

## LA IMPORTANCIA DEL METODO EN LA SELECCIÓN DE MATERIALES

### RESUMEN

En este artículo se pretende resaltar la importancia de realizar una correcta selección de materiales para algún fin específico. Para ello, se ilustran algunos métodos utilizados en la selección de materiales, desde convencionales, gráficos o con ayuda de software (bases de datos). Estos métodos serán analizados y aplicados en la selección del o los materiales usados en la construcción de resortes de hojas. En especial, se hará énfasis en el método gráfico, propuesto por el investigador Ashby.

**PALABRAS CLAVES:** Métodos para la selección de materiales, hojas de resorte de ballesta.

### ABSTRACT

*This article intends to emphasize the importance of accomplishing a correct materials selection for some specific end. For this, they are illustrated some methods used in the materials selection, from conventional, graphic or with help of software (data bases). These methods will be analyzed and applied in the selection of the materials used in the construction of springs leaves. Especially, it will be made emphasis in the graphic method, proposed by Ashby.*

**KEYWORDS:** *Methods to Selection of Materials, Leaf springs.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de avances tecnológicos logrados en la sociedad moderna, se han apoyado en el descubrimiento y desarrollo de materiales de ingeniería y proceso de fabricación usados en su obtención. Una adecuada selección de materiales y procesos, garantiza a los diseñadores de partes mecánicas su correcto funcionamiento (performance) de los componentes diseñados.

Desde el punto de vista práctico, la posibilidad de usar varios métodos y poderlos confrontar, garantiza una mayor eficiencia en la selección correcta del material e un fin específico, como en el caso de un resorte de hoja, como se discutirá más adelante.

La mayoría de métodos parten de la disponibilidad de una amplia gama de materiales, los cuales se debe entrar a analizar y refinar, ya sea con ayuda de: recomendaciones (métodos tradicionales), mapas de materiales (método gráfico) o información escrita que se encuentran en fuentes bibliográficas o en forma de software en bases de datos virtuales. En general, el refinamiento se hace de acuerdo con las propiedades exigidas por el componente a diseñar y sustentado con criterios como: disponibilidad, facilidad de obtención, vida de servicio, factores ambientales y costos, entre otros. De esta forma, se llega a la selección de un único

tipo de material, el cual debe resultar en el más apropiado para el fin pretendido [1]

### 2. RESEÑA BIBLIOGRÁFICA

La selección del tipo de material que se requiere para una aplicación determinada, es solo una de las fases en las que un diseñador o ingeniero de materiales se basa. El conjunto de fases previas a la selección comprende 1) necesidad, 2) diseño conceptual, 3) diseño de formulación, 4) diseño en detalle y 5) manufactura y montaje. Las actividades completas que llevan a la selección del material más adecuado se resumen en la figura 1.

Cabe mencionar, que para la utilización de cualquiera de los métodos de selección de materiales que existen, el diseñador o ingeniero de materiales, debe partir de la etapa conceptual, en la cual se identifica una categoría o categorías muy amplias como posibles materiales a usar. [2]. El tipo y valor del esfuerzo aplicado y la forma geométrica, entre otras variables que deben considerarse, otorgan restricciones en cuanto al tipo de material a seleccionar. Por ejemplo, en el caso de esfuerzos de flexión o torsión como los que actúan en un resorte de hoja, nos indica que dentro de las posibles familias de materiales que existen (metales, cerámicos, polímeros y compuestos), los más adecuados son los metales y dentro de estos los aceros. Por tanto, en la etapa de formulación

**HÉCTOR ÁLVARO GONZÁLEZ**

Profesor Asistente M.Sc.

Escuela de Tecnología Mecánica.

Universidad Tecnológica de Pereira

hagonza@utp.edu.co

**DAIRO HERNÁN MESA G.**

Profesor Transitorio T.C M.Sc.

Escuela de Tecnología Mecánica.

Universidad Tecnológica de Pereira

dhmesa@utp.edu.co

del problema, se examina con mayor detenimiento cual de los diferentes aceros se pueden usar con mayor confianza (si son aceros de bajo, medio o alto carbono o si son aceros de baja o alta aleación). La selección preliminar se puede hacer con base en los datos de

propiedades dadas por los proveedores. De esta forma, se pueden identificar algunos de estos proveedores y en la selección final se trabaja con las propiedades dadas por el proveedor que facilite la consecución del material más adecuado y con mayor facilidad.

