

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE SELECCIÓN DE MATERIALES APLICABLES A UNA TABLA DE SKATEBOARD

CRISTIAN ALBERTO BARRIOS MOLANO

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS**



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, Noviembre 25 de 2021

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE SELECCIÓN DE MATERIALES APLICABLES A UNA TABLA DE SKATEBOARD

CRISTIAN ALBERTO BARRIOS MOLANO

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

Director: RAFAEL BOLIVAR LEON
Doctor en Procesos Metalúrgicos y de Reciclaje
rbolivarl@unipamplona.edu.co

Codirector: BLADIMIR A. RAMÓN VALENCIA
Doctor en Ingeniería de Materiales
hbladimir@unipamplona.edu.co

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
Pamplona, Noviembre 25 de 2021**

A mi mamá Nancy Piedad, mi papá Libardo y mi hermano Hector Emilio

AGRADECIMIENTOS

Expresar mi más sincera gratitud a mi director, Dr. Rafael Bolívar, por su tiempo, guía continua, soporte y apoyo durante este proyecto.

Agradecido con mi codirector el Dr. Bladimir Ramón, por sus valiosos consejos y retroalimentación durante este proyecto.

A la Universidad de Pamplona, por fomentar un ambiente académico e investigativo propicio para el desarrollo de este proyecto y me permitiera formarme tanto en la parte académica como personal.

En especial agradezco a mi mamá Nancy Piedad y a mi hermano Hector Emilio, por su paciencia, apoyo incondicional y sus palabras de fortaleza que me ayudaron a culminar este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	2
3. OBJETIVOS	3
3.1 Objetivo general.....	3
3.2 Objetivos específicos	3
4. MÉTODOS DE SELECCIÓN DE MATERIALES	4
4.1 Métodos de revisión rápida.....	4
4.1.1 Método Ashby.	4
4.1.2 Método de propiedad costo por unidad	7
4.1.3 Método del cuestionario	7
4.1.4 Método tradicional.....	8
4.1.5 Método de las magnitudes características	8
4.1.6 Método de base de datos.....	9
4.1.7 Método de inteligencia artificial – Sistema de selección de materiales asistido por computadora.	10
4.2 Métodos de Optimización	10
4.2.1 Programación matemática	10
4.2.2 Simulación por computador.....	10
4.2.3 Algoritmo genético.....	11
4.3 Métodos de toma de decisiones con criterios múltiples (MCDM)	11
4.3.1 Análisis de utilidad de atributos múltiples.....	11
4.3.2 Programación de metas.	12
4.3.3 Técnica de preferencia de orden por similitud a una solución ideal (TOPSIS).....	13
4.3.4 Método VIKOR	13
4.4 Ventajas y desventajas de los métodos.....	13
4.5 Jerarquización de los métodos	15
4.5.1 Versatilidad del método en las etapas de diseño	16
4.5.2 Información publicada	16
4.5.3 Complejidad matemática.....	16
4.5.4 Uso de software	16

4.5.5	Herramienta de software disponible de relación	16
4.5.6	Costo del software disponible	17
4.5.7	Metodología para la jerarquización	17
4.5.8	Resultados obtenidos de la jerarquización	18
5.	TABLA DE SKATEBOARD.....	21
5.1	Parámetros de diseño.....	21
5.1.1	Diseño según ortega	21
5.1.2	Diseño según Rodríguez.....	22
5.1.3	Diseño según Edruweit	23
5.1.4	Diseño según Liu.....	23
5.1.5	Diseño usando ingeniería inversa	24
5.1.6	Tabla de propiedades aplicables al skateboard	25
6.	SELECCIÓN DE MATERIALES POR DIFERENTES MÉTODOS.....	32
6.1	Método Ashby.....	32
6.2	Magnitudes características	41
6.3	Base de datos.....	46
6.4	Comparación de los resultados de los métodos aplicados	53
6.4.1	Criterios de comparación	53
6.4.2	Comparación de los métodos.....	53
7.	CONCLUSIONES.....	56
8.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	58
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la revisión de los métodos propuestos	13
Tabla 2. Versatilidad del método.....	17
Tabla 3. Información publicada	17
Tabla 4. Complejidad matemática.....	17
Tabla 5. Uso de software y apoyo de cómputo	18
Tabla 6. Herramienta de software de selección	18
Tabla 7. Costo del software	18
Tabla 8. Resultado de la Jerarquización	19
Tabla 9. Parámetros de diseño (Ortega Ruíz, 2018)	22
Tabla 10. Parámetros de diseño (Rodríguez Gasca, 2020).....	22
Tabla 11. Parámetros de diseño (endruweit & Ermanni, 2002)	23
Tabla 12. Parámetros de diseño (Liu et al, 2018)	24
Tabla 13. Tablas de Skateboard y sus materiales utilizados	25
Tabla 14. Materiales y sus propiedades obtenidas de ANSYS GRANTA EduPack2020.....	26
Tabla 15. Material compuesto 1	29
Tabla 16. Material compuesto 2.....	29
Tabla 17. Material compuesto 3.....	30
Tabla 18. Material compuesto 4.....	30
Tabla 19. Material compuesto 5.....	31
Tabla 20. Propiedades de los materiales compuestos.....	31
Tabla 21. Tabla de propiedades de Ashby para el Skateboard	33
Tabla 22. Parámetros de diseño para la tabla skateboard.....	33
Tabla 23. Materiales sintéticos compuestos utilizados para el método magnitudes características.....	42
Tabla 24. Propiedades materiales sintéticos - magnitudes características	42
Tabla 25. Resultados - Magnitudes características	45
Tabla 26. Intervalos para el programa Matweb.....	47
Tabla 27. Comparación de resultados para los métodos aplicados.....	53
Tabla 28. Resultado de materiales seleccionados por los tres métodos	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Carta Ashby - (Ashby, 1992).....	5
Figura 2. Carta Ashby e índices del material – (Valbuena Arias, 2018).....	6
Figura 3. Escenario de estudio (Rodríguez Gasca, 2020)	22
Figura 4. Escenarios tenidos en cuenta para el estudio (Endruweit & Ermanni, 2002)	23
Figura 5. Casos de estudio skateboard (Liu et al, 2018).....	24
Figura 6. Herramienta synthesizer materiales multicapa	27
Figura 7. Forma de agregar el material para la capa	28
Figura 8. Creación del material compuesto	28
Figura 9. Herramienta Aprende del programa Granta.....	33
Figura 10. Opción Selección de material	34
Figura 11. Índice del material- Opción diseño de rigidez limitada	34
Figura 12. Índice del material para esta aplicación	35
Figura 13. Nivel 3 base de datos en EduPack	36
Figura 14. Ubicación de los grupos de propiedades que se tienen en cuenta	36
Figura 15. Propiedades Mecánicas.....	37
Figura 16. Resistencia a la fractura	37
Figura 17. Durabilidad en agua.....	38
Figura 18. Representación de los materiales.....	38
Figura 19. Materiales que cumplen con los límites	39
Figura 20. Familias de los materiales	39
Figura 21. Aplicación del índice del material.....	40
Figura 22. Resultados Método Ashby	41
Figura 23. Ubicación herramienta propiedades	47
Figura 24. Ubicación herramienta búsqueda avanzada	48
Figura 25. Ingreso de propiedades a utilizar	49
Figura 26. Propiedades usadas para filtrar	50
Figura 27. Resultados de Matweb	51
Figura 28. Materiales parte 1	51
Figura 29. Materiales parte 2	52
Figura 30. Materiales parte 3	52

1. INTRODUCCIÓN

Para el Ingeniero de materiales o diseñador de elementos mecánicos, la etapa de selección de materiales durante el proceso de diseño y fabricación de elementos mecánicos es de gran importancia ya que el material seleccionado debe cumplir tanto con los parámetros de diseño y de fabricación como las restricciones económicas del proyecto. Por esta razón, es necesario identificar los diferentes métodos que pueden ayudar en esta selección, para dar confianza y seguridad en el material que se va a utilizar.

Para el desarrollo de este proyecto, inicialmente se hizo una revisión y comparación de 14 métodos de selección de materiales reportados en la literatura, utilizando la base de datos de la Universidad de Pamplona, artículos y ponencias y se organizaron en tres grupos: revisión rápida, optimización y procesos de toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM). Luego, se identificaron las características específicas de cada método según su aplicación y sus requerimientos de diseño mecánico. Seguidamente, se definieron criterios de comparación para los 14 métodos según su complejidad matemática, tiempo, costo, número de materiales disponibles entre otros. Utilizando los criterios de comparación, se escogieron tres métodos (Ashby, Magnitudes características, base de datos), que fueron aplicados en la selección del material para una tabla de skateboard y sus resultados se compararon. Las especificaciones de diseño de la tabla de skateboard fueron encontradas en la literatura y como resultado de la comparación se destacó Ashby por su capacidad de seleccionar un material y el fácil uso de las herramientas software con la que cuenta.

2. JUSTIFICACIÓN

Una de las fases importantes en las que se basa el diseñador o ingeniero de materiales a la hora de diseñar un componente mecánico es la selección del material, puesto que la correcta elección del material hará que este elemento trabaje en óptimas condiciones y su desempeño sea el adecuado. El identificar diferentes metodologías de selección de material y poder compararlas para la escogencia de un mismo elemento, asegura una correcta elección del material.

Este trabajo aporta al constante debate técnico en ingeniería de materiales ya que condensa y resume 14 diferentes metodologías propuestas a través del tiempo, se eligen 3, y se aplican al caso de selección de material para una tabla de skateboard.

Con el siguiente estudio se beneficia la comunidad académica de la Universidad de Pamplona, debido a las diversas metodologías de selección de material que se pueden integrar al proceso formativo e investigativo, y sirve como referencia para una revisión rápida de las metodologías existentes.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Realizar un estudio comparativo de diferentes métodos de selección de materiales aplicables para una tabla de skateboard.

3.2 Objetivos específicos

1. Comparar y jerarquizar los métodos utilizados actualmente en la selección de materiales relacionados con el diseño mecánico.
2. Seleccionar tres métodos de acuerdo a los requerimientos de diseño para fabricar una tabla de skateboard
3. Aplicar los métodos definidos anteriormente en la selección del material para una tabla del skateboard
4. Determinar la selección óptima para una tabla de skateboard, de acuerdo a los métodos aplicados.

4. MÉTODOS DE SELECCIÓN DE MATERIALES

Para la selección de materiales se pueden encontrar diferentes métodos que ayudan a resolver las necesidades que se presentan en las etapas para el desarrollo de un proyecto de diseño mecánico. Estos métodos de elección se dividen en tres grupos: revisión rápida, optimización (programación matemática, simulación computacional, algoritmo genético) y toma de decisiones con múltiples criterios (A. Jahan et al., 2010). A continuación se describen estos métodos.

4.1 Métodos de revisión rápida

Los métodos de revisión rápida ayudan a reducir las opciones a un nivel específico.

4.1.1 Método Ashby.

En 1992, el ingeniero Metalúrgico Michael Farries Ashby, desarrolló un método para la selección de materiales conocido como gráfico o de Ashby, que optimiza el proceso de diseño, basándose en la selección del material más ajustable para la aplicación deseada (López Beltrán & Torres S., 2002). Este método se apoya en cartas que relacionan las propiedades de los materiales definidas por el diseño del componente y se usa básicamente en la etapa conceptual de la selección de material figura 1, ayudando en una aproximación del material que se ajusta a las especificaciones del diseño, utilizando las propiedades que deben tener los componentes a diseñar. La idea principal es correlacionar gráficamente pares de propiedades individuales o combinadas, para establecer zonas que correspondan a cada familia de materiales.

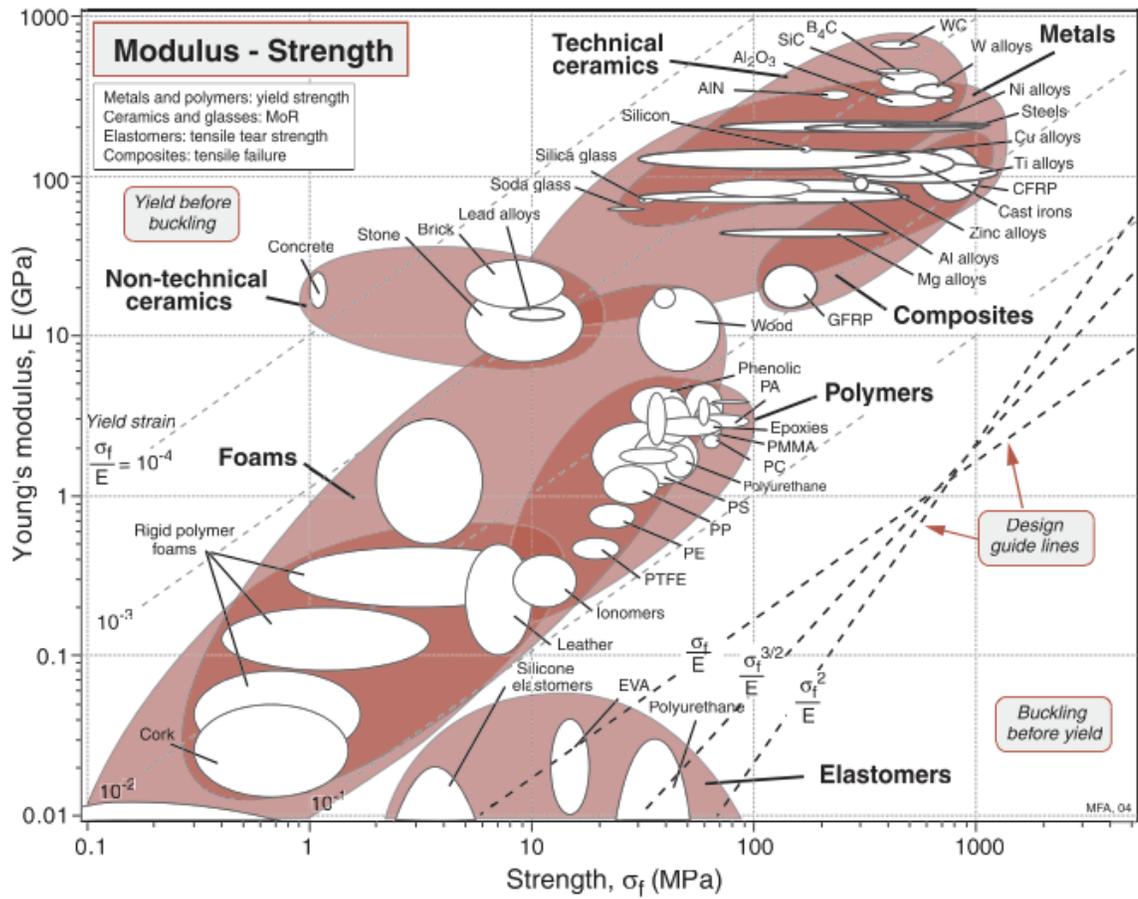


Figura 1. Carta Ashby - (Ashby, 1992)

En Ashby se puede resaltar lo siguiente:

- Proporciona una información accesible y compacta sobre los materiales
- Se ilustra las correlaciones entre propiedades de los materiales
- Dirige a técnicas que optimizan la selección de materiales

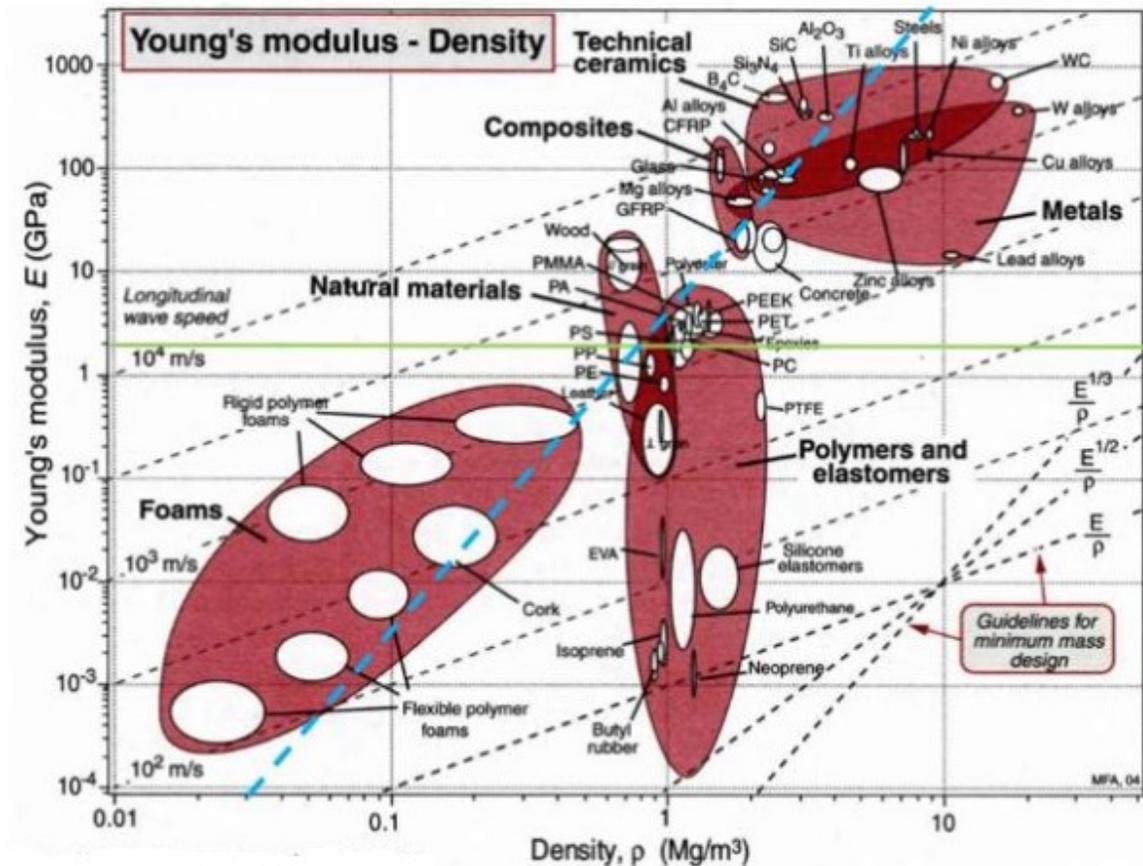


Figura 2. Carta Ashby e índices del material – (Valbuena Arias, 2018)

Esta metodología presenta una gran variedad de cartas que relacionan propiedades, entre los cuales se puede encontrar: mecánicas (rigidez/densidad), (rigidez/resistencia), (resistencia/densidad), entre otros. La implementación de este método se basa en cartas que correlacionan dos características (densidad, resistencia, rigidez, etc.) donde se sitúa el conjunto de materiales que se considera posibles para la selección figura 2. Para cada estudio realizado sin importar la complejidad, el comportamiento de los materiales se basa en la combinación de dos o más propiedades, las cuales aparecen en la gráfica propuesta por Ashby, y se trazan rectas con distintas pendientes. Los materiales ubicados sobre estas rectas, tienen comportamientos equivalentes, pero si se ubican por encima o por debajo de ellas, tienen comportamientos superiores o inferiores (Riba Romeva, 2008). Asociado a este método, la Universidad de Cambridge desarrolló un software actualmente comercializado por ANSYS, conocido como ANSYS GRANTA EduPack (ANSYS INC, n.d.).

