



Comportamiento de la conductividad térmica de la madera de *Pinus caribaea* Morelet, en dependencia de la posición en la troza

Behavior the thermal conductivity of the wood of *Pinus caribaea* Morelet, depending on the position of the log

Eduardo Montesino Díaz

Estudiante Ingeniería Forestal. Quinto año. Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca". Cuba. Correo electrónico: glendy.hernandezregalado@gmail.com

Recibido: 1 de abril de 2017.

Aprobado: 24 de octubre de 2017.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar la conductividad térmica en la madera de la especie de *Pinus caribaea* para su aplicación práctica como aislante térmico. Se tomaron 10 trozas de 4 m de largo al azar del patio del aserradero de la Empresa Forestal Integral (EFI) "Macurije", las cuales se dividieron en 3 secciones, que corresponden a base, centro y punta. Las muestras cortadas se sacaron en sentido transversal a la longitud de la fibra, buscando las trozas mayores de 13 cm de diámetro para un total de 90 muestras. Se sometieron al proceso de secado para determinar la densidad de la especie y la humedad, que es de 18 %, clasificándose como madera comercialmente seca. El mayor valor de densidad en las diferentes posiciones de las trozas se obtuvo en la base con un valor de 0,9094 g/cm³, seguido de la

ABSTRACT

The present work has as objective to characterize the thermal conductivity in the wood of the species of *Pinus caribaea*, for its practical application, as insulating thermal. They took 10 trozas of 4 m at random of long of the patio of the sawmill, of the Integral Forest Company (EFI) Macurijes, which were divided in 3 sections that correspond base, center and tip. The cut samples were taken out in traverse sense to the longitude of the fiber, looking for the trozas bigger than 13-diameter cm for 90 samples. They underwent the drying process to determine the density of the species and the humidity that it is of 18%, classifying you as commercially dry wood. The biggest value of density in the different positions of the trozas, was obtained in the base with a value of 0,9094 g/cm³, followed by the tip and the center with the smallest value 0,7033

punta y el centro con el menor valor de 0,7033 g/cm³. La conductividad térmica fue mayor en la base con un valor de 0,2263 J/s m°C y menor en el centro con 0,1772 J/s m°C. Los mayores valores de desviación típica, tanto para la densidad como para la conductividad térmica están en las trozas del medio. Se obtuvo como resultado que el coeficiente de conductividad térmica en la madera de *Pinus caribaea* es baja, con un valor promedio de 0.198 J/s m°C, la conductividad térmica depende linealmente de la densidad.

Palabras clave: Conductividad térmica; *Pinus caribaea*; densidad.

g/cm³. The thermal conductivity was bigger in the base with a value of 0, 2263 J/s m°C and smaller in the center with 0, 1772 J/s m°C. The biggest values of typical deviation, as much for the density as for the thermal conductivity are in the trozas of the means. It was obtained as a result that the coefficient of thermal conductivity in the wood of *Pinus caribaea* is low with a value average of 0.198 J/s m°C; the thermal conductivity depends lineally on the density..

Keywords: Conductivity temperature; *Pinus caribaea*; density.

INTRODUCCIÓN

La tecnología de la madera es parte de la ciencia de la ingeniería que estudia las características morfológicas, químicas, físicas y mecánicas de este material orgánico, de estructura compleja y variable, y su utilización como materia prima con diversos fines.

Entre las propiedades físicas de la madera, según describe Coronel (1994), se encuentran la densidad, el contenido de humedad, el hinchamiento, la contracción, las propiedades eléctricas, acústicas, el rozamiento y las propiedades térmicas.

En lo referente a las propiedades térmicas se han realizado diferentes estudios; se conoce que la conductividad de la madera es considerablemente menor que la mayoría de los demás materiales de construcción, por ello es muy apreciada como material aislante del calor.

La madera, como material orgánico natural, tiene diversos factores que influyen de diferentes maneras; por eso

para cada especie es aconsejable efectuar investigaciones y obtener así conclusiones valederas (Coronel, 1994).

Se ha determinado, a partir de consultas bibliográficas (Coronel, 1994), que existen diferentes factores que influyen en el coeficiente de conductividad térmica de la madera, entre ellos, dirección de la fibra, densidad, humedad y temperatura.

