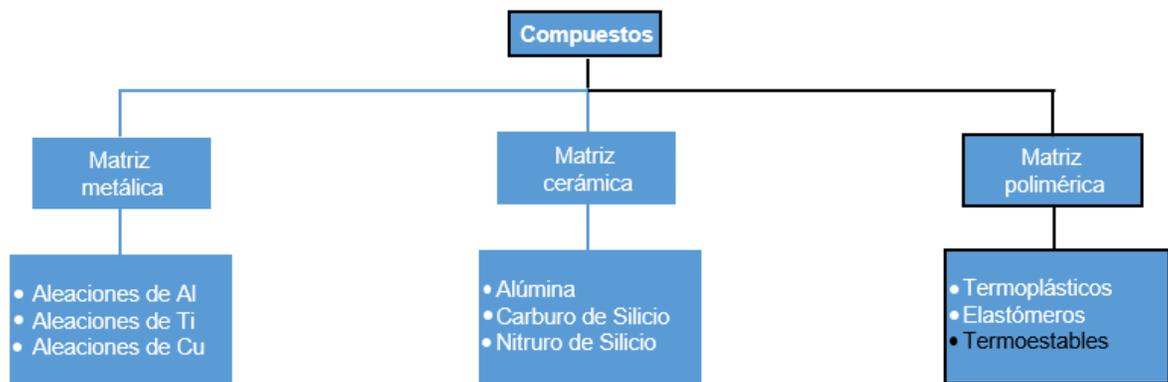


Figura 1. Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de matriz

Dentro de esta clasificación de matriz polimérica resaltamos la participación de los termoestables, Los plásticos termoestables son aquellos que necesitan un agente externo (catalizador) para cambiar su estructura en otra diferente; una vez producida, esta no puede volver a su estado anterior, a diferencia de los plásticos termoplásticos (Andercol S.A., 2017). Son las más empleadas en materiales compuestos de altas prestaciones, en este grupo de termoestables encontramos las siguientes resinas:

- Epoxis.
- Bismaleimidas.
- Poliamidas.
- Fenólicas.
- Poliésteres.
- Clanoesteres.

Las resinas de poliéster son líquidas a temperatura ambiente, las cuales pueden ser llevadas a estados sólidos por medio de la adición de un catalizador (resinas pre-aceleradas); y la adición de un acelerador (resinas no pre-aceleradas). Las resinas se presentan en forma de plásticos termoestables que son los que se emplean en los materiales compuestos.

Entre las resinas de poliéster podemos encontrar como las más comunes: las Ortoftálticas y las isoftálticas. Pre-aceleradas y no pre-aceleradas.

- Ortoftálticas: De uso general en ambientes no agresivos.
- Isoftálticas: Buen desempeño mecánico, resistente al agua y a agentes químicos.
- Isoftálticas con neopentilglicol (ISO-NPG): alta resistencia química y al ambiente (Andercol S.A., 2017).

A continuación, viene una segunda clasificación que es la que analiza el tipo de refuerzo, viene dividida en 3 grandes grupos básicos de materiales compuestos:

- Fibras.
- Partículas.
- Estructuras.

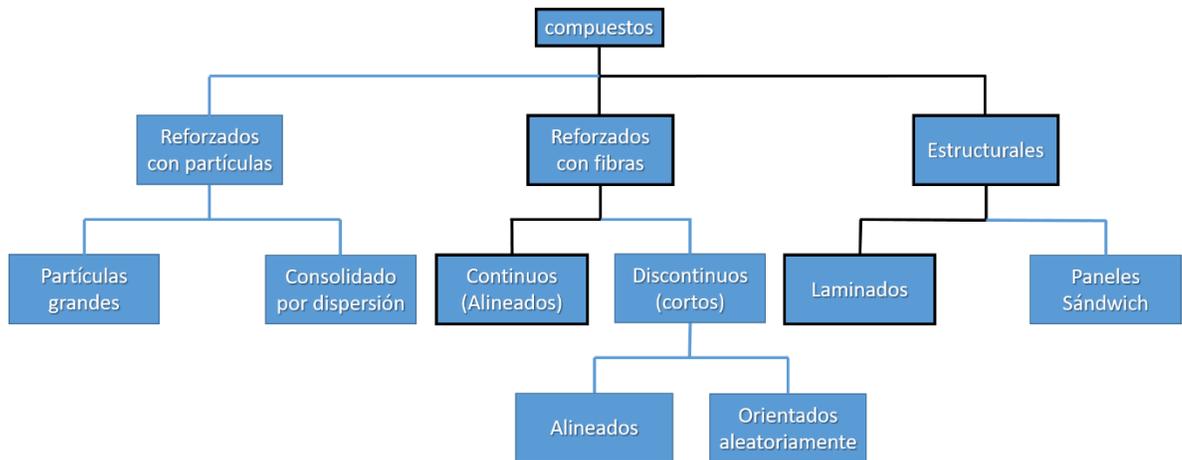


Figura 2. Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo
Fuente: (Mora Borque & Nogueira Lopez, 2007)

Es importante destacar la clasificación de los materiales que van a formar parte en la fabricación de la tabla de skateboard de una manera más detallada.

- **Compuestos fibrosos:** consiste en fibras o filamentos de un material (agente reforzante) y matriz de otro, que suele ser una resina orgánica (Poliéster o epoxi), la matriz envuelve y liga las fibras en otras palabras las fibras se encuentran suspendidas o incrustadas dentro de la matriz polimérica. La orientación, el número total de fibras y la sinergia entre matriz-fibra es la que determina la resistencia mecánica de los compuestos reforzados con fibras.
- **Compuestos laminados:** son compuestos formados por diferentes capas de materiales unidos por un adhesivo orgánico, incluyendo el anterior tipo de compuesto. Está formado tanto por compuestos como por materiales sencillos. El triplay o madera contrachapada (capas alternas de chapa de madera unidas por medio de resina fenólica) es un compuesto laminar.

2.1.3 Fibras convencionales.

Se describirán los dos tipos de fibra más comúnmente utilizados en la industria de los materiales compuestos, las cuales son fibras de vidrio y fibras de carbono, aunque existen otros tipos de fibras que no serán descritas ya que su uso no está generalizado.

- **Fibra de vidrio**

La fibra de vidrio es el material de refuerzo inorgánico más importante para los compuestos reforzados por fibra, esta teoría se ratifica en la fabricación de tablas de skateboard en donde ocupa un porcentaje muy alto en su uso. La fibra de vidrio es un excelente material para ser utilizado como refuerzo, una vez la fibra impregnada de resina, va a dar fuerza y rigidez a la tabla.

La principal ventaja de esta fibra es su alta resistencia a la tensión, alta resistencia química y excelente aislamiento térmico y eléctrico, además tienen una elongación a la rotura superior a las fibras de carbono, por lo que promueve una mayor resistencia al impacto en el compuesto.

La producción de fibra de vidrio se puede segmentar en 2 fases: manejo de materias primas y fundición y refinación del vidrio.

- Manejo de materias primas: el componente principal de la fibra de vidrio es la arena, pero también incluye cantidades variables de celulosa opaca, sulfato de sodio, bórax anhidro, ácido bórico y muchos otros materiales. Desde el almacenamiento, los materiales se pesan de acuerdo con la receta del producto deseado y luego se mezclan bien antes de su introducción en la unidad de fusión.
- Fundición y refinación de vidrio: en el horno de fusión de vidrio, las materias primas se calientan a temperaturas que varían de 1500 a 1700 ° C (2700 a 3100 ° F) y se transforman a través de una secuencia de reacciones químicas al vidrio fundido. En funcionamiento, las materias primas se introducen continuamente sobre un lecho de vidrio fundido, donde se mezclan lentamente y se disuelven. La mezcla se efectúa por convección natural, gases que surgen de reacciones químicas.

La industria usa dos métodos para crear fibras. En el proceso de giro giratorio, representado en la figura 3, la fuerza centrífuga hace que el vidrio fundido fluya a través de pequeños agujeros en la pared de un cilindro que gira rápidamente para crear fibras que se rompen en pedazos por una corriente de aire. Este es el más nuevo de los 2 procesos y domina la industria actual.

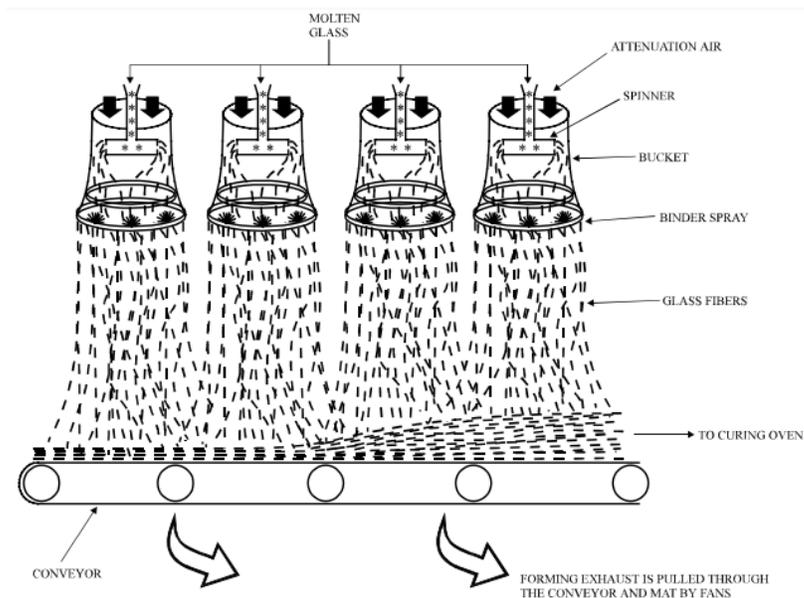


Figura 3. Proceso de giro típico para fabricar fibras de vidrio
Fuente: (Unidos, 2015)

En el proceso de atenuación de llama, el vidrio fundido fluye por gravedad desde un horno a través de numerosos orificios pequeños para crear hilos que luego son atenuados (estirados hasta el punto de romperse) por alta velocidad, aire caliente y / o una llama. Las fibras de vidrio se crean por cualquiera de los dos procesos (Unidos, 2015).

Anteriormente se describió el proceso que se realiza para obtener las fibras de vidrio, ya descrito el proceso de fabricación ahora procederemos a hacer un análisis de los aspectos que influyen de manera poco favorable con el medio ambiente y con las personas que manipulan de forma directa este tipo de material.

Emissiones de gases de efecto invernadero: Las emisiones para la fabricación de fibra de vidrio se pueden categorizar por las 2 fases de producción con las que están asociados.

- **Manejo de materias primas:** Las principales emisiones de la fase de manejo de las materias primas son polvo fugitivo y partículas de materia prima generadas en cada uno de los puntos de transferencia de material. Tal punto sería donde la arena fluye desde una cinta transportadora a un silo de almacenamiento.
- **Fusión y refinación de vidrio:** Las emisiones de fusión y refinación de vidrio incluyen compuestos orgánicos volátiles de la masa fundida, partículas de materia prima arrastradas en el gas de combustión del horno y, si los hornos se

calientan con combustibles fósiles, productos de combustión. La variación en las tasas de emisión entre los hornos se puede atribuir a las diferentes temperaturas de funcionamiento, las composiciones de materias primas, los combustibles y los caudales de los gases de combustión. De los diversos tipos de hornos utilizados, los hornos eléctricos generalmente tienen las tasas de emisión más bajas.

- Aunque actualmente ya existen controles en las emisiones de gases a la atmósfera como filtros de tela, los cuales son efectivos en materia particulada y óxidos de azufre (SO_x) y, en menor medida, en monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y fluoruros. Estos últimos son gases altamente tóxicos que al inhalarlos pueden ser mortal. En general la eficiencia reportada en filtros de tela no es del 100%. (Unidos, 2015).
- **Gasto energético:** los polímeros reforzados con fibra (FRP) mejor establecidos son polímeros reforzados con fibra de vidrio (GFRP), que se utilizan en una variedad de productos. Como logramos apreciar en el proceso de fabricación, la alta temperatura de fusión del vidrio (La producción de fibra de vidrio ocurre entre 1500 ° C a 1700° C) hace que la intensidad energética sea el principal problema ambiental.
- **Problemas de salud:** los problemas de salud más frecuentes inducidos por la exposición a la fibra de vidrio consisten en lesiones cutáneas, conocidas como “dermatitis por fibra de vidrio”. Esta dermatitis fue descrita por primera vez por Sulzberger y Baer en 1942. Además de la enfermedad cutánea, la exposición a fibra de vidrio puede irritar los ojos, la nariz y la garganta, La exposición a altos niveles de fibra de vidrio en el aire, puede agravar el asma o la bronquitis (Konzen , 2002).
- **Problemas de reciclado:** la recuperación y reutilización de las fibras de vidrio de los residuos de fabricación y los compuestos al final de su vida útil de una manera rentable y respetuosa con el medio ambiente, es uno de los desafíos más importantes a los que se enfrenta la industria de los compuestos de polímeros termoestables. Varios procesos para reciclar fibras de dichos materiales están disponibles o en desarrollo. Sin embargo, casi todas las opciones entregan fibras de vidrio reciclado que no son competitivas en cuanto a costos y rendimiento debido a la enorme reducción en la resistencia de la fibra de vidrio reciclada en comparación con su estado original.

La producción mundial de 2015 de materiales compuestos reforzados con fibra excedió significativamente los 10 millones de toneladas. La fibra de vidrio (GF) es el refuerzo más utilizado, en más del 90% de todos estos compuestos, y se consumieron más de cinco millones de toneladas de GF como refuerzo en 2015. De hecho, algunos datos disponibles indican que el consumo de vidrio E

ya podría ser tan alto como siete millones de toneladas cuando se incluyen hilos. Asociado a este consumo global de GF está la producción de 0,5 -1 millón de toneladas de residuos de fabricación de GF, la mayoría de los cuales se depositan en vertederos. Además, aproximadamente el 70% del refuerzo de GF se utiliza para fabricar compuestos de polímeros reforzados con vidrio (GRP) basados en materiales termoestables, que también produce aproximadamente un 15% de residuos de fabricación. Dichos materiales de GRP (tanto el final de su vida útil como los residuos de fabricación) son difíciles de reciclar de manera eficiente e históricamente también han sido eliminados en vertederos. Tal vertido de residuos se está volviendo rápidamente insostenible debido a los desarrollos legislativos y de fijación de precios de vertederos. Hay varios procesos disponibles para el reciclado de compuestos, y el reciclado térmico es probablemente el más avanzado tecnológicamente. Sin embargo, casi todas las opciones entregan fibras de vidrio reciclado (RGF) que adolecen de una falta de rendimiento y una competitividad de costos.

Un desafío técnico crítico en el desarrollo de la tecnología de reciclaje de GRP es la caída del 80% -90% en el rendimiento (y el valor) de RGF en comparación con su estado original. En consecuencia, RGF tiene una relación entre el rendimiento y el costo muy baja y en la mayoría de los casos no son adecuados para el reprocesamiento y la reutilización como un valioso refuerzo para los compuestos. El desarrollo de un proceso económicamente viable para regenerar las propiedades de las fibras de vidrio recicladas térmicamente tendría importantes impactos tecnológicos, sociales, económicos y ambientales. (James , Peter, & Liu, 2016)

- **Fibra de carbono**

En los últimos años la industria de fibra de carbono ha estado creciendo constantemente para satisfacer la demanda de diferentes industrias (Xiaosong , 2009), dentro de las cuales se encuentra la industria del deporte (artículos deportivos). En la fabricación de tablas de skateboard, los compuestos poliméricos reforzados con fibra de carbono ofrecen una rigidez y resistencia altísima, así como una gran dureza en el material de la tabla, sin añadir prácticamente peso, dándole un estilo superior.

Sin embargo, la aplicación de fibra de carbono en la industria deportiva se ha visto obstaculizada debido al alto costo de la fibra. El costo de las fibras de carbono es directamente proporcional al tratamiento térmico al que fueron sometidas, las fibras son muy costosas (el precio de la fibra de carbono simple (Rayón) es de unos 70 € por metro cuadrado). Además, debe mencionarse que el reciclaje de tales materiales es problemático y costoso. La tecnología más prometedora en la

actualidad es separar las fibras y el polímero en un reactor de pirolisis con zinc líquido (University, 2017).

Fabricación y problemática de la fibra de carbono: Los polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP) usan fibras de carbono que requieren una energía considerable para producirla, porque son hechos por pirolisis a 1000-1400 °C para fibras de alto módulo o a 1800-2000 °C para fibras de alta resistencia. El gasto de energía ha disminuido, sin embargo, la intensidad energética para la producción de las fibras de carbono genera considerables impactos ambientales. Una clase prometedora de fibras de carbono, nano fibras de carbono, requiere más energía para producirlas, dependiendo de la materia prima y otros detalles, y generalmente da bajos rendimientos de 15-50%. Una de las principales preocupaciones de las nanofibras es su potencial de toxicidad para los humanos. Aunque probablemente sean menos dañinas en un matriz, las fibras de carbono en el rango de tamaño del nanómetro aumentan las preocupaciones en el área de la salud y el ambiente debido a su gran relación superficie-área y su capacidad para penetrar las células biológicas. (Joost R. , Yelin, & Dewulf, 2012).

Las fibras de carbono presentan en modo general problemáticas muy similares a las descritas anteriormente para las fibras de vidrio, de acuerdo con los criterios de evaluación de impacto ambiental estudiado y los datos disponibles, cuando los compuestos de base biológica puedan proporcionar las propiedades requeridas del material final, serán alternativas válidas con un impacto general reducido en comparación con los materiales convencionales de matriz y fibra sintética. Sin embargo, en términos de mejorar aún más las propiedades del material e investigar los impactos ambientales, todavía hay un amplio margen para futuras investigaciones.

2.2 Materiales biocompuestos.

2.2.1 Generalidades

El objetivo de este capítulo es fomentar la comprensión acerca de los biocompuestos como materiales de ingeniería efectivos que pueden competir con los compuestos tradicionales basados en materias primas derivadas de combustibles fósiles.

Los biocompuestos son materiales compuestos que comprenden una o más fases derivadas de un origen biológico. En términos del refuerzo, esto podría incluir fibras de plantas tales como algodón, lino, cáñamo y similares. Todas aquellas que provengan de un recurso renovable. Las matrices pueden ser polímeros, idealmente derivados de recursos renovables como aceites vegetales o

almidones. Alternativamente, y más comúnmente en la actualidad, los polímeros sintéticos derivados de fósiles predominan y pueden ser termoplásticos "vírgenes" o reciclados como polietileno, polipropileno, poliestireno y cloruro de polivinilo, o termoestables vírgenes como poliésteres insaturados, fenol formaldehído, isocianatos y epóxicos (Fowler, Hughes, & Robert, 2006).

Tras un período excepcional de crecimiento en el uso de matrices de resina sintética reforzada con fibra de vidrio durante los últimos 80 años, en aplicaciones tan diversas, ha surgido el interés y la necesidad de investigar los materiales biocompuestos. Esta tendencia ha sido influenciada por un número de factores, incluyendo mayores preocupaciones ambientales y de salud, métodos de fabricación más sostenibles, un menor consumo de energía, una menor liberación de gases a la atmósfera y un respaldo por el deseo de estructuras más ligeras, así como la posibilidad de desvincular los costos de los materiales del precio fluctuante del petróleo y la energía. Se buscan materiales de recursos renovables para reemplazar no solo el elemento de refuerzo sino también la matriz de materiales compuestos, lo que alivia algunos de los problemas de sostenibilidad asociados con el uso de materiales sintéticos convencionales en compuestos (Fowler, Hughes, & Robert, 2006).

Para este trabajo se utilizara un material biocompuesto híbrido laminar que comprende una sola fase biológica, estamos hablando del refuerzo que por cierto es una fibra de origen vegetal y un adhesivo termoestable conocido como resina de poliéster.

