

Software de código abierto para facilitar el proceso de selección de materiales según la metodología de Ashby

Bruno Paucar¹, Giovanni Chunga², C.V. Tapia-Bastidas², Miguel Realpe³
Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Ecuador

¹Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, bpaucar@espol.edu.ec

²Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, gchung@espol.edu.ec, vtapia@espol.edu.ec

³Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, CIDIS, mrealpe@fiee.espol.edu.ec

Resumen– *El presente documento describe la elaboración de un software de código abierto en lenguaje de programación Python que facilita el proceso de selección de materiales empleados en ingeniería. Este trabajo ha sido desarrollado por estudiantes de las carreras en ingeniería química e ingeniería en alimentos, como proyecto de curso de la materia transversal de primer semestre “Fundamentos de Programación”. El código desarrollado permite la selección entre distintos tipos de materiales, basándose en características específicas requeridas por los usuarios, además el código permite visualizar gráficas indicadas en la metodología desarrollada por Michael Ashby. La base de datos utilizada abarca información de aproximadamente 5000 diferentes materiales que pueden ser clasificados según sus características particulares como metales, cerámicos, polímeros, madera y materiales naturales, elementos puros y otros materiales de ingeniería. Como parte de los resultados de este proyecto se ha creado un repositorio de acceso público con los algoritmos implementados y la base de datos usada. El código desarrollado puede ser modificado y reusado libremente bajo la licencia gratuita “GNU General Public License”.*

Palabras Clave: *Código abierto, Python, metodología Ashby, selección de materiales.*

I. INTRODUCCIÓN

El proceso de selección de materiales ocupa un rol fundamental en la ingeniería debido principalmente a la gran variedad de materiales de ingeniería existentes en la actualidad. Uno de los métodos más utilizados en ingeniería para el proceso de selección de materiales en función de sus propiedades y características es el método gráfico de Ashby [1], el cual permite realizar una aproximación sistemática a la solución idónea en función de los requerimientos de una determinada aplicación. En esta metodología se contrastan un par de propiedades en un gráfico logarítmico log-log, presentándose una variedad de gráficos que pueden ser usados en función de una aplicación particular. La principal ventaja de esta metodología es que permite visualizar con claridad los distintos tipos de familias existentes entre los materiales graficados, logrando así tener una mejor percepción de las propiedades físicas, mecánicas y funcionales de los materiales, de una manera sencilla y compacta [2]. Además, es posible trazar rectas denominadas índices de desempeño, que representan características mecánicas particulares en función del tipo de gráfico seleccionado. Por ejemplo, en el gráfico de módulo de Young versus densidad, uno de los índices de desempeño comúnmente

utilizados es la rigidez del material. Es así que un valor de rigidez específico, representado por una recta, es visualmente identificado; ya que todos los materiales que son tocados por esta recta tienen la misma rigidez específica, permitiendo establecer criterios para una mejor selección, en este caso basados en la rigidez específica de los mismos de una manera gráfica y sencilla.

En la actualidad existen diversos software comerciales que permiten utilizar la metodología de Ashby. Sin embargo, se requiere pagar licencias de uso. En este contexto, el proyecto objeto de este escrito propone una alternativa sencilla para visualizar las principales funciones de la metodología Ashby. Asimismo, el código es desarrollado en Python, lo cual presenta ventajas adicionales ya que es un lenguaje de programación de uso libre, con una sintaxis sencilla y con numerosas librerías de distribución pública [3], y que permitirá en el futuro el ajuste de las bases de datos, permitiendo adaptarlas a la realidad y limitaciones del país.

Con el fin de facilitar la explicación del uso de la metodología y del software desarrollado, se detalla el uso y desarrollo del gráfico Ashby de módulo de elasticidad versus densidad, la cual permite la selección de materiales a partir de los valores de rigidez específica en alambres, vigas y paneles en flexión. Lo que permite al usuario una selección en tres niveles, similar al propuesto por software comerciales.

Como resultado se puede observar aquellos materiales que han cumplido con las restricciones y tipo de familia ingresados por el usuario en la interfaz, además también se muestra por pantalla los nombres y valores de densidad y módulo de los mismos; resultados que serían similares a los producidos por los software comerciales.