El método de Ashby da respetivamente como resultado una familia de materiales, y/o dependiendo de los requerimientos distintos puede conducir a la selección de un material en específico, por esta razón es necesario obtener información de cada una de las familias de materiales que se presentan en las cartas, para poder hacer una selección del material adecuado. Para utilizar este método se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Conocer todos los requerimientos de diseño
- Partir de las restricciones fijas y teniendo claro el objetivo de diseño, determinar el índice de material
- Las propiedades que funcionan como restricciones deben tener un valor límite, este será trazado directamente en la carta
- Se recomienda fijar un valor numérico a la propiedad objetivo que exprese lo que se busca y trazarla en la carta
- Para ayudar a optimizar la búsqueda se puede trazar líneas guías cuya función es reducir posibles opciones

Este método se complejiza usando las variables a evaluar, estos índices del material son la representación de la relación entre la función sobre los limitantes. Con la ayuda del programa Ansys GRANTA EduPack2020 se reduce esta complejidad y se hace practico el método (Valbuena Arias, 2018).

4.1.2 Método de propiedad costo por unidad

Se aplica al inicio del proceso de selección de materiales, puesto que el costo es de gran importancia. Este método ayuda a identificar y establecer el costo objetivo para filtrar o eliminar los materiales que sean de costos elevados. Para el rendimiento del diseño, puede ser un factor útil cuando se relaciona una propiedad crítica del material. El resultado de este proceso de selección es una compensación entre costo y desempeño. Para algunos casos es posible estimar el costo junto a los requisitos más críticos para los materiales, entre los cuales se pueden tener en cuenta la resistencia a la tracción en costo sobre unidad (USD\$/ MPa). La limitante de este método, es que se considera una propiedad como la más crítica y se ignoran otras propiedades (A. Jahan et al., 2010).

4.1.3 Método del cuestionario

Este método fue sugerido por el investigador Mahmoud M. Farag, (Mahmoud M. Farag, 2002), clasifico los requisitos de rendimiento de un material en dos categorías principales:

- Requisitos rígidos: los debe cumplir el material porque se considera como propiedades absolutas, estos requisitos se pueden utilizar para la selección inicial de materiales y eliminar los grupos inadecuados, por ejemplo, si se quiere seleccionar un material como aislante eléctrico, los materiales inadecuados que se eliminarían son los materiales metálicos.
- Requisitos suaves o relativos: estos requisitos están sujetos a compensaciones en el cual se consideraron otros ítems diferentes a las propiedades básicas que representan a los materiales para mejorar la probabilidad de lograr una solución de diseño óptima. Las preguntas a resolver son: ¿Se han tenido en cuenta todas las condiciones ambientales a considerar? ¿Se han tenido en cuenta todas las limitaciones económicas? ¿Cambiarán las condiciones de diseño con el tiempo? ¿Se ha considerado la accesibilidad futura de la materia prima? ¿Se han considerado eficazmente los efectos de las cantidades o la tasa de producción de componentes? ¿Se han obtenido todas las propiedades de los materiales discretos relacionados?

4.1.4 Método tradicional

Este método también conocido como materiales de ingeniería de partes similares se basa en la selección más adecuada del material dependiendo de la experiencia que tenga el ingeniero de materiales o el diseñador de elementos mecánicos. Generalmente el diseñador, utiliza referencias de algunos diseños similares y que han tenido buenos resultados. La seguridad de este método radica en la experiencia de quien selecciona, el uso histórico que se le ha dado al material, el buen comportamiento del material durante la vida de servicio del componente y los ensayos que se realizaron a componentes similares durante su proceso de diseño y fabricación. Sin embargo, también puede existir algún error de selección, porque debido a la gran confianza basada en la experiencia, puede dejar de analizarse otros factores que existen para el nuevo componente, como un ambiente diferente, cambio de temperaturas, esfuerzos, forma, compatibilidad con otros materiales en el equipo específico entre otros (González & Mesa G., 2004).

4.1.5 Método de las magnitudes características

Este método propone analizar las funciones de cada componente en el diseño, con la ayuda de dos preguntas que orientan al proceso de selección:

- ¿Cuáles son los objetivos a optimizar en los materiales?
- ¿Cuáles restricciones debe satisfacer el componente?

Para resolver estas preguntas, se pueden seguir estos pasos:

- Funciones a realizar: es la descripción que se le da a la función o propiedad compleja del material que se quiere optimizar (masa para una determinada resistencia)
- Objetivos: son las variables que se quieren maximizar o minimizar en el proceso de selección cuantitativa del material (resistencia a tracción, energía térmica acumulada, entre otros)
- Restricciones: son las limitaciones comunes que se deben satisfacer para los materiales que se quieren seleccionar (manteniendo la misma masa, manteniendo el mismo volumen, manteniendo el mismo costo, entre otros)

Se debe convertir los parámetros a optimizar por ejemplo, el espesor, el costo, la masa entre otras, dependiendo de la aplicación que se está estudiando, a expresiones algebraicas de las funciones a realizar, nombrándola F , basándose en leyes de la física o tecnológicas. Esta expresión contiene dos grupos, el primero contiene sólo términos relacionados con los parámetros de aplicación y el otro grupo relaciona sólo términos con las propiedades del material.

$$F = \Phi + \Gamma$$

Donde,

F = función a realizar, (resistencia a tracción/compresión, rigidez a flexión, etc)

Φ = parámetros de aplicación, incluye todos los parámetros que no son propiedades del material, geometría del sistema, costo, etc.

Γ = Parámetros del material, incluye todos los parámetros que son propiedades del material.

Para realizar el procedimiento se debe tener un grupo de materiales a evaluar (Riba Romeva, 2008).

4.1.6 Método de base de datos

Este método se basa en el uso de información que se recopila de páginas web o plataformas de internet, libros, handbook, normas etc. relacionada con los distintos materiales que existen, como hojas de vida del fabricante, plataformas de propiedades de materiales, investigaciones que caracterizan los materiales y definen sus propiedades etc. Una de sus ventajas radica en que esta información generalmente está disponible relativamente fácil (Valbuena Arias, 2018).

Hay dos categorías principales en el método, la primera se basa en recopilar información a partir de base de datos que generalmente están en plataformas en la web como la plataforma gratuita matweb (Matweb, n.d.), la otra consiste en buscar información a partir de referencia bibliográfica o normas como ASTM, SAE, ASM, handbook, AISI, entre otras. Es importante resaltar que para la implementación de

este métodos se necesita el conocimiento de las propiedades y un listado de posibles materiales que puedan ser seleccionados que cumpla con los requerimientos de diseño (González & Mesa G., 2004).

4.1.7 Método de inteligencia artificial – Sistema de selección de materiales asistido por computadora.

Para entender este método es necesario tener en cuenta que la inteligencia artificial busca que las computadoras realicen procesamiento de conocimiento extenso y disperso enfocándolos en la solución de problemas complejos, en este caso la selección de materiales. Con los avances tecnológicos, se puede describir dos enfoques analíticos para la selección de materiales de ingeniería asistida por computadora, teniendo en cuenta las propiedades o el diseño a realizar, diferentes materiales dentro de sus familias o grupos pueden ser clasificados por procedimientos de minimización junto con factores de juicio de ingeniería. (Hanley & Hobson, 1973).

4.2 Métodos de Optimización

Este grupo de métodos se desarrollaron basados en los amplios enfoques de optimización.

4.2.1 Programación matemática

La implementación de la programación matemática en los procesos de selección de materiales se basó en principios de investigación para los procesos de diseño de estructuras en construcción. Teniendo en cuenta que los procesos de diseño en ingeniería se tienen dos fases: Diseño y Análisis (Gero B.E, 2011). Se propone un enfoque integrado de las actividades que se interrelacionan entre el diseño de productos, selección de materiales y estimación de costos. Teniendo en cuenta la variedad de materiales, estos se reducen a un determinado número utilizando las limitaciones de diseño y requisitos de rendimiento. Con la estimación de costos, se obtienen los materiales que posiblemente pueden ser utilizados, usando la técnica de optimización análisis costo-beneficio se selecciona la combinación optima de diseño y material (M.M Farag, 1992).

4.2.2 Simulación por computador

Se integraron las bases de datos de propiedades de los materiales con algoritmos de diseño y el diseño asistido por computador (CAD) fabricación asistida por computador. Los programas (CAD) entre sus ventajas tienen la homogenización y el intercambio de datos en los diferentes departamentos, es decir, comparte la información obtenida. Goldsberry habla de la importancia sobre la aplicación de simulación por computador en la selección de materiales, donde uso el software Moldflow para evaluar algunos materiales de diferente costo. Este software tiene la

capacidad de simular un material frente a otro y hacer las diferentes pruebas, evitando la necesidad de utilizar máquinas de moldeo a prueba y error (Goldsberry, 2006). Con los avances tecnológicos en los métodos de elementos finitos (FE) ha permitido una estrategia de optimización en la simulación por computador para el diseño de estructuras compuestas (Aceves et al., 2008). Los enfoques deben ser claros para poder definir un objetivo a tener en cuenta, cuando hay conflictos en los objetivos de diseño como peso y costos mínimos no es recomendado implementarlo.

4.2.3 Algoritmo genético

Con la gran variedad de combinaciones de materiales, geometrías y arquitectura en el diseño de ingeniería, se hace la adaptación de materiales compuestos, se refiere a la manipulación simultánea de la composición de los materiales y su arquitectura interna para obtener las propiedades requeridas. Se implementa un enfoque sistemático para la adaptación óptima de materiales. Una optimización combinatoria de algoritmos genéticos con una base de modelo de propiedades que consiste en relaciones analíticas microestructura-propiedad. Los diseños óptimos se informan para estudios en casos que involucran requisitos de propiedades que son normalmente utilizadas (Sadagopan & Pitchumanit, 1998).

4.3 Métodos de toma de decisiones con criterios múltiples (MCDM)

Estos métodos ayudan a decidir sobre las múltiples alternativas que puede tener una solución, donde puede haber múltiples criterios y conflictos al momento de decidir sobre algo en específico. Estos métodos han sido utilizados para resolver problemas que se presentan en la vida real, por su capacidad para valorar diferentes alternativas basada en criterios de decisión donde se escoge la mejor opción (Kumar et al., 2014), (Emovon & Oghenenyero, 2020). Después de tener un campo pequeño de posibles materiales, estos métodos de selección se pueden utilizar para mejorar y reducir la cantidad de posibles materiales a candidatos óptimos que cumplan los requerimientos (A. Jahan et al., 2010).

4.3.1 Análisis de utilidad de atributos múltiples.

Los modelos de análisis de utilidad de atributos múltiples o sus siglas en inglés (MAUA), son herramientas matemáticas que ayudan a comparar y evaluar diferentes alternativas en la toma de decisiones sobre alternativas complejas. Estos modelos se manejan asignando puntajes a opciones alternativas en situaciones donde se pueden identificar y analizar (Thurston & Carnahan, 1992). Los modelos son basados en la suposición aparente que convenga en la alternativa en particular dependiendo de sus atributos, estos atributos están dirigidos en función de utilidad. Para medir la utilidad se usan cuestionarios, pero este proceso de entrevista tarda demasiado en aplicarse en la mayoría de situaciones y el entrevistador debe ser

experto en el tema. Este método permite encontrar soluciones óptimas para dos objetivos, pero para tres aumenta el grado de dificultad (A. Jahan et al., 2010).

Con esfuerzos para comprender como se lleva a cabo esta selección y con la intención de ayudar a los diseñadores e ingenieros de materiales a hacer más efectivo el uso de la información disponible para tomar estas decisiones, se desarrolló una herramienta conocida como análisis de decisiones. Los investigadores formularon una teoría del análisis de utilidad, el cual ha sido aplicado en diferentes campos de la ingeniería. Una función de utilidad es un mapeo de un espacio de atributos multidimensionales en un espacio unidimensional, por ejemplo se puede considerar costo y peso, los elementos de este espacio de atributos son dimensiones que corresponden a los atributos de rendimiento, los cuales se tienen en cuenta para la decisión que se está estudiando y los límites de este espacio están definidos en el inicio del análisis. Al realizar evaluaciones repetidas de problemas de decisiones con temas cuidadosamente elaborados, un analista puede definir un mapeo matemático de este espacio en una dimensión de preferencia, para establecer un orden en todos los puntos de espacio de atributos. Las características que definen cualquier función de utilidad son:

Dadas dos alternativas, A y B, y una función de utilidad $U(x)$

$U(A) > U(B)$ si A es preferido que B; y

$U(A) = U(B)$ si A y B son igualmente preferidos

Por lo general, el uso de MAUA en las decisiones de selección de materiales se ha limitado en casos que tengan alto grado de certeza sobre los niveles de atributo. En el caso de nuevas alternativas es difícil establecer con certeza los niveles de características relevantes. Por lo general el material solo se produce en escala experimental, la prueba de un material en estas condiciones puede producir resultados diferentes a los que se pueden encontrar en el mismo material procesado en gran escala de producción. En muchos casos, los nuevos materiales aún se encuentran en fase experimental y como consecuencia solos los valores proyectados para su nivel de características de rendimiento son los que estarán disponibles. Por estas razones existe incertidumbre con respecto a los niveles de atributos para los nuevos materiales. Sin embargo, no significa que MAUA sea inútil, de lo contrario, está diseñado para afrontar estas situaciones. En problemas anteriores de selección de materiales, los valores de utilidad de los atributos se han calculado utilizando niveles bien definidos de cada característica. La selección de materiales mediante el análisis de utilidad, se realiza al igual que muchas otras técnicas para seleccionar materiales, siempre y cuando el criterio de selección sea diferente. En vez de maximizar un índice ponderado, se maximiza la utilidad general (Emovon & Oghenenyerovwho, 2020).

4.3.2 Programación de metas.

La programación de metas o sus siglas en inglés (GP), son una modificación de la programación lineal. La programación lineal se encarga de un único objetivo a minimizar o maximizar dependiendo de la restricción que se tiene, por otro lado, la programación de metas es utilizado como método eficaz para manejar una decisión sobre objetivos múltiples o contradictorios. El modelo de programación de metas puede considerar unidades no homogéneas.

4.3.3 Técnica de preferencia de orden por similitud a una solución ideal (TOPSIS)

Este método se dirige hacia la preferencia de orden por similitud con una solución ideal, los principios básicos que dan orientación y solución a la aplicación del métodos se relaciona para elegir una alternativa donde se tenga la distancia más corta de la solución ideal y a distancia las lejana de la solución ideal negativa (Opricovic & Tzeng, 2004).

4.3.4 Método VIKOR

Este método fue desarrollado para resolver problemas de toma de decisiones de múltiples criterios y se aplica a la resolución de conflictos. El VIKOR es aplicado popularmente en el análisis de multicriterio (Chang, 2010). El método se centra en clasificar y seleccionar un conjunto de alternativas en presencia de criterios de conflicto (Opricovic & Tzeng, 2004), (Ali Jahan et al., 2011).

4.4 Ventajas y desventajas de los métodos

Como resultado de la información obtenida y recopilada de la literatura, base de datos, artículos, ponencias, y demás fuentes de información acerca de los métodos de selección de materiales, se realizó una comparación respecto a las ventajas y desventajas reportadas en relación a los métodos revisados. A continuación se muestra la tabla 1, donde se puede visualizar las ventajas y desventajas de una mejor forma.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la revisión de los métodos propuestos

METODOS	Ventajas	Desventajas
Revisión Rápida		
Método Ashby	Ubica grupos o familias de materiales. Versatilidad del método en las etapas de diseño. Complejidad matemática media. Da un material como resultado.	Limita las decisiones para la selección de materiales a solo dos o tres criterios.