- **Factores que influyen en el rendimiento del biocompuesto**

Muchos factores se combinan para afectar las propiedades de un material compuesto; finalmente, sin embargo, las propiedades de un biocompuesto están dictadas por las propiedades intrínsecas de los constituyentes. Los factores que influyen en las propiedades de los materiales biocompuestos de fibra en gran medida son: la arquitectura de la fibra y la interfaz fibra-matriz.

La arquitectura de la fibra abarca, geometría de la fibra, orientación de la fibra, disposición del embalaje y fracción de volumen de fibra, estos factores controlan las propiedades de muchos compuestos, particularmente las propiedades mecánicas. La interfaz entre la fibra y la matriz también es crucial en términos de rendimiento en el material biocompuesto. La interfaz sirve para transferir cargas aplicadas externamente al refuerzo a través de esfuerzos cortantes sobre la interfaz. Claramente, una buena unión es esencial si las tensiones deben ser transferidas adecuadamente al refuerzo y, por lo tanto, proporcionaría una verdadera función de refuerzo (Fowler, Hughes, & Robert, 2006).

2.2.2 Aplicaciones de los biocompuestos

Hay muchos ejemplos de donde los biocompuestos se han utilizado con éxito en aplicaciones deportivas y de ocio, especialmente para deportes al aire libre donde existe una clara sinergia de marketing con los materiales naturales. Tablas de Snowboards, canoas, tablas de surf y cuadros de bicicleta han sido producidas utilizando materiales de refuerzos de lino tejidos. Las excelentes propiedades de amortiguación de vibraciones del lino también se han visto en combinación con fibras de carbono para artículos deportivos de alto rendimiento que son propensos al impacto, como los equipos de hockey sobre hielo.



Figura 4. Snowboard y canoa fabricadas con tela de lino
Fuente: (Quarshie & Carruthers, 2015)

Los materiales biocompuestos avanzados permitirán soluciones para un mercado en crecimiento y ayudarán a las empresas a cumplir desafíos. La explotación de estos materiales, con propiedades mejoradas, abrirá nuevas oportunidades de mercado, particularmente en aplicaciones donde la ligereza y el desempeño ambiental son consideraciones clave, estos materiales ahora están comenzando a encontrar aplicaciones en un amplio gama de sectores industriales.



Figura 5. Puertas moldeadas con alfombras de 60% de fibra natural en una resina de poliuretano.

Fuente: (Bharath & Satyappa Basavarajappa, 2015)

2.2.3 Fibras naturales como refuerzo

En la mayoría de los casos, las fibras naturales tienen un menor impacto ambiental que las fibras de vidrio debido a la reducción de las emisiones de CO₂ y el consumo de energía durante la producción, además se está generando un impacto positivo en la agricultura con la utilización de fibras como refuerzos en materiales compuestos.

Al final de la vida, los compuestos de fibra natural pueden reciclarse, biodegradarse (cuando se usan con polímeros biodegradables) o pueden incinerarse para la recuperación de energía.

- **Tipos de fibras naturales**

Las fibras naturales son aquellas fibras suministradas por la naturaleza, existe una amplia gama de fibras naturales que se pueden clasificar en tres grupos principales: planta, animal y mineral, ver figura 6. Las fibras más interesantes para los refuerzos compuestos son las plantas, en particular las fibras de líber, hojas y madera. Las fibras de estopa, como el lino, el cáñamo, el fique y el kenaf, se toman del tallo de la planta y se usan más comúnmente como refuerzos en materiales compuestos.

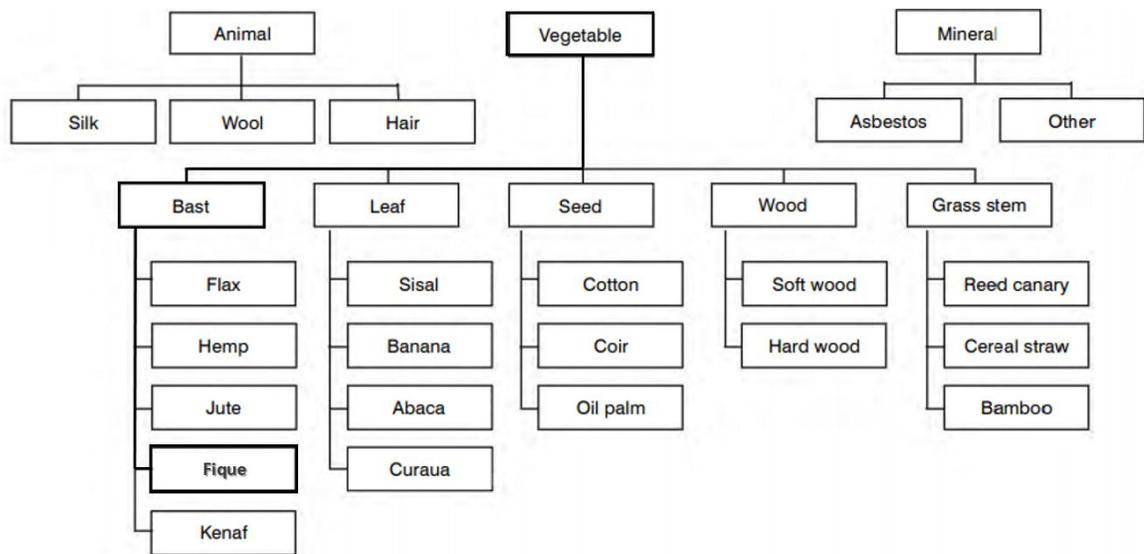


Figura 6. Diagrama de clasificación de las fibras naturales
Fuente: (Quarshie & Carruthers, 2015)

- **Cultivo y cosecha**

La etapa de crecimiento es una etapa importante en la producción de la fibra natural porque tiene una gran influencia en la calidad y consistencia de la fibra. En particular, las condiciones climáticas pueden afectar significativamente la calidad del cultivo y la consistencia entre diferentes ubicaciones. Existe un rango de especies de cultivo para diferentes usos finales y las mejores fibras se obtendrán de aquellas especies que se han seleccionado y criado específicamente para ese propósito.

- **Fibra de fique**

La fibra de fique, es natural de clasificación vegetal colombiana por excelencia, proveniente de las hojas, el cual tiene su origen en la América Tropical, en la región andina de Colombia y Venezuela. En Colombia los principales departamentos productores de fique se ubican en la región andina del país, son 13 departamentos y se calcula en 72 los municipios productores de fique. Sin embargo, los cinco (5) principales departamentos productores Cauca, Nariño, Antioquia, Santander y Boyacá, representan el 99% de la superficie cosechada, estimada en más de 23.000 hectáreas (cdefique, 2006).

- **Obtención de la fibra de fique**

Cuando la planta de fibra de fique supera los 30 y 40 meses de siembra, está lista para el corte de las hojas que forman un ángulo no menor a 45° respecto al eje vertical del tallo; cada año se pueden realizar dos o tres cortes de acuerdo al desarrollo del cultivo. Antes de cumplir veinticuatro horas de cortadas las hojas, se desfibran y se mantiene entre 12 a 15 horas en un tanque y se extiende en tendedores o secadores a razón de 1,1/2 kg por metro lineal, donde permanece uno o dos días para el secado. Finalmente, se agita para desprender las sustancias mucilaginosas que le quedan adheridas; se desenreda y empaca en ramilletes de un kilogramo de peso, y cuando se tienen de 40 a 50 manojos se envuelven para ser transportados.

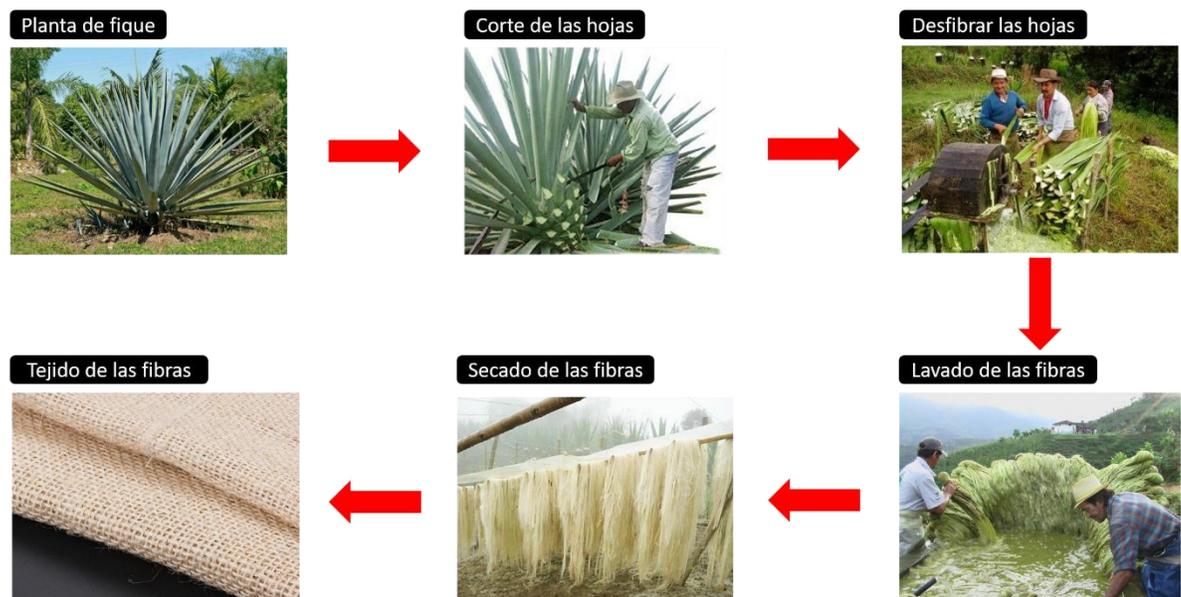


Figura 7. Etapas del proceso de obtención de fibra de fique
Fuente: (Tinjaca Numpaque, Slone Dossman, & Arango Dominguez, 2012)

- **Propiedades de la fibra de fique**

Estudiantes de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Nacional de Colombia, quienes evaluaron por medio de pruebas las propiedades mecánicas del fique las cuales fueron posteriormente comparadas con la fibra de vidrio, encontrando como resultado que la fibra de fique tiene una mayor resistencia. Toda esta investigación abre la posibilidad de considerar la fibra de fique como un sustituto para la fibra de

vidrio en diversas aplicaciones. (Britton Orozco, Garcia, Martinez, Neira, & Vargas Pineda, 2017).

Las características y propiedades de la fibra de fique, se muestran en la tabla 1. Se debe tener en cuenta que estos valores son muy variables y dependen de muchos factores, lo que se pretende es dar una idea aproximada de las características mecánicas y físicas de esta fibra natural.

2.2.4 Métodos de fabricación de biocompuestos

Las técnicas utilizadas para fabricar biocompuestos se basan en gran medida en las técnicas existentes para procesar plásticos o materiales compuestos. Estos incluyen moldeo por compresión, moldeo manual (Hand lay-up), enrollado de filamentos, pultrusión, extrusión, moldeo por inyección, moldeo por transferencia de resina y compuestos de moldeo en láminas.

Para la realización de la tabla de skateboard aplicaremos la técnica de moldeo por compresión, a continuación describiremos el proceso.

- **Moldeo por compresión**

El moldeo por compresión es una técnica bien conocida para desarrollar una variedad de productos compuestos. Es un proceso de moldeo cerrado con aplicación de alta presión. En este método, como se muestra en la figura 8, se usan dos moldes metálicos coincidentes para fabricar productos compuestos. En la máquina de moldeo por compresión, la placa base está estacionaria, mientras que la placa superior es móvil. El material laminado se coloca en el molde metálico y todo el conjunto se mantiene entre la máquina de moldeo por compresión. Las presiones se aplican según el requisito de compuesto durante un período de tiempo definido. El material colocado entre las placas de moldeo fluye debido a la aplicación de presión y adquiere la forma de la cavidad del molde con una gran precisión dimensional que depende del diseño del molde. El curado del material compuesto puede llevarse a cabo a temperatura ambiente o a alguna temperatura elevada. Después del curado, se abre el molde y se retira el producto compuesto para su posterior procesamiento. Si la presión aplicada no es suficiente, dará lugar a una mala adhesión interfacial de la fibra y la matriz. Si la presión es demasiado alta, puede causar la rotura de la fibra y la expulsión de suficiente resina del sistema compuesto. Si el tiempo de aplicación de presión no es suficiente (alto o bajo), puede causar cualquiera de los defectos asociados con una presión insuficiente.

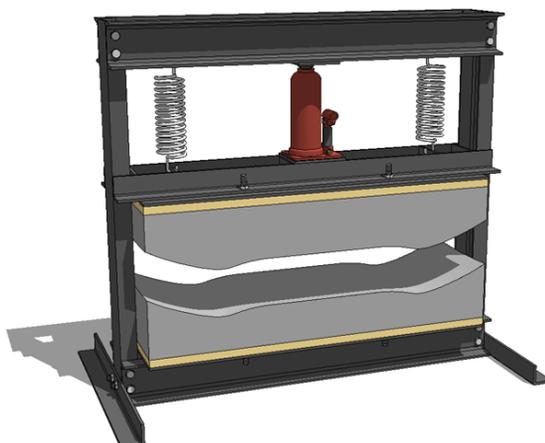


Figura 8. Prensa hidráulica

Fuente: <https://www.pinterest.es/pin/409264684867594483/>

La presurización del laminado cumple además otras importante funciones: remueve el aire atrapado entre capas; compacta las capas de refuerzo pro transmisión de fuerzas, proporcionando laminados más uniformes; evita que la orientación del laminado se modifique duran te el curado; y reduce la humedad.

El molde de prensado tendrá unas dimensiones y características específicas, ya que este es el que dará como resultado la forma definitiva del elemento deseado, para este proyecto el molde será el encargado de darle la forma convexa a la tabla de skateboard.

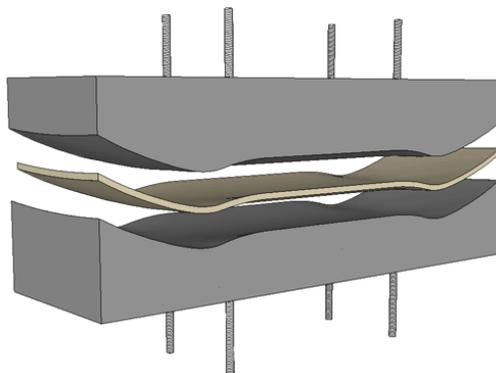


Figura 9. Molde de prensado

Fuente: <http://www.boardroomtech.com/index.asp?pageid=338178>

2.3 Materiales híbridos

2.3.1 Generalidades

Algunos autores definen el término “material híbrido” como aquel que utiliza más de un tipo de material de refuerzo. Los materiales compuestos híbridos pueden formarse utilizando varios tipos de fibras sintéticas o una combinación entre fibras sintéticas y fibras naturales.

Mientras que Ashby dice que un material híbrido es la combinación de dos o más materiales ensamblados con una configuración y escala predeterminada, de tal forma que se generen propiedades o atributos que no son ofrecidos por ninguno de los componentes por sí solos (Ashby & Janes, 1999).

Una definición que abarca el concepto de material híbrido y es la implementada para este tipo de investigaciones es la siguiente, ‘un material híbrido es la unión entre dos materiales (madera-fibra de fique) por medio de un adhesivo (resina poliéster insaturada).

2.3.2 Antecedentes de materiales híbridos

Se realizó una consulta documental de las investigaciones y antecedentes previos que están relacionados con el proyecto planteado. Algunos de estos estudios se mencionan a continuación:

Los biocompuestos híbridos se pueden diseñar mediante la combinación de una fibra sintética y una fibra natural (biofibra) tejida o no tejida en una matriz y una combinación de dos fibras naturales (biofibras) en una matriz. El estudio de las fibras lignocelulósicas ha demostrado que las propiedades de las fibras se pueden utilizar mejor en compuestos híbridos

La hibridación es una estrategia exitosa en el desarrollo de nuevos materiales estructurales. La naturaleza nos muestra el mejor ejemplo del potencial de la hibridación con las conchas de los moluscos. Las conchas están básicamente compuestas por una o más fases cerámicas y una mínima cantidad (entre 0,1 y 5%) de proteínas. Estas fases cerámicas, por ejemplo el carbonato cálcico (CaCO_3), son de naturaleza frágil y no servirían de armadura; sin embargo, cuando se combinan con las proteínas para formar una estructura laminar compleja, el biocompuesto resultante presenta unas propiedades mecánicas excepcionales. La tenacidad a la fractura y la resistencia a la tracción del CaCO_3 monolítico son 20-30 veces menor que la de los biocompuestos de las conchas (Meyers, Chen, Yu-Min Lin, & Seki, 2008).

Los FML (Fibre-Metal Laminates), que son materiales laminados híbridos, como el GLARE, constituidos por chapas muy finas de metal y compuestos poliméricos reforzados con fibras presentan considerables propiedades mecánicas y son altamente utilizados en diversas aplicaciones (Meyers, Chen, Yu-Min Lin, & Seki, 2008).

En el trabajo realizado por (Bengoechea D. , Aretxaga, Aurrekoetxea, & Sarrionandia, 2011) propone un nuevo material híbrido (FWL) constituido por láminas de madera y compuesto de epoxy reforzado con tejido de yute. Este material fue fabricado mediante infusión en vacío. Los autores revelaron que el comportamiento a flexión y a impacto de los FWL depende principalmente de la orientación de la veta de la madera, reforzándolo en la dirección longitudinal y debilitándolo en la transversal. Este trabajo se centró en el desarrollo de FWL renovables híbridos siendo naturales tanto los refuerzos utilizados como parte de la resina para posteriormente buscarle una aplicación.

(Jawaida, Abdul Khail, & Abu Bakar, 2011), estudiaron experimentalmente el comportamiento a la tracción y a flexión de los compuestos híbridos epoxi reforzados con fibras de palma (EFB) y fibras de yute tejido (JW) sometidos a un patrón de estratificación. Los compuestos tipo sándwich se fabricaron mediante la técnica de laminado manual en un molde y se curaron con temperaturas de 105 °C durante 1 h mediante el uso de prensa caliente. Se fabricaron también compuestos de EFB puro para fines de comparación. Los resultados mostraron que las propiedades de tracción y flexión del compuesto de EFB puro pueden mejorarse mediante la hibridación con fibra de yute tejida. Se encontró que las propiedades de tracción y de flexión del material compuesto híbrido son más altas que las del material compuesto de EFB. Este trabajo deja nuevamente de manifiesto la importancia de la hibridación en la mejora de las propiedades mecánicas.

También se investigó acerca de las fibras de fique y como estas pueden aportar significativamente en el campo de los materiales compuestos, a continuación se presentan algunas conclusiones obtenidas en previos trabajos de investigación.

El trabajo realizado por (Hidalgo Salazar & Correa, 2018), muestra entre su estudio la posibilidad de considerar las fibras de fique no tejidas como un material de refuerzo con un alto potencial para la fabricación de biocompuestos termoestables en varias aplicaciones.

Se ha demostrado que los compuestos de polímeros reforzados con fibra natural son competidores para compuestos de polímeros reforzados con fibra de vidrio debido a su resistencia aceptable y bajo costo. Los compuestos de polímeros reforzados con fibra natural proporcionan propiedades mecánicas aceptables a un precio relativamente bajo. Estas fibras tienen muchas ventajas y características

que las hacen atractivas tales como rigides especifica, bajo costo, resistencia al impacto respetuosas del medio ambiente, renovabilidad, biodegradabilidad, fácil procesamiento, alta resistencia especifica, reducido consumo de energía, la no irritación de la piel, el reciclado (Singh Rana, Gupta, & Srivastava, 2017).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Fabricar y caracterizar un material híbrido madera/fique-poliéster para la fabricación de tablas de skateboard.