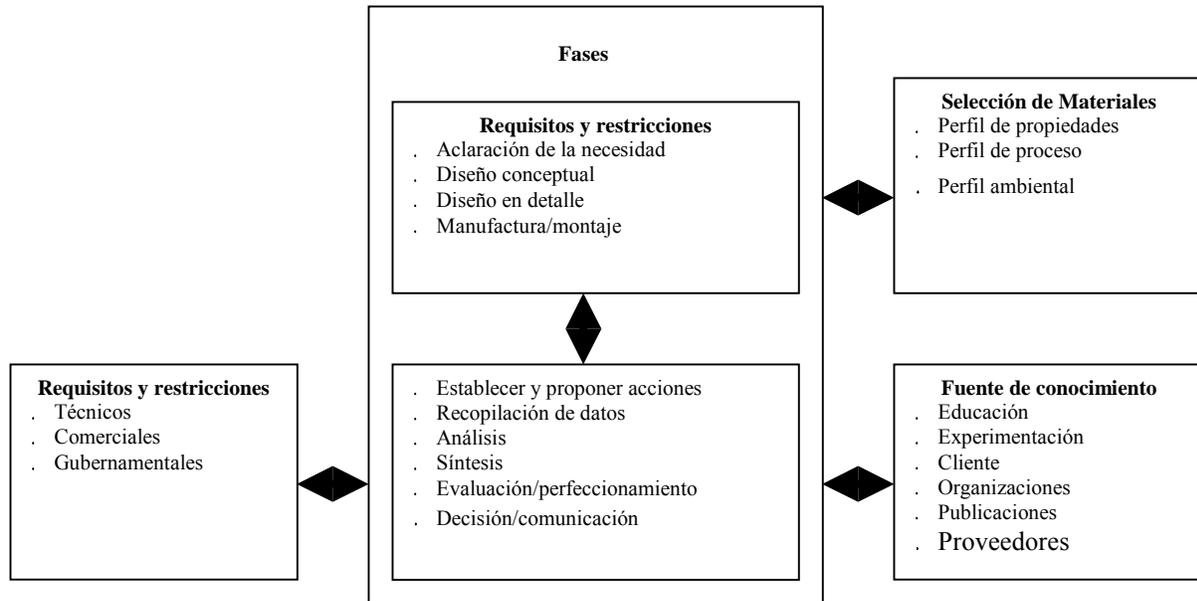


Figura 1. Etapas o fases del procedimiento para selección de materiales [2].

Un diseñador de materiales siempre está queriendo encontrar el material ideal para su componente. Se pueden mencionar, entre otras características, que un material ideal cumple con la siguiente lista de requisitos: Inagotable y siempre disponible para su reemplazo – que sea barato para refinar y producir – que sea fuerte, rígido, y dimensionalmente estable a diferentes temperaturas – que sea liviano – que sea resistente a la corrosión y al desgaste – que no tenga efectos sobre el medio ambiente o las personas – que sea biodegradable – que tenga numeroso usos [3]. Estos requisitos hace que el ingeniero

de materiales tenga dificultad en seleccionar el material ideal. Es por esto, que se usan métodos más o menos exactos, que permiten hacer una aproximación del material más idóneo para alguna aplicación.

En general, los métodos para selección de materiales se basan en una serie de parámetros entre físicos, mecánicos, térmicos, eléctricos y de de fabricación que determinan la utilidad técnica de un material. Algunos de estos parámetros son mostrados en la tabla 1.

Propiedades insensibles a la microestructura	Propiedades sensibles a la microestructura
Densidad, . Módulo de elasticidad, E Conductividad térmica Coeficiente de expansión térmica lineal, . Punto de fusión, Tf Temperatura de transición vítrea, Tv para polímeros Corrosión uniforme, mm/año Costo por unidad de masa	Resistencia, . (a la fluencia, a la tracción, última, etc) Ductilidad Tenacidad a la fractura, Kic Fatiga y propiedades cíclicas, fatiga por corrosión Termofluencia Impacto Dureza
<b>Otras propiedades</b>	
Facilidad de colado Facilidad para tratar térmicamente Conformabilidad Maquinabilidad Soldabilidad	

Tabla 1. Lista de propiedades de los materiales que suelen usarse al seleccionarlos [2, 3].

Debido al alto número de factores que afectan la selección de materiales, el diseñador determina cuales son las propiedades más relevantes para la aplicación que se tiene y con base en ellas, hace la selección. En general los métodos para seleccionar materiales hacen una refinación más o menos amplia de estos parámetros. A continuación se hace una breve descripción de tres de los métodos usados en la selección de materiales.