Método de propiedades costo por unidad	La compensación entre el costo y la propiedad crítica del material es la elección final. Baja complejidad matemática muy intuitiva. Versatilidad del método en las etapas del diseño	Se considera solo una propiedad como crítica ignorando las demás propiedades.
Método del cuestionario	Tiene la posibilidad de lograr una solución óptima del diseño. Utilizado en la etapa inicial de diseño.	No puede ofrecer ningún rango. Poca información sobre el método.
Método tradicional	Rápida selección del material basado en un proyecto ya realizado. Fácil implementación y muy intuitivo	No se tienen en cuenta algunos criterios. Limita los materiales a seleccionar.
Método de las magnitudes características	Identifica el material necesario basado en unos ya preseleccionados. Es necesario en la etapa inicial del diseño. Selecciona el material necesario basado en las características principales.	Debe tener materiales ya preseleccionados. Es necesario tener clara las características a evaluar.
Método de la base de datos	Gran información detallada sobre materiales. Disponibilidad y acceso rápido a las características de los materiales. Disposición de muchos materiales a ser seleccionados.	Limita las aplicaciones de diseño.
Método de inteligencia artificial	Selecciona diferentes materiales dentro de las familias o grupos extensos	No hay información disponible.
Métodos de Optimización		
Programación matemática	Implementación y agilidad al resolver problemas matemáticos. Reduce el tiempo de implementación de los métodos. Respuestas precisas.	Se limita a aplicaciones. No es práctico

Simulación por computador	Simulación inmediata de los materiales a utilizar. Demostración de los materiales en función. Idea general del comportamiento de los materiales.	Se omiten algunas condiciones de diseño. Se limita el resultado real con el ideal.
Algoritmo genético	Combinación entre materiales para obtener el necesario.	Compleja implementación. Poca información. Software costoso
Métodos de toma de decisiones con criterios múltiples		
Análisis de utilidad de atributos múltiples	Alternativas de preferencias son evaluadas simultáneamente. Versatilidad del método en las etapas del diseño.	El resultado del atributo de decisión es incierto. Complejidad matemática alta. Requiere de diversos conocimientos para su implementación.
Programación de metas	Su organización ayuda a realizar más rápido la toma de decisión. Ubica materiales para hacer la mejor selección.	Se limita a un número de metas. Utilizado preferiblemente en la etapa inicial del diseño.
Técnica de preferencia de orden por similitud	El proceso es simple y el procedimiento de solución no cambia independientemente del número de criterios o decisiones. Versatilidad del método en las etapas de diseño. Mayor seguridad en la selección del material.	La normalización de vectores puede ser necesario para resolver problemas que son multidimensionales. Método complejo de realizar. Complejidad matemática alta.
Método VIKOR	El enfoque es una variedad actualizada.	Ante un escenario conflictivo la técnica se vuelve desafiante

4.5 Jerarquización de los métodos

Como se vio anteriormente, se han dividido los métodos en tres grupos para la selección de materiales, dando un total de 14 métodos. Teniendo en cuenta el

objetivo número 1, donde se propuso jerarquizar los métodos utilizados actualmente en la selección de materiales relacionados con el diseño mecánico, se definieron a partir de la bibliografía consultada y la experiencia de los directores, donde se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros de jerarquización.

4.5.1 Versatilidad del método en las etapas de diseño

Este parámetro se basa en identificar que los métodos se puedan aplicar en las diferentes etapas del diseño o si representa alguna restricción sobre las etapas. Las etapas de diseño son: etapa inicial, intermedia y detallada. Es importante tener claro a la hora de hacer cualquier diseño con que método se puede contar desde el principio o tener claro en qué etapa se puede utilizar con mayor efectividad.

4.5.2 Información publicada

El tener clara la información que hay con respecto a los métodos da una forma de jerarquizarlos. Este parámetro nos ayuda a identificar que métodos han sido estudiados o implementados comúnmente y cuales solo se puede conocer de su existencia. Es importante tener clara la información que hay sobre los métodos porque esto ayudará a la decisión de su escogencia.

4.5.3 Complejidad matemática

Este parámetro hace referencia al nivel matemático que tiene cada método, desde una baja complejidad hasta un alta que implica la implementación de funciones especiales y ecuaciones diferenciales. Dependiendo de la aplicación, se debe revisar los métodos que ayudarían a resolver el problema, de una forma más eficiente teniendo en cuenta la dificultad matemática.

4.5.4 Uso de software

Hace referencia a la implementación de equipos de cómputo al momento de aplicar los trabajos que requieren cada método. Con la ayuda del computador, es decir, si requiere de software especializado de matemática o estadística, para agilizar la aplicación del método si este lo permite. Es interesante conocer o identificar que métodos tienen esa versatilidad.

4.5.5 Herramienta de software disponible de relación

Este parámetro hace referencia a herramientas de software relacionadas con el método directamente, con la identificación de parámetros requeridos por la herramienta se pueda implementar. Es importante tener en cuenta que los métodos que cuentan con estas herramientas facilitan la aplicación por parte de los expertos.

4.5.6 Costo del software disponible

Con relación al parámetro anterior herramientas de software de selección, este parámetro identifica el costo sobre este software. Es necesario saber el costo sobre estas herramientas porque debe tenerse claro que se puede adquirir.

4.5.7 Metodología para la jerarquización

Para la metodología de jerarquización se definió valores numéricos para cada parámetro en una escala de 1 a 3. Donde 3 es máximo, método más fácil de utilizar y 1 es mínimo, método más complejo de aplicar. Luego se obtuvo valores totales sumando la calificación en cada parámetro. Los mejores métodos serán los que tengan el mayor valor.

Hay que tener en cuenta que la definición de los valores numéricos para cada parámetro depende del proyecto, esto quiere decir que los parámetros que se tienen en cuenta para evaluar los métodos para la jerarquización son específicos para este proyecto, no son generales.

Para este proyecto, los valores numéricos para cada parámetro se muestran en las tablas 2 – 7.

Tabla 2. Versatilidad del método

Versatilidad del método en las etapas del diseño	
Cualquier etapa	3
Restringido a una etapa	1

Tabla 3. Información publicada

Información publicada (que tan fácil se encuentra información del método)	
Una cita sobre el método	1
Una cita y artículos de aplicación del método	2
Todo lo anterior + artículos describiendo la aplicación del método	3

Tabla 4. Complejidad matemática

Complejidad matemática	
Baja complejidades, intuitivo y algebra	3
Derivadas, sumatorias, integrales	2

Funciones especiales, ecuaciones diferenciales	1
------------------------------------------------	---

Tabla 5. Uso de software y apoyo de cómputo

Es necesario software especializado	
Si	3
No	1

Tabla 6. Herramienta de software de selección

Herramienta de software de selección	
Si	3
No	1

Tabla 7. Costo del software

Costo del software disponible	
Gratis	3
De Pago	1
No hay software	0

4.5.8 Resultados obtenidos de la jerarquización

En la tabla 8 se muestran los resultados de la jerarquización teniendo en cuenta los parámetros anteriormente mencionados

Tabla 8. Resultado de la Jerarquización

METODOS	Tiene en cuenta los procesos de fabricación	Versatilidad del método en las etapas de diseño	Información publicada	Complejidad matemática	Es necesario el uso de computadores	Herramienta de software disponible	Costo del software	Puntaje total
Método de las magnitudes características	1	3	3	2	3	3	3	18
Método de la base de datos	1	3	1	3	3	3	3	17
Método ASHBY	1	3	3	2	3	3	1	16
Programación matemática	1	3	1	2	3	3	1	14
Simulación por computador	1	1	2	2	3	2	3	14
Método de propiedades costo por unidad	1	3	2	3	3	1	0	13
Método tradicional	1	3	2	3	3	1	0	13
Técnica de preferencia de orden por similitud	1	3	1	1	3	3	1	13
Método VICOR	1	3	1	1	3	3	1	13
Método de inteligencia artificial	1	1	1	2	3	3	1	12
Algoritmo genético	1	1	1	1	3	3	1	11
Método del cuestionario	1	1	1	3	3	1	0	10
Análisis de utilidad de atributos múltiples	1	3	1	1	3	1	0	10
Programación de metas	1	1	2	2	3	1	0	10

Los métodos que se van a utilizar en esta investigación son los tres con mejores puntajes de la jerarquización, estos son:

- Método de las magnitudes características (Valor 18)
- Método de la base de datos (Valor 17)
- Método de Ashby (Valor 16)

Estos métodos obtuvieron la mayor cantidad de puntos porque son versátiles en las etapas del diseño y no son restringidos para una etapa en específico, además de tener la mayor cantidad de información sobre estos métodos y sus aplicaciones es algo que ayuda a su utilización y verlos de una manera amigable, el nivel de complejidad matemática ayudó a identificar que tan sencillos son en su aplicación, basándose en la necesidad de tener algunos conocimientos sobre niveles matemáticos, dando un mejor puntaje a los métodos que son de baja complejidad y muy intuitivos, considerándolos como la mejor opción de implementación. El uso de software especializados y equipos de cómputo da la idea que todos los métodos tienen la posibilidad de ayudarse con un equipo para hacer más rápido sus cálculos y operaciones necesarias para el desarrollo y aplicación de estos. Uno de los parámetros a tener en cuenta con mayor atención, son las herramientas de selección disponibles, ya que pueden ser utilizados con mayor facilidad y de una manera ágil, dando alto puntaje a los que dispongan de esa herramienta. Por último el valor al costo de la herramienta software para este caso donde sea gratis o licenciado, esto quiere decir que así un método cuente con una herramienta software no asegura que no sea necesario pagar por las licencias, los que son gratis se da el mejor puntaje.

5. TABLA DE SKATEBOARD

Durante los años 1963 y 1965, se exploró el potencial para montar un pedazo de madera sobre patines, 4 ruedas. Para 1963, Larry Stevenson fue el primero en desarrollar un skateboard profesional, por lo tanto, el modelo se basó en el surfista Phil Edwards, era una tabla de madera en forma de tabla de surf en miniatura con ruedas de arcilla. Por otra parte, diferentes fabricantes decidieron explorar diversos materiales alternos para la construcción y fabricación de estas tablas, uno de estos fue inicialmente producido con indicaciones para periodos cortos de uso y diseñado para flexionarse, la fibra de vidrio, epoxi y núcleos delgados de madera arce fueron los seleccionados para esta fabricación. La implementación de estos materiales duró poco puesto que las personas que los adquirían se predispusieron ante los dispositivos y también por el bajo nivel tecnológico en esta época. En 1972, Frank Nasworthy tuvo aceptación por parte de la población de patinadores y surfistas del sur de California por los cambios que realizó a la rueda del skateboard utilizando uretano, esto dio como resultado ruedas más blandas para carreras callejeras y ruedas duras para pared. Los resultados fueron notables, se obtuvo un grado mayor de maniobrabilidad en comparación con los primeros diseños realizados sobre los skateboard (Prentiss et al., 2011).

5.1 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño dependen del problema a solucionar, en la literatura se encontraron diferentes estudios con parámetros de diseño los cuales se describen a continuación.

5.1.1 Diseño según Ortega

(Ortega Ruíz, 2018), definieron parámetros de diseño para un skateboard teniendo en cuenta un usuario promedio de 80 kg. Asumieron una carga constante sobre la tabla, considerando que la persona esté sobre esta con ambos pies posicionados simétricamente. La geometría utilizada para el skateboard fue basada en The Vanguard Longboard de la empresa Loaded. En la tabla 9 se muestran los parámetros de diseño.

Tabla 9. Parámetros de diseño (Ortega Ruíz, 2018)

Peso (máximo soportado por la tabla)	80 Kg
Fuerza aplicada a la tabla	785 N
Esfuerzo máximo	62,8 N/mm ²
Largo	107 cm y 98 cm
Ancho	21.5 cm
Distancia entre ejes (agujero interior)	80 cm
Perfil	Curvo

5.1.2 Diseño según Rodríguez

(Rodríguez Gasca, 2020), Obtuvieron los parámetros de diseño (Tabla 10) para una tabla de skateboard de material biocompuesto híbrido tipo sándwich, donde se tuvo en cuenta un usuario de 75kg y los estudios realizado para un análisis estático basado en elementos finitos usando el software CAE ANSYS, donde el usuario hace un movimiento crítico para la patineta, ubicándola sobre un soporte fijo Figura 3.

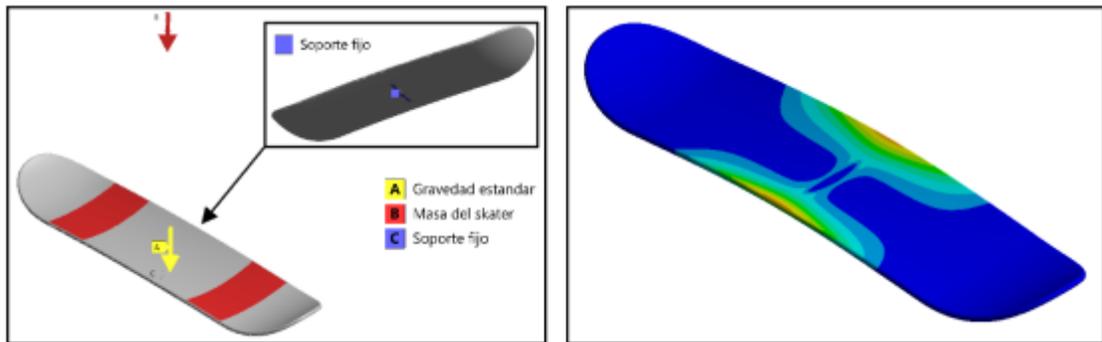


Figura 3. Escenario de estudio (Rodríguez Gasca, 2020)

Tabla 10. Parámetros de diseño (Rodríguez Gasca, 2020)

Espesor de la tabla (mm)	8
Peso de la tabla (kg)	1
Peso soportado por la tabla (kg)	75
Módulo de flexión (GPa)	2,52+-0,87
Resistencia a la flexión(MPa)	41,27+-9,60
Esfuerzo equivalente máximo(MPa)	20,04
Deformación a flexión (%)	0,93+-0,17
Perfil	Concavidad media
Factor de seguridad mínimo	2,06

5.1.3 Diseño según Edruweit

(Endruweit & Ermanni, 2002), definieron los parámetros de diseño de su skateboard teniendo en cuenta un usuario promedio entre 60 y 80 kg de masa, por lo tanto, asumieron dos casos, el primer caso, cuando una persona tiene un pie sobre la tabla mientras toma impulso, el segundo caso, donde la carga es constante sobre la tabla, considerando que la persona esté sobre esta con ambos pies posicionados simétricamente (Figura 4). En la tabla 11 se muestran los parámetros de diseño tenidos en cuenta.

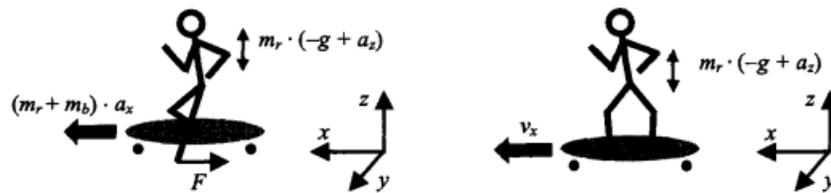


Figura 4. Escenarios tenidos en cuenta para el estudio (Endruweit & Ermanni, 2002)

Tabla 11. Parámetros de diseño (endruweit & Ermanni, 2002)

Peso soportado por la tabla	60-80kg
Carga dinámica	1,8 veces el peso del cuerpo del montador
Carga máxima (normalizada)	$1 \leq F_{max}/mg \leq 1,8$
La construcción de la tabla	Requiere un diseño de deformación
Diseño de deformación	Afecta la selección del material
Deflexión horizontal	Debe tener 21mm entre los puntos de soporte para una carga estática
Longitud horizontal	750mm
Ancho	180mm
Longitud a lo largo de la curvatura	761mm
Radio de curvatura en la dirección longitudinal R1	1870mm
Angulo de vértice	23.2"
distancia entre el punto más alto y la horizontal	38mm

5.1.4 Diseño según Liu

(Liu et al., 2018), definieron los parámetros de diseño de su skateboard teniendo en cuenta la vida útil de la tabla y el costo, por otra parte, el diseño de su tabla es basado en una tabla de skateboard utilizada para saltar. Asumieron dos casos para el estudio, el primer caso donde la patineta esta estática con las cargas aplicadas

del usuario y el segundo caso, donde se realiza un salto con la tabla ubicado las fuerzas en otra posición (Figura 5). En la tabla 12 se encuentran los parámetros de diseño que utilizaron.



Figura 5. Casos de estudio skateboard (Liu et al, 2018)

Tabla 12. Parámetros de diseño (Liu et al, 2018)

Precio máximo para la tabla	200 dólares
Vida útil	10000 ciclos y no debe sufrir fractura por fragilidad
Tenacidad a la fractura	5 MPa/m ²
Peso máximo soportado por la tabla	160kg
Largo	32"
Ancho	8"
Grosor	1/2"
Momento máximo	28691,84 N*cm
Tensión en la tabla	52,53 Pa
Peso de la tabla	5 kg

5.1.5 Diseño usando ingeniería inversa

La ingeniería inversa es un proceso el cual tiene como objetivo obtener información de las propiedades de los materiales a partir de un producto. Este estudio se realiza a productos disponibles en el mercado, por otra parte, este método es conocido porque avanza en dirección opuesta a los pasos normalmente estructurados de la ingeniería (Alonso & Acosta, 2013). En este trabajo se realiza ingeniería inversa para conocer los materiales más utilizados para las tablas de skateboard, sus propiedades. En la tabla 13 se muestran tablas de skateboard y longboard consideradas las mejores para los años 2020 y 2021 encontradas en la web.

Tabla 13. Tablas de Skateboard y sus materiales utilizados

Marca	Modelo	tipo de tabla	Material o composición
Tabla Skate Almost, (Fillow Magazine, 2021)	Ivy League Impact Light Max Geronzi 8.25	Skateboard	7 láminas de madera de arce 100% canadiense con <i>IMPACT SUPPORT</i> .
Tabla Skate Completa Almost (Fillow Magazine, 2021)	Blur Resin Multi 7.75	Skateboard	7 láminas de madera de arce 100% canadiense <i>RESIN</i> .
Tabla Skate Completa Almost (Fillow Magazine, 2021)	PB&J FP Strawberry 7.625	Skateboard	7 láminas de madera de arce 100% canadiense con resina Epoxy
Tabla Skate Powell Peralta (Fillow Magazine, 2021)	Ripper Natural Olive 8.75	Skateboard	7 láminas de madera de arce 100% canadiense
Globe Blazer (ciudad surf, 2020)	Globe Blazer	Longboard	resina epoxy y su construcción con madera de arce
Jucker Hawaii (ciudad surf, 2020)	New Hoku	Longboard	mezcla capas de fibra de vidrio, bambú y arce de madera dura
Jucker Hawaii (ciudad surf, 2020)	Longboard Makaha	Longboard	5 capas de madera dura de arce y dos capas exteriores de bambú
Mindless (ciudad surf, 2020)	Longboards Maverick	Longboard	arce canadiense de 6 capas y una capa inferior de bambú

5.1.6 Tabla de propiedades aplicables al skateboard

Con la información obtenida de la revisión bibliográfica y el estudio de ingeniería inversa acerca de las tablas de skateboard, se encontró diferentes materiales utilizados para su fabricación. Para identificar las propiedades de los materiales se utilizó el programa ANSYS GRANTA EduPack2020, debido a que este programa cuenta con una amplia base de datos donde describe el material y sus propiedades. En la tabla 14 se describen las propiedades y los materiales tenidos en cuenta para este proyecto.