3.2 Objetivos específicos

- Fabricar el material híbrido mediante técnicas de moldeo por compresión.
- Caracterizar a flexión los materiales híbridos siguiendo la norma ASTM D790-10.
- Moldear por medio de elementos finitos la tabla de skateboard a partir de los datos de flexión.
- Obtener un prototipo de la tabla de skateboard.
- Realizar la factibilidad de mercadeo del nuevo producto.

4. PARTE EXPERIMENTAL

4.1 Materiales

En este punto, se citan las especificaciones de los materiales empleados en la fabricación del material híbrido, madera/fique-poliéster.

4.1.1 Fibra de fique.

El fique es una planta natural nativa de la zona intertropical del continente Americano, que se produce principalmente en Colombia, Venezuela y Ecuador; de dicha planta se extrae una fibra natural de 2.5 m de longitud aproximadamente, utilizada generalmente en la fabricación de productos artesanales, hilos, tejidos, empaques entre otros (Hernandez Barragan, 2013).

La fibra natural de fique a utilizar en este proyecto fue suministrada por la Compañía COHILADOS DEL FONCE LTDA. La fibra de fique tiene trenzados ortogonales.

Tabla 1. Características y propiedades de la fibra de fique

Características y propiedades de la fibra de fique

Diámetro equivalente	0,24mm
Densidad aparente	0,72 gr/cm ³
Densidad específica	1,74 gr/cm ³
Absorción de agua	60%
Resistencia máxima	43-132,4 Mpa
Elongación ultima	9,80%
Módulo de elasticidad	8,65MPa

Fuente: (Muñoz Velez, Hidalgo Salazar, & Mina Hernandez, 2014)

4.1.2 Resina poliéster PALATAL 5346 B.

La resina poliéster utilizada en este proyecto es la PALATAL 5346B que fue suministrada por la empresa BASF chile S.A. Es un poliéster insaturado basado en ácido ftálico y glicoles estándar, disuelto en estireno. Esta resina es de reactividad media, pre acelerada y contiene un agente tixotrópico.

La resina PALATAL 53-46B es apropiada para laminado manual y moldeo por aspersión (spray-up), con una rápida impregnación del material de refuerzo en el laminado manual y sin escurrimientos en laminados inclinados. Está recomendada para la producción de todo tipo de productos reforzados con fibras de vidrio y especialmente para laminados de espesores menores de 5mm. Debido a que la resina es pre acelerada, sólo se requiere la adición de catalizador MECKP (peróxido de metiletilcetona) para realizar el curado. A continuación, se resumen las especificaciones de la resina PALATAL 53-46B.

Tabla 2. Propiedades de la resina PALATAL 5346B en estado de suministro

Propiedades y características de la resina PALATAL 5346B

Aspecto	Claro	
Contenido de sólidos	59%	DIN 5346
Viscosidad	500 Mpa*s	ISO 255
Índice de tixotropía	>1,4	DIN 16 945, 6.2.2.2
Reactividad ¹⁾ 1,1mL MEKP-HA-3 ²⁾		
Tiempo de 25 a 35°C	15min	
Tiempo de 25°C-Tmax	30min	
Tmax	130°C	
Densidad, 20°C	1,1 gr/ml	DIN 53 217
Flash point	34°C	DIN 53 213
Estabilidad, 25°C	6 meses	

1) Tubo de ensayo con 30gr de mezcla de resina y agentes de curado.

2) MEKP-HA-3, Peróxido de Metiletilcetona, Laporte Chemicals.

Fuente: (BASF Chile S.A., 2016)

Al ser muy poco viscosa la resina poliéster PALATAL 5346B, no se necesita la adición de estireno para adelgazarla.

La tabla siguiente presenta las propiedades mecánicas más relevantes de especímenes caracterizados mecánicamente por medio de ensayos destructivos (ensayo a flexión, ensayo a tracción y ensayo al impacto) de la resina poliéster PALATAL 5346B, todos los ensayos realizados bajo normatividad.

Tabla 3. Propiedades de la resina PALATAL 5346 B endurecida sin carga

Propiedades y características de la resina PALATAL 5346B

Densidad, 20°C	119 gr/cm ³	DIN 53 479
Resistencia a la tracción	70 MPa	DIN 53 455
Módulo de tracción	4300 Mpa	DIN 53 457
Elongación a la ruptura	2%	DIN 53 455
Resistencia a la flexión	110 Mpa	DIN 53 455
Modulo en flexión	4300 MPa	DIN 53 457
Resistencia al impacto	10 KJ/m ²	DIN 53 453
Temp de distorsión por calor	66°C	DIN en ISO 75
Dureza Barcol GYZJ 934-1	1,1 gr/ml	STM D 2583

Nota: Propiedades medidas en especímenes de la resina base con un contenido de estireno de 36%.

Fuente: (BASF Chile S.A., 2016)

4.1.3 Catalizador.

El catalizador utilizado para proporcionar el curado de la resina poliéster PALATAL 5346B es peróxido de metil-etil-cetona (también llamado MEK peróxido), adicionando un 2%, según recomendación del fabricante, a temperatura ambiente (20°C a 25°C). El catalizador es un aditivo que se implementa para acelerar el secado de la resina poliéster, ya que sin el MEKP está tardaría en secar varias semanas.

4.1.4 Madera Triplex.

Es una lámina formada por capas de madera superpuesta, las capas de madera son unidas por un proceso de presión y temperatura mediante el uso de adhesivo de resinas con base a fenol-formaldehído que hace que el tablero sea fácil de manipular por su excelente relación peso-volumen, creando un ensamble integral con características de resistencia iguales o superiores a las de la misma madera,

ideal para fabricación de muebles y aplicaciones generales en carpintería y proyectos de autoconstrucción.

4.2 Obtención de probetas del material híbrido

En este primer proceso se llevó a cabo la fabricación del material híbrido mediante las técnicas de laminado manual con rodillo y moldeo por compresión para sus respectivas pruebas mecánicas.

4.2.1 Preparación de materias primas

Para esta parte del proceso se fabricó el material con unas dimensiones de: 19cm de alto por 19 cm de ancho. Dicha medida se recomienda por los fabricantes de la máquina de aglomerados disponible en el taller de soldadura de la Universidad de Pamplona, en la cual se llevó a cabo el proceso de prensado y curado del material híbrido.

Los materiales a utilizarse con sus respectivos pesos en gramos requeridos para la elaboración de un laminado de madera/fique-poliéster de 7 capas de 361cm² son los que se muestran a continuación

Tabla 4. Pesos de materiales empleados para la fabricación de una lámina de material híbrido de 7 capas de (19x19) cm²

Laminado de madera/fique-poliéster de 7 capas de (19x19)cm²	
Madera Triplex	3 láminas de (19x19)cm ² con un peso total de 174 gr
Fibra de fique	4 capas de (19x19)cm ² con un peso total de 101 gr
Resina Poliéster	220,5 gr
Catalizador (MEKP)	4,5 gr

Los proveedores de la resina poliéster PALATAL 5346B recomiendan utilizar entre 1 a 3% de catalizador dependiendo el tiempo de curado que requiera el proceso de fabricación, para el desarrollo de este proyecto se eligió un porcentaje de catalizador del 2%, es decir, 2gr de catalizador por cada 98gr de resina. El cual me garantiza un óptimo tiempo de curado.

Teniendo en cuenta los parámetros anteriormente mencionados, al emplear 220.5gr de resina (esta cantidad de resina es la necesaria para impregnar totalmente la fibra sin excesos sobrantes) en la elaboración del laminado del material híbrido de 7 capas de $(19 \times 19) \text{ cm}^2$ se añadieron 4.5gr de catalizador. En la figura 10 se observa la secuencia de preparación de las probetas del materia híbrido para flexión.



Figura 10. Preparación de materias primas

4.2.2 Proceso de moldeo por compresión

Como se muestra en la figura 13, los tres materiales anteriormente citados (fibra de fique, resina poliéster y madera) se han transformado mediante moldeo por compresión, fabricándose un compuesto híbrido. Se ha controlado la cantidad de resina aplicada con una proporción homogénea entre capas del laminado compuesto. En la figura 11 se observa la secuencia de preparación del material híbrido.

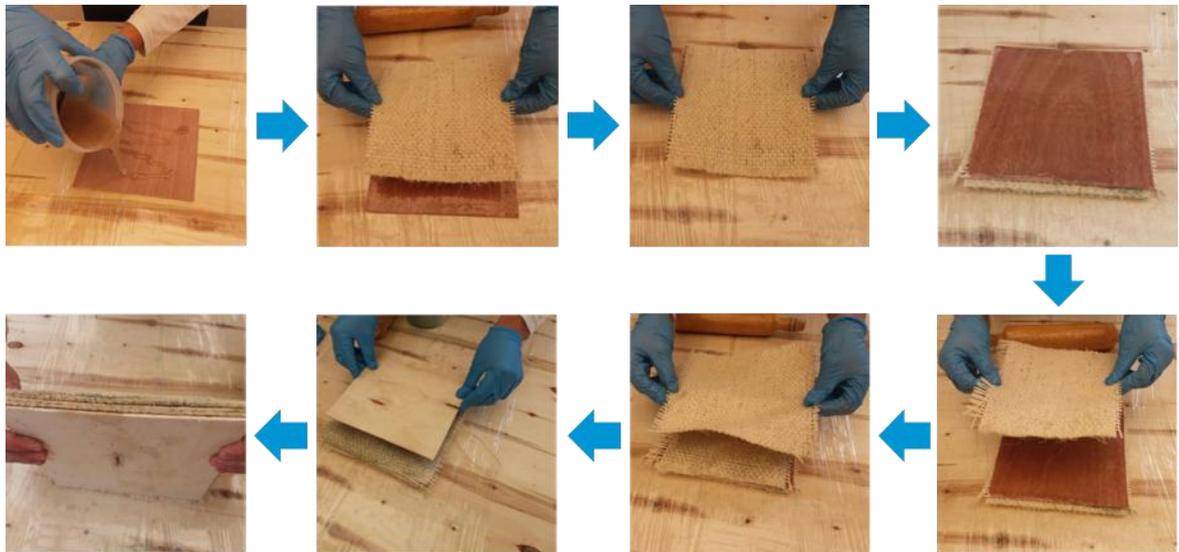


Figura 11. Etapas del proceso de fabricación del material híbrido

- **Variables del proceso de presado**

En este apartado se especifican y describen las variables empleadas en el presado del material híbrido, además se proporcionan ciertas características de la prensa hidráulica.

Las variables a utilizarse con sus respectivos valores requeridos para el presado de un laminado de madera/fique-poliéster de 7 capas de se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Variables empleadas en el proceso de presado del material híbrido de 7 capas de $(19 \times 19) \text{ cm}^2$

presado de madera/fique-poliéster de 7 capas de $(19 \times 19) \text{ cm}^2$

Maquina utilizada	Prensa hidráulica
Presión aplicada	20Mpa o 9Ton
Tiempo de presado	24 horas
Temperatura	Temperatura ambiente

En la figura 12, se aprecia la ubicación del material híbrido en el mole de la prensa hidráulica, así como la presión aplicada, la cual se dejó constante por un periodo de 24 horas a temperatura ambiente.



Figura 12. Montaje del material híbrido en la prensa hidráulica

En la figura 13, se puede apreciar el resultado obtenido luego del proceso de prensado, para el laminado de $(19 \times 19) \text{ cm}^2$; para su posterior cortado.



Figura 13. Material híbrido de 7 capas de $(19 \times 19) \text{ cm}^2$

Luego de obtener la lámina del material híbrido de 7 capas, se cortan las probetas basadas en la normativa ASTM D790-10. Además, según la norma mencionada se deben obtener cinco probetas para realizar el ensayo.

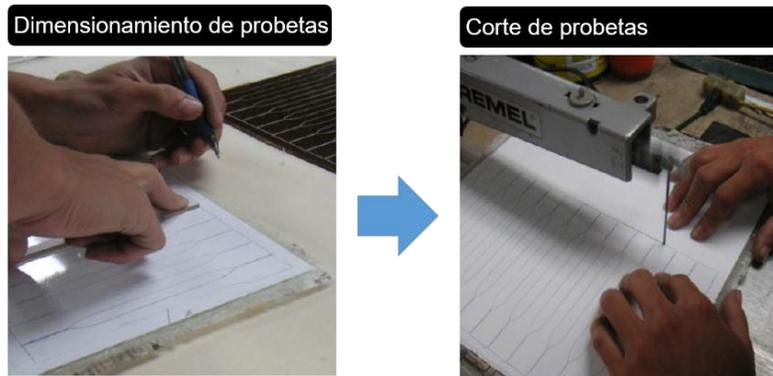


Figura 14. Corte de las probetas dimensionadas según la norma ASTM D790-10

En la figura 15, se puede apreciar el resultado final del proceso de corte, que es la obtención de las probetas.

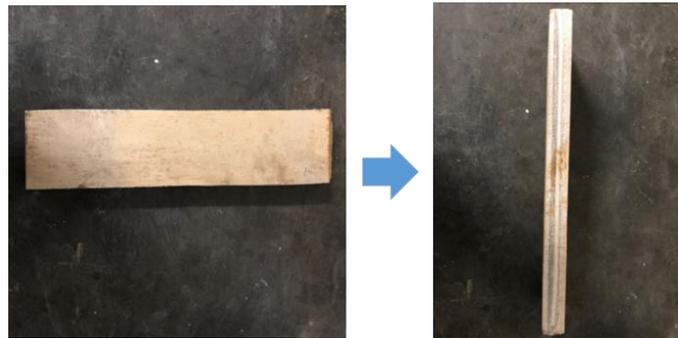


Figura 15. Probetas de material híbrido obtenidas en el proyecto

4.3 Métodos de caracterización

4.3.1 Pruebas de flexión

Después de haber obtenido las probetas normalizadas se procede a la realización del ensayo a flexión, para el cual se va a utilizar la máquina universal SHIMADZU UH-600KN disponible en el laboratorio de materiales de la Universidad de Pamplona.

- **Condiciones empleadas para las pruebas de flexión**

En este apartado se describen las condiciones que se utilizaron en el ensayo a flexión según la norma ASTM D790-10, además se proporciona cierta información de la máquina universal.

Los parámetros a utilizarse con sus respectivos valores requeridos para el ensayo a flexión de las probetas normalizadas según la norma ASTM D790-10 son los que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Condiciones empleadas en el ensayo a flexión de tres puntos según la norma ASTM D790-10

Principales condiciones de ensayo según la NORMA ASTM D790-10

Maquina utilizada	SHIMADZU UH-600KN
Numero de muestras	Al menos 5 especímenes
Velocidad de ensayo	1,2 mm/min
Ancho	48mm
Espesor	12mm
Tipo de material	Cuerpo plano

Fuente: Norma ASTM D790-10

- **Montaje de la probeta en la máquina universal de ensayos**

En la figura 16 se aprecia la manera en que se procede a montar la probeta en la maquina universal, la ubicación de la probeta en los apoyos es determinado por la norma ASTM D790-10.



Figura 16. Montaje de la probeta para ensayo a flexión
Fuente: Autor

Los parámetros a medir en un ensayo a flexión son los que se muestran en la siguiente curva esfuerzo-deformación.

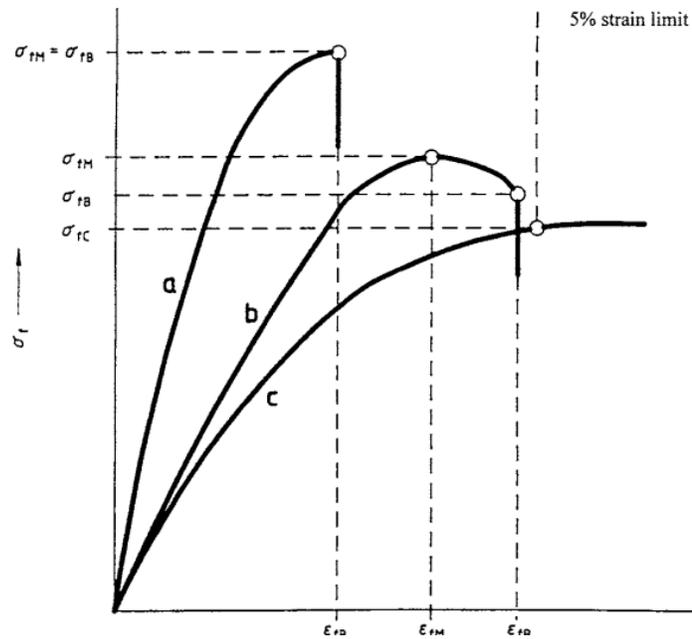


Figura 17. Curva típica de esfuerzo a flexión versus deformación en materiales compuestos
Fuente: Norma ASTM D790-10

En materiales rígidos el esfuerzo máximo (σ_{tM}) puede ser igual al esfuerzo de ruptura (σ_{tB}), es decir el materia rompe antes de ceder o presentar deformaciones considerables, es por esto que los límites de fluencia y ruptura pueden esencialmente ser los mismos.

De la curva esfuerzo-deformación se obtienen varias propiedades mecánicas que determinan el comportamiento estructural del material, estas propiedades son importantes a la hora de diseñar, algunas de estas propiedades se nombran a continuación.

E: Modulo de elasticidad del material.

σ_{tM} : Esfuerzo de flexión máximo.

σ_{tB} : Esfuerzo de fluencia.

ε : Deformación unitaria.

4.3.2 Propiedades físicas.

Se caracterizó la densidad del material compuesto híbrido madera/fique-poliéster según la norma ASTM 792-91. Este cálculo de densidad permite determinar qué tan ligero resulta el material y será utilizado en la simulación del prototipo virtual de la tabla de skateboard.

4.4 Simulación por elementos finitos.

El desarrollo de la simulación se basa en el comportamiento estructural de una tabla de patineta, fabricada con el material híbrido madera/fique-poliéster sometida a cargas estáticas, por medio del método de los elementos finitos, utilizando el SOFTWARE ANSYS, habiéndose dibujado la geometría (CAD) en el software solidworks. El objeto de estudio es determinar si el materia híbrido supera las condiciones de diseño a las que va a estar sometido como producto.

Se seleccionó una patineta longboard tipo vanguard, ver figura 18, como modelo base a moldear. Los parámetros geométricos de la patineta se tomaron directamente de LOADED BOARD empresa fabricante del producto. Mirando las tendencias del mercado actual se toma la decisión de hacerle algunas modificaciones a la geometría de la tabla vanguard, Ver anexo 4.

La vanguard utiliza un borde parabólico para conseguir maniobrar de forma muy rápida y sensible, con muchas posibilidades de “micro control” y un suave tacto (KYLE CHIN).



Figura 18. Longobardo tipo Vanguard
Fuente: Empresa Loaded

Teniendo ya establecidas las predicciones de las propiedades mecánicas, físicas y los parámetros geométricos del material del prototipo se procede a la realización de la simulación en el programa ANSYS, en este proceso se analizará el comportamiento mecánico del material híbrido madera/fique-poliéster en tablas de skateboard al ser sometido a condiciones de uso y ver así como responde a dichas situaciones.

- **Programas utilizados para la simulación de la tabla de skateboard**

Los programas a utilizarse con sus respectivas versiones requeridas para la simulación y análisis del producto son los que se muestran en la tabla 9.

Tabla 7. Softwares empleados en el proceso de simulación del prototipo virtual de la tabla de skateboard

Programas para la simulación del prototipo virtual de la tabla		
Ansys	V.16.0	
Solidworks	2017	

Fuente: Autor

4.4.1 Análisis del sistema estático estructural.

El software Ansys trabaja por bloques dependiendo del sistema a analizar, estos bloques contienen componentes necesarios para completar el análisis del

proyecto. Cada componente se debe completar antes de poder continuar hacia el siguiente paso del indicador, en la figura 19, se observa los parámetros a tener en cuenta.