De esta manera el usuario tiene una interfaz sencilla para elegir valores y recibe toda la información necesaria para poder realizar ejercicios de filtración y selección preliminar de materiales en aspectos de rigidez, densidad y módulo de elasticidad.

II. MARCO TEORICO

A. Selección de materiales para la ingeniería

Por lo general, los criterios de selección para la elección de materiales se definen por la función, el objetivo y la restricción de los componentes. Cada

material posee propiedades que resultan de las interacciones fisicoquímicas a nivel atómico o estructural, como densidad, resistencia mecánica, resistencia al impacto, conductividad térmica, entre otros. Debido a la gran variedad de materiales de ingeniería disponibles y respetando el espíritu iterativo del proceso de diseño, se debe establecer una metodología para facilitar el proceso de selección de materiales entre las muchas opciones de cambio que son inevitables en la mente del diseñador.

Los dos pasos clave en la elección de materiales son la selección y clasificación. Lo primero permite reducir rápidamente el campo de los posibles materiales a unos pocos manejables, mientras que el segundo restringe aún más las opciones y luego evalúa y clasifica las opciones para identificar los materiales óptimos [4].

B. Propiedades de los materiales

Para facilitar el entendimiento únicamente se explicará el diagrama de módulo de elasticidad versus densidad, teniendo en cuenta que este procedimiento puede ser replicado para otros gráficos de Ashby estándar.

El módulo de elasticidad o módulo de Young define la capacidad del material de conservar su comportamiento elástico. Sus unidades en el sistema internacional de unidades son los Pascales (Pa), aunque debido al rango generalmente se lo expresa como Megapascuales (MPa) y se lo representa con la letra E [5]. El módulo de elasticidad está relacionado con la rigidez de los enlaces de los átomos y la densidad de empaquetamiento de estos.

La densidad se representa con la letra griega ρ y sus unidades en el sistema internacional de unidades son $\text{Kg}/(\text{m}^3)$. La densidad de un material determina que tan pesado o ligero es el mismo para una aplicación de ingeniería.

Existen características que dependen de su interacción con otras, lo que genera un cambio en el comportamiento y en el rendimiento de un material. Esto es cierto, particularmente, en el índice de rigidez del material, que es la relación módulo de elasticidad dividido entre densidad. La relación que conduce al valor de la rigidez puede variar, según el rendimiento requerido por el material, y generalmente se la utiliza para optimizar/minimizar el peso en alguna aplicación particular.

Minimizar la masa en una barra ligera tirante es una aplicación que comúnmente puede ser replicada de diversas maneras en diseños particulares de ingeniería mecánica o civil. Esto se obtiene a través del cálculo de la rigidez específica, dada por la ecuación (1). Por otro lado, una situación típica es la de disponer un material en estado de flexión en lugar de tensión, lo que se modela según la ecuación (2). Asimismo, el modelado matemático de un panel en flexión se estima según la ecuación (3) [6].

$$R = \frac{E}{\rho} \quad (1) \quad R = \frac{E^{1/2}}{\rho} \quad (2) \quad R = \frac{E^{1/3}}{\rho} \quad (3)$$

C. Metodología Ashby

Ashby compara el rendimiento relativo de una variedad de materiales para una función constructiva específica utilizando índices de rendimiento como

criterios de diseño. La selección de materiales, sobre la base de estos índices de desempeño, se realiza mejor al trazar los índices de rendimiento que suelen ser una combinación matemática de propiedades de material en cada eje de una tabla de selección de materiales [7]. En estos gráficos se demuestra que las propiedades de las diferentes clases de materiales pueden variar en amplios intervalos, formando grupos que se ubican en áreas cerradas, zonas o campos bien distinguibles. Eso significa, que una misma familia de materiales puede tener una apreciable variación en sus propiedades, en el sentido numérico estrictamente. En estos mapas se relacionan entre otras, propiedades como resistencia, módulo de elasticidad, densidad, tenacidad, conductividad, difusividad y expansión térmica, costos, entre otras [8].