**a) Método tradicional.** Con este método, el ingeniero de materiales escoge el material que cree más adecuado, con base en la experiencia de partes que tiene un funcionamiento similar y que han mostrado buenos resultados. Este método es también conocido como materiales de ingeniería de partes similares [4]. El método mantiene buena aceptación debido a lo siguiente: El ingeniero se siente seguro con un material usado y ensayado – En algunos casos esto contribuye a la estandarización del stock – Las características de proceso del acero son bien conocidas – La disponibilidad del acero está asegurada – Generalmente en un gran porcentaje de partes se usan aceros baratos, sin tratamiento térmico, evitando pérdida de tiempo en ensayos y procesos. Sin embargo, el uso de este método, en ocasiones conduce a serios problemas, ya que no se hace un estudio real del ambiente de trabajo del componente o equipo, el cual puede ser decisivo a la hora de escoger el material.

**b) Método gráfico.** Este método se apoya en graficas (conocidas como mapas de materiales), en las que se relacionan por pares ciertas propiedades de los materiales. El método fue diseñado exclusivamente para ser utilizado durante la etapa conceptual de la selección de materiales. En estos mapas se puede hacer una aproximación del material más adecuado (perteneciente a una determinada familia de materiales), con base en la relación de las propiedades más importantes que debe poseer el componente. Como ejemplo de un par de propiedades que relacionan en estos mapas están el módulo de elasticidad en función de la densidad, como se muestra en la figura 2.

Como es de esperarse, rara vez el comportamiento de un componente depende sólo de una propiedad. De igual manera, diagramas como los de Ashby [5], muestran que las propiedades de las diferentes clases de materiales pueden variar en amplios intervalos (dependiendo del estado de estos), formando grupos que se ubican en áreas cerradas, zonas o campos en tales diagramas. Eso significa, que una misma familia de materiales puede tener una apreciable variación en sus propiedades, generando un campo o zona en los mapas. En estos mapas se relacionan entre otras, propiedades como resistencia, módulo de elasticidad, densidad, tenacidad, conductividad térmica, difusividad y expansión y costos.

La escala logarítmica en la figura 2, también permite representar por ejemplo, la velocidad longitudinal de una onda elástica a través del material  $= (E/\rho)^{1/2}$  (o lo que es lo mismo  $\text{Log } E = \text{Log } \rho + 2 \text{Log } v$ ), dibujada como líneas ocultas paralelas. Todos los campos de materiales que una línea de estas atraviere, significa que una onda se propagará por ellos con la misma velocidad.

La selección de materiales con ayuda de estos mapas se hace entonces, encontrando con ayuda de cálculos de resistencia y aplicando criterios de falla de acuerdo a los esfuerzos aplicados, cuales son las combinaciones de propiedades más importantes para un componente dado.

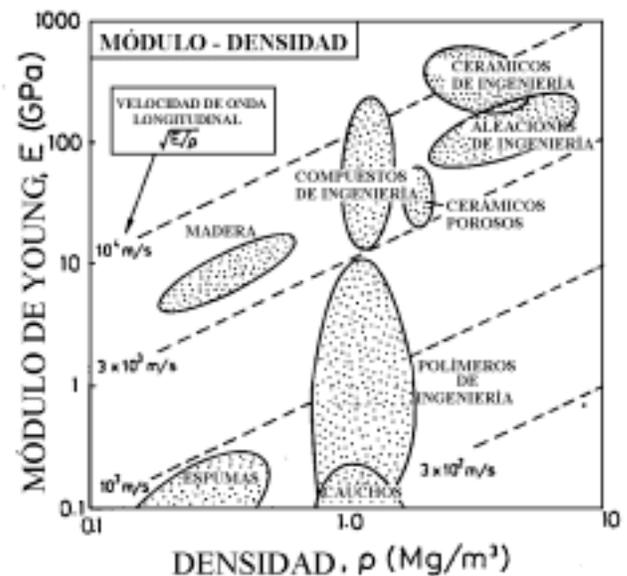


Figura 2. Gráfica en escala logarítmica que relaciona el módulo de elasticidad en función de la densidad del material, para varias familias de materiales. [5],

Ubicado el diagrama que presenta esta combinación, se entra en un campo que corresponde a una familia determinada de materiales. De los materiales que pertenecen a esta familia, se puede hacer una preselección, y posteriormente una selección, teniendo en cuenta otros criterios como costos, disponibilidad, durabilidad, efecto ambiental, etc.