Tabla 14. Materiales y sus propiedades obtenidas de ANSYS GRANTA EduPack2020

Propiedades	Madera de arce saccharum (longitudinal)	Madera de arce saccharum (transversal)	Bambú (longitudinal)	Bambú(transversal)	Epoxy/E-glass fiber	Resina poliéster PALATAL 5346 B	Fibra de fique	epoxy resin (flexibilized)
Precio	5,76e3 COP/kg	5,76e3 COP/kg	5,76e3COP/kg	5,76e3COP/kg	1,013e5COP/kg	-	-	2,45e4COP/kg
Densidad	710 kg/m ³	710 kg/m ³	700kg/m ³	700kg/m ³	1,77e3kg/m ³	119e3kg/m ³	1740kg/m ³	2,31e3kg/m ³
Módulo de Young's	13,9GPa	2,23GPa	17,5GPa	1,75GPa	40GPa	-	-	1,003GPa
Rigidez específica	19,75 MN.m/kg	3,17 MN.m/kg	25,5MN.m/kg	2,55MN.m/kg	22,75MN.m/kg	-	-	0,89MN.m/kg
Yield strength (limite elástico)	55,55MPa	3,27MPa	39,9MPa	7,85MPa	700MPa	-	-	40MPa
Fuera de tensión	101,1MPa	5,45MPa	240MPa	37,5MPa	700MPa	-	-	54,5MPa
Fuerza específica	78,9 kN.m/kg	4,65 kN.m/kg	58,15kN.m/kg	11,46kN.m/kg	397kN.m/kg	-	-	35,65kN.m/kg
Elongación	2,18%	0,76%	3,20%	5,00%	2,5%	2%	9,80%	52,5%
Fuerza de compresión	54MPa	10,16MPa	80MPa	70MPa	620MPa	-	-	73,25MPa
Módulo de flexión	25,3GPa	2,03GPa	19,5GPa	1,95GPa	40GPa	4300e3GPa	-	0,998GPa
Fuerza de flexión (Modulo de ruptura)	109MPa	5,45MPa	120MPa	37,5MPa	600MPa	-	-	69,8MPa
Resistencia a la fatiga en 10e7 ciclos	32,65MPa	1,63MPa	34,3MPa	10,73MPa	280MPa	-	-	21,8MPa
Tenacidad a la fractura	6,45MPa.m ^{0,5}	0,592MPa.m ^{0,5}	6,35MPa.m ^{0,5}	0,585MPa.m ^{0,5}	44,85MPa.m ^{0,5}	-	-	2,65MPa.m ^{0,5}
Resistencia al agua	Uso limitado	Uso limitado	Uso limitado	Uso limitado	Excelente	-	-	Excelente

Como se observa arriba, se obtienen las propiedades de los materiales que conforman el compuesto, pero no las propiedades del compuesto, para obtener estas propiedades se utiliza la herramienta Synthesizer del programa ANSYS GRANTA EduPack2020, donde se adicionaron los materiales compuestos tablas(15-19) . Este programa ayuda a obtener las propiedades necesarias para realizar la selección y filtrar de manera correcta basados en materiales que son normalmente utilizados para esta aplicación. A continuación se muestra los pasos para agregar materiales usando la herramienta de ANSYS GRANTA EduPack2020 para crear los materiales compuestos.

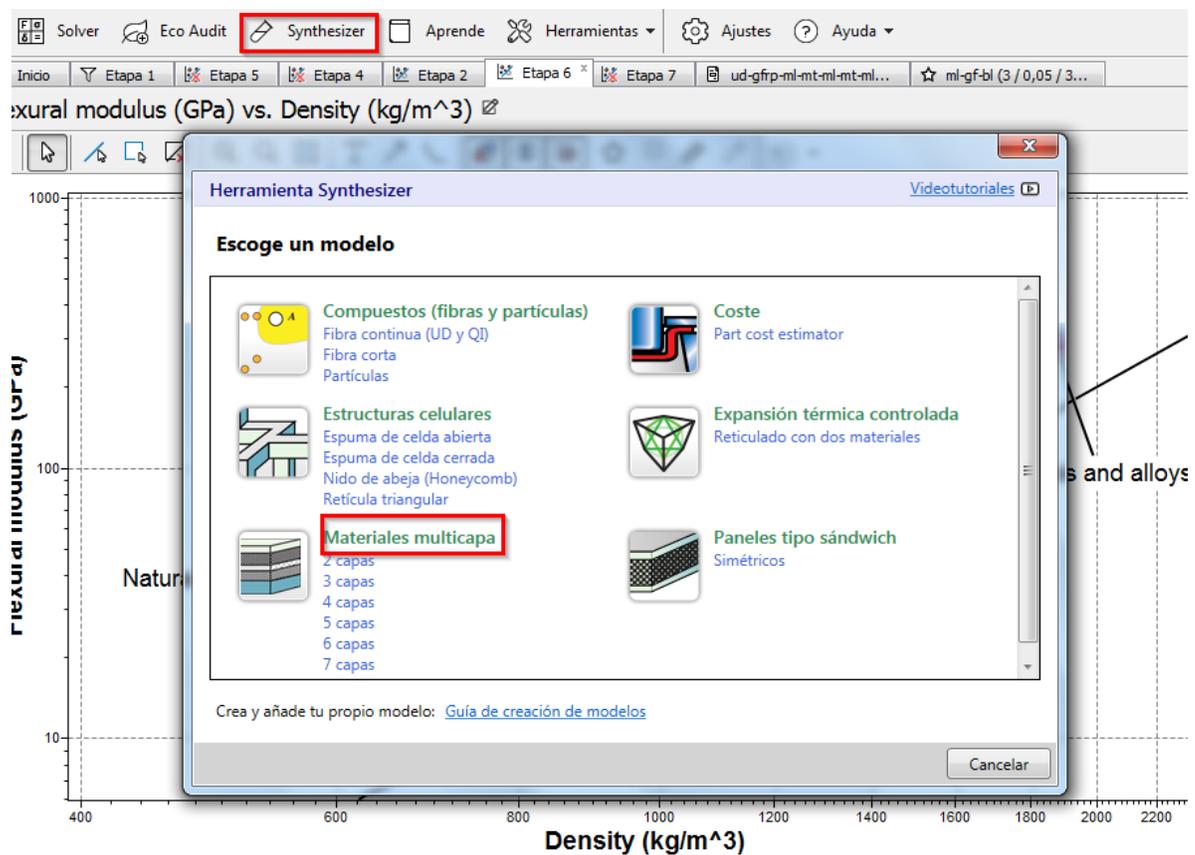


Figura 6. Herramienta synthesizer materiales multicapa

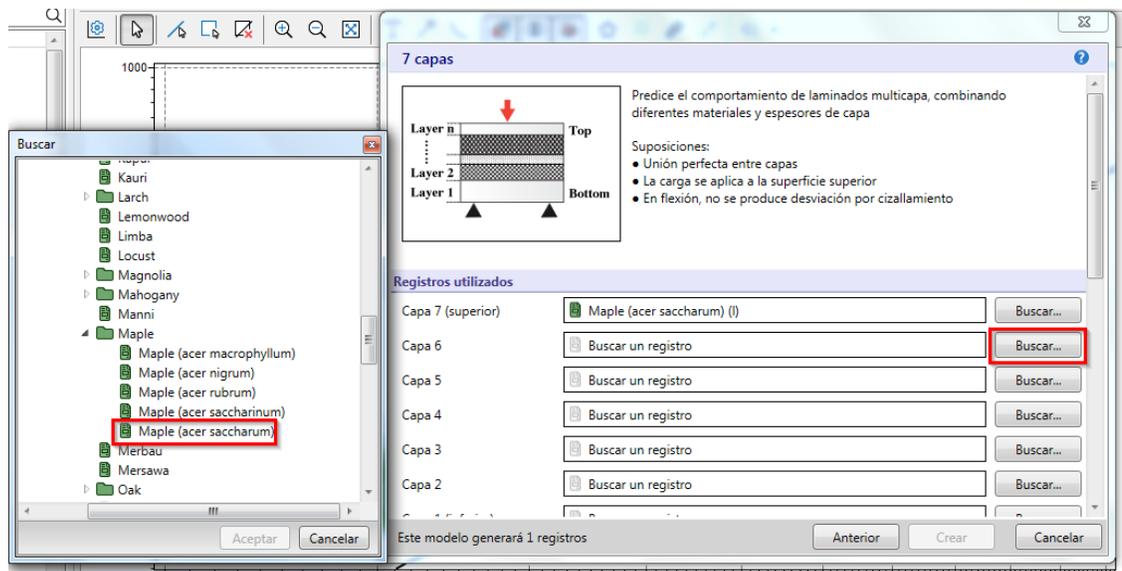


Figura 7. Forma de agregar el material para la capa

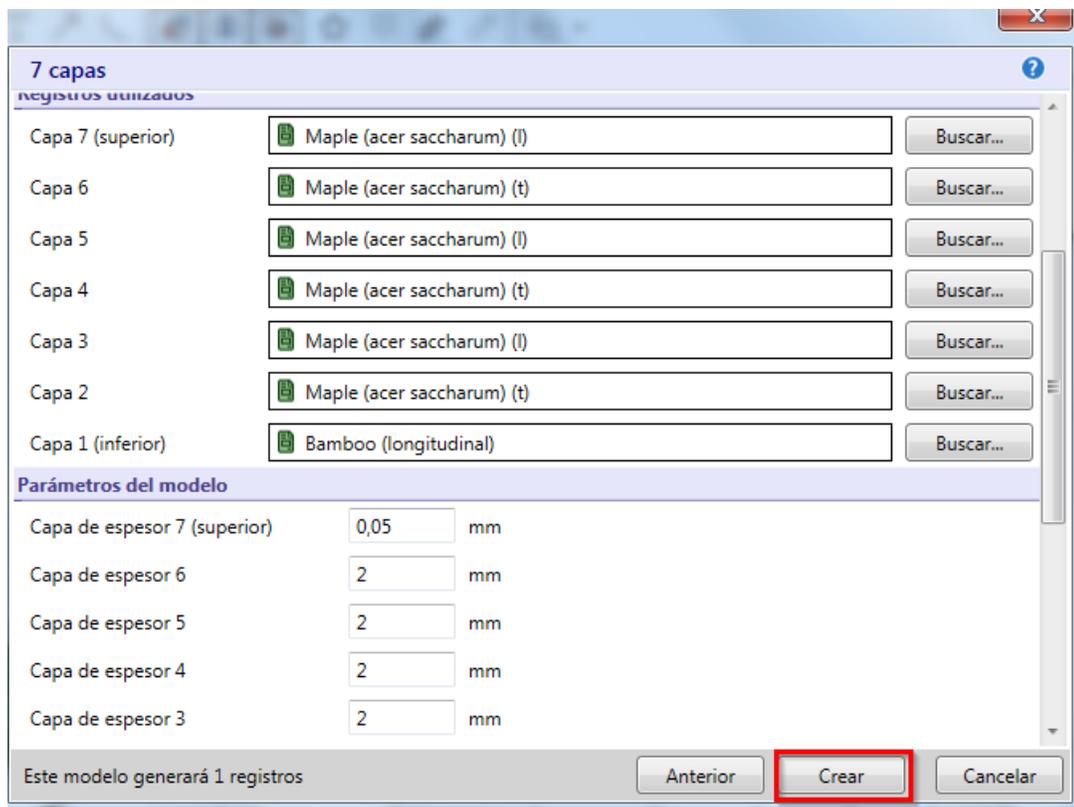


Figura 8. Creación del material compuesto

Tabla 15. Material compuesto 1

Nombre	Componente	Espesor(mm)
Madera de arce (ml-mt-ml-mt-ml-mt-ml)	Maple (acer saccharum) (l)	2
	Maple (acer saccharum) (t)	2
	Maple (acer saccharum) (l)	2
	Maple (acer saccharum) (t)	2
	Maple (acer saccharum) (l)	2
	Maple (acer saccharum) (t)	2
	Maple (acer saccharum) (l)	2

Tabla 16. Material compuesto 2

Nombre	Componente	Espesor (mm)
Madera de arce con bambú (ml-mt-ml-mt-ml-mt-bl)	Maple (acer saccharum) (l)	2
	Maple (acer saccharum) (t)	2
	Maple (acer saccharum) (l)	2
	Maple (acer saccharum) (t)	2
	Maple (acer saccharum) (l)	2
	Maple (acer saccharum) (t)	2
	Bamboo(longitudinal)	1,5

Tabla 17. Material compuesto 3

Nombre	Componente	Espesor(mm)
Madera de arce y bambú (bl-mt-ml-mt-ml-mt-bl)	Bamboo(longitudinal)	1,5
	Maple (acer saccharum) (t)	2
	Maple (acer saccharum) (l)	2
	Maple (acer saccharum) (t)	2
	Maple (acer saccharum) (l)	2
	Maple (acer saccharum) (t)	2
	Bamboo(longitudinal)	1,5

Tabla 18. Material compuesto 4

Nombre	Componente	Espesor (mm)
Madera de arce con resina epoxy y fibra de vidrio (udgfrp-ml-mt-ml-mt-ml-udcfrp)	Epoxy/E-glass fiber, UD prepreg, UD lay-up	0,42
	Maple (acer saccharum) (l)	2
	Maple (acer saccharum) (t)	2
	Maple (acer saccharum) (l)	2
	Maple (acer saccharum) (t)	2
	Maple (acer saccharum) (l)	2
	Epoxy/HS carbon fiber, UD prepreg, UD lay-up	0,42

Tabla 19. Material compuesto 5

Nombre	Componente	Espesor(mm)
Madera de arce y resina epoxy (ml-ep-mt-ep-ml)	Maple (acer saccharum) (l)	2
	epoxy resin (flexibilized)	0,45
	Maple (acer saccharum) (t)	2
	epoxy resin (flexibilized)	0,45
	Maple (acer saccharum) (l)	2

Después de crear los materiales compuestos con la herramienta Synthesizer, se obtienen las propiedades de dichos materiales, tabla 20.

Tabla 20. Propiedades de los materiales compuestos

Propiedades	7 láminas de madera de arce	Madera de arce 6 capas y una capa inferior de bambú	5 capas de madera de arce y dos capas exteriores de bambú	5 capas de madera de arce y dos capas exteriores una de resina epoxy con fibra de vidrio y otra con resina epoxy con fibra de carbono	2 capas de Resina epoxy y 3 capas de madera de arce
Densidad	707 Kg/m3	705 kg/m3	703 kg/m3	781 kg/m3	763 kg/m3
Módulo de Young	8,86 Gpa	9,06 GPa	9,28 GPa	15,5 GPa	8,79GPa
fuerza de fluencia (limite elástico)	12,9 MPa	13,2 MPa	13,6 MPa	22,6 MPa	12,8MPa
Módulo de Flexión	12,08 GPa	12,7 GPa	13,4 GPa	28,4 GPa	15GPa
fuerza de flexión (módulo de ruptura)	16,5 MPa	16,29 MPa	17 MPa	62,7 MPa	38,9MPa
Precio	5,65e3 COP/kg	5,65e3 COP/kg	5,65e3 COP/kg	2,4e4 COP/kg	6,82e3 COP/kg
Espesor de la tabla	14 mm	13,5 mm	13 mm	10,84 mm	6,9 mm

	máximo
	mínimo

De la tabla 20, se identifican los valores de propiedades máximos y mínimos entre los materiales compuestos, por lo tanto, estos valores son referentes para los parámetros requeridos en la aplicación de los métodos de selección de materiales.

6. SELECCIÓN DE MATERIALES POR DIFERENTES MÉTODOS

En esta sección se aplicaron los tres métodos de selección de materiales jerarquizados anteriormente, aplicándolo en la selección del material para una tabla de skateboard. Los métodos aplicados son: Ashby, magnitudes características, base de datos.

6.1 Método Ashby

Para la aplicación de Ashby se tienen en cuenta los siguientes parámetros: función de material, objetivo, limitantes duras, limitantes suaves, variables libres. Para la aplicación de este método, se utiliza el programa ANSYS GRANTA EduPack2020. En la tabla 22 se resume los parámetros de diseño. Los valores de las propiedades son los obtenidos en la sección anterior, tabla 21.

Función del material

- El material debe soportar una persona
- Debe ser rígida para soportar el peso
- Liviana para levantarla con una mano
- Debe ser poco flexible
- Bajo costo

Objetivo

- Minimizar la masa, con límite en la rigidez.

Limitantes duras

- Resistencia a la fractura
- Fuerza aplicada sobre la tabla
- Numero de ciclos antes que falle por fatiga

Limitantes suaves

- Costo por unidad de masa
- Poca o no deformación plástica

Variables libres

- El material
- El espesor de la tabla

Tabla 21. Tabla de propiedades de Ashby para el Skateboard

Función	Módulo de flexión	≥	12,08GPa
Limitantes	Densidad	≤	781kg/m ³
	Módulo de Young	≥	8,79GPa
	Fuerza de flexión	≥	16,29MPa
	Limite elástico	≥	12,8MPa
	Tenacidad a la fractura	≥	6,35MPa.m ^{0,5}
	Resistente al agua		Uso limitado-Aceptable-Excelente
Objetivo	Masa		Mínimo
	Precio		Mínimo

Tabla 22. Parámetros de diseño para la tabla skateboard

Fuerza (F)	785N
Deflexión máxima	0,021m
Masa de la tabla(m)	5kg
Largo(L)	0,75m
Ancho(w)	0,18m
C1	48

Con la información anterior y los criterios tenidos en cuenta, largo y ancho de la tabla como variables fijas y su espesor como variable libre y con la ayuda del programa ANSYS GRANTA EduPack2020, se identifica el índice del material para el caso estudiado. A continuación se muestran los pasos para encontrar el índice del material a utilizar para este proyecto figura 9-12.