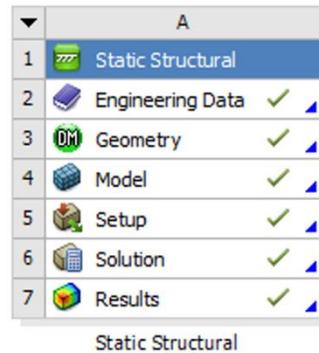


Figura 19. Pasos para realizar un análisis estático estructural en Ansys

A continuación se van a especificar cada una de las acciones a considerar para realizar el proceso de simulación.

- **Datos del material**

Como primer caso se configuran los datos de ingeniería del sistema, se ingresa en la interfaz del componente numero dos (Engineering Data), ver figura 19. En donde, se pueden editar los datos de los materiales. Como el material híbrido madera/fique-poliéster no está registrado en la biblioteca de materiales de la herramienta ANSYS se hace necesario crear un material desde cero con propiedades específicas, las cuales se obtuvieron en los ensayos de flexión y en la mediciones del cálculo de la densidad como se evidencia en la figura 20.

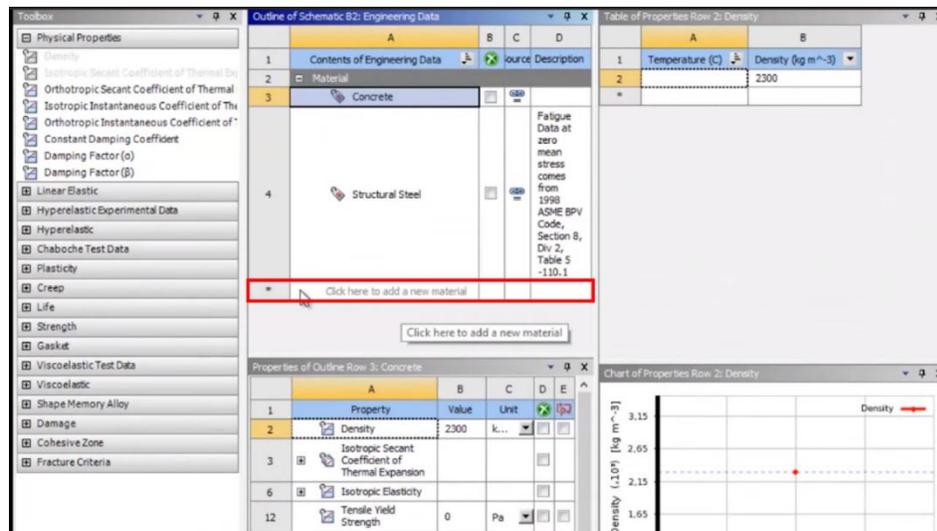


Figura 20. Interfaz del engineering data para crear un nuevo material con propiedades específicas

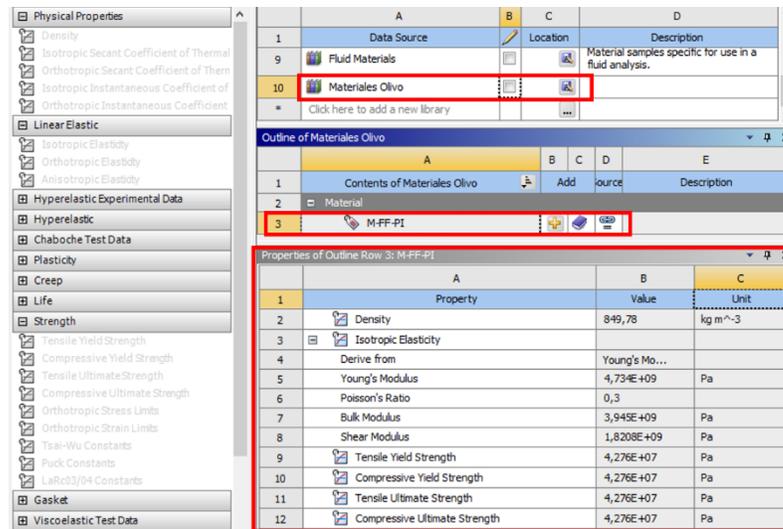


Figura 21. Asignación de valores para cada propiedad específica del material híbrido

- **Definición geométrica del CAD.**

Es necesario realizar un modelado de las piezas del producto para posteriormente hacer uso de la simulación virtual en Ansys. Solidworks es el programa utilizado para realizar el modelado 3D de la geometría de la tabla skateboard.

Una vez decidido el nivel de detalle y los parámetros geométricos que el producto se procede a la realización del diseño mediante la herramienta de modelado en 3D Solidworks. Esta herramienta permite exportar el CAD al software Ansys.

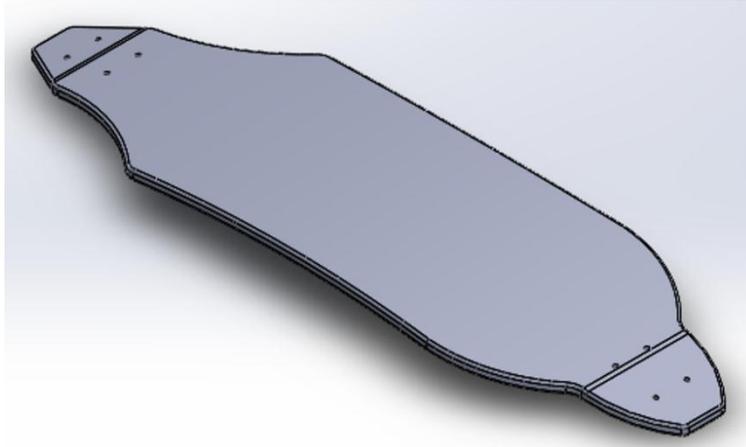


Figura 22. Modelado 3D de la geometría de la tabla por medio del software Solidworks

- **Modelado**

Después de haber configurado nuestra geometría, el siguiente paso es realizar la simulación del modelo, dentro de la simulación del modelo existen tres procedimientos fundamentales a realizar. Todo este proceso se realiza en la interfaz Mechanical de Ansys.

Para esta parte del proceso se asigna un material a la geometría de la tabla, se definió el material híbrido con sus respectivos parámetros y se le fue asignado al CAD.

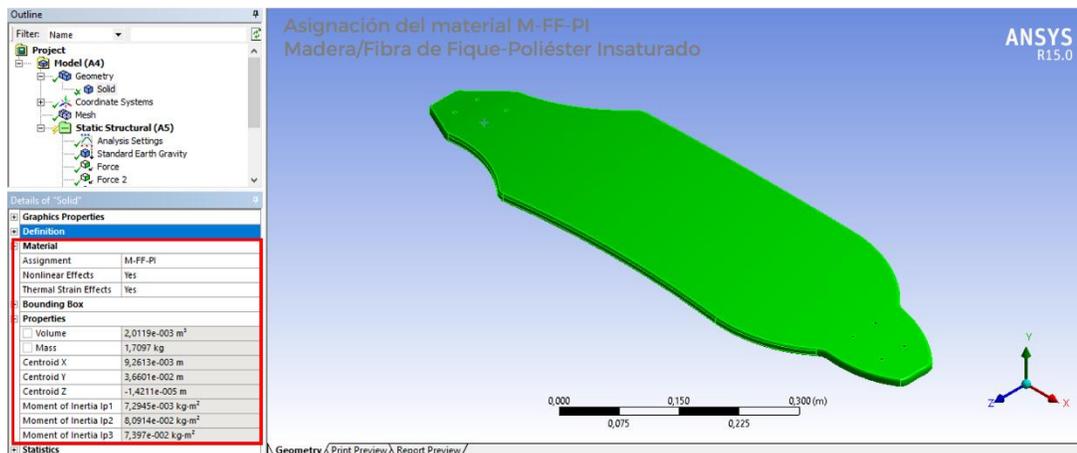


Figura 23. Asignar el material a la geometría

Para el cálculo de elementos finitos es necesario representar las geometrías deseadas mediante elementos finitos conectados. Estos elementos finitos deben

reproducir fielmente la geometría del sistema continuo formado por la pieza diseñada. Al mismo tiempo se debe buscar un compromiso entre el número de elementos finitos que se va a crear, suponiendo que mayor número de elementos implica mayor detalle del diseño (Valls Fuster, 2016).

Utilizaremos un método de mallado avanzado, basado en proximidades y curvaturas, ver figura 24, este proceso es realizado con la herramienta encargada de realizar el mallado de las piezas que lleva incorporado el software ANSYS.

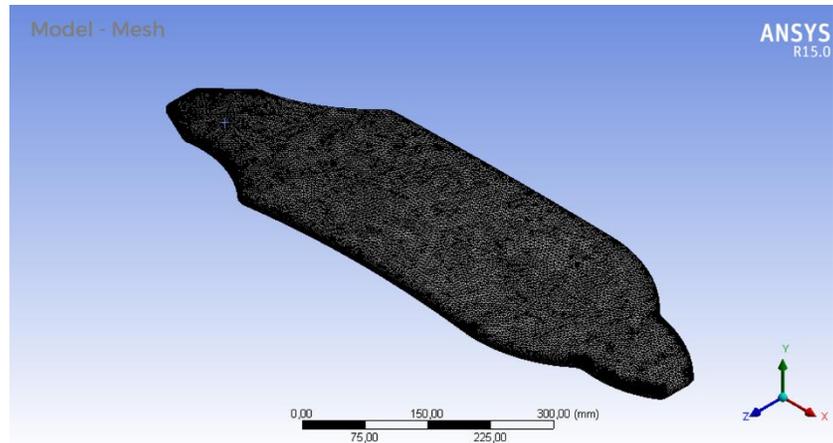


Figura 24. Mallado final de la geometría de la tabla por medio del software Ansys

En la tabla 8 se muestran las características más relevantes del método de mallado utilizado en este proyecto.

Tabla 8. Características del enmallado para la tabla de skateboard

Características del enmallado	
Tamaño de la malla	Fino
Número total de nodos	658327
Número total de elementos	431432
Coficiente de aspecto	1,85853
Tiempo computacional	219,2 s

El siguiente paso es establecer las cargas y soportes, la tabla soporta directamente el peso del usuario, para delimitar la masa promedio de dicho usuario se recurrirá al instituto nacional de estadística, allí se muestra según datos tomados que el valor medio de la masa de los varones es de 77Kg entre 20 y 34 años de edad. Para la solución de este trabajo, el valor de la carga que se empleara como referencia para representar el efecto de un usuario sobre la patineta será de 80kg.

$$F = \text{Masa} * \text{gravedad (N)} \text{ Ecuacion 2}$$

$$F = 80Kg * 9,8066 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 785N$$

Se ha asumido una carga constante de $F=784N$ actuando en la tabla de la patineta, considerando una situación donde la persona que pesa 80kg está de pie sobre la patineta con ambos pies en la tabla posicionados simétricamente. Por consiguiente se divide la fuerza total entre dos:

$$F_D = 392,5N$$

En la figura 26, F_D es la mitad del peso de la persona que se asumió de 80kg, esta fuerza vertical F_D se aplicara dos veces sobre la geometría de la tabla, simulando el peso total del skater distribuido entre sus dos pies. Específicamente se aplicaran sobre la cara superior de la tabla, la cual puede ser considerada como una viga soportada cerca a sus extremos. La distancia d es la longitud total de la tabla.

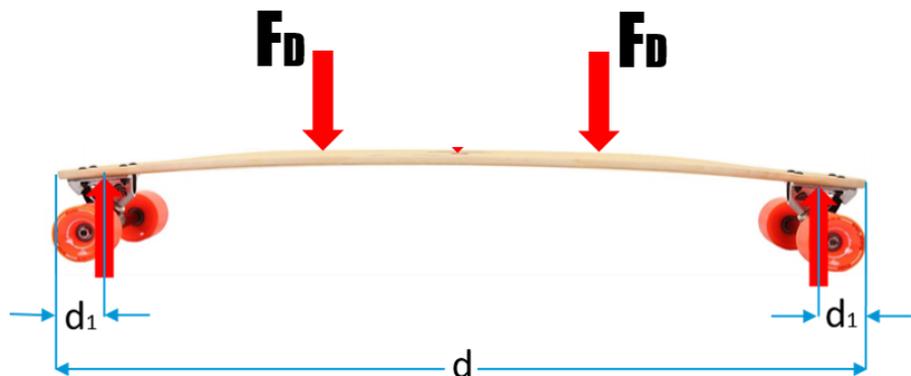


Figura 25. Diagrama de fuerzas que actúan sobre la tabla de skateboard

Fuente: Autor

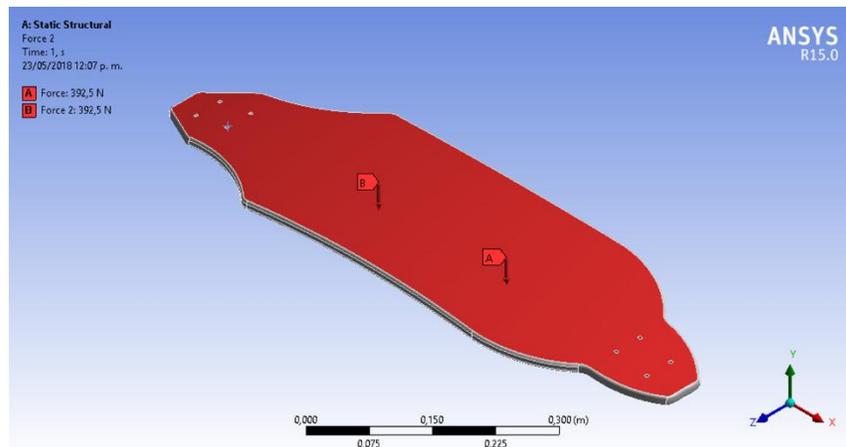


Figura 26. Ubicación de las fuerzas en la geometría de la tabla de skateboard

Se debe restringir el modelo de modo que no se mueva infinitamente en el proceso de simulación, para eso se va a la parte de soportes, los cuales como vemos en la figura 25 están ubicados a una distancia d_1 de los extremos, para este caso se utilizarán soportes fijos en las herramientas de ANSYS. Esto hace que a la parte que le asignemos los soportes no pueda moverse en todo el diseño.



Figura 27. Puntos de aplicación de cargas en la tabla de skateboard
Fuente: Autor

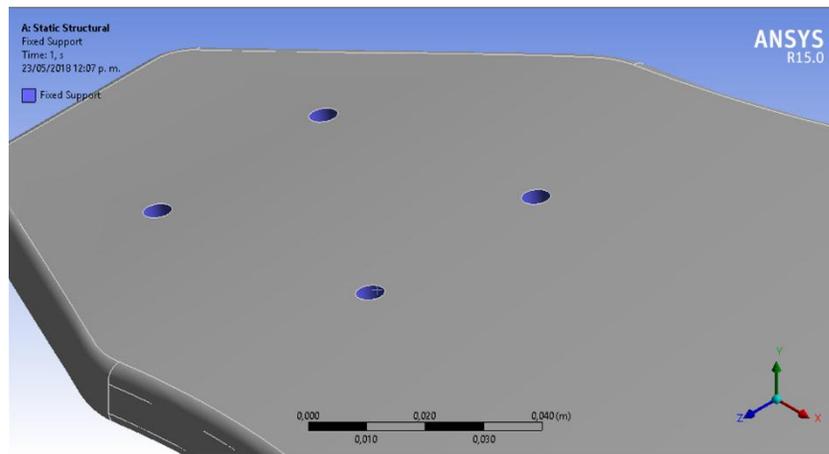


Figura 28. Soportes fijos de la tabla de skateboard

El último paso del proceso es hacer algunas configuraciones, como por ejemplo el tiempo de aplicación de la carga, la variación de la magnitud de la carga con el tiempo, entre otros parámetros. Al tratarse el estudio de un análisis estático estructural, solo se realizara el análisis estático de la tabla de skateboard.

5. ANALISIS DE RESULTADOS.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de los métodos de caracterización que se llevaron a cabo para estudiar la viabilidad del material propuesto madera/fique-poliester para la fabricación de una tabla de skatebooard.

5.1 Resultados de la caracterización a flexión

Los resultados de las pruebas a flexión realizados a las probetas obtenidas en el procedimiento descrito en la sección 4.2, se observan en la tabla 9. Es preciso mencionar que los resultados de las pruebas a flexión son el resultado del

promedio de 5 pruebas como lo estipula la norma ASTM D790-10, teniendo en cuenta que las proporciones de la cantidad de fibra en porcentaje fueron del 20,2% y la cantidad de madera en porcentaje fueron del 34,8% correspondiente al material híbrido madera/fique-poliéster.

Tabla 9. Propiedades mecánicas del material híbrido madera/fique-poliéster

Propiedades del material híbrido	
Módulo elástico	4734 N/mm ²
Máxima carga	1506,3 N
Máximo desplazamiento	7 mm
Máximo esfuerzo	62,8 N/mm ²
Máxima deformación	1,40%

El comportamiento a flexión del material híbrido madera/fique-poliéster se muestra en la gráfica esfuerzo-deformación, ver figura 29.

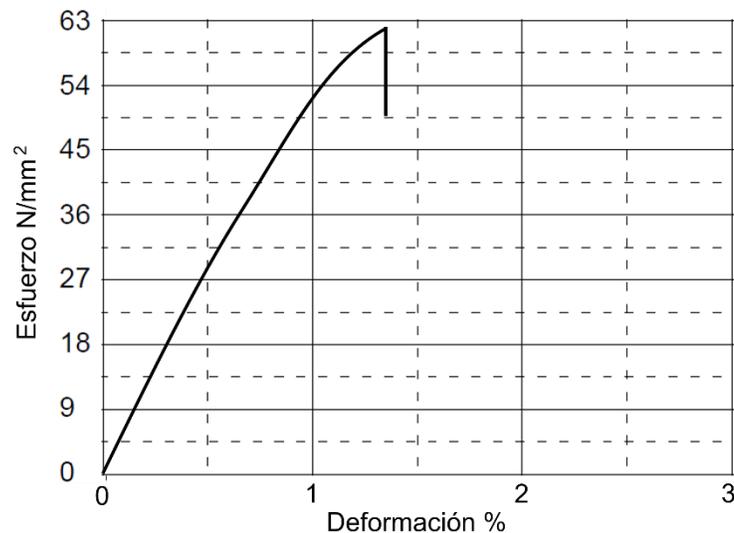


Figura 29. Curva esfuerzo-deformación del material híbrido madera/fique-poliéster

Como se observa en la gráfica de esfuerzo–deformación para el híbrido, se presenta un comportamiento del material elástico lineal, con lo cual se analizaron varios factores obtenidos del ensayo con relación a la estructura de los materiales que conforman el híbrido. En primer lugar, el módulo de elasticidad que representa la rigidez del material está influenciado por la presencia de madera, como bien

sabemos el comportamiento de este material natural es de carácter frágil, pero con muy buenas propiedades en flexión. Por otro lado, el valor del esfuerzo máximo a la ruptura (62,8 MPa), se debe analizar por el fenómeno de delaminación que sufre el híbrido durante la aplicación de la carga por flexión, debido a la participación de la resina de poliéster, que para tal fin en la mezcla, actúa como material adhesivo entre la fibra natural y la madera. El carácter frágil del material, se debe a la naturaleza propia de los constituyentes en lo que está compuesto el híbrido.