En la figura 1 se puede observar la gráfica módulo de elasticidad (E) vs la densidad (ρ). Las cerámicas se encuentran en la burbuja amarilla en la parte superior y tienen módulos de hasta 1000 (GPa). De manera similar, los metales se encuentran en la zona rojiza cerca de la parte superior derecha. Estos también tienen módulos altos, pero se evidencia que algunas aleaciones particulares son más pesadas que el más denso de los cerámicos. Por otro lado, los polímeros se encuentran en la burbuja azul oscuro en el centro. Los elastómeros pueden ser visualizados por debajo de los polímeros, en la zona azul más clara, debido a que son intrínsecamente de resistencia menor, con módulos tan bajos como 0.0001 (GPa). Los materiales con menor densidad, que son presentados en este gráfico de Ashby, son las espumas hechas por el hombre y las estructuras celulares naturales, como la madera.

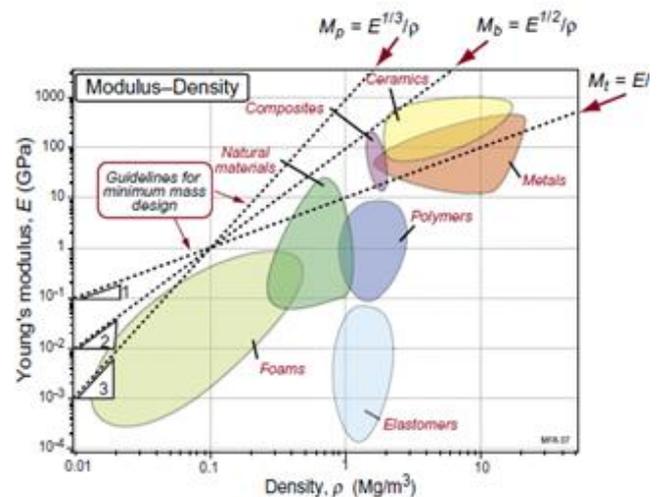


Fig. 1. Gráfico Ashby: Módulo de Elasticidad vs Densidad [9]

D. Lenguaje de programación Python

Python es un lenguaje de programación de código abierto de propósito general, optimizado para calidad, productividad, portabilidad e integración. Es utilizado por cientos de miles de desarrolladores en todo el mundo, en áreas como scripts de Internet, programación de sistemas, análisis de datos, investigación científica, interfaces de usuario, personalización de productos y más [10]. Al lenguaje de Python pueden acceder y utilizar fácilmente

los programadores más experimentados, pero también los estudiantes novatos ya que existen muchos Entornos de Desarrollo Integrado (IDE) que facilitan la elaboración y depuración de código en un solo ambiente, además de contener diversas funciones y librerías claramente documentadas.

Python posee muchas ventajas al momento de programar; entre dichas ventajas se encuentran su gratuidad, sencillez y amplia documentación, lo cual permite que cualquier persona que tenga la motivación de aprender a programar pueda usarlo de acuerdo con su propia necesidad. Otra ventaja es que facilita la modularización, lo que simplifica el mantenimiento de los códigos y evita la redundancia, ya que distintas partes del programa pueden utilizar funciones de un módulo sin tener que repetir el mismo código varias veces. Una ventaja más es que se pueden descargar gratuitamente librerías, listas y diccionarios que ayudan al programador a lograr su objetivo final de una manera bien organizada [11].

III. METODOLOGIA

El programa desarrollado tiene como objetivo final crear dos gráficas basadas en la metodología de Ashby, la primera muestra todos los materiales de la base de datos diferenciados por colores y símbolos, mientras que la segunda presenta solamente aquellos materiales pertenecientes a un tipo de familia seleccionado y que cumplen las restricciones de diseño impuestas por el usuario. Además, ambos gráficos muestran las rectas de módulo vertical, densidad horizontal y la línea de rigidez con su respectiva pendiente. Para ello, se ha utilizado Python 3.7 en el IDE PyCharm Community 2018 y se ha organizado el software en distintos módulos, cada uno con un fin específico, de modo que se subdivide el proceso total en pequeñas funcionalidades, lo cual facilita el mantenimiento del código y permite la reusabilidad de partes del programa en otras aplicaciones similares. El código desarrollado puede ser modificado y reusado libremente bajo la licencia gratuita “GNU General Public License”, para descargarlo se puede acceder a [13].