The screenshot shows the ANSYS GRANTA EduPack 2020 software interface. The 'Aprende' (Learn) tool is highlighted in a red box. The interface displays a search for 'maple' in the Material Universe, showing a list of maple species and their properties for 'Epoxy resin (flexibilized)'. The properties table includes Elongation, Compressive modulus, Compressive strength, Flexural modulus, Flexural strength, Shear modulus, Bulk modulus, Poisson's ratio, Shape factor, and Hardness - Vickers.

Property	Value	Unit
Elongation	20 - 85	% strain
Compressive modulus	2,35 - 2,47	GPa
Compressive strength	* 50 - 96,5	MPa
Flexural modulus	0,976 - 1,02	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	50 - 89,6	MPa
Shear modulus	* 0,344 - 0,361	GPa
Bulk modulus	* 2,04 - 2,14	GPa
Poisson's ratio	* 0,412 - 0,428	
Shape factor	3,8	
Hardness - Vickers	* 11 - 13	HV

Figura 9. Herramienta Aprende del programa Granta

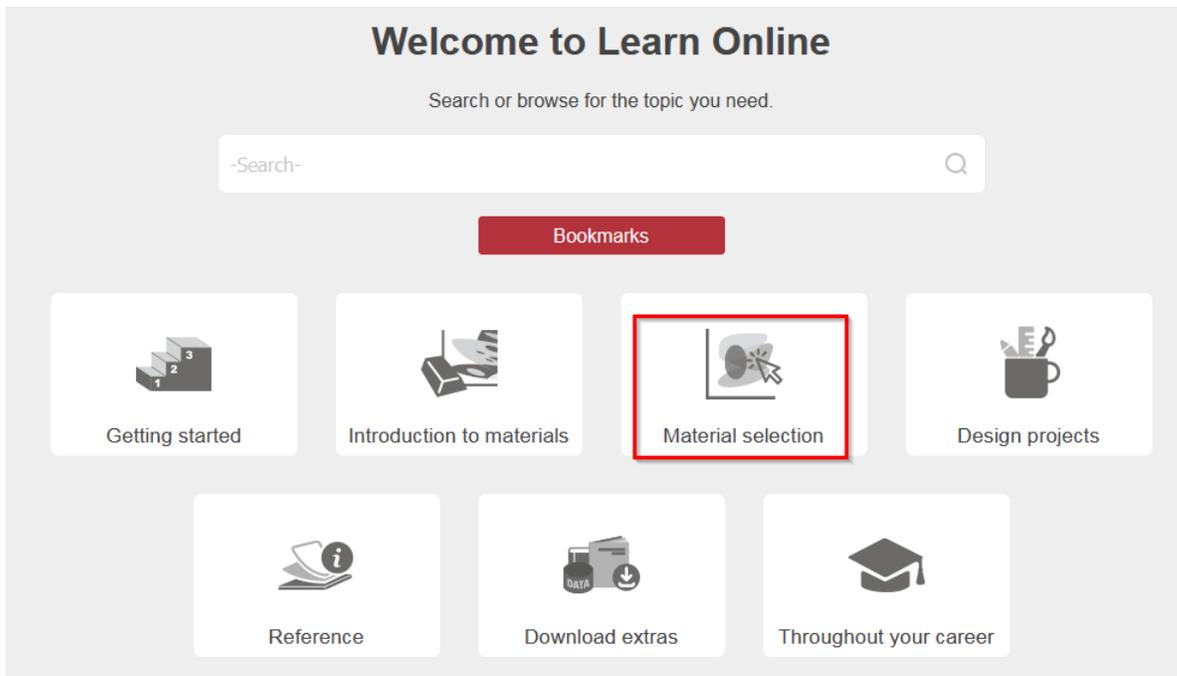


Figura 10. Opción Selección de material

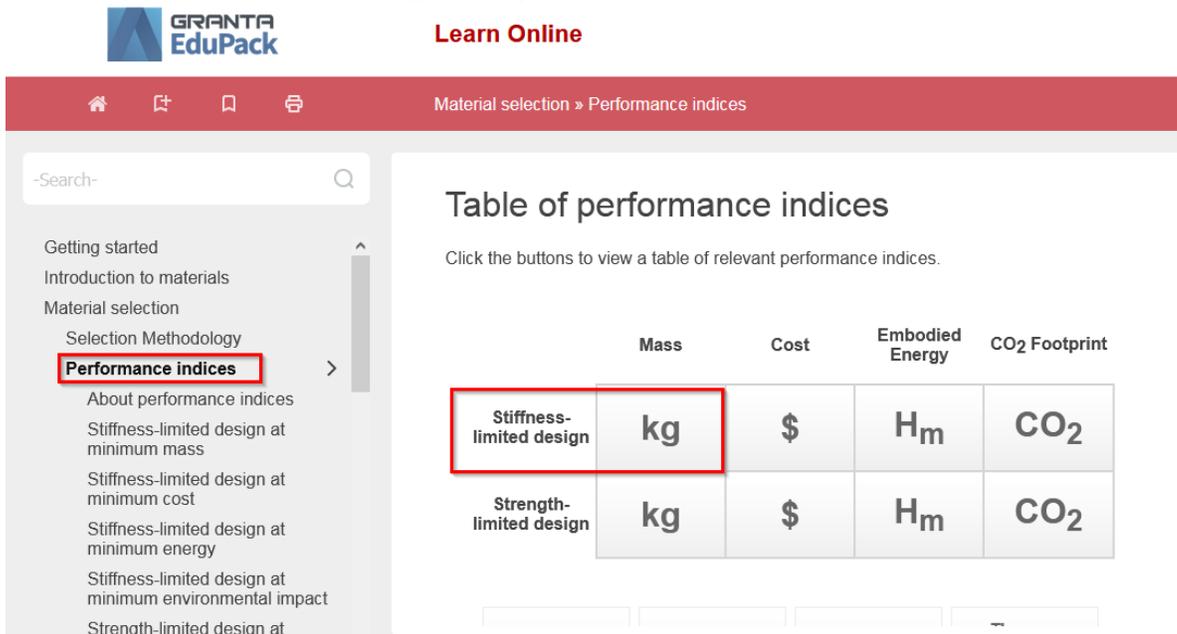


Figura 11. Índice del material- Opción diseño de rigidez limitada

Material selection » Performance indices » Stiffness-limited design at minimum mass

Search-

- Stiffness-limited design at minimum mass
- Stiffness-limited design at minimum cost
- Stiffness-limited design at minimum energy
- Stiffness-limited design at minimum environmental impact
- Strength-limited design at minimum mass
- Strength-limited design at minimum cost
- Strength-limited design at minimum energy
- Strength-limited design at minimum environmental impact

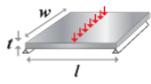
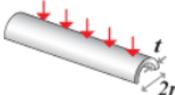
		length, width, section shape fixed; thickness free	$(\phi E_f)^{1/3} / \rho$	$\rho / (\phi E_f)^{1/3}$
Panel in bending		length, width fixed; thickness free	$E_f^{1/3} / \rho$	$\rho / E_f^{1/3}$
Panel in compression		collapse load, length and width fixed; thickness free	E_f / ρ	ρ / E_f
Single-curvature shell under linear load		radius fixed; wall-thickness free	$E_f^{1/3} / \rho$	$\rho / E_f^{1/3}$

Figura 12. Índice del material para esta aplicación

El índice del material para este estudio es el siguiente,

$$M = \frac{E_f^{1/3}}{\rho}$$

Donde,

E_f = Modulo de flexión

ρ = Densidad

Teniendo definido los parámetros necesarios para el método, se usa el programa ANSYS GRANTA EduPack 2020, de manera que, para la aplicación se utiliza el nivel 3 en base de datos de materiales figura 13, esto permite trabajar con 4169 materiales disponibles y sus propiedades.

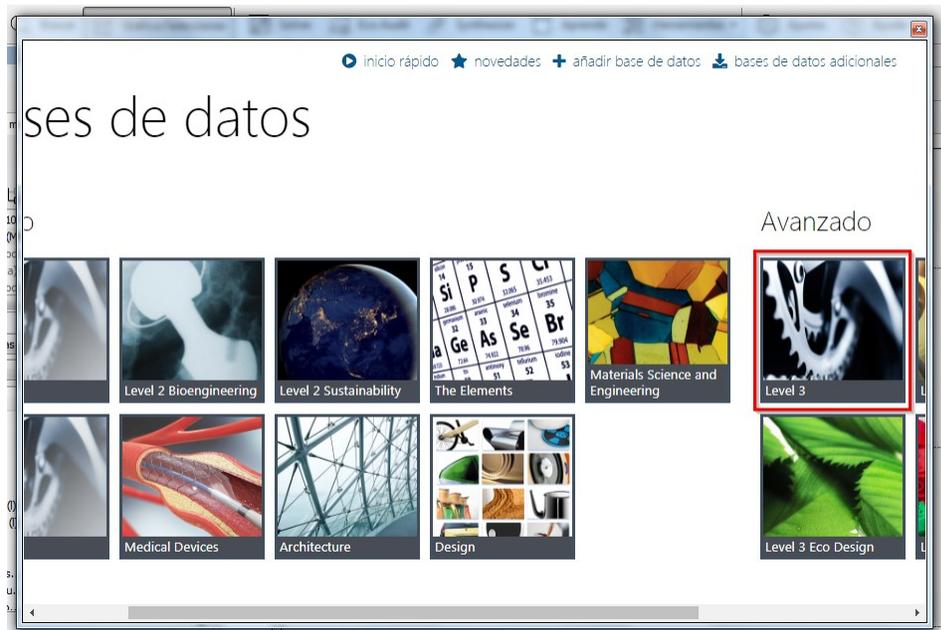


Figura 13. Nivel 3 base de datos en EduPack

Para empezar con la selección, en el programa ANSYS GRANTA EduPack2020, se usa la herramienta límites teniendo en cuenta la tabla 20. Se agregan en los campos de las propiedades, las que correspondan como se muestra en la figura 14.

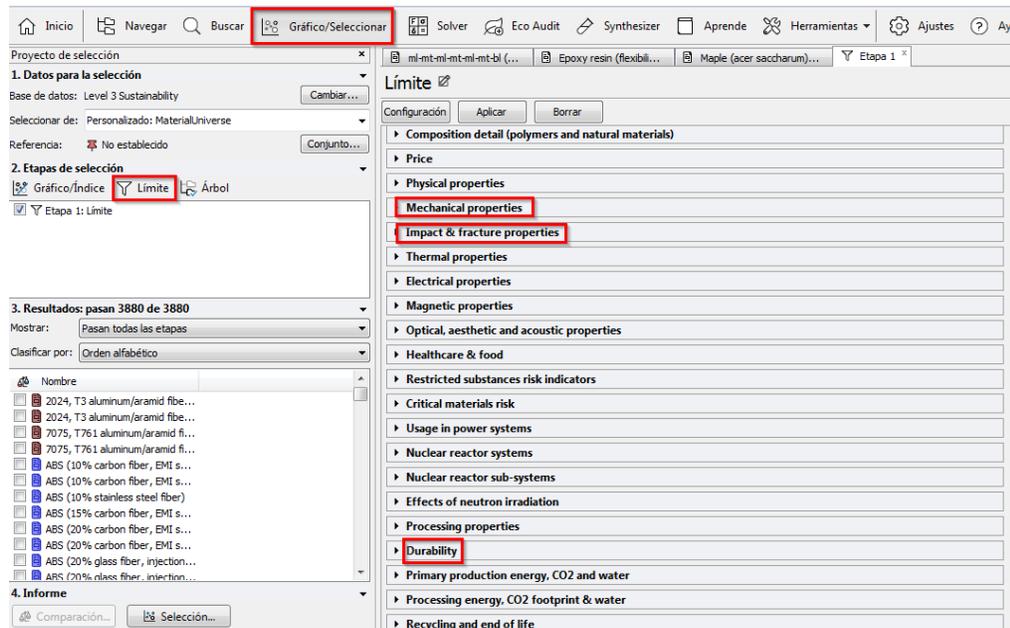


Figura 14. Ubicación de los grupos de propiedades que se tienen en cuenta

Para la primera etapa del proceso, se agregan los valores descritos en la tabla 21, figura 15-17.

▼ Mechanical properties			
	Mínimo	Máximo	
Young's modulus	8,79		GPa
Specific stiffness			MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	12,8		MPa
Tensile strength			MPa
Specific strength			kN.m/kg
Elongation			% strain
Compressive strength			MPa
Flexural modulus	12,08		GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	16,29		MPa
Shear modulus			GPa
Bulk modulus			GPa
Poisson's ratio			
Shape factor			
Hardness - Vickers			HV
Elastic stored energy (springs)			kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles			MPa

Figura 15. Propiedades Mecánicas

▼ Impact & fracture properties			
	Mínimo	Máximo	
Fracture toughness	6,35		MPa.m ^{0.5}
Toughness (G)			kJ/m ²

Figura 16. Resistencia a la fractura

▼ Durability	
Water (fresh)	Limited use, Acceptable, Excellent
Water (salt)	
Weak acids	

Figura 17. Durabilidad en agua

Para la etapa 2, se realiza el grafico módulo de flexión vs densidad, donde se aplican los límites puestos y nos muestra los materiales que cumplen con esos requerimientos, figura (18- 19).

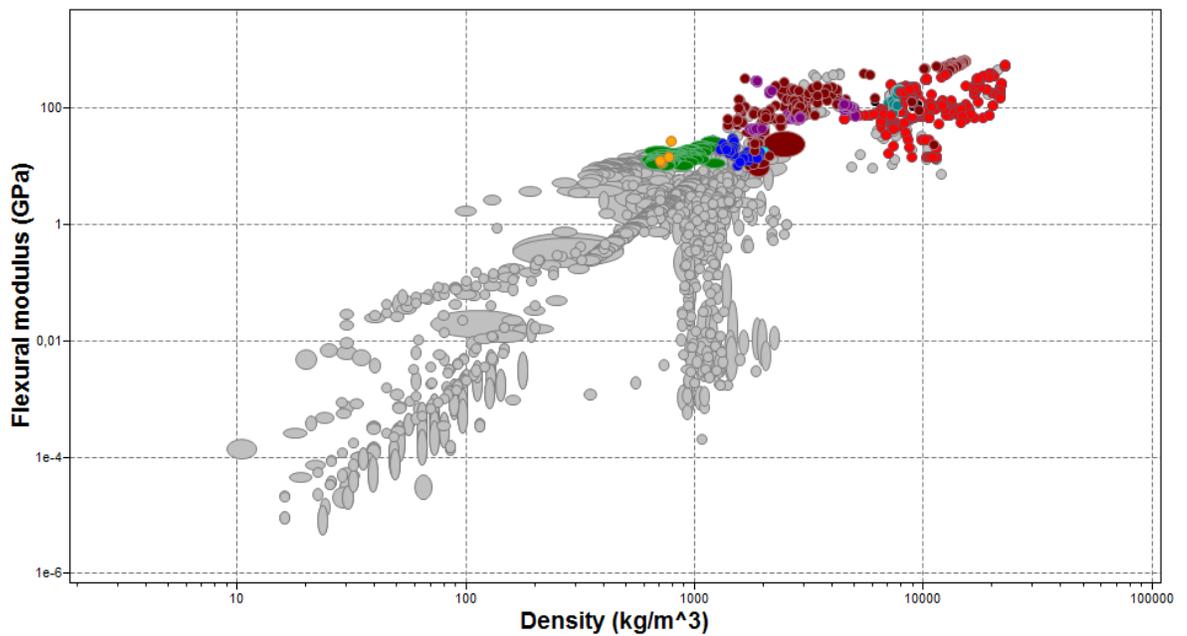


Figura 18. Representación de los materiales

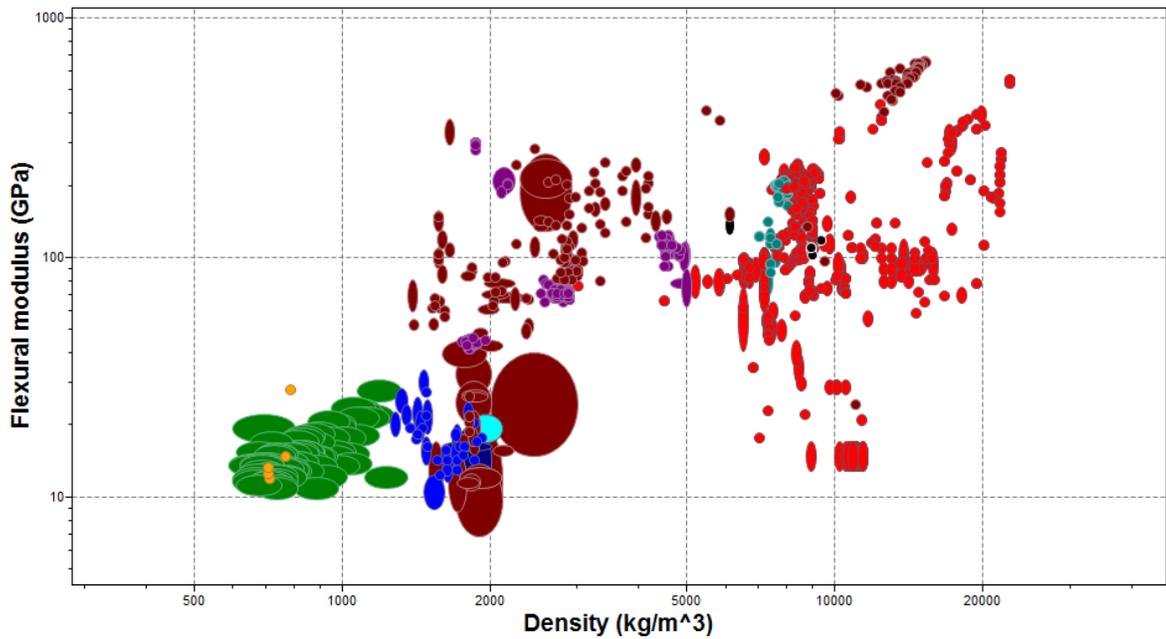


Figura 19. Materiales que cumplen con los límites

Al iniciar el proceso de selección se partió con 4169 materiales, después de aplicar las etapas de selección, el número de materiales se redujo a 1610. Estos materiales pertenecen a cuatro familias: materiales compuestos, metales y aleaciones, materiales naturales y materiales plásticos, figura 20.