En este sentido, posee una baja conductividad térmica, lo que la hace ser manejable y llega a ofrecer a las edificaciones eficiencia energética, reduciendo la necesidad de enfriar o calentar los ambientes.

La propiedad térmica, en particular, es una propiedad que la hace útil si pensamos que en nuestro país y en nuestra provincia en particular, como resultado de las transformaciones energéticas, se hace uso de equipos de cocción domésticos, alimentados con energía eléctrica, que desprenden gran cantidad de calor sobre las superficies de apoyo, dígame mesetas, mesas, entre otras, provocando el deterioro por calentamiento de los

materiales recubridores de estas superficies, con la consecuente inversión económica de la familia cubana por este concepto.

En consecuencia, con esta situación, se estudia el comportamiento de la conductividad térmica de la madera en la especie de *Pinus caribaea*, dada su densidad poblacional en nuestros bosques.

De esta manera nos trazamos como objetivo determinar la influencia de la densidad de la madera y su posición en la troza en la conductividad térmica de la especie *Pinus caribaea*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área experimental

El área de recolección de muestras de las trozas de *P. caribaea* se encuentra en el aserradero Combate de las Tenerías de Guane, de la EFI "Macurije" (ubicada aproximadamente en los 22° 06' y 22° 42' de latitud norte y los 83° 48' -84° 23' de longitud oeste) perteneciente a la provincia de Pinar del Río (Ramos, 2012). Limita al norte con el municipio de Minas de Matahambre, al sur con el municipio de Sandino, al este con el municipio de San Juan y Martínez y el Mar Caribe y al oeste con el municipio de Mantua.

Está ubicado a unos 63 Km de Pinar del Río cuya área forestal alcanza 481,49 Km²,

para un 67 %; cuenta con una de las mayores reservas forestales del país con predominio de bosques de coníferas.

Toma de las muestras

Se escogieron 10 trozas al azar del patio del aserradero de la EFI "Macurije", provenientes del mismo sitio y de la misma edad, de dimensiones de 4 m de largo, las cuales se dividieron en 3 secciones, que corresponden a base, centro y punta, considerando como longitud 1,30 m en cada sección a partir siempre de la anterior, comenzando por la base. Las trozas cortadas se sacaron en sentido transversal a la longitud de la fibra, por medio de la motosierra; buscando las mayores de 13 cm de diámetro.

Preparación de las muestras

A partir de las trozas cortadas se construyeron probetas en forma de discos, que responden a las exigencias técnicas del equipo Conductímetro (modelo FD-TC-B), de pequeñas dimensiones y libres de defectos, con valores de altura (h) de 8 mm y de diámetro (d) de 130 mm (figura 1).

Todas las probetas toman la médula como su centro. Estas fueron identificadas de la siguiente manera: probetas B (muestras de la base, o sea, de 0 m a 1.30 m de largo), probetas C (muestras del centro, o sea, de 1.30 m a 2.60 m de largo), probetas P (probetas de la punta, o sea, de 2.60 m a 3.90 m de largo).