El software está compuesto de cuatro módulos y un programa principal (además de un script extra de descarga de datos). El primer módulo “extraerInformacion” contiene una función que lee un archivo csv y organiza la información de los materiales en una colección de tipo diccionario para uso general. El segundo módulo “filtrar” contiene funciones que, a partir de un diccionario con el formato creado en el primer módulo, extraen información de los materiales que cumplen lo requerido por el usuario al momento de realizar algún ejercicio. El tercer módulo “grafica” se encarga de realizar dos gráficas, una que muestra todos los materiales extraídos de la base de datos y otra que visualiza solamente aquellos materiales que cumplen con los requerimientos del usuario. El cuarto módulo “interfaz” proporciona al software el ingreso de datos por medio de una interfaz gráfica intuitiva para el usuario, en la cual se ingresan las restricciones requeridas por el problema y también un tipo de familia de los materiales.

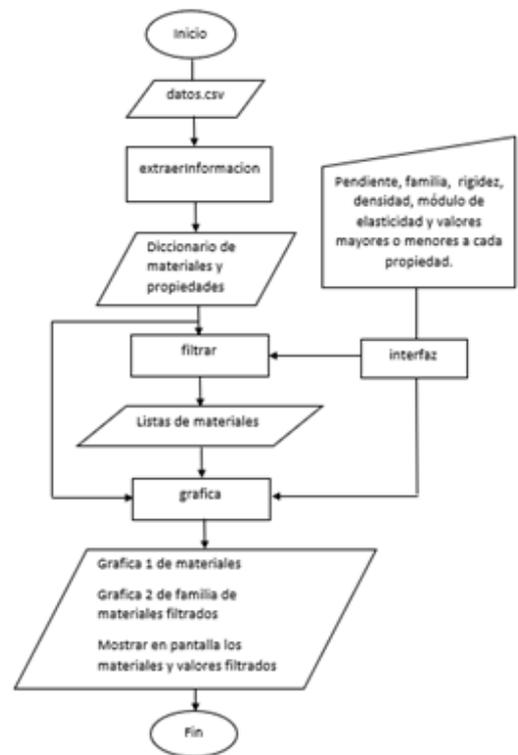


Fig. 2. Diagrama de flujo del programa implementado.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

A. Prueba de funcionamiento

Se realizó una prueba de funcionamiento que consistió en la visualización de los materiales de la base de datos en el gráfico de Ashby con las restricciones de aplicación para un panel en flexión usando polímeros con densidad mayor a 0.01 Kg/(m³) y módulo mayor a 1 GPa.

Contrastando la gráfica de todos los materiales con las familias diferenciadas por colores, producida por el software (figuras 3 y 4), con la gráfica del marco teórico (figura 1), se puede observar que los colores cumplen con la ubicación de los materiales con respecto a las familias que pertenecen.

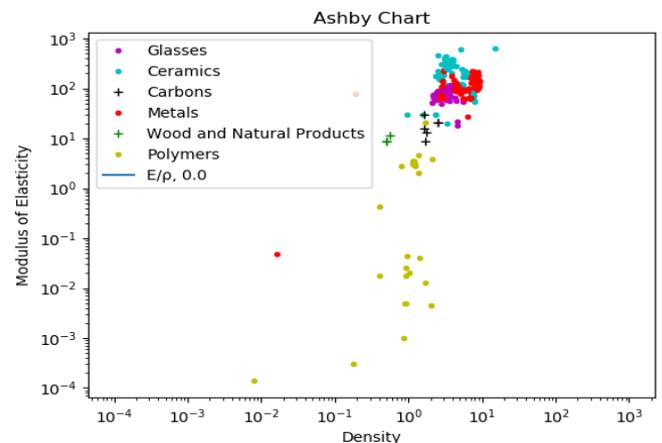


Fig. 3. Gráfica Ashby para todos los materiales de la base de datos.