**c) Método con ayuda de bases de datos.** En la Internet existe una amplia gama de bases de datos sobre materiales [6], que han sido construidas para comercialización libre o son distribuidas por vendedores de materiales. Estas bases de datos son el resultado de investigaciones en ensayos de materiales. [7].

Las bases de datos se dividen básicamente en dos categorías, numéricas y literarias o de referencias bibliográficas. Dentro de las más importantes bases de datos están el banco de datos de la ASTM, la SAE, la ASM, la AISI, la NASA, etc. Una base de datos pública que ha adquirido gran importancia por la cantidad de

datos y variedad de materiales que maneja, puede ser consultada en la página web. [www.matweb.com](http://www.matweb.com).

La selección de materiales con ayuda de estas bases de datos, parte del conocimiento de las principales propiedades se que deben tener para un fin específico. El programa pide entonces el valor aproximado de las propiedades que debe tener el componente y lista uno o varios materiales que pueden servir. Son varias las fuentes donde se compilan bases de datos. En forma escrita, estas bases pueden ser encontradas en textos como los referenciados en la bibliografía de este artículo en los textos de referencia.

### 3. APLICACIÓN DE MÉTODOS EN LA SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LA FABRICACIÓN DE RESORTES DE HOJA.

Con ayuda de los métodos descritos anteriormente, se hará la selección del o los materiales que mejor cumplen las exigencias de uso en un resorte de hoja.

**Método tradicional.** Como ya se había mencionado, este método se basa en la selección del o los materiales que se utilizan en aplicaciones similares. Según la teoría de este método, los resortes pueden ser fabricados en cualquier acero que tenga por lo menos 0.55% de carbono y que tratados térmicamente alcancen entre 40 a 45 Rockwell C (HRC) de dureza. En la industria internacional, se ha encontrado buenos resultados al usar aceros aleados con un porcentaje de carbono nominal de 0.6%C, entre los que se encuentran el AISI 4161H (H de altamente templeable). AISI 5160H, 50B60H (B de acero al boro), entre otros. En la industria Colombiana, los aceros que han sido adoptados para la construcción de este tipo de elementos son el AISI 1060 y AISI 1070. Estos aceros alcanzan valores de propiedades de resistencia a la tensión entre 1310 a 1690 MPa, límite de fluencia de 1172 a 1550 MPa, reducción de área de 25% mínimo y elongación en 2 pulgadas de 7% mínimo [4].

#### Método gráfico usando mapas de ASHBY.

Este método usa un índice de desempeño que generalmente hace parte de una función objetivo, la cual maximiza o minimiza un atributo del material. Para resortes los índices de desempeño más comunes son mínimo volumen M1 y mínimo peso M2.

$$M1 = \frac{\sigma_f^2}{E} \quad (1)$$

$$M2 = \frac{\sigma_f^2}{E * \rho} \quad (2)$$

Donde E es le modulo de Young,  $\rho$  la densidad del material y  $\sigma_f$  el esfuerzo de flexión.

En el caso de un resorte, se explica a continuación a manera de ejemplo, la forma como se obtiene el índice de desempeño M2. El primer paso consiste en identificar el atributo a ser maximizado o minimizado, en este caso, se maximizara la cantidad de energía por unidad de masa. En un segundo paso se desarrolla una ecuación para este atributo y se relaciona con aspectos de la geometría del componente y de las propiedades del material, y esta ecuación se convierte en la función objetivo p. Entonces se tiene:

$$p = \frac{F * \delta}{m} = \frac{F * \delta}{m} \quad (3)$$

Donde  $\delta$  es el desplazamiento del resorte en el sentido de la fuerza. La fuerza ejercida en el centro del resorte produce un esfuerzo de flexión  $\sigma_f$  que se puede expresar en función del área A y el factor de seguridad  $S_f$  como:

$$\frac{F}{A} = \frac{\sigma_f}{S_f} \quad (4)$$

La variable F depende de otras variables por la expresión:

$$F = \frac{C_1 * \delta * E * I}{l^3} \quad (5)$$

Donde l es la longitud del resorte, E el modulo de Young, I el momento de inercia de la sección y  $C_1$  una constante que vale 192 para este caso [5].