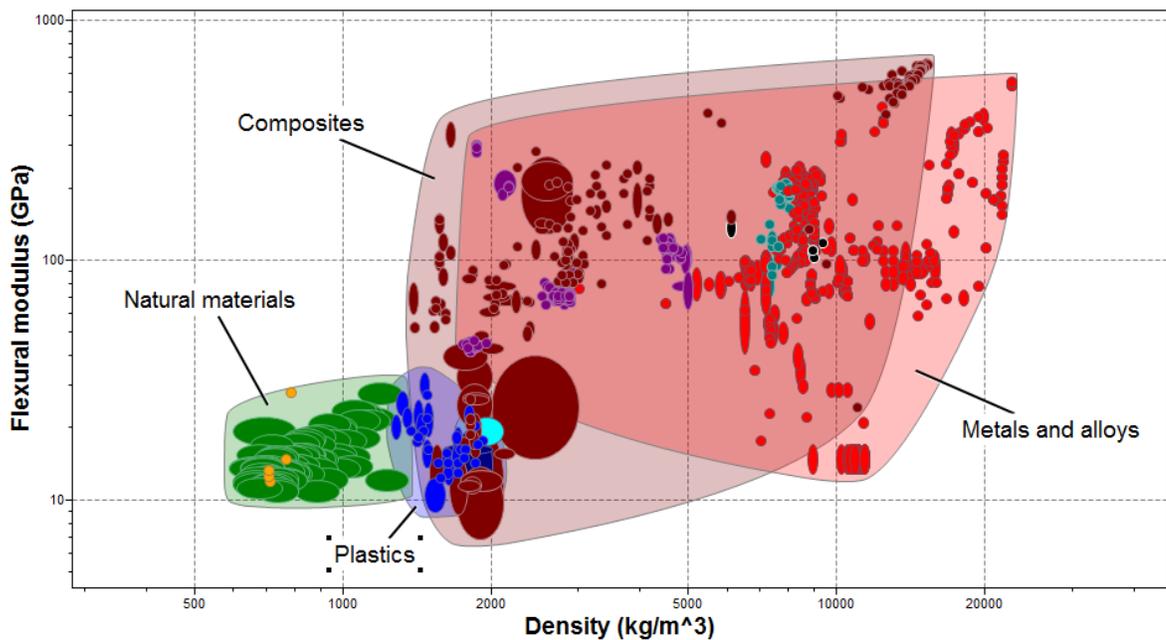


Figura 20. Familias de los materiales

En la etapa 3, se aplica el índice del material. Se realiza una gráfica de precio vs masa por unidad de módulo de Young, de tal modo que, esto muestra de forma clara los materiales más idóneos con respecto a los costos y la rigidez, para así poder realizar una selección acertada. Los resultados se muestran en la Figura 21.

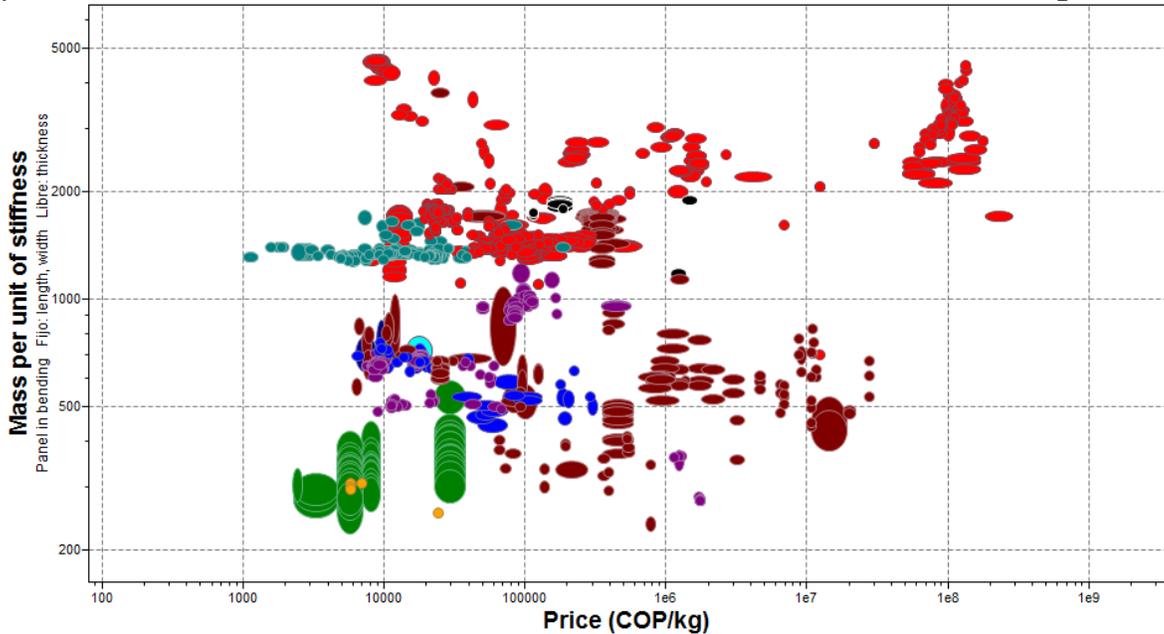


Figura 21. Aplicación del índice del material

Los resultados obtenidos por el método de Ashby se muestran en la Figura 22, los materiales en cuatro familias cumplen con los parámetros de diseño. Éste método ayuda a generar un grupo de materiales, sin embargo, se puede filtrar aún más los materiales seleccionando el apropiado para este diseño. De esta manera podemos seleccionar un material, teniendo en consideración el costo del material y el índice de material que relaciona rigidez con respecto a minimizar la masa. El material natural Bambú (longitudinal), es el material seleccionado para esta aplicación, ya que cumple con los límites impuestos y tiene un buen comportamiento en masa por unidad de rigidez como en el precio, (Figura 22).

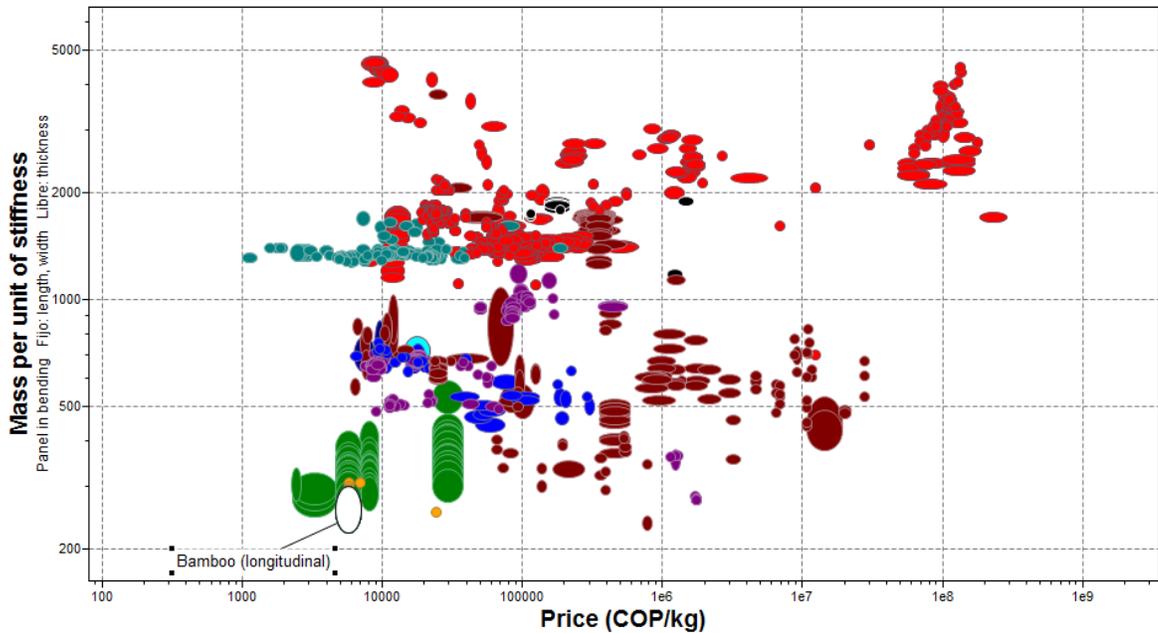


Figura 22. Resultados Método Ashby

6.2 Magnitudes características

Este método tiene como objetivo calcular las magnitudes características que dependen de la función a realizar e incluyen todos los parámetros que son propiedades de los materiales.

Para realizar el método de las magnitudes características se tienen en cuenta lo siguiente: Funciones, objetivo, restricciones.

- Función a satisfacer: Esfuerzo a la flexión
- Restricciones: Masa, espesor, costo

Este método requiere tener preseleccionado materiales y conocer sus propiedades de los cuales se seleccionara el más óptimo, por esta razón, se usan los 5 materiales definidos de la literatura (tabla 23) por las investigaciones realizadas para conocer los materiales. Con la ayuda del programa ANSYS GRANTA EduPack2020 se obtiene las propiedades de estos materiales ya que no fueron reportadas en la literatura. Las propiedades de estos materiales se muestran en la tabla 24.

Tabla 23. Materiales sintéticos compuestos utilizados para el método magnitudes características

7 láminas de madera de arce
Madera de arce 6 capas y una capa inferior de bambú
5 capas de madera de arce y dos capas exteriores de bambú
5 capas de madera de arce y dos capas exteriores una de resina epoxy con fibra de vidrio y otra con resina epoxy con fibra de carbono
2 capas de Resina epoxy y 3 capas de madera de arce

Tabla 24. Propiedades materiales sintéticos - magnitudes características

Propiedades	7 láminas de madera de arce	Madera de arce 6 capas y una capa inferior de bambú	5 capas de madera de arce y dos capas exteriores de bambú	5 capas de madera de arce y dos capas exteriores una de resina epoxy con fibra de vidrio y otra con resina epoxy con fibra de carbono	2 capas de Resina epoxy y 3 capas de madera de arce
Densidad (Kg/m ³)	707	705	703	781	763
Módulo de Young (GPa)	8,86	9,06	9,28	15,5	8,79
fuerza de fluencia (limite elástico) (MPa)	12,9	13,2	13,6	22,6	12,8
Módulo de Flexión (GPa)	12,08	12,7	13,4	28,4	15
Fuerza de flexión (módulo de ruptura) (MPa)	16,5	16,29	17	62,7	38,9
Precio (COP/kg)	5,65E+03	5,65E+03	5,65E+03	2,40E+04	6,82E+03

A continuación se presenta el desarrollo matemático para la obtención de las magnitudes características.

Para este estudio, se analiza matemáticamente la función a satisfacer, con restricción en la masa, espesor y costo, un esfuerzo a la flexión. A continuación, se establecen las expresiones de la función a satisfacer, donde se encuentran las magnitudes características.

Se considera,

$$S = \frac{F}{\delta} = \frac{C_1 EI}{L^3}; \quad (1)$$

$$I = \frac{wt^3}{12} \quad (2)$$

Donde,

S: Rigidez

F: Fuerza

δ : Deflexión

I: Inercia para una lamina

L: Longitud

w: Ancho

t: espesor

C_1 : 48 (constante de distribución de carga)

E: Modulo de flexión

De las ecuaciones (1) y (2) se tiene:

$$\frac{F}{\delta} = \frac{C_1 E}{L^3} \left(\frac{wt^3}{12} \right) \Rightarrow t^3 = \frac{FL^3 12}{\delta C_1 E}$$

$$t = \left(\frac{FL^3 12}{\delta C_1 E} \right)^{1/3} \quad (3)$$

Para cada una de las restricciones (masa, espesor, costo), se define una magnitud característica ($\Gamma_{M/RF}$, $\Gamma_{esp/RF}$, $\Gamma_{C/RF}$). Para definir la magnitud característica, se utiliza la función a satisfacer para obtener una expresión algebraica de la restricción. Esta expresión algebraica se separa en dos partes, la primera depende de la aplicación específica y la segunda parte solo depende de las propiedades del material. Esta segunda parte se denomina magnitud característica.

Para el espesor se tiene,

$$t = \left(\frac{12FL^3}{\delta C_1} \right)^{1/3} \left[\frac{1}{E} \right]^{1/3} \quad (4)$$

La magnitud característica correspondiente para el espesor es:

$$\Gamma_{esp/RF} = \left[\frac{1}{E} \right]^{1/3} \quad (5)$$

Para la masa se tiene,

$$\rho = \frac{m}{v} \Rightarrow m = \rho Lwt \quad (6)$$

Se reemplaza (3) en (6):

$$m = \rho Lw \left(\frac{12FL^3}{\delta C_1 E} \right)^{1/3} \quad (7) \quad \Rightarrow m = Lw \left(\frac{12FL^3}{\delta C_1} \right)^{1/3} \left[\frac{\rho}{E^{1/3}} \right] \quad (8)$$

Donde,
 ρ : Densidad
 m: Masa
 v: volumen

La magnitud característica correspondiente para la masa es:

$$\Gamma_{M/RF} = \frac{\rho}{E^{1/3}} \quad (9)$$

Para el costo se tiene,

$$C = C_u m \quad (10)$$

Se reemplaza (7) en (10):

$$C = Lw \left(\frac{12FL^3}{\delta C_1} \right)^{1/3} \left[\frac{C_u \rho}{E^{1/3}} \right] \quad (11)$$

Donde,
 C: Costo
 C_u : Costo por unidad
 m: Masa

La magnitud característica correspondiente para el costo es:

$$\Gamma_{C/RF} = \frac{C_u \rho}{E^{1/3}} \quad (12)$$

Con las magnitudes características correspondientes (masa, espesor y costo), se calculan los valores correspondientes para cada material definidos previamente en la tabla 24, utilizando las ecuaciones (5),(9) y (12). Para cada valor del material se calcula el porcentaje relativo.

Tabla 25. Resultados - Magnitudes características

Materiales sintéticos	Magnitudes Características					
	$\Gamma_{M/RF} = \frac{\rho}{E^{1/3}}$		$\Gamma_{esp/RF} = \left[\frac{1}{E}\right]^{1/3}$		$\Gamma_{C/RF} = \frac{C_u \rho}{E^{1/3}}$	
	Valor $\left(\frac{kg}{m^3(GPa)^{1/3}}\right)$	% Relativo	Valor $(GPa^{-1/3})$	% Relativo	Valor $\left(\frac{COP}{m^3(GPa)^{1/3}}\right)$	% Relativo
7 láminas de madera de arce	308,12	120	0,4358	133	1740920,27	104
Madera de arce 6 capas y una capa inferior de bambú	302,17	118	0,4286	131	1707273,07	102
5 capas de madera de arce y dos capas exteriores de bambú	295,97	116	0,421	128	1672253,73	100
5 capas de madera de arce y dos capas exteriores una de resina epoxy con fibra de vidrio y otra con resina epoxy con fibra de carbono	255,98	100	0,3277	100	6143598,54	367
2 capas de Resina epoxy y 3 capas de madera de arce	309,38	121	0,4054	124	2109980,74	126

En la tabla 25, se muestra el valor calculado y porcentaje relativo de las magnitudes características. El porcentaje relativo es una manera fácil de percibir diferencias entre valores en lugar de comparar los valores calculados. En nuestro caso, para cada magnitud característica calculada, el valor mínimo obtenido se usó de referencia para calcular el porcentaje relativo. Este valor mínimo en porcentaje relativo se define como 100, ecuación (13). Para este caso se tomaron en cuenta tres magnitudes características para optimizar masa, espesor y precio.

$$\% \text{ Relativo}_i = 100 \left(\frac{\Gamma_i}{\min(\Gamma)} \right), \text{ para todo material } i \text{ (13)}$$

De los resultados tabla 25, se puede observar en relación a los materiales definidos por la revisión bibliográfica (tabla 24) que el compuesto de 5 capas de madera arce y dos capas exteriores de resina epoxy con fibra de vidrio y la otra capa con fibra de carbono es el mejor material en relación a la magnitud característica de masa y espesor, sin embargo, es el material más costoso. También se puede observar que la diferencia de las magnitudes características para masa y espesor entre el mejor material y los otros varía hasta un 30%. Cuando se observa la magnitud característica asociada al precio, se observa una gran variación. Para este caso,

vale la pena seleccionar el material compuesto 5 capas de madera de arce y dos capas exteriores de bambú, porque la magnitud característica en masa es de solo 16% mayor al material compuesto por 5 capas de madera arce y dos capas exteriores de resina epoxy con fibra de vidrio y la otra capa con fibra de carbono, pero este material tiene una magnitud característica en precio 367% mayor.

El material compuesto 5 capas de madera de arce y dos capas exteriores de bambú es un material sintético, por esta razón, sus propiedades fueron calculadas con el programa ANSYS GRANTA EduPack2020. Este programa ayuda a realizar el procedimiento del método de forma ágil y práctica, de no ser así, este método no se hubiera podido aplicar, o sería mucho más complicado por la búsqueda de las propiedades de cada material que conforma el compuesto en diferentes bases de datos y posterior calculo usando la ley de las mezclas.

6.3 Base de datos

Se requiere seleccionar un material para una tabla de skateboard, por lo tanto, es necesario que cumpla con las necesidades de los usuarios, dando una mejor rigidez y flexibilidad.

Para este estudio se utiliza Matweb (Matweb, n.d.), es una base de datos de propiedades de materiales que contiene información de más de 155000 materiales. Esta base de datos está disponible para todos los usuarios, sin embargo, ciertas opciones están solo disponibles por medio de una suscripción paga. Cuando se usa MatWeb sin suscripción, se tiene la posibilidad de agregar hasta 3 propiedades para realizar los filtros, por esta razón, en este trabajo se utilizó MatWeb sin suscripción.