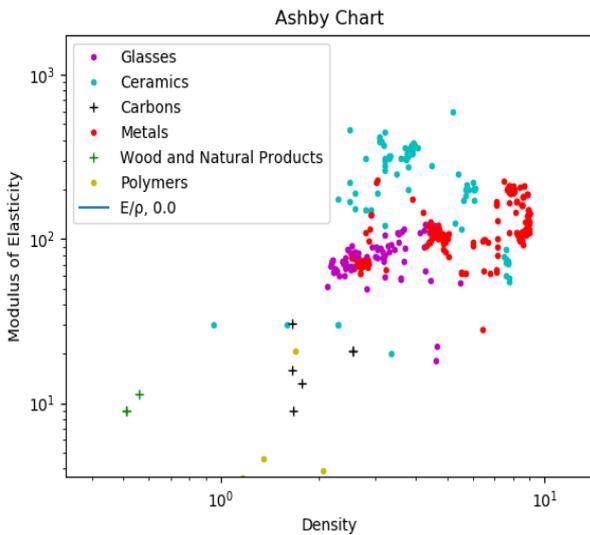


Fig. 4. Acercamiento a una zona del gráfico de todos los materiales.

Fig. 5. Interfaz con valores ingresados para prueba de funcionamiento.

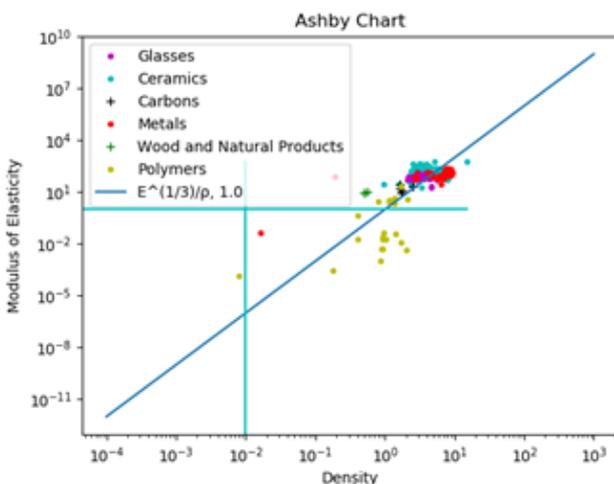


Fig. 6. Gráfica Ashby de todos los materiales de la base de datos, para prueba de funcionamiento.

(Fuente: propia)

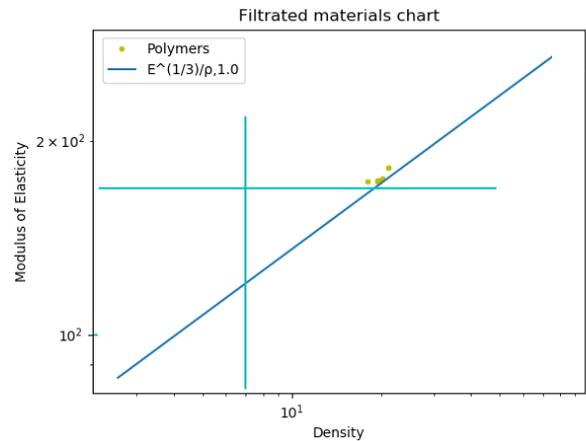


Fig. 7. Gráfica Ashby que muestra únicamente los materiales filtrados para prueba de funcionamiento.

```

-----WELCOME TO THE SOFTWARE OF "MODULUS OF E VS DEN
Has chosen an index of "3" to optimize stiffness with a
The material belongs to the family of "Polymer".
Filtrated materials are: ['BASF Ultramid® A3W PA66 (Dry)
The densities respectives: [1.13, 1.16, 1.23, 1.18, 1.18,
The modulus respectives: [3.0, 3.52, 2.758, 3.447, 3.447,
  
```

Fig. 8. Valores de cada material filtrado para prueba de funcionamiento.

V. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

El uso de software de código libre desarrollado en Python para facilitar el proceso de selección de materiales según la metodología Ashby, podría ser una opción válida para sustituir aquellos con licencia privada, dado que su sencillez de interfaz le otorga un manejo simple para la elección de valores y familia de materiales. Además de permitir el libre acceso al código con la finalidad de realizar ajustes según las necesidades propias de cada problema de selección.

Como prueba de su validez se desarrolló un ejercicio básico y se confirmó que los resultados obtenidos por el software coinciden con aquellos propuestos por la metodología Ashby, lo que verifica la efectividad del código desarrollado y puede ser empleado como sustituto eficaz del software comercial. Adicionalmente, el software presentado puede ser integrado al aula de clases como una herramienta que ayude a comprender con mayor facilidad la metodología Ashby, para esto se propone un futuro trabajo donde se realice pruebas de uso del software a estudiantes y docentes de ingeniería con la finalidad de obtener retroalimentación y buscar la estrategia adecuada para la introducción del software como material didáctico.

El programa de código abierto realizado permite realizar gráficos de "Modulus of Elasticity vs Density", sin embargo como futuros trabajos se plantea añadir más parejas de propiedades, realizar campos de burbuja con diferentes colores para distinguir mejor las zonas ocupadas por cada familia de materiales y crear una interfaz con mayor número de opciones. Adicionalmente, se plantea aumentar la funcionalidad para seleccionar más de un tipo de familia a la vez.

Como parte de los resultados de este proyecto se ha creado un repositorio de acceso público con los algoritmos implementados [12] el cual puede ser de gran utilidad para estudiantes y profesionales que requieran realizar ejercicios similares para la selección de materiales.

Finalmente, una base de datos con los valores de densidad y módulo de elasticidad de aproximadamente 5000 materiales diversos ha sido creada y se ha puesto a disposición pública [12].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] González, H. Á., & Mesa, D. H. (2004). La importancia del método de selección de materiales, (24), 175-180.
- [2] Ashby, M. F., Ferreira, P. J., & Schodek, D. L. (2009). Material Property Charts and Their Uses. *Nanomaterials, Nanotechnologies and Design*, 147–176. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-8149-0.00007-6>
- [3] C. Ozgur, T. Colliau, G. Rogers, Z.Hughes & B. Myer-Tyson "MatLab vs. Python vs. R" *Journal of Data Science* Vol. 15 No. 3 pp. 355-372
- [4] Shah, D.U., Natural fiber composites: Comprehensive Ashby-type materials selection charts, *Materials and Design* (2014), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.05.002>
- [5] Ashby, M. F. (1999). *Materials Selection in Mechanical Design*. Elsevier, 3, 665. <https://doi.org/10.1017/CBO9781197415324.004>
- [6] Ashby, M. F. (2005). *Materials Selection in Mechanical Design*. *Materials Science and Engineering A (Third Edit, Vol. 53 Suppl)*. Pergamon Press 1992. <https://doi.org/10.1016/b978-1-85617-663-7.00011-4>
- [7] Shah, D.U., Natural fiber composites: Comprehensive Ashby-type materials selection charts, *Materials and Design* (2014), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.05.002>
- [8] González, H. Á., & Mesa, D. H. (2004). Artículo-La importancia del método de selección de materiales, (24), 175-180.
- [9] Ashby, M. F., Ferreira, P. J., & Schodek, D. L. (2009). Material Property Charts and Their Uses. *Nanomaterials, Nanotechnologies and Design*, 147–176. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-8149-0.00007-6>
- [10] Lutz, M. (2010). *Programming Python*. (J. Steele, Ed) (4th Editio). O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472. O'Reilly.
- [11] C. Ozgur, T. Colliau, G. Rogers, Z.Hughes & B. Myer-Tyson "MatLab vs. Python vs. R" *Journal of Data Science* Vol. 15 No. 3 pp. 357-358.
- [12] Chunga G. E., Paucar B. G., & Realpe Miguel, (2019). *OpenMaterialsSelector - Open Source Software for Material Selection using Ashby Method* (March). Retrieved from GitHub: <https://github.com/mrealpe/OpenMaterialsSelector>