Reemplazando 5 en 4 y resolviendo para  $\delta$  se tiene:

$$\delta = \frac{l^3 * F}{C_1 * E * I} \quad (6)$$

Las ecuaciones 4,5, 6 representan los pasos tres, cuatro y cinco, que tienen que ver con la identificación de otras variables que intervienen, dar un orden de importancia y desarrollar finalmente una ecuación que pueda ser substituida en la función objetivo, respectivamente, en este caso el valor de  $\delta$ .

El paso seis consiste en reemplazar  $\delta$  en la función objetivo, dando como resultado:

$$p = \frac{A * l^2 * \sigma_f^2}{C_1 * E * I * \rho * S_f^2} \quad (7)$$

El paso siete consiste en agrupar la función objetivo en tres grupos a saber: requerimientos funcionales F, geometría G y propiedades del material M. La función objetivo entonces es ahora:

$$p = f_1\left(\frac{1}{C_1 * S_f^2}\right) * f_2\left(\frac{l^2 * A}{I}\right) * f_3\left(\frac{\sigma_f^2}{E * \rho}\right) \quad (8)$$

El paso ocho asigna el índice de desempeño como una cantidad M a ser maximizada y en este caso maximizar la función  $f_3$ , maximiza la función objetivo p que es la cantidad de energía por unidad de masa. El índice es:

$$M_2 = \frac{\sigma_f^2}{E \cdot \rho} \tag{9}$$

Observe que el índice es una combinación de propiedades del material y en la medida que es mas grande se tiene un resorte más liviano con gran capacidad de almacenamiento de energía. Para obtener  $M_1$  se puede realizar un procedimiento similar, al igual si quisiera obtener un atributo por ejemplo relacionado con bajo costo del material.

Para resortes existen dos mapas muy usados que grafican el Módulo de Young (E), vs. Esfuerzo  $\sigma_f$  (Fig. 3) para resortes pequeños, y el Módulo específico (E/ρ), vs. resistencia específica ( $\sigma_f / \rho$ ) ver Fig. 4 para resortes livianos.

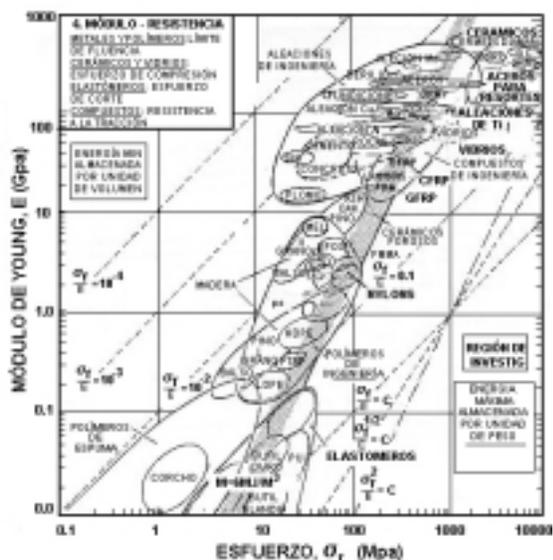


Figura 3. Materiales para pequeños resortes.



Figura 4. Materiales para resortes livianos.

Para resortes de hoja usados en vehículos de transporte, el atributo a minimizar es el peso, por lo tanto se debe maximizar el índice de desempeño  $M_2$ .

Al observar la figura 4, se observa una franja sombreada con pendiente  $M_2 = 2$  KJ/Kg. Esta franja, recomendada para la selección de materiales usados en resortes resistentes y livianos, contiene una amplia gama de materiales incluido el acero [5]. En esa franja por tanto, se observan los posibles materiales (entre materiales metálicos y compuestos), que cumplen con las exigencias requeridas. De estos últimos se tienen el CFRP (Fibra de polímero reforzada con carbono) y GFRP (polímero reforzado con fibra de vidrio), que son materiales compuestos que se comportan mejor que el acero, aunque de mayor costo. Actualmente empresas como Mercedes Benz en Alemania y otras industrias fabricantes de vehículos pesados, están incorporando este tipo de materiales a los resortes de camión.

En la medida que el valor de M es menor a 2 MJ/Kg, la pendiente se desplaza a la izquierda del gráfico, región que no es recomendada para buscar el material adecuado. Por otra parte, si nos desplazamos hacia la derecha, se logran mayores valores de  $M_2$ , pero es posible que no exista el material adecuado. En esta gráfica los materiales metálicos están en desventaja por las densidades tan altas.