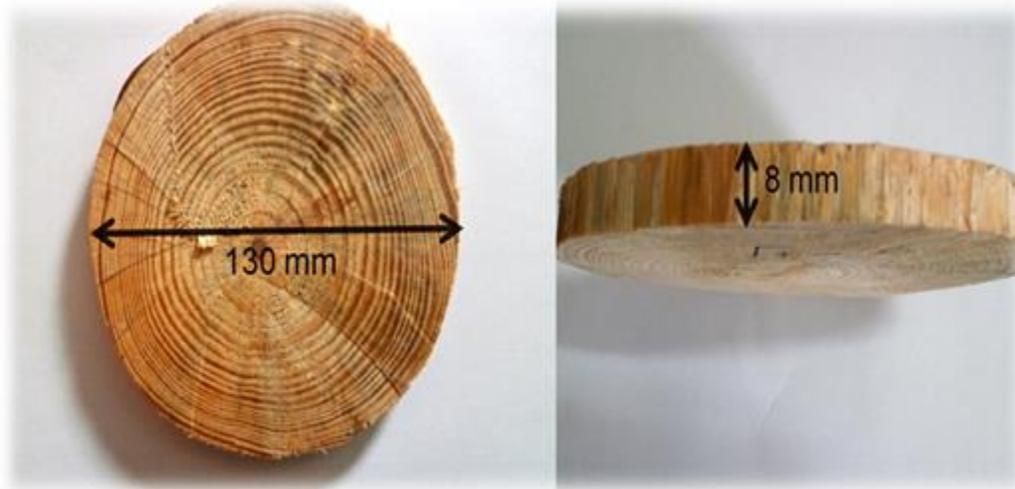


Fig. 1. Discos de muestra de *Pinus caribaea*

Fuente: elaboración propia

Para su elaboración se trabajó en un aserrío no estatal, después fueron trasladadas hacia los laboratorios de Dendrología y de Física, ambos de la Universidad "Hermanos Saíz Montes de Oca", de Pinar del Río.

El tamaño de la muestra para efectuar las mediciones se determinó en la expresión propuesta a continuación.

$$n = \left(\frac{cv \cdot t}{\epsilon} \right)^2, \text{ siendo } n \text{ tamaño de la muestra}$$

$t = t$ - student para 95 % de confianza

cv = el coeficiente de variación (%)

ϵ = el error de muestreo

Realización de los ensayos

Los ensayos fueron ejecutados en los laboratorios de Dendrología y Física en la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca".

Ensayo de densidad

En el laboratorio de Dendrología se acometió la pesada de las probetas circulares o discos; ello se determinó con una balanza digital, de alta estabilidad (marca AdVenturer-Pro). Para calcular el volumen de los discos se les midió diámetro y altura. Para medir las longitudes específicas (diámetro y altura), que permiten el cálculo de volumen se utilizó un pie de rey, cuyo error de exactitud de 0.05 mm.

Determinación de la humedad

Las muestras fueron expuestas al proceso de secado en la estufa a $103 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ por 4 horas, hasta llegar a determinar el porcentaje de humedad que se tomó en el intervalo de 18 %-22 %, es decir, se trabajó con madera comercialmente seca, según (Coronel, 1994).

Determinación del coeficiente de conductividad térmica

Para medir la conductividad se realizaron mediciones haciendo uso del Conductímetro modelo FD-TC-B (Aparatus for determining thermal conductivity). El

equipo consta de varios elementos fundamentales: placa calentadora (C), disco de muestra (B) y el disco disipante (P) como se observa en la figura 2.

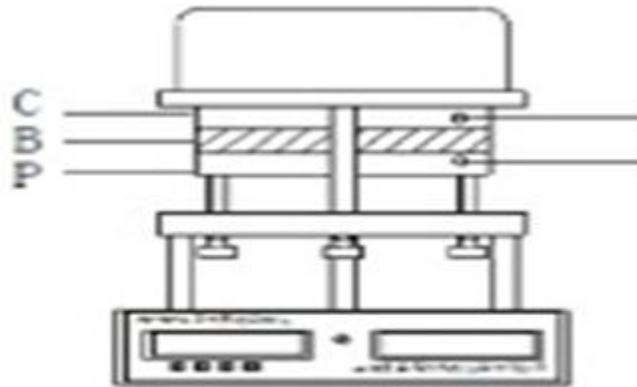


Fig. 2. Esbozo del equipo utilizado en la investigación.

Fuente: Coronel (1994)

En el estudio que se realiza, como caso particular de la Ley de Fourier, el coeficiente de conductividad térmica se determina a partir de la expresión:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \frac{\theta_1 - \theta_2}{h_b} S, \text{ siendo:} \quad (6)$$

λ = Coeficiente de la conductividad térmica

h_b = Grueso de la muestra

S = Área de la superficie plana de la muestra

$\theta_1 - \theta_2$ = Temperatura de las muestras en las partes de arriba y abajo

Teniendo en cuenta que $S = \frac{\pi d^2}{4}$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \frac{\theta_1 - \theta_2}{4h_b} \pi d_b^2$$

