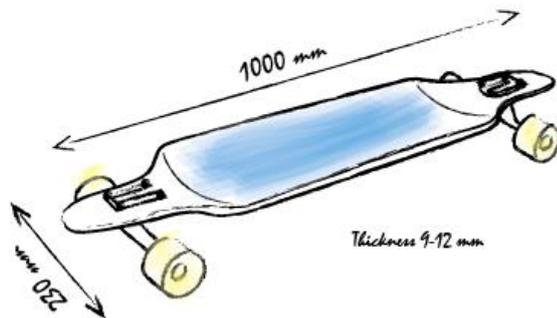


Claes Fredriksson, Granta Design, Mayo 2019

1. Selección del Material en Diseño

Para desarrollar productos de altas prestaciones, los materiales deben considerarse desde la etapa inicial del diseño. El peso, el precio y las credenciales ecológicas suelen ser aspectos clave. El reto consiste en hacer una selección racional, maximizando los beneficios. En este caso práctico, buscamos materiales para un *longboard*.



Un *longboard* (tabla larga) es un tipo de monopatín diseñado para carreras de descenso y slalom, y es también usado simplemente como medio de transporte. Al ser más alargado y con ruedas más grandes que las tablas estándar, permite una mayor velocidad. Su mayor peso y volumen lo hacen menos manejable para trucos acrobáticos, pero más estable y de movimiento fluido, con mayor impulso. La tabla puede estar doblada a lo largo, hacia arriba o abajo. También las hay de doble curvatura: cóncavas a lo ancho y convexas a lo largo.

Las cubiertas de los *longboards* suelen estar formadas por varias capas de contrachapado, generalmente de espesores de 2 mm cada una, fabricadas con madera de abedul, bambú, arce o roble, entre otros. Hay tablas de una gran variedad de tamaños y formas disponibles comercialmente. Cada una tiene sus pros y contras, dependiendo de las preferencias personales o técnicas.

2. Cómo afrontar el problema

La metodología de selección de materiales de Ashby implica identificar *Función*, *Objetivos* y *Restricciones de diseño*. Es beneficioso definir las propiedades clave de materiales, en este caso para la cubierta de la tabla. Naturalmente, uno de los parámetros esenciales será su resistencia; de manera que sea lo suficientemente fuerte. Sin embargo, esta no es una de las limitaciones para su rendimiento. En su lugar, al igual que en otros equipos deportivos y de competición (esquí, raquetas, bicis, etc.) lo que queremos aumentar es la rigidez.

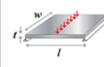
Mientras que una masa mayor otorga más estabilidad, al aumentar la inercia también ralentiza las velocidades de bajada. Reducir la fricción y el rozamiento con el aire ayudan a aumentar la velocidad. Cuesta arriba, el peso hace que el trabajo sea más duro y se reduce la velocidad. Así pues, al elegir el material, lo lógico será minimizar la masa. En este caso práctico, nos centraremos en optimizar la rigidez/masa, considerando también el coste. El menú *Aprende (Aprende>Material Selection>Performance Indices)* muestra las opciones:

	Mass	Cost	Embodied Energy	CO ₂ Footprint
Stiffness limited design	kg	\$	H _m	CO ₂
Strength limited design	kg	\$	H _m	CO ₂

Función:

La cubierta de la tabla es básicamente una **placa a flexión**, limitada por su **rigidez** (para evitar que se doble demasiado). La variable libre de diseño en este caso es el espesor. En CES EduPack (*Aprende*), encontramos:

Stiffness-limited design at minimum mass

FUNCTION AND CONSTRAINTS ¹		MAXIMIZE ²	MINIMIZE ²
Panel in bending		length, width fixed: thickness free	$E_f^{1/3} / \rho$ $\rho / E_f^{1/3}$

Objetivo:

La Tabla de Índices del material (ver arriba), nos dice que debemos maximizar la raíz cúbica del módulo a flexión, E_f , entre la densidad, ρ . El módulo a flexión se traduce en rigidez bajo flexión. Ya que este parámetro sólo está disponible en el Nivel 3, utilizamos en su lugar el **Módulo de Young** como medida de rigidez en Nivel 2. Así, queremos maximizar:

$$M = E^{1/3} / \rho \text{ (recta de visualización, pendiente=3 en E vs } \rho \text{)}$$

Restricciones:

Estas limitaciones están inspiradas en tablas existentes. Se añaden a CES EduPack mediante una etapa **Límite**,

- *Temperatura en servicio*: de -20 °C a +60 °C
- *Límite elástico*: > 10 MPa
- *Módulo de Young*: > 7.5 GPa
- *Resistencia a lluvia y agua salada*:
Aceptable+Excelente

3. Selección del material

Esta selección se basa en los registros disponibles en el Nivel 2 de CES EduPack, que contiene datos de alrededor de 100 materiales comunes en ingeniería.