Las propiedades tenidas en cuenta para los filtros son:

- Módulo de Flexión
- Fuerza de Flexión
- Módulo de elasticidad

Para nuestro estudio se usan intervalos entre valores máximos y mínimos de búsqueda para cada propiedad como se muestra en la tabla 26. Para los valores mínimos se tienen en cuenta los valores menores de las propiedades de los materiales encontrados en la literatura y el análisis de ingeniería inversa listado en la tabla 19. Los valores de estas propiedades se obtuvieron en el programa ANSYS GRANTA EduPack2020, como se mostró en las secciones anteriores. Adicionalmente, se definieron límites máximos para ayudar a reducir el número de materiales, los límites máximos se calcularon tomando el valor máximo de las propiedades en la tabla 19 y agregando 10% al valor para poder incluir materiales con mejores propiedades pero relativamente cerca a los límites superiores. En la

tabla 26 se muestran los valores de las propiedades usadas para el filtro en la base de datos. Cabe resaltar que MatWeb limita a tres filtros simultáneos.

Tabla 26. Intervalos para el programa Matweb

	Min	Max
Módulo de Flexión (GPa)	12,08	31,24
fuerza de flexión (módulo de ruptura) (MPa)	16,29	68,97
Módulo de Young (Modulo de elasticidad) (GPa)	8,79	17,05

Para agregar estas propiedades se usó el programa MatWeb en la parte superior seleccionamos propiedades como se muestra en la figura 23.

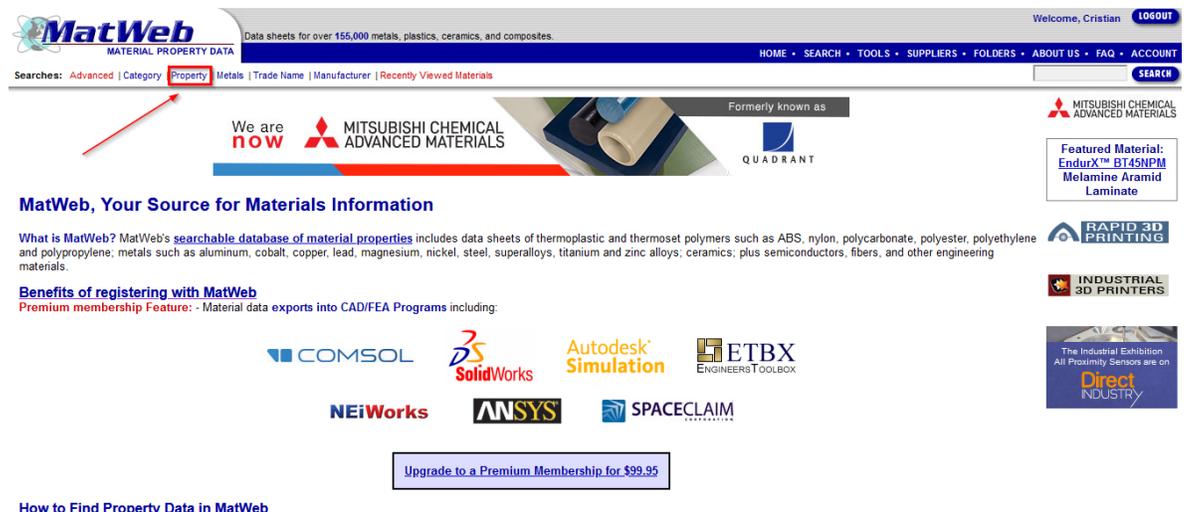


Figura 23. Ubicación herramienta propiedades

En esta parte nos dirigimos a búsqueda avanzada para agregar las propiedades que se tienen en cuenta para la selección figura 24.



Property Search

Try these other methods of searching:

- [Advanced Search](#) Allow searches on conditional property data, using multiple criteria.
- [Polymer Film Search](#)
- [Lubricant Search](#)

Choose a Material Category (Optional)

- [Carbon \(866 matls\)](#)
- [Ceramic \(10004 matls\)](#)
- [Fluid \(7562 matls\)](#)
- [Metal \(17052 matls\)](#)
- [Other Engineering Material \(8063 matls\)](#)
- [Polymer \(97635 matls\)](#)
- [Pure Element \(507 matls\)](#)
- [Wood and Natural Products \(398 matls\)](#)

none

Choose up to 3 Material Properties

Set the range by entering the minimum and/or maximum values for each selected property.

-- select --

Min: Max: Unit:

-- select --

Min: Max: Unit:

-- select --

Min: Max: Unit:

Submit the Query (Required)
Click on the 'Find' button below to submit the query.

Figura 24. Ubicación herramienta búsqueda avanzada

En búsqueda avanzada se usa la opción propiedades donde se agregan las requeridas por la aplicación. Hay dos formas para adicionarlas a la selección, una escribiendo palabras claves y la otra ubicándolos entre todas las propiedades que dispone la base de datos, figura 25.

Advanced Search

Text **Property** Material Category Search Options

Search for a Property:
Type at least 4 characters here...

Select a Property:

- Physical (10 props)
- Mechanical (59 props)
- Electrical (8 props)
- Thermal (32 props)
- Optical (6 props)
- Processing (6 props)
- Component Elements (118 props)

Selected Property:
none

Min: Max: Unit:

Exclude materials with this property criteria

ADD

Selected Criteria
No Search Criteria Added Yet

Figura 25. Ingreso de propiedades a utilizar

De esta manera se agregan las propiedades y los límites que se ha prescrito para la selección en esta aplicación, figura 26.

Advanced Search

Text | **Property** | Material Category | Search Options

Search for a Property:
flexur

Select a Property:

- Physical (10 props)
- Mechanical (59 props)
- Electrical (8 props)
- Thermal (32 props)
- Optical (6 props)
- Processing (6 props)
- Component Elements (118 props)

Selected Property:
Flexural Modulus (45901 matls)

Min: 012.08 Max: 31.24 Unit: GPa

Min: 0.000400 GPa
Max: 638 GPa

Optional Condition: -- select --

Exclude materials with this property criteria

ADD

Selected Criteria

Type	Criteria	Results
Property	Flexural Modulus From 12.08 To 31.24 GPa	3293
Property	Modulus of Elasticity From 8.79 To 17.05 GPa	1161
Property	Flexural Strength From 16.29 To 68.97 MPa	90

DISPLAY SEARCH RESULTS **RESET**

Figura 26. Propiedades usadas para filtrar

Al realizar este proceso en el programa, con la primera propiedad módulo de flexión, se tienen 3293 materiales que cumplen, aplicando el módulo elástico 1161 materiales y por ultimo con esfuerzo de flexión se tienen 90 materiales, figura 27.

Advanced Search

Text | Property | Material Category | Search Options

Search for a Property:
flexur

Select a Property:

- Physical (10 props)
- Mechanical (69 props)
- Electrical (8 props)
- Thermal (32 props)
- Optical (6 props)
- Processing (6 props)
- Component Elements (118 props)

Selected Property:
Flexural Modulus (45901 mats)

Min: 0.01208 Max: 31.24 Unit: GPa

Min: 0.000400 GPa
Max: 638 GPa

Optional Condition: -- select --

Exclude materials with this property criteria

ADD

Found 90 Results Page 1 of 1 -- [Prev Page] [Next Page] -- view 100 per page

Use Folder: My Folder Contains: 0/3 Other Tasks: COMPARE MATERIALS -- task --

Select	Material Name	Flexural Modulus (GPa)	Modulus of Elasticity (GPa)	Flexural Strength (MPa)
--------	---------------	------------------------	-----------------------------	-------------------------

Selected Criteria

Type	Criteria	Results
Property	Flexural Modulus From 12.08 To 31.24 GPa	3293
Property	Modulus of Elasticity From 8.79 To 17.05 GPa	1161
Property	Flexural Strength From 16.29 To 68.97 MPa	90

DISPLAY SEARCH RESULTS **RESET**

Figura 27. Resultados de Matweb

Found 90 Results -- Page 1 of 1 -- [Prev Page] [Next Page] -- view 100 per page

Use Folder: My Folder Contains: 0/3 Other Tasks: COMPARE MATERIALS -- task --

Select	Material Name	Flexural Modulus (GPa)	Modulus of Elasticity (GPa)	Flexural Strength (MPa)
<input type="checkbox"/>	1 Overview of materials for Polycarbonate/ABS Alloy, Unreinforced	0.100 - 12.9	1.67 - 11.1	8.20 - 950
<input type="checkbox"/>	2 Overview of materials for Acetal Copolymer, Unreinforced	0.276 - 210	0.586 - 11.7	41.4 - 124
<input type="checkbox"/>	3 Overview of materials for Acetal Copolymer, Carbon Fiber Filled	2.40 - 17.2	2.40 - 23.4	44.8 - 304
<input type="checkbox"/>	4 Overview of materials for Diallyl Phthalate (DAP) Molding Compound, Short Glass Fiber Filled	8.00 - 18.0	4.00 - 17.0	60.0 - 180
<input type="checkbox"/>	5 Overview of materials for Epoxy Molding Compound	2.41 - 32.0	1.38 - 46.0	35.5 - 400
<input type="checkbox"/>	6 Overview of materials for Epoxy Encapsulant, Unreinforced	7.00 - 18.0	0.0138 - 9.65	34.3 - 150
<input type="checkbox"/>	7 Overview of materials for Epoxy Adhesive	0.103 - 54.4	0.0345 - 59.1	4.21 - 970
<input type="checkbox"/>	8 Overview of materials for Epoxy/Carbon Fiber Composite	3.38 - 638	2.62 - 520	22.6 - 4750
<input type="checkbox"/>	9 Overview of materials for Fluorocarbon ETFE, with Glass or Carbon Fiber Filler	4.14 - 17.2	4.83 - 19.3	56.5 - 103
<input type="checkbox"/>	10 Overview of materials for Polyetheretherketone, Glass Fiber Filled	3.80 - 55.0	3.85 - 55.0	26.0 - 1550
<input type="checkbox"/>	11 Overview of materials for Polyetheretherketone, Carbon Fiber Filled	4.83 - 159	1.00 - 172	45.0 - 2410
<input type="checkbox"/>	12 Overview of materials for Polyetheretherketone, PTFE Filled	2.41 - 14.0	1.17 - 16.0	48.3 - 280
<input type="checkbox"/>	13 Overview of materials for Liquid Crystal Polymer (LCP), 30% Glass Fiber Filled	2.80 - 26.0	3.40 - 31.8	17.0 - 340
<input type="checkbox"/>	14 Overview of materials for Liquid Crystal Polymer (LCP), 50% Glass Fiber Filled	5.00 - 25.5	6.00 - 27.0	10.0 - 300
<input type="checkbox"/>	15 Overview of materials for Liquid Crystal Polymer (LCP), Mineral Filled	3.30 - 20.0	2.77 - 22.0	42.0 - 260
<input type="checkbox"/>	16 Overview of materials for Nylon 6, Unreinforced	0.100 - 13.7	0.210 - 16.6	7.00 - 270
<input type="checkbox"/>	17 Overview of materials for Nylon 6, Impact Grade	0.0689 - 14.0	0.145 - 15.0	8.00 - 310
<input type="checkbox"/>	18 Overview of materials for Nylon 6, Heat Stabilized	0.145 - 20.0	0.470 - 20.0	9.65 - 848
<input type="checkbox"/>	19 Overview of materials for Nylon 6, 20% Glass Fiber Filled	1.00 - 40.3	1.10 - 14.3	45.0 - 300
<input type="checkbox"/>	20 Overview of materials for Nylon 6, 30% Glass Fiber Filled	0.724 - 14.3	0.160 - 23.7	40.0 - 800
<input type="checkbox"/>	21 Overview of materials for Nylon 6, Glass Bead Filled	0.703 - 18.0	1.35 - 19.0	10.3 - 340
<input type="checkbox"/>	22 Overview of materials for Nylon 6, 30% Mineral Filled	0.600 - 12.5	1.45 - 18.0	35.0 - 245
<input type="checkbox"/>	23 Overview of materials for Nylon 6, Glass/Mineral Reinforced	0.640 - 14.1	0.600 - 20.8	50.0 - 290
<input type="checkbox"/>	24 Overview of materials for Nylon 66/6, 40% Glass Fiber Reinforced	6.10 - 16.2	3.00 - 17.8	45.0 - 380
<input type="checkbox"/>	25 Overview of materials for Nylon 66, Unreinforced	0.500 - 18.5	0.600 - 25.0	11.0 - 350
<input type="checkbox"/>	26 Overview of materials for Nylon 66, Impact Grade	0.0700 - 36.2	0.600 - 41.4	15.0 - 507
<input type="checkbox"/>	27 Overview of materials for Nylon 66, Unreinforced, Flame Retardant	0.255 - 12.4	0.800 - 12.4	37.2 - 276
<input type="checkbox"/>	28 Overview of materials for Nylon 66, Heat Stabilized	0.255 - 36.2	0.700 - 24.5	27.6 - 420
<input type="checkbox"/>	29 Overview of materials for Nylon 66, PTFE Filled	1.38 - 16.5	1.65 - 23.5	50.0 - 303
<input type="checkbox"/>	30 Overview of materials for Nylon 66, 10% Glass Fiber Filled	0.483 - 36.2	1.79 - 10.4	43.0 - 248

Figura 28. Materiales parte 1

<input type="checkbox"/>	31	Overview of materials for Nylon 66, 30% Glass Fiber Filled	0.00700 - 98.1	0.220 - 15.5	26.2 - 2000
<input type="checkbox"/>	32	Overview of materials for Nylon 66, 40% Glass Fiber Filled	1.10 - 14.5	1.30 - 18.5	27.6 - 390
<input type="checkbox"/>	33	Overview of materials for Nylon 66, Glass Reinforced, Impact Grade	2.07 - 36.2	2.76 - 15.2	16.0 - 360
<input type="checkbox"/>	34	Overview of materials for Nylon 610	0.120 - 22.1	0.0510 - 27.6	22.0 - 393
<input type="checkbox"/>	35	Overview of materials for Nylon 12	0.190 - 95.0	0.0800 - 100	5.45 - 900
<input type="checkbox"/>	36	Overview of materials for Nylon 12, PTFE Filled	1.10 - 18.5	1.24 - 21.5	37.9 - 300
<input type="checkbox"/>	37	Overview of materials for Nylon 12, Carbon Fiber Filled	1.83 - 95.0	2.20 - 100	58.1 - 900
<input type="checkbox"/>	38	Overview of materials for Phenolic, Novolac, Impact Grade, Filled	6.70 - 19.0	7.60 - 21.0	62.0 - 94.0
<input type="checkbox"/>	39	Overview of materials for Phenolic, Novolac, Mineral Filled	6.00 - 21.0	8.10 - 23.0	55.0 - 240
<input type="checkbox"/>	40	Overview of materials for Phenolic, Novolac, Mineral/Graphite Filled	10.0 - 26.0	10.3 - 29.0	55.0 - 163
<input type="checkbox"/>	41	Overview of materials for Phenolic, Novolac, Mineral/Glass Filled	7.50 - 27.5	9.50 - 30.0	60.0 - 249
<input type="checkbox"/>	42	Overview of materials for Phenolic, Resole, Mineral Filled	7.00 - 20.5	7.50 - 8.90	40.0 - 156
<input type="checkbox"/>	43	Overview of materials for Polycarbonate, PTFE Filled	2.00 - 13.7	1.93 - 9.31	65.0 - 214
<input type="checkbox"/>	44	Overview of materials for Polycarbonate, Glass Fiber Filled, Flame Retardant	2.40 - 12.4	2.20 - 16.5	52.0 - 1300
<input type="checkbox"/>	45	Overview of materials for Polycarbonate, Carbon Fiber Reinforced	1.38 - 165	2.14 - 27.6	51.7 - 281
<input type="checkbox"/>	46	Overview of materials for Polycarbonate, Conductive	1.06 - 14.5	2.07 - 15.9	59.8 - 179
<input type="checkbox"/>	47	Overview of materials for Polybutylene Terephthalate (PBT), Unreinforced, Molded	0.360 - 17.9	0.420 - 21.9	22.0 - 255
<input type="checkbox"/>	48	Overview of materials for Polybutylene Terephthalate (PBT), 50% Glass Fiber Filled	4.61 - 17.0	4.10 - 18.7	68.0 - 285
<input type="checkbox"/>	49	Overview of materials for Polybutylene Terephthalate (PBT), Glass Filled, Impact Modified	1.67 - 15.5	1.76 - 10.7	47.0 - 210
<input type="checkbox"/>	50	Overview of materials for Polytrimethylene Terephthalate (PTT)	1.60 - 24.8	1.60 - 29.0	55.2 - 255
<input type="checkbox"/>	51	Overview of materials for Polyester (Thermoset) - Rigid	0.359 - 16.0	1.00 - 10.6	53.8 - 265
<input type="checkbox"/>	52	Overview of materials for Thermoset Polyester Glass Filled BMC	4.00 - 28.0	6.00 - 25.0	38.0 - 743
<input type="checkbox"/>	53	Overview of materials for Thermoset Polyester Glass SMC	3.00 - 55.2	2.76 - 88.2	50.0 - 1000
<input type="checkbox"/>	54	Overview of materials for Thermoset Polyester Glass and Mineral Filled BMC	6.00 - 18.3	6.00 - 20.2	30.0 - 248
<input type="checkbox"/>	55	Overview of materials for Thermoset Polyester, Mineral Filled	8.96 - 19.9	9.90 - 21.3	55.2 - 179
<input type="checkbox"/>	56	Overview of materials for Polyetherimide (PEI)	0.380 - 32.6	0.000 - 39.4	17.9 - 372
<input type="checkbox"/>	57	Overview of materials for Polyetherimide (PEI), Carbon Fiber Filled	4.50 - 31.0	4.50 - 34.5	17.9 - 345
<input type="checkbox"/>	58	Overview of materials for Polyethersulfone (PES)	2.28 - 24.1	2.00 - 36.6	2.60 - 310
<input type="checkbox"/>	59	Overview of materials for High Density Polyethylene (HDPE), Glass fiber Filled	0.965 - 14.1	0.700 - 15.2	17.2 - 215
<input type="checkbox"/>	60	Overview of materials for Polyimide	1.38 - 37.9	0.107 - 46.9	24.8 - 490
<input type="checkbox"/>	61	Overview of materials for Polyactic Acid (PLA) Biopolymer	0.178 - 13.8	0.0500 - 13.8	0.170 - 159
<input type="checkbox"/>	62	Overview of materials for Polyphenylene Sulfide (PPS): Molded	2.40 - 21.0	2.50 - 17.2	51.7 - 230
<input type="checkbox"/>	63	Overview of materials for Polyphenylene Sulfide (PPS) with 30% Glass Fiber Filler	1.20 - 30.1	6.89 - 31.8	53.1 - 339
<input type="checkbox"/>	64	Overview of materials for Polyphenylene Sulfide (PPS) with 40% Glass Fiber Filler	6.21 - 34.9	3.10 - 37.3	49.6 - 343
<input type="checkbox"/>	65	Overview of materials for Polyphenylene Sulfide (PPS) with 50% Glass Fiber Filler	9.55 - 39.2	9.65 - 42.1	57.9 - 343