La ventaja estratégica del uso de los mapas de Ashby, es que permite fácilmente reemplazar un material por otro que cumple igual función. El inconveniente aquí, para el caso de los resortes, es que los materiales alternativos no metálicos son compuestos, que generalmente presentan mayor costo en el mercado.

Como se mencionó en la primera parte de este numeral (que habla del método tradicional para seleccionar materiales), los materiales metálicos para resortes que cumplen estas especificaciones son: Aceros AISI 1070 de alto contenido de carbono templados y revenidos en aceite a temperaturas entre 200 y 230 °C, con resistencias últimas a la tensión entre 1300 y 1800 MPa. [8,9].

**Método usando bases de datos.** Tomando como referencia los valores de propiedades dados en el método tradicional y los calculados en el método gráfico, usando la base de datos de [www.matweb.com](http://www.matweb.com), opción properties, se encontró que los aceros recomendados para esta aplicación son los aceros **AISI 1074 Steel, cold rolled strip** y el **AISI 9260 Steel**. Aceros que están en intervalo de contenido de carbono propuesto en el método tradicional.

#### 4. DISCUSIÓN

Comparando los materiales (aceros), seleccionados por los tres métodos expuestos, lo primero que se encuentra,

es una gama de materiales con alto contenido de carbono, cercanos en cuanto a su comportamiento a la resistencia última.

Otro punto interesante es que para lograr estas características, se deben tratar térmicamente, a bajas temperaturas, no más allá de 230 °C, en los casos de haber templado el material, o si lo que se desea es hacer un alivio de tensiones.

La tabla 2 muestra un resumen de los materiales obtenidos por lo tres métodos expuestos. Cabe mencionar que los materiales aquí mostrados corresponden a materiales metálicos y específicamente aceros.

Método	Material seleccionado
Método tradicional	AISI 4161 H, 5160 H, 50B60 H, 1060, 1070
Mapas de Ashby	AISI 1070 y otros no metálicos (compuestos)
Bases de datos	AISI 1074 cold rolled strip, 9260 steel.

Tabla 2. Materiales para resortes según el método de selección.

## 5. CONCLUSIONES

Como se observa de los métodos descritos, la selección correcta de un material depende de una gran cantidad de factores, lo que hace que esta no sea una tarea sencilla, pero que se puede llegar a una buena aproximación.

Para el caso particular de los resortes de hoja analizados en este trabajo, se encontró que no hay un único material que satisface las condiciones exigidas, pero los materiales encontrados se ubican dentro de la familia de aceros al carbono con porcentajes de este elemento entre 0.6 y 0.75%.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

[1] SHAEFER., XASENA., ANTOLOVICK., SANDERS., WARNER. “Ciencia y Diseño de Materiales para Ingeniería”. Ed CECSA, México, 2000, 796P.

[2] MANGONON PAT. L “Ciencia de Materiales: Selección y Diseño”, Ed Prentice Hall, México, 2001, 776.p.

[3] KILDUFF Tomas F. “Engineering Materials Technology: Structures, Processing, Properties and Selection”, Ed Prentice Hall, 3ra Ed, Ohio, 1997, 766p.

[4] KERN Roy F. “Steel Selection: A Guide for Improving Performance and Profits”. Ed. John Wiley & Sons, New York, 1979, 445p.

[5] ASHBY M, F. “Materials Selection in Mechanical Desing”, Ed Pergamon Press, Oxford, 1992, 309p.

[6].[http://members.tripod.com/~Satish1/Materials\\_Data\\_Bases\\_On\\_Internet.htm](http://members.tripod.com/~Satish1/Materials_Data_Bases_On_Internet.htm)

[7] <http://www.brinell.kth.se/part2.html>. (Y.BRECHET, Coll L. Salvo, M. Ashby, H. Shercliff (Cambridge), D. Bassetti, D. Landru)

[8] [www.matbeb.com](http://www.matbeb.com)

[9] Metals Handbook, volúmenes I y III, Properties and Selection, ASM International, Metals Park, Ohio, 1991.

[10] SAE Handbook, Materials Parts and Components, Society of automotive Engineers, warrendable, PA, 1985.

[11] Metallic Materials and Elements for Aerospace Vehicle Structures, Manual de Normalización Militar, MILHDBK5C, 2 volúmenes.

[12] Structural alloy Handbook, Volúmenes I y III, Mechanical properties Data Center. Batelle Memorial Institute, Columbus, Ohio.