Teniendo en cuenta las condiciones en que se realiza el experimento, los términos de la ecuación anterior pueden expresarse como:

$$\lambda = mc \frac{\Delta Q}{\Delta t} \bigg|_{\theta=\theta_2} \frac{(Rp+2hp)}{(2Rp+2hp)} \frac{4hb}{\theta-\theta_2} \cdot \frac{1}{\pi d_b}$$

m= Masa del disco disipante de cobre

c= Capacidad térmica específica

$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ =Variación de temperatura

Rp= Es el radio del disco disipante de calor

hp= Espesor del disco disipante de calor

hb= Grueso de la muestra

$\theta_1 - \theta_2$ = Temperaturas de las muestras en

db= Diámetro del disco de la muestra

Análisis estadístico

Para hacer la valoración estadística de los resultados obtenidos en el experimento, se utilizó el software SPSS 15.0. Se realizó un análisis de varianza simple (con un nivel de significación de 5 %) para hallar si existe diferencia significativa entre los valores de la densidad y el coeficiente de conductividad térmica en diferentes posiciones, a lo largo de la troza. Para determinar los grupos entre los cuales existe la diferencia se realizaron unos test de comparación múltiple, con un nivel de significación de 5 %. Mediante un análisis de correlación se determinó la fortaleza de la relación lineal entre la variable conductividad térmica y la posición a lo largo de la troza y la densidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad en diferentes posiciones en la troza

La tabla 1 que a continuación se muestra refleja la densidad y la desviación típica de las muestras procesadas, teniendo en cuenta tres secciones de la troza: base, centro y punta.

Tabla 1. Densidad para diferentes posiciones en la troza

Posición en la troza	Densidad media (g/cm ³)	Desviación típica
Base (1,30m)	0,9094	0,0805
Punta (3,90m)	0,8147	0,0948
Centro (2,60m)	0,7033	0,0623

Fuente: elaboración propia

Según los resultados obtenidos coincidimos con Manaces (2000), al plantear que la madera del centro del árbol tiene densidad más baja.

Por lo cual, si relacionamos esta propiedad con el valor promedio de las densidades registradas podemos afirmar que la desviación típica es más homogénea respecto a la media aritmética; o sea, que la variabilidad de las densidades registradas en esta sección son más estables que el resto de la madera en relación con la densidad promedio.

Puede constatar en la figura 3, de una forma más evidente, que la troza del centro es en la cual se registran los menores valores de densidad y desviación típica, ya que se encuentra por debajo de los valores de base y del centro.

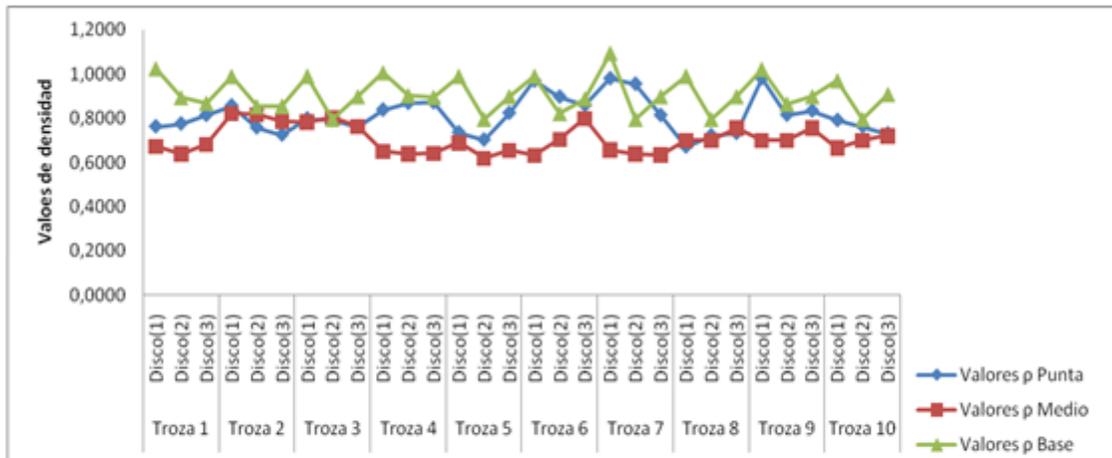


Fig. 3. Comportamiento de los valores de densidad en la troza

Fuente: elaboración propia

Al realizar el análisis estadístico, de comparación de media, para un nivel de significación de $\alpha = 0.05$, según HSD de Tukey (tabla 2), se obtiene que existe

diferencia significativa entre los valores de densidad para las diferentes posiciones en la troza.