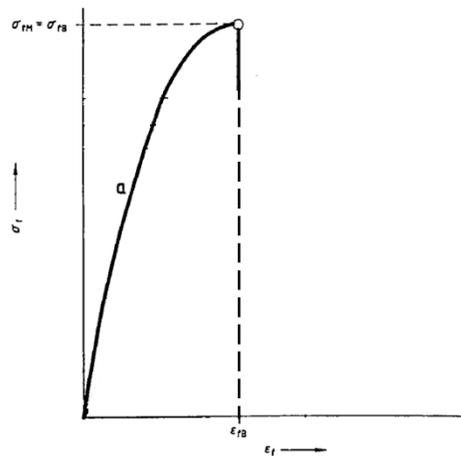


Figura 30. Curva esfuerzo-deformación para un material rígido

Fuente: Norma ASTM D790-10

En este sentido (Hidalgo Salazar & Correa, 2018), estudiaron las propiedades mecánicas a flexión de compuestos reforzados con fibra de fique. Los autores informan que los biocompuestos (LLDPE-Fique, EP-Fique) mejoraron la resistencia a la flexión (FS) y el módulo a flexión (FM). De hecho, la adición de fibras de fique conduce a un aumento en la resistencia a la flexión (98 Y 200%) y en el módulo a flexión (20 y 300%) para LLDPE-Fique y EP-Fique, respectivamente, en comparación con LLDPE y EP puro. Del mismo modo también revelaron que la deformación de los materiales biocompuestos se reduce considerablemente debido a la baja capacidad de deformación de la fibra de fique.

En la figura 31 se aprecia las condiciones de las probetas del material híbrido madera/fique-poliéster después de realizados los ensayos a flexión.

Se produce la ruptura en la superficie de la muestra de prueba, es decir el máximo esfuerzo en el material, es producto de la máxima carga que sufre el material debido a las tensiones que se forman por la parte inferior de la probeta.



Figura 31. Probetas de material hibrido madera/fique-poliéster después de realizados los ensayos de flexión

Fuente: Autor

5.2 Resultados de las mediciones para el cálculo de la densidad.

Los resultados de la caracterización física realizados al material hibrido madera/fique-poliéster según la norma ASTM 792-91 se observan en la tabla 10.

Tabla 10. Propiedad física del material hibrido madera/fique-poliéster

Propiedad física del material hibrido	
Densidad	849,8 Kg/m ³

5.3 Resultados de la simulación en ansys del proprototipo virtual de la tabla de skateboard en el material hibrido madera/fique-poliéster

En el siguiente apartado se analizan los resultados obtenidos en el procedimiento de simulación en Ansys descrito en el capítulo 4.4.

A continuación se presentan los resultados finales del desempeño estructural del material hibrido madera/fique-poliéster en tablas de skateboard al ser sometido a condiciones de uso.

5.3.1 Resultados de deformación total.

Los resultados de la simulación con respecto a la deformación total producida en la tabla, a partir de dos cargas puntuales aplicadas sobre su superficie superior, simulando el peso que ejerce una persona promedio sobre este elemento. El valor máximo de la deformación es de 0,97047mm, ver figura 32.

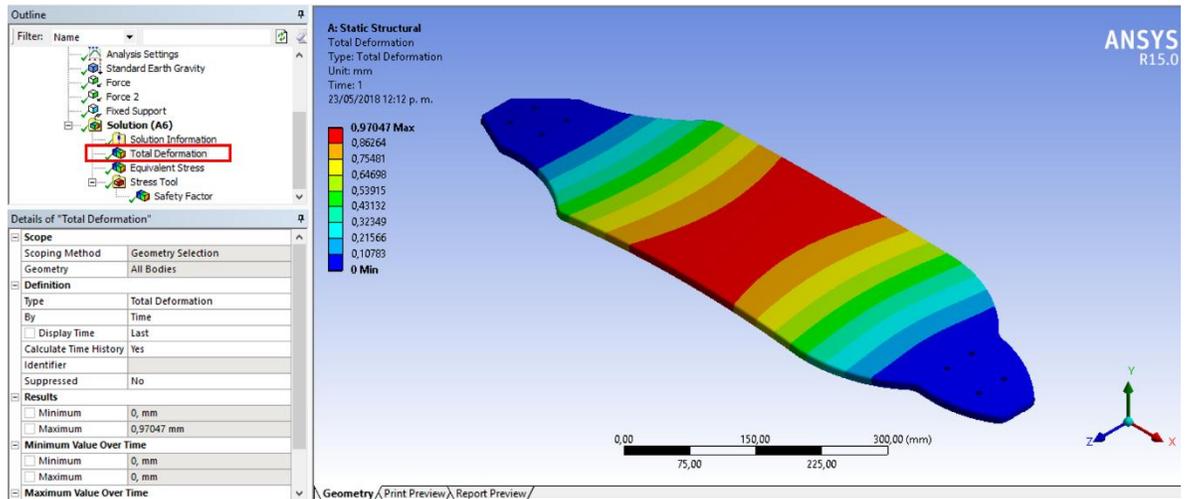


Figura 32. Deformación total en tabla de skateboard

Posteriormente se visualiza la deformación total desde una vista lateral de la tabla de skateboard. Las deformaciones máximas están situadas en el centro de la tabla y se identifica por medio de color rojo como se muestra en la figura 33.

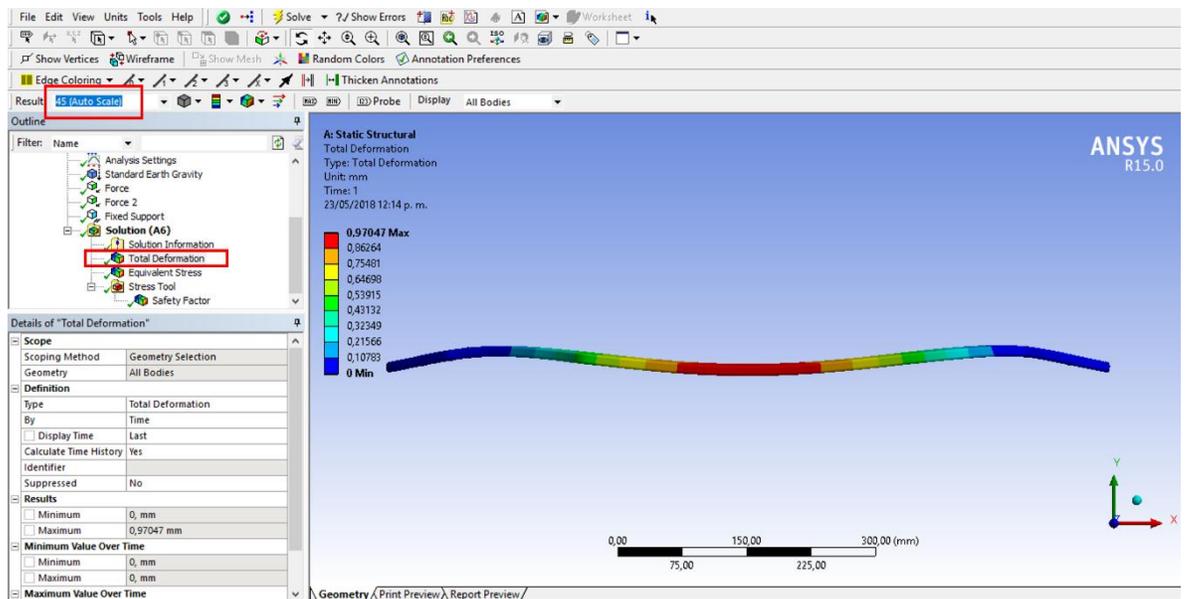


Figura 33. Deformación total de la tabla de skateboard desde una vista lateral

Como se analizó en el apartado anterior el material híbrido madera/fique-poliéster presenta un comportamiento rígido, como resultado de esta propiedad la tabla de skateboard se deforma poco cuando la sometemos a una carga externa.

5.3.2 Resultados de máximos esfuerzos soportados.

Los esfuerzos máximos que está soportando la tabla de skateboard fabricada con el material híbrido madera/fique-poliéster al estar sometida a cargas estáticas, nos da como resultado un valor del máximo esfuerzo de 15,32Mpa, ver figura 34.

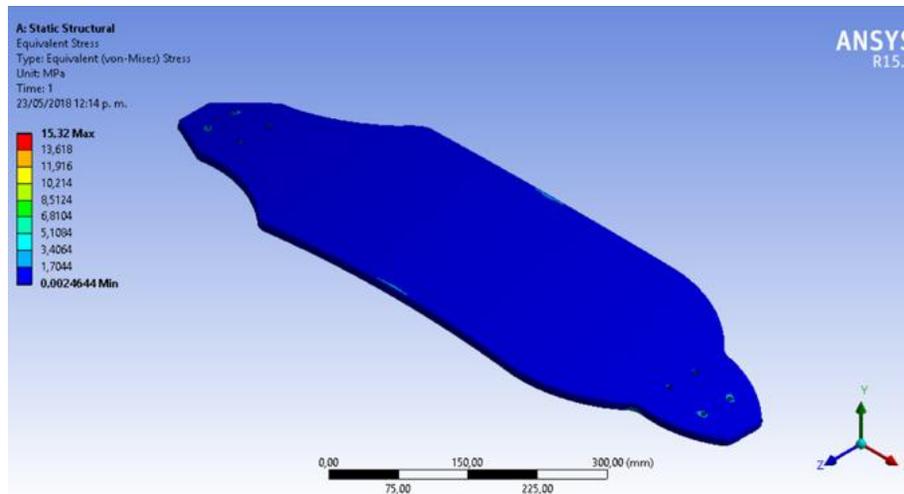


Figura 34. Diagrama de esfuerzos soportados por la tabla de skateboard

Como se puede concluir de los resultados obtenidos, este elemento deportivo no sufre daños debido a la aplicación de dos cargas puntuales estáticas aplicadas sobre su superficie superior, simulando una masa de 80Kg. Según los datos arrojados por la simulación se observa que en ninguna zona se alcanza un estado de esfuerzo que exceda el límite elástico del material (62,8Mpa) y por tanto tampoco se excede el límite de flexión o la resistencia a la flexión máxima. Por lo cual el material híbrido resiste las condiciones estáticas de uso a las que va a estar sometido como producto, es decir, el material como producto soportaría los esfuerzos estáticos en las zonas más críticas sin llegar a fallar.

A continuación se observan algunas de las zonas en donde la tabla de skateboard está soportando los esfuerzos más considerables. El diagrama de esfuerzos permite visualizar las zonas más críticas, en la figura 35 se pueden distinguir tres zonas en las cuales existen las mayores concentraciones de esfuerzo: Los extremos de la tabla donde van ensamblados los trucks más exactamente en los orificios, los extremos laterales con referencia al centro de la tabla en donde el

nivel de carga es máximo y por último la zona correspondiente al cambio de sección entre la nariz y la zona ancha de la tabla.

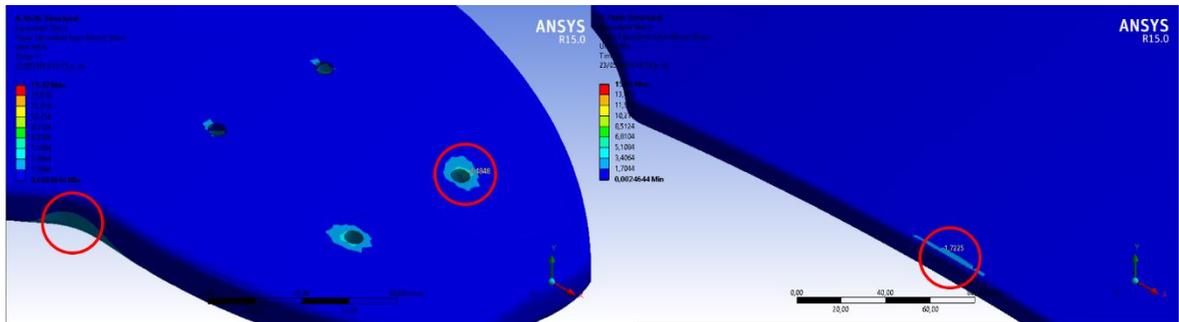


Figura 35. Zonas de concentración de máximos esfuerzos

5.3.3 Resultados del factor de seguridad.

Otro parámetro importante que suministra esta aplicación, es el factor de seguridad presente en las diferentes zonas de la tabla de skateboard al estar sometida a cargas puntuales. Estos valores contribuyen a disminuir la falla del material por sobrecarga. Se obtiene de la simulación los factores de seguridad máximo y mínimo que corresponden a 15 y 2,79 respectivamente como se muestra en la figura 36.

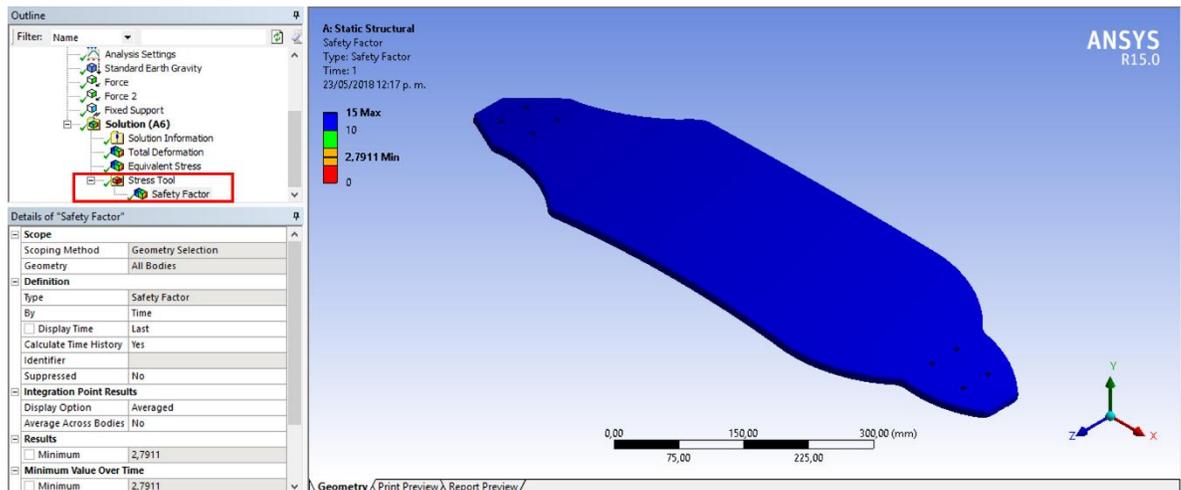


Figura 36. Factores de seguridad en la tabla de skateboard

Naturalmente, el factor de seguridad debe ser mayor que 1.0 para evitar fallas en los elementos, según los resultados obtenidos las cargas o esfuerzos estáticos

que la tabla de skateboard es capaz de soportar son mayores a los esfuerzo aplicados en funcionamiento bajo ciertas condiciones de carga aplicada. Es decir, los factores de seguridad estáticos obtenidos están asegurando la integridad del elemento en su funcionamiento.

5.4 Obtención del prototipo de la tabla de skateboard

En esta parte del trabajo se describirá y mostrara todo el proceso que se llevó a cabo para la obtención del prototipo de la tabla de skateboard mediante la técnica de moldeo por compresión. Método descrito anteriormente en el proceso de obtención de probetas, se llevara a cabo de forma similar en este proceso para la fabricación del prototipo.

5.4.1 Preparación de materias primas

En este apartado se describen los materiales y herramientas que se utilizaron en la fabricación del prototipo de la tabla de skateboard. El proceso se inicia con las dimensiones de: 92cm de largo por 30cm de ancho. Estas medidas se toman como base de la geometría establecida por la empresa LOADED BOARDS fabricante de la patineta tipo Vanguard, la cual es el modelo base para este trabajo. Ver anexo 4.

Los materiales y herramientas requeridos para la elaboración del prototipo de la tabla de skateboard son los que se muestran a continuación:

Tabla 11. Materiales y herramientas empleados en el proceso de fabricación de la tabla de skateboard

Materiales y herramientas empleados en la fabricación del prototipo de la tabla	
Madera (Triplex)	3 láminas de (92x30)cm ²
Fibra de fique	4 capas de (92x30)cm ²
Resina Poliéster	1685,8gr
Catalizador (MEKP)	34,4gr
Rodillo	1
Prensa artesanal	1
Caladora de banco	1
Lijadora	1
Pulidora de banco	1
Taladro	1

Para determinar estas cantidades de resina y catalizador se hizo necesario hacer algunos cálculos de proporcionalidad en porcentaje con respecto a las cantidades empleadas en el material fabricado anteriormente de $(19 \times 19) \text{ cm}^2$ para la obtención de las probetas.

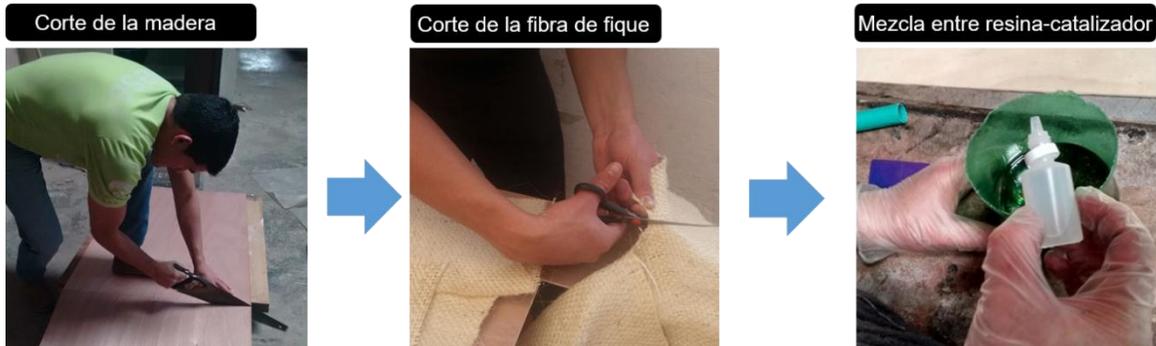


Figura 37. Preparación de materias primas para la fabricación de la tabla de skateboard

5.4.2 Proceso de moldeo por compresión

En figura 38 se muestra un diagrama de flujo del procedimiento por etapas que se debe seguir para la obtención del material laminado.

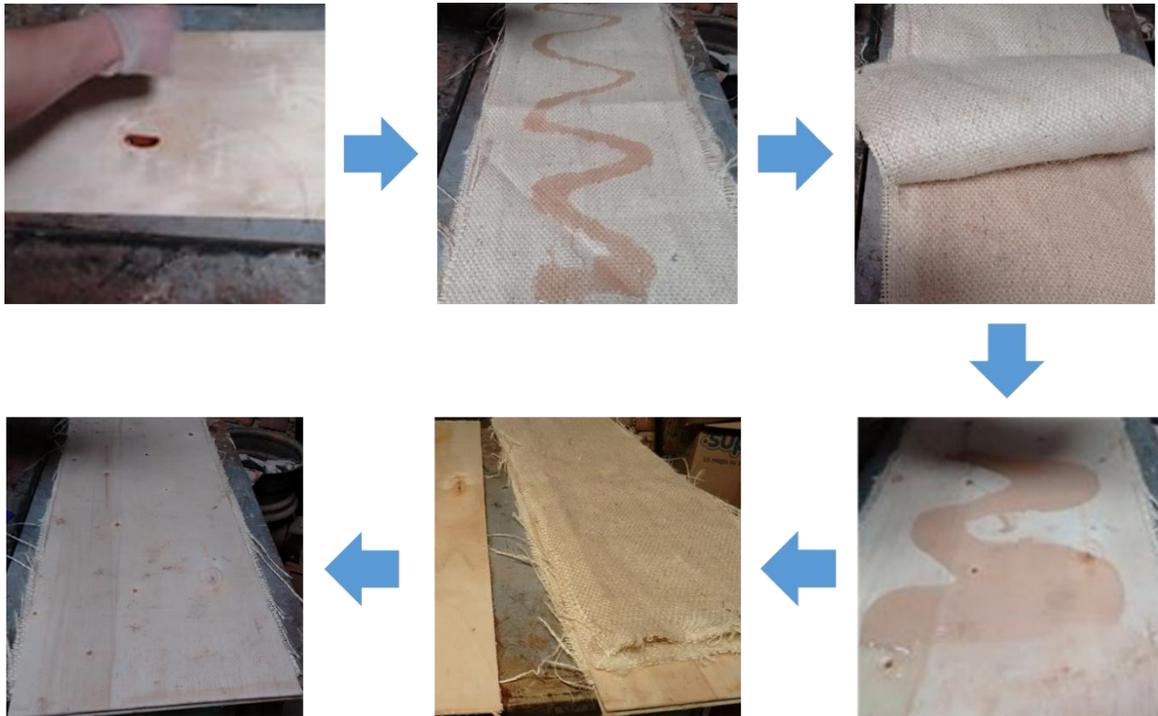


Figura 38. Proceso de laminado manual con rodillo

Luego de terminado el proceso de laminado se lleva el conjunto a la matriz, donde por medio de una prensa artesanal, se le es aplicada una fuerza para realizar el respectivo prensado y lograr que cada una de las capas dispuestas en el conjunto formen una sola pieza con la forma definida por el molde de la prensa, ver figura 39.