Figura 29. Materiales parte 2

<input type="checkbox"/>	66	Overview of materials for Polyphenylene Sulfide (PPS) with 20% Carbon Fiber Filler	8.27 - 19.3	8.27 - 26.2	53.1 - 262
<input type="checkbox"/>	67	Overview of materials for Polyphenylene Sulfide (PPS) with 30% Carbon Fiber Filler	8.00 - 27.8	4.83 - 33.8	66.2 - 342
<input type="checkbox"/>	68	Overview of materials for Polyphenylene Sulfide (PPS), Mineral/Glass-Fiber Filled	1.20 - 29.0	6.89 - 26.5	66.2 - 278
<input type="checkbox"/>	69	Overview of materials for Polyphenylene Sulfide (PPS), PTFE/Glass-Fiber Filled	4.90 - 17.9	5.86 - 20.0	45.5 - 250
<input type="checkbox"/>	70	Overview of materials for Polyphenylene Sulfide (PPS) with PTFE Filler	1.31 - 15.0	1.65 - 15.0	18.6 - 180
<input type="checkbox"/>	71	Overview of materials for Polyphthalamide (PPA)	0.216 - 44.8	0.500 - 53.1	9.00 - 527
<input type="checkbox"/>	72	Overview of materials for Polyphthalamide (PPA), Glass Fiber 40%	1.70 - 15.9	2.20 - 17.2	20.7 - 360
<input type="checkbox"/>	73	Overview of materials for Polypropylene with 40% Glass Fiber Filler	2.80 - 12.5	3.59 - 12.4	50.0 - 294
<input type="checkbox"/>	74	Overview of materials for Polypropylene, Long Glass Fiber 50%	3.86 - 17.5	6.85 - 20.5	62.1 - 370
<input type="checkbox"/>	75	Overview of materials for Polypropylene with 60% Glass Fiber Filler	2.41 - 24.1	6.30 - 25.1	28.3 - 420
<input type="checkbox"/>	76	Overview of materials for Polypropylene, Carbon Fiber Filled	2.50 - 19.3	1.03 - 27.6	0.524 - 260
<input type="checkbox"/>	77	Overview of materials for Thermoplastic Polyurethane (TPUR), Glass Fiber Reinforced	0.234 - 45.0	0.345 - 45.0	13.8 - 1150
<input type="checkbox"/>	78	Overview of materials for Silicone, Molded, Glass Fiber Filled	8.00 - 16.0	0.00159 - 14.0	52.0 - 180
<input type="checkbox"/>	79	Overview of materials for Vinyl Ester Sheet Molding Compound	3.45 - 77.9	3.72 - 94.5	40.0 - 1310
<input type="checkbox"/>	80	Celanese CoolPoly® D5108 Thermally Conductive Polyphenylene Sulfide	19.0	12.0	68.0
<input type="checkbox"/>	81	Plenco 5350 Phenolic, Granular, Compression Molded	13.2	15.1	63.0
<input type="checkbox"/>	82	Plenco 6343 Phenolic, Granular, Compression Molded	12.1	15.6	55.0
<input type="checkbox"/>	83	Park Aerospace Nelcote® F-557 Phenolic Prepreg, Chopped Molding Compound Reinforced	14.5	15.2 - 17.2	58.6 - 103
<input type="checkbox"/>	84	RTP Company RTP 299 A X 92682 J Nylon 6 (PA), High Gravity Compound	14.5	16.5	58.6
<input type="checkbox"/>	85	RTP Company RTP 299 A X 108950 J Nylon 6 (PA), High Gravity Compound - Non Magnetic	14.5	16.5	58.6
<input type="checkbox"/>	86	RTP Company RTP 4007 FR A HS Polyphthalamide (PPA), Glass Fiber - Flame Retardant - Heat Stabilized - Preliminary Datasheet	15.2	16.2	20.7
<input type="checkbox"/>	87	Raschig Group EN 5004 Epoxy Molding Compound	20.0 - 22.0	7.00 - 9.00	50.0 - 60.0
<input type="checkbox"/>	88	Raschig Group EN 5007 Epoxy Molding Compound	20.0 - 22.0	7.00 - 9.00	50.0 - 60.0
<input type="checkbox"/>	89	SABIC LNP™ STAT-KON™ 9X08403C LCP (Global)	14.4	14.8	53.0
<input type="checkbox"/>	90	SABIC LNP™ STAT-KON™ ME006 PP (Americas)	12.3	14.0 - 17.3	58.0 - 78.0

Found 90 Results -- Page 1 of 1 -- [Prev Page] [Next Page] -- view 100 per page

Figura 30. Materiales parte 3

El resultado que se obtuvo con el método de base de datos es una lista de 90 materiales que se muestran en la Figura (28-30). La mayoría de los materiales obtenidos son materiales compuestos. Para este caso particular en el que usamos MatWeb los criterios simultáneos para filtrar materiales es limitado a tres, por lo tanto es difícil llegar a un solo material. Este método trabaja con el uso de las propiedades de los materiales independientemente, a diferencia de otros métodos donde se combinan. Se destaca que es muy útil para un filtro inicial y sus resultados

pueden ser la entrada de otros métodos, esto da una idea de donde centrarnos a buscar y seleccionar el material.

6.4 Comparación de los resultados de los métodos aplicados

Con los resultados obtenidos por los tres métodos aplicados, se hace una comparación para identificar cuál de los tres métodos es el más adecuado para la aplicación.

6.4.1 Criterios de comparación

Los criterios de comparación para los métodos aplicados son:

- La función a realizar
- Las restricciones
- La cantidad de materiales de partida en cada método
- El número de resultados de materiales obtenidos después de aplicar cada método

6.4.2 Comparación de los métodos

En la tabla 27 se encuentran los resultados de comparación para los métodos aplicados.

Tabla 27. Comparación de resultados para los métodos aplicados

Métodos	Ashby	Magnitudes Características	Base de datos
Función	Módulo de flexión	Módulo de flexión	Módulo de flexión
Restricciones	Densidad	Espesor	Fuerza de flexión
	Módulo de Young	Costo	Módulo de Young's
	Fuerza de flexión	Masa	
	Limite elástico		
	Tenacidad a la fractura		
	Resistente al agua		
Numero de materiales iniciales	4169	5	155000
Numero de materiales después de aplicar los métodos	1	1	90

Tabla 28. Resultado de materiales seleccionados por los tres métodos

Métodos	Material seleccionado
Ashby	Bambú(longitudinal)
Magnitudes características	5 capas de madera de arce y dos capas exteriores de bambú
Base de datos	No se determino

En la tabla 27 y 28 se resumen las características de cada método usado, donde se observan diferencias claras entre los tres métodos. El número de materiales iniciales en que se basa cada método para realizar la selección es distinto. Magnitudes características parte de 5 materiales, Ashby parte de 4169 y base de datos parte de 155000 materiales. Es importante resaltar que tanto Ashby como magnitudes características son eficientes para una aplicación específica, porque en el resultado final se obtendrá un material para la selección siendo el óptimo para la aplicación. Base de datos está mejor situado para usarse en una etapa inicial donde no es necesario definir un material específico. Se utilizó la misma función a realizar para todos los parámetros a satisfacer para poder identificar y comparar los resultados de los tres métodos aplicados. Se puede observar que Ashby y la base de datos tienen similitudes al hacer los filtros de propiedades, sin embargo, Ashby incluye el uso del índice del material, esto lo hace superior al método de magnitudes características. Ambos métodos necesitan el software ANSYS GRANTA EduPack 2020. El programa facilitó el cálculo y las aplicaciones de estos métodos, este programa cuenta con una base de datos con 4169 materiales y tiene la posibilidad de crear materiales sintéticos y calcular sus propiedades.

Para el método de Ashby y el de magnitudes características, el precio por unidad de masa de cada material o la magnitud característica relacionada con este, fue un factor importante para la selección del material final entre los materiales con otras propiedades similares. El método de la base de datos depende fuertemente de la información disponible de los materiales y la capacidad de hacer filtros con la herramienta que se utilice. En este caso MatWeb provee una cantidad limitada de filtros simultáneos, tres para ser exactos, esto limita la cantidad de materiales que se puede obtener. Se espera que este método pueda generar mejores resultados con una base de datos con mejores capacidades para aplicar filtros. Para las magnitudes características se requiere un número limitado de materiales de entrada, este método es aprovechado cuando se

cuenta con una lista corta de materiales previamente filtrados, se podría usar la salida de base de datos, o el acompañamiento de un experto para seleccionar una lista inicial de materiales.

Para este proyecto, Ashby es el mejor que se ajusta para esta aplicación, permite empezar con gran número de materiales y llegar a uno solo para su elección. En este caso el material seleccionado es bambú longitudinal tabla 28, este material cumple con los requerimientos y las propiedades usadas para limitar y encontrar el material adecuado. Es importante resaltar que los métodos aplicados no son excluyentes uno del otro y se puede aprovechar la sinergia entre ellos y utilizarlos de manera acoplada para mejores resultados.

7. CONCLUSIONES

En este proyecto se realizó un estudio comparativo de diferentes métodos de selección de materiales aplicables para una tabla de skateboard. Como resultado de la revisión de literatura, se encontraron 14 métodos de selección de materiales. Estos métodos encontrados fueron divididos en tres grupos: métodos de revisión rápida, métodos de optimización, métodos MCDM.

Se realizó una conceptualización de los métodos encontrados para la selección de materiales y se presentó una tabla comparativa, donde se muestran sus ventajas y desventajas.

La jerarquización tuvo en cuenta 6 criterios seleccionados por expertos en el tema. Es de resaltar que los criterios de jerarquización dependen de la aplicación en particular, de esta manera, la jerarquización debe hacerse para cada caso dependiendo de los criterios que se requieran. Se presentó una lista explicativa de estos criterios. Estos criterios sirven de referencia para futuros trabajos.

Se encontraron diferentes parámetros de diseño para una tabla de skateboard a través de una revisión en la literatura y aplicando ingeniería inversa donde se encontraron los materiales utilizados normalmente para tablas de skateboard. Los cuales se utilizaron como punto de partida para la aplicación de los métodos de selección de materiales.

El programa ANSYS GRANTA EduPack 2020 facilitó la obtención de algunas propiedades de los materiales encontrados en la literatura y el cálculo de propiedades de los materiales como madera de arce 6 capas y una capa inferior de bambú, 2 capas de Resina epoxy y 3 capas de madera de arce, entre otros, por ingeniería inversa.

Se utilizó la herramienta de sintetizar materiales en ANSYS GRANTA EduPack 2020 para conseguir las propiedades de los materiales sintéticos, sin dicha herramienta, no habría sido posible encontrar estas propiedades, por lo tanto, es de gran ayuda este programa.

Los resultados de la jerarquización para esta aplicación arrojaron tres métodos para la selección de material para una tabla de skateboard: método Ashby, método de las magnitudes características, y método de la base de datos.

El método Ashby es un método muy completo e ilustrativo donde se entiende fácilmente el requerimiento necesario para la selección, dándonos ideas claras de los materiales que cumplen con la necesidad de la aplicación.

El método de las magnitudes características requiere de materiales ya preseleccionados, y por esto necesita la colaboración de agentes externos para

determinar sus propiedades, en este caso se utiliza el software ANSYS GRANTA EduPack 2020, de no ser así el método se hace extenso y posiblemente no se pueda aplicar.

El método de bases de datos se recomienda para una etapa inicial de diseño, porque se limita a las bases accesibles para realizar la selección. Para esta investigación se utilizó matweb, sin embargo, esta base de datos es restringida a tres filtros de propiedades y resulta una gran cantidad de materiales, donde es complicado escoger uno, ya que no se puede determinar más propiedades. Se debería revisar material por material para saber si cumplen con lo requerido a la aplicación. Por esta razón este método podría acoplarse con otras metodologías y dar un resultado más adecuado.

De los tres métodos utilizados Ashby, magnitudes características, base de datos, se destaca Ashby considerando, para esta investigación como el método más completo y acertado para esta aplicación, demostrando capacidad para seleccionar un solo material, facilidad de uso por la herramienta software disponible, flexibilidad al poder aplicar diversos filtros entre las propiedades de los materiales.

8. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Realizar la jerarquización con aplicaciones diferentes a una tabla de skateboard.
- Aplicar métodos de selección de materiales diferentes a los aplicados en este proyecto y comparar los resultados.
- Evaluar la opción de combinar diferentes métodos por ejemplo el método de base de datos con el método de magnitudes características.
- Integrar los resultados de este proyecto a los cursos de ingeniería de materiales.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceves, C. M., Skordos, A. A., & Sutcliffe, M. P. F. (2008). Design selection methodology for composite structures. *Materials and Design*, 29(2), 418–426. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2007.01.014>
- Alonso, D., & Acosta, R. (2013). Uso de la ingeniería inversa como metodología de enseñanza en la formación para la innovación. *World Engineering Education Forum*, 1–7.
- ANSYS INC. (n.d.). *Ansys Granta: Materials Information Management*. Retrieved May 15, 2021, from <https://www.ansys.com/products/materials>
- Ashby, M. F. (1992). Materials Selection in Mechanical Design. In *Lecture Notes in Mechanical Engineering* (Vol. 16). https://doi.org/10.1007/978-3-319-05203-8_21
- Chang, C.-L. (2010). A modified VIKOR method for multiple criteria analysis. 339–344.
- ciudad surf. (2020). *Los 5 mejores LONGBOARD de 2020*. <https://ciudadesurf.com/mejores-longboard-de-2020/>
- Emovon, I., & Oghenenyero, O. S. (2020). Application of MCDM method in material selection for optimal design: A review. *Results in Materials*, 7(June), 100115. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2020.100115>
- Endruweit, A., & Ermanni, P. (2002). Experimental and numerical investigations regarding the deformation-adapted design of a composite flex slalom skateboard. *Sports Engineering*, 5(3), 141–154. <https://doi.org/10.1046/j.1460-2687.2002.00104.x>
- Farag, M.M. (1992). *An integrated approach to product design, materials selection and cost estimation*. 13, 323–327.
- Farag, Mahmoud M. (2002). *Quantitative Methods of Materials Selection*.
- Fillow Magazine. (2021). *Las mejores marcas de tablas de Skate 2021*. <https://www.fillow.net/blog/2021/09/las-mejores-marcas-de-tablas-de-skate-2021/>
- Gero B.E, J. S. (2011). *THE APPLICATION OF OPERATIONS RESEARCH TO ENGINEERING DESIGN—A REVIEW*. 66–77.
- Goldsberry, C. (2006). *Computer modeling and how it helps drive material selection*.
- González, H. Á., & Mesa G., D. H. (2004). La Importancia Del Metodo En La Selección De Materiales. *Scientia Et Technica*, X(24), 175–180. <https://doi.org/10.22517/23447214.7333>
- Hanley, D. P., & Hobson, E. (1973). Computerized Materials Selection. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 95(4), 197–201. <https://doi.org/10.1115/1.3443153>
- Jahan, A., Ismail, M. Y., Sapuan, S. M., & Mustapha, F. (2010). Material screening and choosing methods - A review. *Materials and Design*, 31(2), 696–705. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.08.013>
- Jahan, Ali, Mustapha, F., Ismail, M. Y., Sapuan, S. M., & Bahraminasab, M. (2011).

- A comprehensive VIKOR method for material selection. *Materials and Design*, 32(3), 1215–1221. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.10.015>
- Kumar, R., Jagadish, & Ray, A. (2014). Selection of Material for Optimal Design Using Multi-criteria Decision Making. *Procedia Materials Science*, 6(Icmpc), 590–596. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.073>
- Liu, H., Coote, T., Aiolos, A., & Charlie, C. (2018). Skateboard deck materials selection. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 128(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/128/1/012170>
- López Beltrán, R. J., & Torres S., J. (2002). Metodología Mixta de Selección de Materiales Aplicada en la Escogencia del material para un Dedo de Pinza de Sujeción de un Manipulador Industrial. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 12(12), 35-51–51.
- Matweb. (n.d.). *MatWeb- Base de datos*. <http://www.matweb.com/index.aspx>
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- Ortega Ruíz, J. O. (2018). Desarrollo de un material híbrido, madera/fique-poliéster para la fabricación de tablas de skateboard. In *Tesis de Pregrado*.
- Prentiss, A. M., Skelton, R. R., Eldredge, N., & Quinn, C. (2011). Get Rad! the Evolution of the Skateboard Deck. *Evolution: Education and Outreach*, 4(3), 379–389. <https://doi.org/10.1007/s12052-011-0347-0>
- Riba Romeva, C. (2008). *Selección de Materiales en el Proceso de Diseño de Maquinas*. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36844/9788498804065.pdf>
- Rodríguez Gasca, M. (2020). *Metodología de ingeniería concurrente enfocada al desarrollo de tablas de skateboard a base de biocompuesto reforzado con fibra de fique*.
- Sadagopan, D., & Pitchumanit, R. (1998). *Application of genetic algorithms to optimal tailoring of composite materials*. 571–589.
- Thurston, D. L., & Carnahan, J. V. (1992). *Fuzzy Ratings and Utility Analysis in Preliminary Design Evaluation of Multiple Attributes*. 648–658.
- Valbuena Arias, J. A. (2018). *Manual de Aplicación para el Correcto Uso de Metodologías de Selección de Materiales Dentro del Proceso de Diseño Mecánico* (Vol. 151, Issue 2).