Tabla 2. Comparación de media. Densidad (HSD de Tukey)

Posición	N	Subconjunto para alfa = .05		
	1	2	3	1
medio	30	,703377		
punta	30		,814717	
base	30			,909497
Sig.		1,000	1,000	1,000

*Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 30,000.

Fuente: elaboración propia

El comportamiento de la densidad en esta especie es similar al que obtuvo Coronel (1994), experimentando con la especie de quebracho blanco. Este autor plantea al respecto que estas variaciones se deben, en parte, a las propiedades específicas que pueden ser fuertemente perturbadas por las condiciones del medio en que se desarrollan las especies (lugar de crecimiento, métodos silviculturales, entre otros).

Conductividad térmica en dependencia de la posición en la troza

La tabla 3 muestra los valores de conductividad térmica de las tres secciones medidas: punta, centro y base. Cuanto más elevado es el coeficiente de conductividad térmica, mayor es la capacidad de conducción del calor; o también podemos expresar que, cuanto más bajo es este valor, mejor serán las propiedades aislantes de este material.

Tabla 3. Valores medios de conductividad térmica, en dependencia de la posición de la troza

Posición en la troza	Coefficiente de conductividad térmica (λ) (J/sm°C)	Desviación típica
Base (1,30m)	0,2263	0,0186
Punta (3,90m)	0,1931	0,0222
Centro (2,60m)	0,1772	0,0247

Fuente: elaboración propia

Concordamos con Barrios *et al.* (2006) en que se deben utilizar maderas con fibras de paredes delgadas y con alta proporción de espacios vacíos, son malas conductoras del calor. La parte de la troza que presenta el menor valor en el coeficiente de conductividad térmica es en el centro, esta sección es mala conductora del calor y, por lo tanto, se comporta como buen aislante térmico.

El análisis estadístico de la comparación de media, para un nivel de significación de $\alpha=0.05$, según HSD de Tukey (tabla 4), hace evidente que existe diferencia significativa entre los valores del coeficiente de conductividad térmica para las diferentes posiciones en la troza.

Tabla 4. Comparación de media. Conductividad. HSD de Tukey

POSICIÓN	N	Subconjunto para alfa = .05		
		2	3	1
MEDIO	30	,177240		
PUNTA	30		,193077	
BASE	30			,226327
SIG.		1,000	1,000	1,000

*Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 30,000.

Fuente: elaboración propia

Según el análisis de correlación, el coeficiente de Pearson es de $r=0,455$, es decir, existe una relación lineal positiva entre el coeficiente de conductividad térmica y la posición en la troza.

La conductividad térmica de la madera es considerablemente menor ($0.198 \text{ J/s m } ^\circ\text{C}$) que la de otros materiales, como puede verse en la tabla 5. En el caso particular de la madera de *P. caribaea* puede ser considerada de manera muy apreciada como material aislante del calor.

Tabla 5. Valores de conductividad térmica en diferentes materiales

Materiales	Conductividad térmica(J/sm K)
Diamante	1000
Plata	406
Cobre	385
Aluminio	205
Hierro	79,5
Acero	50,2
Plomo	34,7
Hormigón	0,8
Agua a 20°C	0,6
Amianto	0,08
Fibra de vidrio	0,04
Ladrillo de aislamiento	0,15
Madera	0,12-0,04

Fuente: Young (1992)

Analizando los resultados expuestos, se puede plantear que la conductividad térmica en la madera, comparada con otros materiales, es baja debido a la baja

conductividad térmica del material leñoso (celulosa, lignina, etc.)

Humedad y conductividad térmica

Al efecto del trabajo que se expone, es preciso insistir en que se ha realizado el experimento para medir el coeficiente de conductividad térmica, considerando la humedad aproximadamente constante, con un porcentaje de 18 %.

Comportamiento de la conductividad térmica y densidad

El estudio de la relación entre estas propiedades, conductividad térmica y densidad, se realiza para formular una ecuación que da los valores del coeficiente de conductividad térmica en función de la densidad, considerando que esta última es una propiedad de la cual dependen casi todas las propiedades de la madera. Los resultados obtenidos de estas propiedades se reflejan en la tabla 6.