El tiempo de prensado total del material es de 24 horas de acuerdo con las especificaciones del tiempo de curado de la resina según el fabricante



Figura 39. Montaje del material híbrido laminado en la prensa artesanal, moldeo por compresión

En la figura 40, se puede apreciar el resultado obtenido luego del proceso de prensado en el material; para su posterior corte.



Figura 40. Material híbrido de 7 capas de $(92 \times 30) \text{ cm}^2$

Se procede entonces a realizar el corte del material excedente, se dibuja la forma de la tabla de skateboard sobre la superficie de la lámina del material híbrido, basándose en los planos técnicos (VER ANEXO 4). En donde los extremos de la tabla de la patineta van a llevar una forma ovalada o redondeada y los laterales de la misma, una forma recta. Los elementos o herramientas utilizadas para realizar esta operación corresponden a una caladora de banco.



Figura 41. Trazado en la superficie de la lámina del material híbrido y corte de la tabla

Al terminar el redondeo de los extremos de la tabla, se deben realizar los orificios para anclaje de los ejes metálicos, esto se realizó utilizando una plantilla para que las perforaciones fueran más precisas. Se deben realizar 8 orificios en total, 4 en cada extremo, en esta parte de la tabla de skateboard es donde van ensamblados los trucks y las ruedas.

En la figura 42, se puede apreciar el resultado final del proceso.



Figura 42. Tabla de skateboard de material híbrido

Una vez hechas las perforaciones, se continúa con los acabados como el pulido y detalles de la tabla, para mejorar la estética y mejorar el aspecto físico del producto.

Por último, la operación realizada fue el barnizado, el barniz es básico, no solo porque las tablas lucen y brillan más, sino porque protege la tabla de la humedad y es imprescindible para que la lija y el gráfico se adhieran correctamente. El gráfico es una parte bastante importante en el acabado final de la tabla de skateboard.



Figura 43. Tabla de skateboard obtenida en el proyecto

5.5 Estudio de mercado

A continuación se describen las características del mercado potencial al cual se pretende llegar con el producto.

Tabla 12. Mercado objetivo

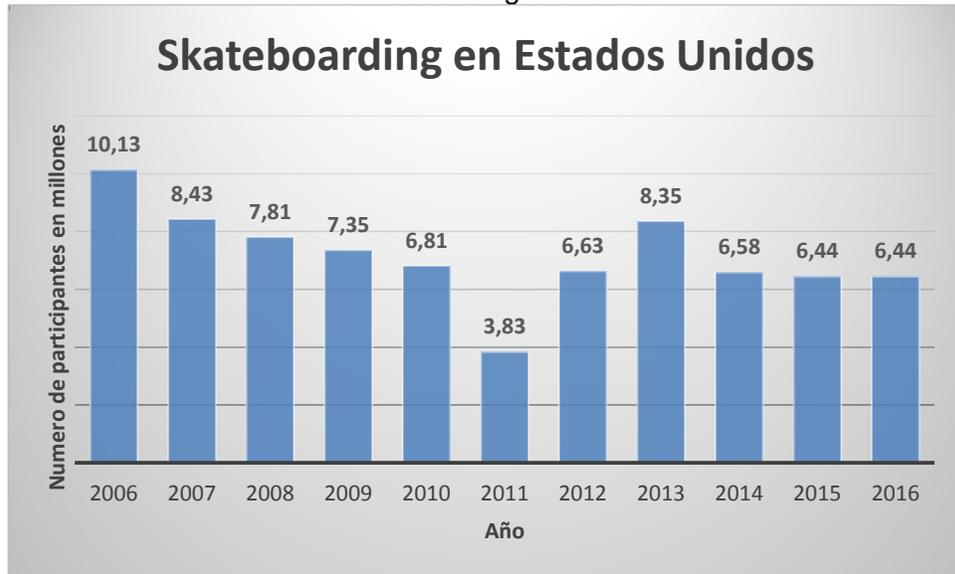
Características del mercado objetivo

Quienes son	Jóvenes y adultos que buscan obtener la experiencia del longboard en las calles de las ciudades, personas que usan transportes no convencionales
Edad promedio	10 a 40 años
Genero	Hombres y mujeres
Ocupación	Estudiantes y trabajadores con tiempo libre
¿Por qué compran?	Experiencia, satisfacción, fácil uso.
Relaciones	Sociales
¿Qué productos compran?	Productos tipo longboard ya que no necesitan de una gran destreza
¿Dónde compran?	Tiendas Online y tiendas físicas en menor porcentaje
¿Cómo se visten?	Ropa cómoda en tenis
Líderes de opinión	Z-Boys, grupo de skaters que dieron la vuelta al mundo en este deporte
¿Qué los caracteriza?	Buscan transportarse de una manera más veloz y divertida
¿Qué buscan?	Variedad de productos, velocidad, manejabilidad, personalización del producto.
¿Qué quieren?	Experiencias y diversión
¿Qué preguntan durante la compra?	Preguntan sobre la variedad de productos y se asesoran con el vendedor
¿Qué les gusta?	La variedad de productos (formas, estilos, gráficos)
¿Qué compran?	Longboards en todos los tipos y estilos que el mercado les ofrece
Lo que influencia sus compras	Los precios, materiales y la información que tiene el vendedor acerca de los productos.

5.5.1 Estudio del mercado en Estados Unidos

La siguiente grafica estadística muestra el número de participantes en el skateboarding en los Estados Unidos en el tiempo transcurrido desde año 2006 a 2016. En 2016, hubo aproximadamente 6,44 millones de participantes en el skateboarding, el mismo que el año anterior.

Tabla 13. Skateboarding en Estados Unidos



Fuente: <https://www.statista.com/statistics/191308/participants-in-skateboarding-in-the-us-since-2006/>

En el transcurso de los 10 años los datos estadísticos fueron variables, y en algún momento por la disminución de los practicantes se planteó que el deporte desaparecería. Por tal motivo para este estudio de mercado se decidió tomar el promedio de los participantes del deporte desde el año 2006 al 2016.

Después de realizar los cálculos pertinentes se llega a la conclusión 7.163.636 son el promedio de personas practicantes de skateboarding en Estados Unidos. Si miramos la población de Estados Unidos para el año 2016 fue de aproximadamente 323.400.000 habitantes, de los cuales el 2,215% pisaron una patineta en algún momento de ese año.

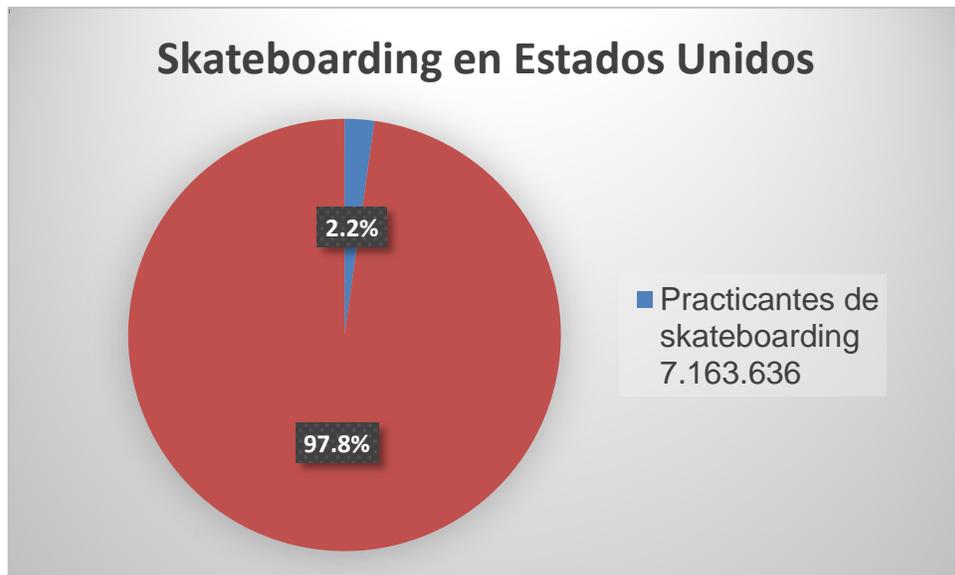


Figura 44. Porcentaje de practicantes de skateboarding en Estados Unidos

Aproximadamente el 40% de estos skaters montan longboards, ver figura 45, las longboards se usan principalmente para el transporte y para bajar a grandes velocidades en descensos, esto sugiere que gran parte de los patinadores usan sus patinetas para recreación y transporte.

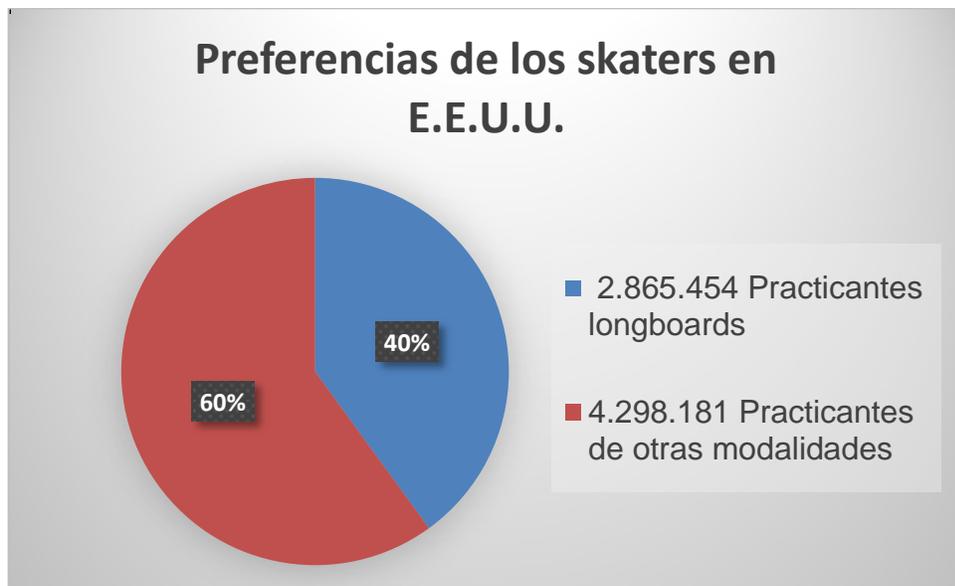


Figura 45. Porcentaje de practicantes que compran longboard en Estados Unidos

En los Estados Unidos se venden en promedio 120000 tablas de skateboard al mes de las cuales el 40% corresponden única y exclusivamente a tablas tipo

longboards. Es decir el mercado abastece mensualmente 48.000 tablas tipo longboard.

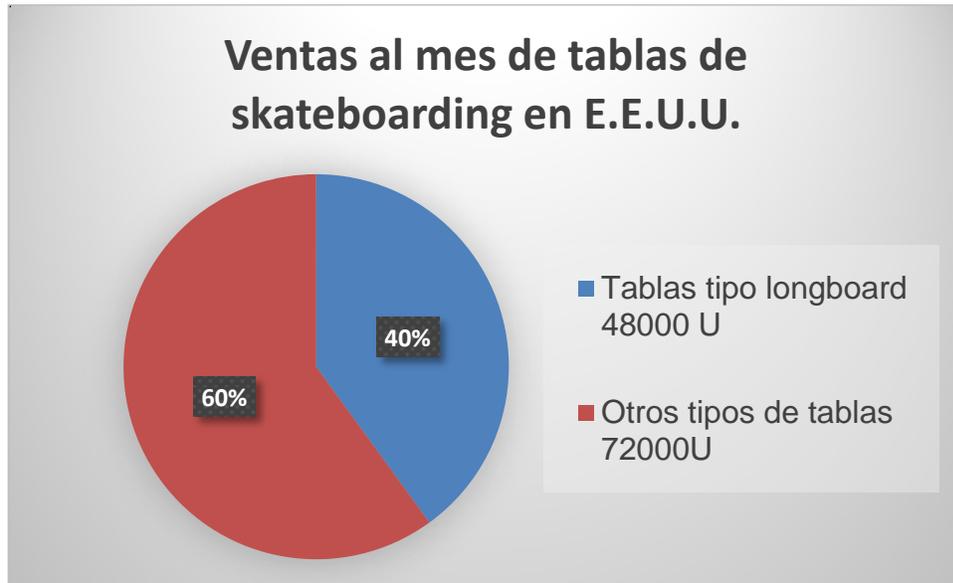


Figura 46. Ventas mensuales de tablas de skateboarding en Estados Unidos
Fuente: www.skatereview.com/skateboard-stats/

Posteriormente se determina el tamaño del mercado para tablas tipo longboard en los Estados Unidos, teniendo en cuenta que el precio promedio de una longboard es de aproximadamente \$30 en este país.

$$\begin{aligned}\text{Tamaño del mercado longboard} &= \text{numero de ventas mes} * \text{Precio} \\ \text{Tamaño de mercado} &= 48000U * \$30 \\ \text{Tamaño del mercado} &= \$1.440.000\end{aligned}$$

Ahora se investiga la marca de tablas tipo longboard más vendida en Estados Unidos y se describirán cada una de las características que presenta esta marca específica, con el objetivo de descubrir cuál es la tendencia de compra del mercado ya que éstos generalmente se mueven por tendencias y gustos. La investigación demuestra que la marca más apetecida por el mercado estadounidense es la Peny longboard 36”.



Figura 47. Penny longboard 36"

Fuente: <http://www.pennyskateboards.com/us/catalog/product/view/id/4205/s/burgundy-36-longboard/>

Características y descripción de la longboard penny 36".

Longboard Penny es un tablero largo y ancho que te hará recorrer las calles con estilo. Es una tabla grande para navegar mientras te ofrece un clásico paseo en un tamaño 36" (91,44cm) adecuada para el hombre urbano o el venturero.

Está fabricada con un material plástico que le da una buena resistencia y control de la flexión, garantizando un producto funcional.

La geometría se caracteriza por su inclinación cóncava, con una inclinación de media pulgada (1,27cm) a través de la longitud de la plataforma, funcionando en combinación con la flexión natural de la tabla generando una mayor estabilidad y suavidad en los pies del skater.

La superficie superior se identifica por su clásica cubierta antideslizante, con una capa adicional de agarre con textura granular para un mejor control.

Su presentación viene en diferentes y atractivos colores, diseñada para funcionar con la fuerza y flexión adecuada.

Por medio de este estudio de mercado enfocado en el tipo de tabla más vendida y en la práctica comúnmente más desarrollada por los skaters lo que estamos logrando es asegurar un número mayor de posibilidades de ventas de nuestro producto siempre y cuando éste describa las tendencias y características del mercado estudiado.

El skateboarding para muchos se convierte en la actividad recreativa de elección hasta la edad adulta. Los estudios de investigación de mercado revelan que los skaters son en promedio hombres menores de 18 años. Para algunos patinadores la actividad sigue siendo atractiva y sostenible a lo largo de sus vidas.

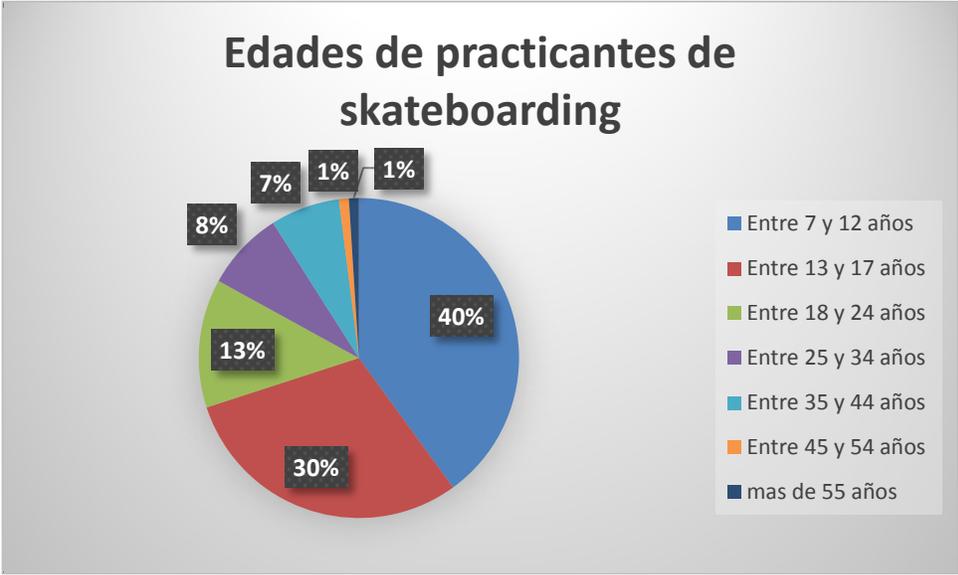


Figura 48. Edades de practicantes de skateboarding

5.5.2 Estudio del mercado en Colombia

Se destacan las tres principales empresas nacionales de fabricación y distribución de tablas de Skate en Colombia, estas empresas son las que tienen un mejor posicionamiento SEO.

Productores locales de skate			
	Amateur skate	Trur skateboard	Longboard Colombia
Medidas	8"/8,5"	8"/8,25"	largo 36"/Ancho 9"
Variedades de diseño	Baja	Baja	Alta
Otros productos	Longboards, accesorios varios para skate	Longboards, accesorios varios para skate	Longboards, accesorios varios para skate
Precios del skate mas barato	\$ 80.000	\$ 90.000	\$ 299.000
Puntos de venta	Tiendas físicas y online	Tiendas físicas y online	Tiendas físicas y online
Localización	Bogotá	Bogotá	Cali

Figura 49. Productores locales de skate

Del análisis realizado a las marcas de fabricación nacional se llega a las siguientes conclusiones:

Excepto longboardColombia que fabrica variedad de tipos de tablas organizados por marca, modalidad, características, configuración y materiales, a diferencia de esta empresa las demás marcas fabrican un único tipo de tabla longboard. Las tres empresas tienen su propia marca acompañadas por marcas del mercado teniendo variedad de productos en accesorios para skate.

Se puede apreciar que el rango de precios entre las tablas longboard de las distintas marcas es muy cercano entre la marca Amateur y la marca Trur, estas dos empresas manejan precios muy similares en sus productos por otra parte la marca Longboardcolombia maneja precios más altos. Se debe tener en cuenta que el precio es un factor de gran relevancia a la hora de la decisión de compra por parte del cliente.