- Usando *Gráfico/Seleccionar (Todos los materiales)*, representa **Módulo de Young** contra **Densidad**
- Haz una recta de pendiente 3, acorde con el índice
- Sitúa la recta sobre la burbuja del contrachapado
- Añade las restricciones (puede ser difícil)

El límite del Módulo de Young también se puede indicar con una recta de pendiente 0 (línea discontinua roja):

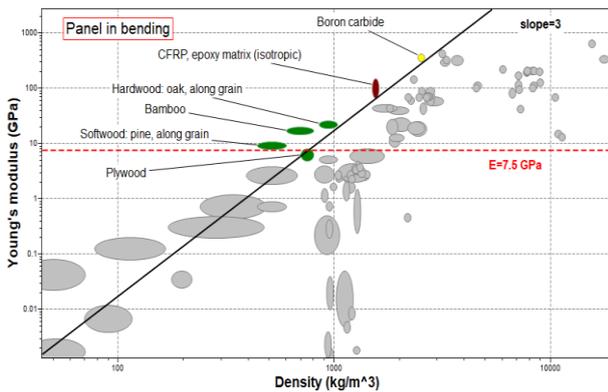


Gráfico: Materiales de igual o mejor (por encima de la recta de visualización) comportamiento que el contrachapado.

Usando una recta de visualización de pendiente 3, por el exponente $1/3$ en la ecuación del *Índice del material*, se ve que el bambú y el pino son los materiales naturales de mejor comportamiento, superando a los compuestos de epoxi y fibra de carbono (CFRP) y a maderas duras, como el roble (*Clasificar por: Valor del índice*).



La imagen muestra materiales típicos de cubiertas. A la izquierda, vemos una tabla tradicional de contrachapado de arce, compuesta normalmente por entre 5 y 7 capas transversales, una opción muy económica. Junto a ella, una cubierta de bambú unidireccional y a la derecha una cubierta ligera de estructura sándwich, de capas de fibra de carbono/arce/fibra de vidrio, que cuesta normalmente más de 100 USD. Los resultados indican que las opciones más baratas de arce y bambú presentan, aún así, buen comportamiento. ¿Y el carburo de boro, que también destacaba en la gráfica? Esta cerámica técnica presenta una tenacidad de fractura relativamente alta.

Uno de los motivos de que no haya monopatines de dicho material es su precio. A continuación se comparan los precios por volumen (precio por $\text{kg} \cdot \text{densidad}$):

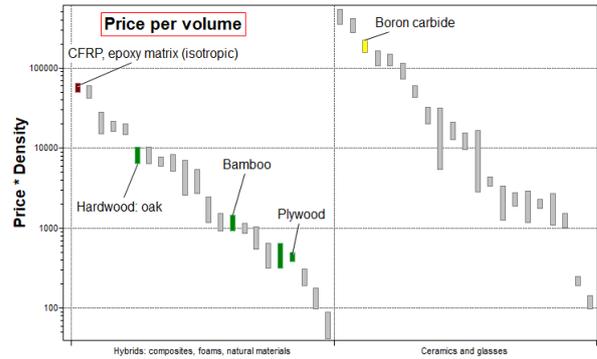


Gráfico: El carburo de boro y el CFRP presentan muy buen comportamiento, pero son caros. La madera es más barata.

Un gráfico con el Índice de rendimiento más avanzado del menú Ayuda, que incluye el coste, refleja la misma situación: es demasiado costoso. Otras razones para no usar cerámicos, que puedes encontrar explorando los registros, son una mayor energía contenida y huella de carbono, así como su limitada reciclabilidad. Además, si buscamos "monopatín" en el Nivel 2 de CES EduPack, aparece el registro de la madera contrachapada con una imagen de un monopatín como ejemplo.



Izquierda. Primer plano del material. © Chris Lefteri Derecha. Tabla de madera contrachapada. © Chris Lefteri

4. Conclusiones

Los materiales de madera tradicionales, en especial el bambú, se comparan muy favorablemente frente a materiales compuestos más caros en cuanto a comportamiento mecánico. Esta decisión se refuerza al tener en cuenta factores adicionales como el coste, la huella de carbono o la reciclabilidad.

El uso de CES EduPack permite una selección de materiales racional y sistemática. Proporciona la información y herramientas necesarias para una investigación interactiva y visual de interesantes problemas reales de ingeniería.