Tabla 6. Valores de conductividad térmica y densidad en diferentes posiciones en la troza

Posición en la troza	Coefficiente de conductividad térmica (λ) (J/sm C)	Densidad media (g/cm³)
Base (1,30m)	0.1930	0.91
Punta (3,90m)	0.1772	0.70
Centro (2,60m)	0.2263	0.81

Fuente: elaboración propia

Los resultados anteriores muestran que la conductividad de la madera de *P. caribaea* varía en dependencia de la posición en la troza.

En el análisis estadístico, según muestra la tabla 7, el coeficiente de correlación de Pearson es de $r= 0.465$; puede entonces plantearse que existe una relación lineal positiva entre el coeficiente de conductividad y la densidad.

Tabla 7. Análisis de correlación

		Conductividad	Densidad	Posición
Correlación de Pearson	conductividad	1,000	,465	,455
	densidad	,465	1,000	,335
	posición	,455	,335	1,000
Sig. (unilateral)	conductividad	.	,000	,000
	densidad	,000	.	,001
	posición	,000	,001	.
N	conductividad	90	90	90
	densidad	90	90	90
	posición	90	90	90

Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Modelo de correlación lineal

Modelo	Coefficientes no estandarizados		Coefficientes estandarizados	t	Sig.	Correlaciones			
	B	Error típ.	Beta	Orden cero	Parcial	Semiparcial	B	Error típ.	
Constante	,102	,020		5,112	,000				
densidad	,120	,024	,465	4,927	,000	,465	,465	,465	,465

2* a Variable dependiente conductividad

Fuente: elaboración propia

Según la ecuación predictiva: $\lambda = 0,102 + 0,120 \rho$, donde: λ -coeficiente de conductividad térmica, ρ -densidad, podemos afirmar que el coeficiente de conductividad térmica es directamente proporcional a la densidad. Por lo tanto, al

ser la troza del centro la de menor densidad, tal sección de la madera también mostrará los más bajos valores de conductividad térmica, siendo favorables en los resultados esperados.

CONCLUSIONES

La densidad de la madera de *Pinus caribaea* varía según la posición en la troza, toma el mayor valor en la base, disminuye en el centro y se incrementa en la punta sin alcanzar el valor de la base, que es el máximo.

La conductividad térmica en la madera de *Pinus caribaea* es baja, con un valor de 0.198 J/s m °C, lo que permite clasificarla como aislante térmico.

La conductividad térmica en la madera y la densidad presentan el mismo comportamiento para diferentes posiciones en la troza, entre ellas existe una relación lineal, según expresa la ecuación predictiva: $\lambda = 0,102 + 0,120 \rho$.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRIOS, E. CONTRERAS, W. y OWEN, M. "Repercusiones energéticas y económicas del uso de la madera como elemento constructivo para viviendas de interés social en Venezuela". *Revista Forestal Latinoamericana*, 2006, 21(40), 1-28. ISSN: 0798-2437.

CORONEL, E. *Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera* 1994. Santiago del Estero: El Liberal, 1994. ISBN: 950-43-6061-0.

MANACES, C. *Edad de transición de la madera juvenil a la madera madura de Pinus chiapensis (Martínez) Andresen de tanetze de Zaragoza, Oaxaca*. Tesis de Dipoma inédita en Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma Chapingo, 2000.

RAMOS, M. *Desempeño de los índices de nesterov, fórmula de Monte Alegre y fórmula de Monte Alegre Alterada en la Empresa Forestal Macurije*. Tesis presentada como requisito al Programa de Postgrados en Ingeniería Forestal, Universidad Federal de Paraná, 2012.

YOUNG, H. D. *Conductividad Térmica*. 1992 [en línea]. [Consultado 23 octubre 2014]. Disponible en: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/tables/thrcn.html>.

Eduardo Montesino Díaz. Estudiante Ingeniería Forestal. Quinto año. Universidad de Pinar del Río "Hermandad Saíz Montes de Oca". Cuba.
Correo electrónico: glendy.hernandezregalado@gmail.com