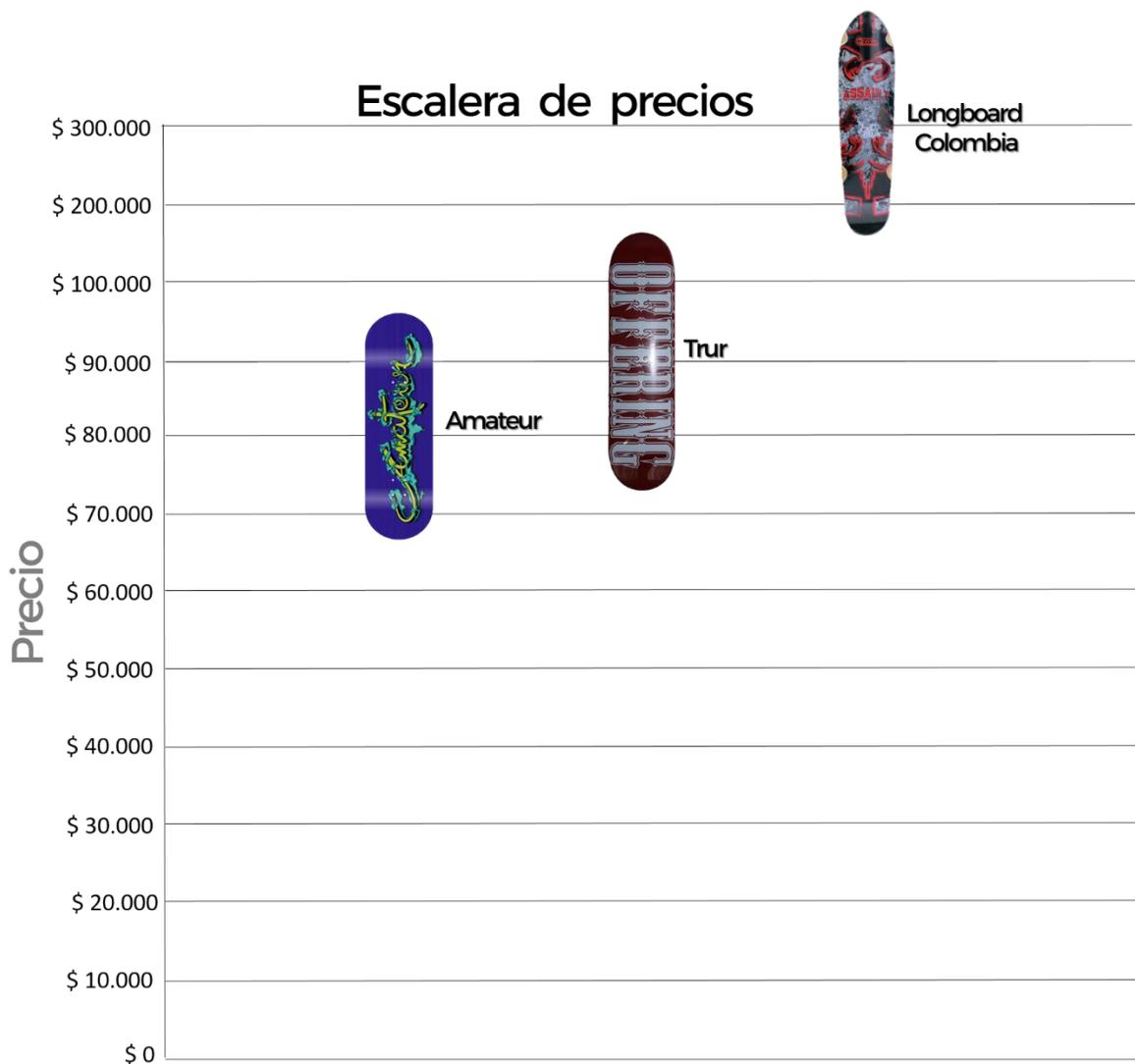


Figura 50. Escala de precios de tablas longboard

En cuanto al canal de ventas, cuentan con tiendas físicas en las ciudades más importantes del país así como con comercialización online ya sea a través de plataformas como “mercado libre” o redes sociales como Facebook e Instagram, además cuentan con tiendas online de propia gestión con entrega a domicilios a nivel nacional y en el caso de longboard Colombia entregas a nivel internacional todas con cargos adicionales en los envíos.

Además de las tablas de producción nacional existen las importadas que se pueden conseguir tanto en tiendas multimarcas como a través de internet, estas tablas son en general más costosas (incluso llegan a ser 5 veces más costosas) que las tablas fabricadas a nivel nacional. La empresa LOADED BOARDS es una empresa fabricante de equipos longboarding estadounidense y presentó la tabla

vanguard como su primer producto, el precio de este tipo de tabla ronda entre los \$500.000 COP.

Los datos estadísticos de skateboarding para Colombia muestran que aproximadamente el número promedio de personas practicantes de este deporte rondan los 15.000 skaters. Si miramos la población de Colombia para el año 2016 fue de 48.650.000 habitantes, esto quiere decir que tan solo el 0,03% de los colombianos practican el deporte. Esto se debe a que en Colombia el skateboard no estaba establecido aun como un deporte respaldado por una federación.

Más del 40% de estos skaters montan longboards, ver figura 51, en Colombia la patineta es una alternativa de transporte que poco a poco toma fuerza, esto sugiere que una parte significativa de todos los patinadores usan sus patinetas para diversión y transporte.



Figura 51. Porcentaje de practicantes que compran longboard en Colombia.

En Colombia no hay registros estadísticos de la cantidad de tablas que se venden en promedio al año, teniendo en cuenta esto se decide hacer una estimación de compra de 15000 tablas/año, es decir que cada skater compra en promedio 1 tabla por año, de las cuales el 40% corresponden a tablas tipo longboard, es decir el mercado abastece mensualmente 500 tablas tipo longboard.

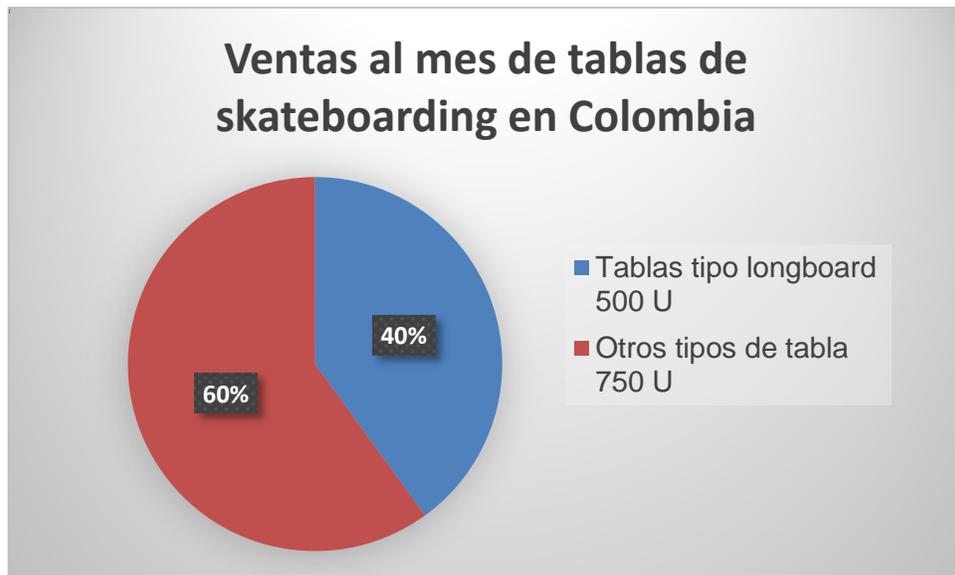


Figura 52. Ventas mensuales de tablas de skateboarding en Colombia

Seguidamente se determina el tamaño del mercado para tablas tipo longboard en Colombia, teniendo en cuenta que el precio mínimo promedio de una longboard es de aproximadamente 80.000COP como se aprecia en la gráfica.

$$\begin{aligned} \text{Tamaño del mercado longboard} &= \text{numero de ventas mes} * \text{Precio} \\ \text{Tamaño de mercado} &= 500U * 80.000COP \\ \text{Tamaño del mercado} &= \$40.000.000 \end{aligned}$$

Un estudio de mercadeo realizado por la empresa LOADED BOARDS describe las tendencias de nuevos productos donde dicen lo siguiente: las tendencias de productos longboard tienden hacia construcciones todo terreno y agiles “la nueva construcción de tendencia es más pequeña”

- **Breve descripción de nuestro producto**

Nuestra tabla de skate tiene un diseño exclusivo, posición simétrica y forma predeterminada para orientar al usuario de su correcto posicionamiento. Con una concavidad nominal proporcionando una sensación de agarre y suavidad en los pies. Es una tabla longobard con tendencia más pequeña lo que le da la capacidad de hacer trucos, la puedes usar cuesta abajo, en el parque y para ir al trabajo. Con una perfecta combinación de laminados ecológicos obteniendo un producto resistente y ligero.

- **Precio estipulado en materiales**

En la tabla 15, se muestran los costos de fabricación de una tabla de skateboard con material híbrido madera/fique-poliéster.

Tabla 14. Precio en materia prima de la tabla de skateboard

Precio estipulado en materia prima para la tabla de skateboard

Material	Cantidad	Precio (COP)
Madera	3 láminas de (92X30)cm ²	\$ 11.100
Fibra de fique	4 capas de (92X30)cm ²	\$ 4.000
Resina poliéster	1686 gr	\$ 17.700
Catalizador	34,5 gr	\$ 1.000
TOTAL		\$ 33.800

Con los precios del mercado y con los gastos de materia prima se puede determinar un costo de venta de la tabla de skateboar. El precio establecido sería entre los 70.000 y 80.000 COP.

En conclusión vemos que Colombia presenta la misma característica de práctica que en los Estados Unidos, la práctica longboard se ha venido extendiendo en nuestro país año tras año. Por ser una práctica de velocidad y transporte no exige golpes por piruetas como otras disciplinas lo que entonces proporcionara un ciclo de vida más largo del producto.

La práctica de longboard esta tan diversificada que se aprecia la búsqueda del mercado hacia nuevas experiencias, dentro de las cuales la más extendida y popularizada es la practica longboard la cual satisface una experiencia de adrenalina y diversión de forma instantánea por medio de velocidad.

6. CONCLUSIONES

El material híbrido madera/fique y resina de poliéster puede ser considerado como materia prima para la fabricación de tablas de skateboard a nivel industrial debido a a los requerimientos ingenieriles y es económicamente rentable, comparado con otros materiales como la fibra de vidrio.

Los ensayos a flexión realizados para la caracterización mecánica del material híbrido madera/fique-poliéster, revelaron un comportamiento rígido en el material, presentando una deformación mínima ante la aplicación de cargas estáticas.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la simulación se evidenció un material estructuralmente funcional bajo cargas estáticas en aplicaciones de tablas de skateboard.

La siguiente investigación es un avance muy importante en el sector de la fabricación de accesorios deportivos debido a que se logró implementar un material híbrido obtenido de fuentes renovables, además se presenta como una alternativa viable, como sustituto a las fibras convencionales, generando de forma directa un aporte considerable al medio ambiente.

El desarrollo de un material nuevo para una práctica deportiva da respuesta a las inquietudes de los practicantes que buscan en los nuevos materiales garantías para una buena práctica del deporte.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Quarshie , R., & Carruthers, J. (2015). TECHNOLOGY OVERVIEW BIOCOMPOSITES. *netcomposites*, 1-69.
- A. Besednjak. (s.f.). *Moldeo por contacto laminacion manual*. Obtenido de <https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=17497/2011/1/53408/22639-3142.pdf>
- Andercol S.A. (2017). *Andercol*. Obtenido de <http://www.andercol.com.co/>
- ANSYS. (2018). *Realice su promesa de producto*. Obtenido de <https://www.ansys.com/>
- Ashby, M., & Janes, D. (1999). *Material selection in mechanical desing*. Butterworth-Heineman: Oxford.
- Askeland, D. R. (1998). *Ciencia e ingenieria de los materiales*. Mexico: International Thomson.
- Askeland, D., & Wendelin, W. (2016). *Ciencia e ingenieria de materiales*. Mexico: CENGAGE learning.
- BASF Chile S.A. (2016). *Palatal 53-46 B*. Santiago: The Chemical Company.
- Bengoechea, D., Aretxaga, G., Aurrekoetxea, J., & Sarrionandia, M. (2011). Desarrollo de compuestos naturales hibridos lamina de madera/yute-epoxy. *Creative Commons*, 449-453.
- Bengoechea, D., Aretxaga, G., Aurrekoetxea, J., & Sarrionandia, M. (2011). Development of natural hybrid wood / jute-epoxy laminates. *MATERIALES COMPUESTOS*, 449-454.
- Bharath, & Satyappa Basavarajappa. (2015). Applications of biocomposite materials based on natural fibers from renewable resources: A review. *ResearchGate*.
- Britton Orozco, G., Garcia, A., Martinez, L., Neira, N., & Vargas Pineda, S. M. (18 de Diciembre de 2017). *Agencia de noticias UN*. Obtenido de Fibra de fique reemplazaría la de: <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/fibra-de-fique-reemplazaria-la-de-vidrio.html>
- cadefique, C. t. (Enero de 2006). GUIA AMBIENTAL DEL SUBSECTOR FIQUERO. Bogota, Colombia.
- Deng , Y., & Tian, Y. (2015). Assessing the Environmental Impact of Flax Fibre Reinforced Polymer Composite from a Consequential Life Cycle Assessment Perspective. *OPEN ACCES SUSTAINABILITY*, 11462-11483.
- Fowler, P., Hughes, J., & Robert, M. (2006). Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1781–1789 .
- Hernandez Barragan, C. A. (2013). *DESARROLLO DE NUEVOS MATERIALES BASADOS EN RESINAS BIOEPOXI CON FIBRAS NATURALES PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ*. Pamplona.

- Hidalgo Salazar, M. A., & Correa, J. P. (2018). Mechanical and thermal properties of biocomposites from nonwoven industrial Fique fiber mats with Epoxy Resin and Linear Low Density Polyethylene. *Results in Physics*, 461-467.
- James , T., Peter, J., & Liu, Y. (2016). Glass Fibre Strength—A Review with Relation to Composite Recycling. *Fibers*.
- Jawaida, M., Abdul Khail, & Abu Bakar. (2011). Woven hybrid composites: Tensile and flexural properties of oil palm-woven jute fibres based epoxy composites. *MATERIALS SCIENCE Y ENGINEERING*, 5190-5195.
- Joost R. , D., Yelin, D., & Dewulf, W. (2012). Do fiber-reinforced polymer composites provide environmentally benign alternatives? A life-cycle-assessment-based study. *Materials Research Society*, 374-382.
- Konzen , J. (2002). *LA FIBRA DE VIDRIO COMO RESPONSABLE DE DERMATOSIS*. Obtenido de <http://www.cursodermatosisprofesionales2012.atlantacongress.org/userfiles/file/CONGRESOS/2012/Dermatosis%20Profesionales/DERMATITIS%20FIBRA%20VIDRIO.pdf>
- López, F. A., Martin, M. I., Garcia Diaz, I., Rodriguez, O., Alguacil, F., & Romero , M. (2012). Recycling of Glass Fibers from Fiberglass Polyester Waste Composite for the Manufacture of Glass-Ceramic Materials. *Scientific Research*, 8.
- Lopez, F., Martin, M., Garcia Diaz, I., Rodriguez, O., Alguacil, F., & Romero, M. (2012). Recycling of Glass Fibers from Fiberglass Polyester Waste Composite for the Manufacture of Glass-Ceramic Materials. *Scientific Research*, 8.
- M. Olivares , S., C. Galan, M., & J. Roa, F. (24 de Abril de 2003). LOS COMPOSITOS: CARACTERÍSTICAS y APLICACIONES EN LA EDIFICACION. *Dpto. Construcciones Arquitectónicas 1. Escuela T. Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla*, págs. 45-62.
- Meyers, M., Chen, P.-Y., Yu-Min Lin, A., & Seki, Y. (2008). Biological materials: Structure and mechanical properties. *Progress in materials science*, 1–206.
- Mittal, V., Saini, R., & Sinha, S. (2016). Natural fiber-mediated epoxy composites – A review. *Composites Part B: Engineering*, 425-435.
- Mora Borque, A., & Nogueira Lopez, M. (Junio de 2007). *Materiales de ultima generacion y materiales eficientes*. Obtenido de Materiales compuestos-composite: [https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-200637/TAB42359/Introducci%F3n%20Composites%20\(Alberto%20Moral%20%2B%20Marar%20Nogueira\).pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-200637/TAB42359/Introducci%F3n%20Composites%20(Alberto%20Moral%20%2B%20Marar%20Nogueira).pdf)
- Muñoz Velez, M. F., Hidalgo Salazar, M. A., & Mina Hernandez, J. H. (2014). FIBRAS DE FIQUE UNA ALTERNATIVA PARA REFORÇAR MATERIAIS PLÁSTICOS. INFLUÊNCIA DA MODIFICAÇÃO SUPERFICIAL. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 60-70.
- Singh Rana, S., Gupta, M. K., & Srivastava, R. K. (2017). Effect of variation in frequencies on dynamic mechanical properties of short sisal fibre reinforced epoxy composite. *Materialstoday: PROCEEDINGS*, 3387-3396.

- Soliz, M. F. (2010). *Psicología social de la adolescencia*. Obtenido de Escuela de cultura física: <http://files.educacionucuenca.webnode.es/200000029-d6ebed7e4d/SKATE.pdf>
- Tadeusz, M., & Andrzej, B. (2013). Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales. *MEMORIAS DEL XIX CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM*, (págs. 676-682). PACHUCA, MEXICO.
- Tinjaca Numpaque, B., Slone Dossman, V., & Arango Dominguez, N. (2012). *EL FIQUE: Fibra natural que constituye sociedad*. Pereira: AREANDINA. Fundación Universitaria del Área Andina.
- Unidos, A. d. (10 de Septiembre de 2015). *Glass Fiber Manufacturing*. Obtenido de EPA: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch11/final/c11s13.pdf>
- University, A. (2017). Composite optimization of a skateboard with OptiStruct. Alemania.
- Valls Fuster, C. (2016). *Análisis mecánico de un nuevo sistema de fijaciones para tablas de snowboard*. Castellon.
- Xiaosong , H. (2009). Fabrication and Properties of Carbon Fibers. *Materials*, 2369-2403.
- Yan , L., Yiu-Wing, M., & Lin, Y. (2000). Sisal fibre and its composites: a review of recent developments. *Composites Science and Technology*, 2037-2055.
- Yelin , D., & Yajun, T. (Yelin Deng 1 and Yajun Tian). Assessing the Environmental Impact of Flax Fibre Reinforced Polymer Composite from a Consequential Life Cycle Assessment Perspective. *sustainability*, 11462-11483.

8. ANEXOS

8.1 Anexo 1

Ficha técnica de la resina poliéster PALATAL 5346 B.

Palatal® 53-46 B

Naturaleza

Palatal 53-46 B es un poliéster insaturado basado en ácido ftálico y glicoles estándar, disuelto en estireno.

Esta resina es de reactividad media, preacelerada y contiene un agente tixotrópico.

Aplicación

Palatal 53-46 B es apropiado para laminado manual y moldeo por aspersión (spray-up), con una rápida impregnación del material de refuerzo en el laminado manual y sin escurrimiento en laminados inclinados. Está recomendado para la producción de todo tipo de productos reforzados con fibras de vidrio y especialmente para laminados de espesores menores de 5 mm.

Propiedades en estado de suministro (valores típicos)

(La viscosidad y la reactividad pueden experimentar cambios en caso de almacenamiento prolongado)

Propiedad	Valor	Unidad	Método de Ensayo
Aspecto	Claro	-	-
Contenido de sólidos	59	%	DIN 53 216
Viscosidad Brookfield RVT 20 rpm 23°C	500	mPa·s	ISO 2555
Índice de Tixotropía	> 1,4		
Reactividad a 25°C ¹⁾			DIN 16 945, 6.2.2.2
1,1 mL MEKP-HA-3 ²⁾ adicionados a 100 g de resina			
Tiempo de 25°C – 35 °C	15	min	
Tiempo de 25°C – T _{rel}	30	min	
T _{rel}	130	°C	

1) Tubo de ensayo con 30 g de mezcla de resina y agente de curado.

2) MEKP-HA-3, Peróxido de Metilacetona, Laporte Chemicals

Otras propiedades de la resina líquida (valores típicos)

Propiedad	Valor	Unidad	Método de Ensayo
Densidad, 20°C	1,1	g/ml	DIN 53 217
Flash Point	34	°C	DIN 53 213
Estabilidad, no preacelerada, protegida de la luz (25°C)	6	mes	

Propiedades de la resina endurecida sin carga (valores típicos)

Propiedad ¹⁾	Valor	Unidad	Método de Ensayo
Densidad (20°C)	1,19	g/cm ³	DIN 53 479
Resistencia a la tracción	70	MPa	DIN 53 455
Módulo de elasticidad en tracción	4300	MPa	DIN 53 457
Elongación a la ruptura	2	%	DIN 53 455
Resistencia a la flexión	110	MPa	DIN 53 452
Módulo de elasticidad en flexión	4300	MPa	DIN 53 457
Resistencia al impacto	10	KJ/m ²	DIN 53 453
Temperatura de distorsión por calor (HDT)	66 ²⁾	°C	DIN EN ISO 75
	67 ³⁾	°C	ASTM D 648
Dureza Barcol GYZJ 934-1	-	-	ASTM D 2583

1) Propiedades medidas en especímenes de la resina base con un contenido de estireno de 38%.

2) Especimen 4 mm x 10 mm x 120 mm

3) Especimen 1/2" x 1/2" x 9"

Guías de Procesamiento

Palatal 53-46 es preacelerado. Debido a la evolución del curado es particularmente apropiado para la fabricación de laminados de espesores inferiores a 5 mm.

Para el curado de Palatal 53-46 B se pueden utilizar los peróxidos comúnmente usados para las resinas de poliéster insaturado tales como peróxido de metilacetona (MEKP), ciclohexanona (CHP) y acetilacetona (AAP). El estado final del curado puede optimizarse de acuerdo a los requerimientos específicos para ciertas aplicaciones, poscurando a 80°C por algunas horas. El poscurado a temperaturas elevadas es muy recomendable para piezas de plástico reforzado expuestas a ambientes corrosivos.

A temperatura ambiente Palatal 53-46 B normalmente presenta un curado libre de pegajosidad superficial. Sin embargo, para asegurar un curado libre de pegajosidad en superficies expuestas al aire y dependiendo de las condiciones específicas del curado (espesor del laminado, acelerantes, peróxidos, temperatura ambiente), se recomienda adicionar un 3% de una solución de parafina (punto de fusión 46 – 48°C) al 5% en estireno, manteniendo la temperatura de la resina entre 18°C y 35°C.

8.2 Anexo 2

Norma ASTM D97-10, norma empleada en la caracterización mecánica a flexión del material híbrido madera/fique-poliéster.



Designation: D790 – 10

Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D790; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods cover the determination of flexural properties of unreinforced and reinforced plastics, including high-modulus composites and electrical insulating materials in the form of rectangular bars molded directly or cut from sheets, plates, or molded shapes. These test methods are generally applicable to both rigid and semirigid materials. However, flexural strength cannot be determined for those materials that do not break or that do not fail in the outer surface of the test specimen within the 5.0 % strain limit of these test methods. These test methods utilize a three-point loading system applied to a simply supported beam. A four-point loading system method can be found in Test Method D6272.

1.1.1 *Procedure A*, designed principally for materials that break at comparatively small deflections.

1.1.2 *Procedure B*, designed particularly for those materials that undergo large deflections during testing.

1.1.3 Procedure A shall be used for measurement of flexural properties, particularly flexural modulus, unless the material specification states otherwise. Procedure B may be used for measurement of flexural strength only. Tangent modulus data obtained by Procedure A tends to exhibit lower standard deviations than comparable data obtained by means of Procedure B.

1.2 Comparative tests may be run in accordance with either procedure, provided that the procedure is found satisfactory for the material being tested.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values provided in parentheses are for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appro-*

priate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

Non: 1—These test methods are not technically equivalent to ISO 178.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D638 Test Method for Tensile Properties of Plastics

D883 Terminology Relating to Plastics

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D4101 Specification for Polypropylene Injection and Extrusion Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

D6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

2.2 ISO Standard:³

ISO 178 Plastics—Determination of Flexural Properties

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions of terms applying to these test methods appear in Terminology D883 and Annex A1 of Test Method D638.

4. Summary of Test Method

4.1 A bar of rectangular cross section rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports. A support span-to-depth ratio of 16:1 shall be used unless there is reason to suspect that a larger span-to-depth

8.3 Anexo 3

Pruebas a flexión de probetas según la Norma ASTM D97-10 para caracterización mecánica del híbrido madera/fique-poliéster

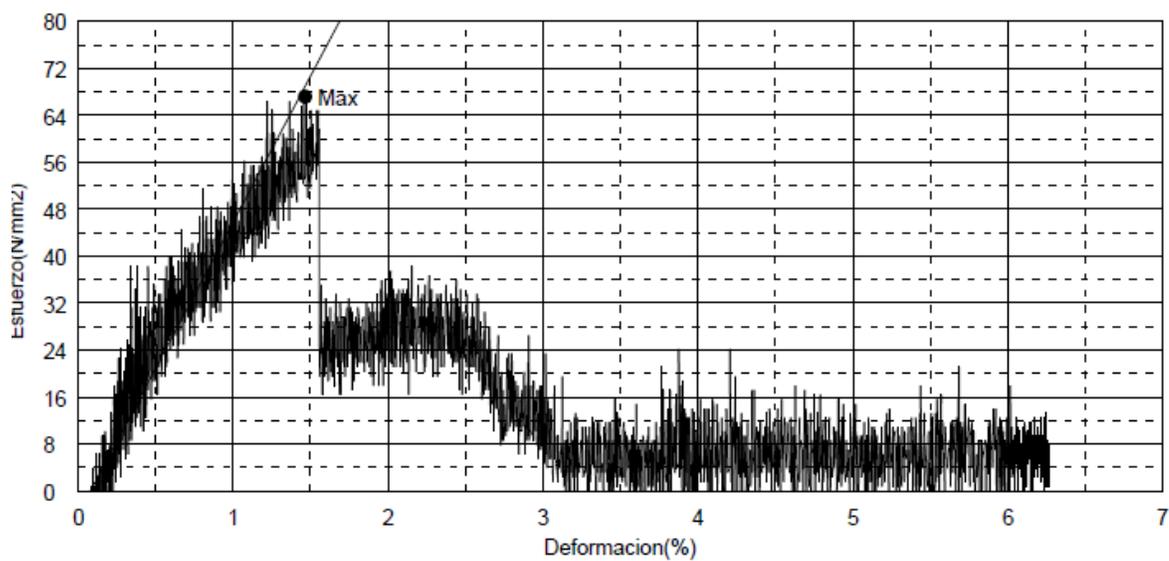
flexion 1

Forma: Plana

	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidades	mm	mm	mm
1 - 1	12.0000	48.0000	192.0000

Nombre	PSF Carga	PSF Despl	PSF Esfuerzo	PSF Deformacion	M.Elastico
Parametro	0.1 %/FS	0.1 %/FS	0.1 %/FS	0.1 %/FS	0.01, 1 %
Unidades	kN	mm	N/mm2	%	N/mm2
1 - 1	--	--	--	--	4974.75
Media	--	--	--	--	4974.75
Desviación Estandar	--	--	--	--	.00000
Maximo	--	--	--	--	4974.75
Mínimo	--	--	--	--	4974.75
Rango	--	--	--	--	.00000
Mediana	--	--	--	--	4974.75
Media JIS	--	--	--	--	4974.75
Coef.Variacion	--	--	--	--	.00000
3 Sigma	--	--	--	--	.00000

Nombre	Max._Carga	Max._Despl	Max._Esfuerzo	Max._Deformacion	Rotura_Carga
Unidades	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	1.61250	7.49600	67.1875	1.46406	--
Media	1.61250	7.49600	67.1875	1.46406	--
Desviación Estandar	.00000	.00000	.00000	.00000	--
Maximo	1.61250	7.49600	67.1875	1.46406	--
Mínimo	1.61250	7.49600	67.1875	1.46406	--
Rango	.00000	.00000	.00000	.00000	--
Mediana	1.61250	7.49600	67.1875	1.46406	--
Media JIS	1.61250	7.49600	67.1875	1.46406	--
Coef.Variacion	.00000	.00000	.00000	.00000	--
3 Sigma	.00000	.00000	.00000	.00000	--



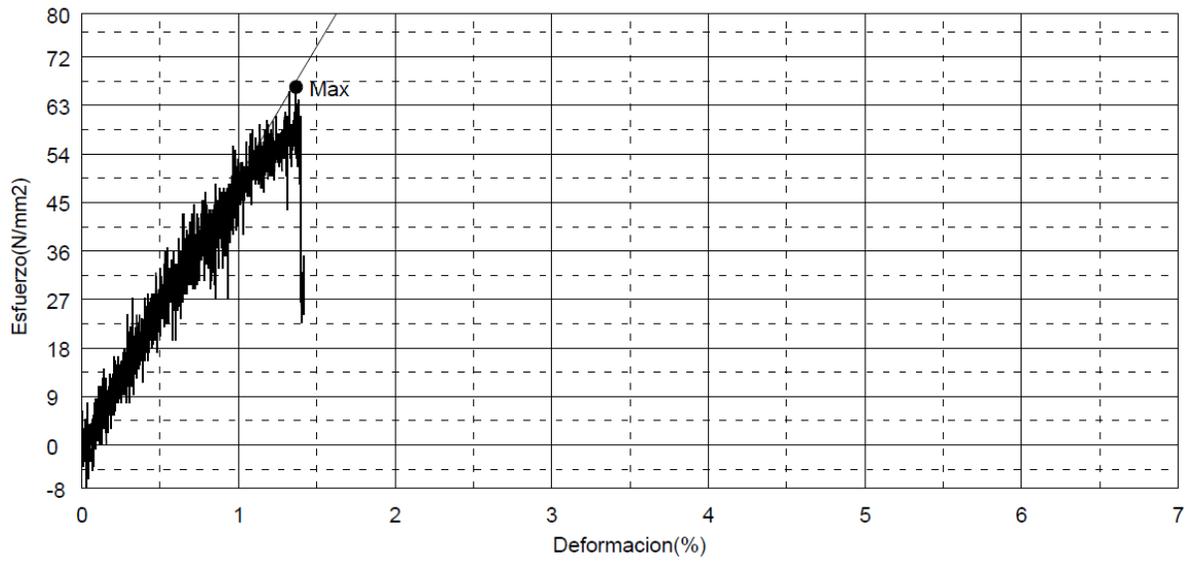
Flexion 2

Forma: Plana

	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidades	mm	mm	mm
1 - 1	12.0000	48.0000	192.0000

Nombre	PSF Carga	PSF Despl	PSF Esfuerzo	PSF Deformacion	M.Elastico
Parametro	0.1 %/FS	0.1 %/FS	0.1 %/FS	0.1 %/FS	0.01, 1 %
Unidades	kN	mm	N/mm2	%	N/mm2
1 - 1	--	--	--	--	4869.34
Media	--	--	--	--	4869.34
Desviación Estandar	--	--	--	--	.00000
Maximo	--	--	--	--	4869.34
Mínimo	--	--	--	--	4869.34
Rango	--	--	--	--	.00000
Mediana	--	--	--	--	4869.34
Media JIS	--	--	--	--	4869.34
Coef.Variacion	--	--	--	--	.00000
3 Sigma	--	--	--	--	.00000

Nombre	Max._Carga	Max._Despl	Max._Esfuerzo	Max._Deformacion	Rotura_Carga
Unidades	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	1.59375	7.00200	66.4063	1.36758	--
Media	1.59375	7.00200	66.4063	1.36758	--
Desviación Estandar	.00000	.00000	.00000	.00000	--
Maximo	1.59375	7.00200	66.4063	1.36758	--
Mínimo	1.59375	7.00200	66.4063	1.36758	--
Rango	.00000	.00000	.00000	.00000	--
Mediana	1.59375	7.00200	66.4063	1.36758	--
Media JIS	1.59375	7.00200	66.4063	1.36758	--
Coef.Variacion	.00000	.00000	.00000	.00000	--
3 Sigma	.00000	.00000	.00000	.00000	--



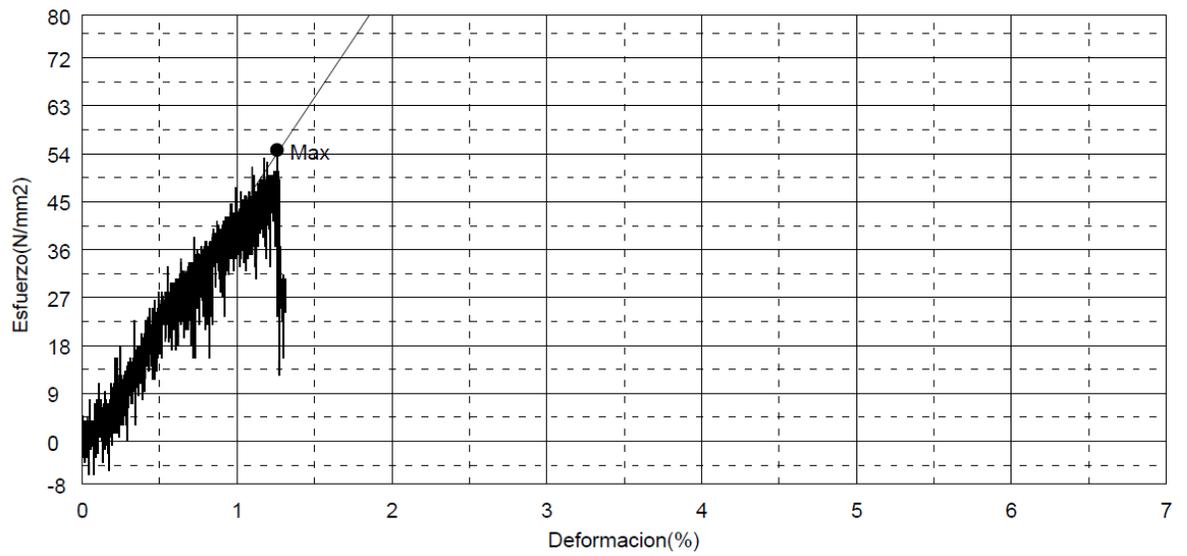
Flexion 3

Forma: Plana

	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidades	mm	mm	mm
1 - 1	12.0000	48.0000	192.0000

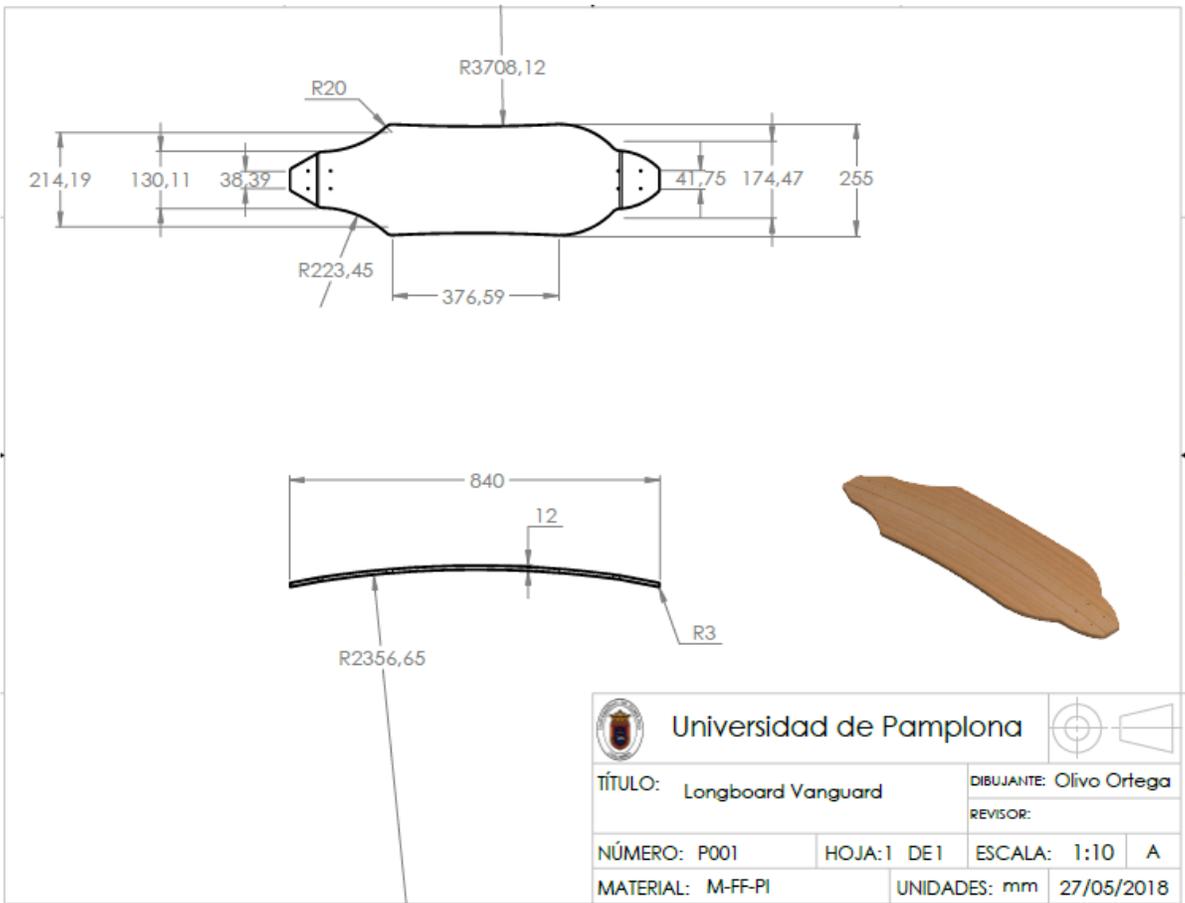
Nombre	PSF Carga	PSF Despl	PSF Esfuerzo	PSF Deformacion	M.Elastico
Parametro	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,01, 1 %
Unidades	kN	mm	N/mm2	%	N/mm2
1 - 1	--	--	--	--	4357,77
Media	--	--	--	--	4357,77
Desviación Estandar	--	--	--	--	,00000
Maximo	--	--	--	--	4357,77
Mínimo	--	--	--	--	4357,77
Rango	--	--	--	--	,00000
Mediana	--	--	--	--	4357,77
Media JIS	--	--	--	--	4357,77
Coef.Variacion	--	--	--	--	,00000
3 Sigma	--	--	--	--	,00000

Nombre	Max._Carga	Max._Despl	Max._Esfuerzo	Max._Deformacion	Rotura_Carga
Unidades	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	1,31250	6,44000	54,6875	1,25781	--
Media	1,31250	6,44000	54,6875	1,25781	--
Desviación Estandar	,00000	,00000	,00000	,00000	--
Maximo	1,31250	6,44000	54,6875	1,25781	--
Mínimo	1,31250	6,44000	54,6875	1,25781	--
Rango	,00000	,00000	,00000	,00000	--
Mediana	1,31250	6,44000	54,6875	1,25781	--
Media JIS	1,31250	6,44000	54,6875	1,25781	--
Coef.Variacion	,00000	,00000	,00000	,00000	--
3 Sigma	,00000	,00000	,00000	,00000	--



8.4 Anexo 4

Planos técnicos del prototipo mediante SOLIDWORKS de la tabla de skateboard fabricada con el material híbrido madera/fique-poliéster.



 Universidad de Pamplona		 	
TÍTULO: Longboard Vanguard		DIBUJANTE: Olivo Ortega	
		REVISOR:	
NÚMERO: P001	HOJA: 1 DE 1	ESCALA: 1:10	A
MATERIAL: M-FF-PI		UNIDADES: mm	27/05/2018