

# EL FIQUE COMO AISLANTE TÉRMICO

## THE FIQUE AS THERMAL BARRIER

DEYANIRA MUÑOZ MUÑOZ<sup>1</sup>, GERARDO CABRERA CIFUENTES<sup>2</sup>

### PALABRAS CLAVES:

Conductividad térmica, vida térmica, barrera térmica, sostenibilidad, fibras naturales.

### KEY WORDS:

Thermal conductivity, thermal life, thermal barrier, sustainability, natural fibers.

### RESUMEN

*En éste documento se presentan resultados del estudio del fique, fibra autóctona americana como barrera térmica, teniendo en cuenta la contribución ecológica en el ahorro de energía al utilizarla como barrera térmica. Se hicieron pruebas normalizadas, para determinar conductividades térmicas de cuatro de sus presentaciones comerciales y curvas de vidas térmicas de recipientes con fique. Se prueba que es alternativa económica y bondadosa con el medio ambiente y que puede contribuir a solucionar el problema del deterioro térmico de productos agroindustriales en la cadena de producción y distribución. Se encontró que las fibras del fique evaluadas tipo III y IV con promedios de conductividad  $0.045, 0.032 \frac{w}{m^{\circ}c}$  pueden competir con otros materiales como lana mineral, arcilla expandida, corcho, vidrio celular y poliestireno. Y prolonga la vida fría de recipientes por lo tanto es una barrera térmica y ecológica para la conservación de los alimentos.*

### ABSTRACT

*In this document is present result of study a fiber autochthonous American called fique like as good alternative to the energy saving when using it as thermal barrier. Normalized tests were made, to determine thermal conductivities of four of their commercial presentations and curves of thermal lives of recipients with fique. It is proven that it is alternative economic and kind with the environment and that it can contribute to solve the problem of the thermal deterioration of agroindustrial products in the production chain*

---

Recibido para evaluación: diciembre 20 de 2006. Aprobado para publicación: febrero 5 de 2007

1 Msc., Universidad del Cauca

2 Esp., Universidad del Valle

Correspondencia: Deyanira Muñoz Muñoz, e-mail: demunoz@unicauca.edu.co.

and distribution. The result of fiber fique evaluated type III and IV with average of thermal conductivities 0.045, 0.032

$\frac{w}{m^{\circ}c}$  are competitive with others material like mineral wool, expanded clay, cork, cellular glass and poliestireno and prolong cold life of receives therefore it's thermal barrier and ecology in the food conservation.

## INTRODUCCIÓN

El soporte de la infraestructura económica y técnica moderna está en la Energía como electricidad y trabajo mecánico (Exergía) obtenidos principalmente de fuentes de calor. Ahorrarla es importante desde la óptica económica y fundamentalmente ecológica. Los recursos energéticos, tan importantes para la economía mundial, se están agotando haciendo que la comunidad económica y científica encuentre nuevas fuentes y mejores tecnologías que optimicen su uso. Estas "nuevas intenciones" han impulsado incluso a investigar en el pasado materiales y modos de usar los recursos, que respeten la naturaleza y en ese contexto, el uso de fibras naturales como aislante térmico, que puede ser una buena opción para el ahorro de energía y una forma de ahorrarla es evitar que se pierda como calor. Para impedirlo son las barreras térmicas o los aislantes térmicos que originalmente eran fibras naturales, hoy en día se usan más los obtenidos artificialmente tales como las fibras minerales [1].

El hombre como integrante de la naturaleza debe ser su benefactor y no su principal depredador. Concepción ya clara para nuestras culturas ancestrales y reinsertadas a la cultura actual en "La Tecnología alternativa" [1] que tiene como meta mantener una tecnología ligada socialmente. Más allá de consideraciones económicas o ambientales el aspecto social de la sostenibilidad revela la necesidad de explorar y mejorar nuestros mecanismos locales y nacionales [2].

La fibra de la planta "Fique", cuyo uso data de mucho tiempo en América, puede contribuir a optimizar el uso de la energía en forma muy ecológica, como barrera térmica. A diferencia de los aislantes industriales usados actualmente, su obtención puede ser sostenible y amigable con el medio ambiente, indicando la importancia de la investigación en este campo. En este trabajo se investiga la fibra de fique como barrera térmica, considerando que es una alternativa de ahorro energético, se midieron la conductividad térmica y la vida térmica de probetas de fique y luego se compararon con otras fibras como algodón y lana mineral.

## Característica de la fibra de fique

La fibra de fique se obtiene de una planta de la familia Agavaceae, es originaria de América tropical, de la cual existen muchas especies emparentadas con el Yute. De gran importancia económica desde tiempos precolombinos y debido a la variedad de especies se obtienen fibras con alta resistencia, la cual influye en la fabricación de cuerdas y empaques [3].

En Colombia el Fique ha crecido espontáneamente y es cultivado en forma sostenible por los indígenas y campesinos, sobre todo en zonas andinas tropicales. Con sus fibras, fabrican alpargatas, redes y cuerdas para uso cotidiano y sus subproductos se han utilizado con fines medicinales especialmente en los departamentos de Antioquia, Cauca, Valle, Tolima, Huila, Santanderes, Cundinamarca, Nariño y en casi toda la geografía nacional [3]. De manera similar esta actividad de fabricación también se realizan en Ecuador y Venezuela. Existen parientes de la planta en otras partes de América, África e India [4].

La clasificación taxonómica de la fibra es; Reino: Vegetal; División: *Spermatophyta*; Clase: *Angiospermae*; Orden: *Liliales*; Familia: *Agavaceae*; Genero: *Furcraea*; Especie: *Furcraea macrophylla*.

La fibra se obtiene de la hoja (Foto 1 de la figura 1) y representa aproximadamente el 4% del peso de toda la planta. Se separa por despulpado, manual o mecánico y se seca. Así es materia prima para los productos comerciales. El fique ha sido desplazado por las fibras sintéticas lo que ha golpeado la economía de los cultivadores, Sin embargo se ha mantenido dado sus propiedades térmicas como la oposición al paso del calor [5].

Los campesinos e indígenas han probado esta cualidad desde hace mucho tiempo, al utilizarla en la protección corporal contra las inclemencias del tiempo en las personas y animales y en el empaque de productos agrícolas para conservar su temperatura. La caracterización adecuada permite para esta planta posibilidades en nuevas áreas de investigación y desarrollo.

**Figura 1.** Fibra de fique o cabuya y sus partes



La resistencia de sus fibras son debidas a la gran longitud que ellas poseen (Foto 2 de la figura 1) por eso el uso como elemento reforzante (Foto 3 de la figura 1) ha sido un tema de interés mundial y considerado como muy importante encontrarle tecnologías y procesos industriales. En Colombia se ha venido trabajando en esta dirección conjuntamente tres estamentos: El gobierno nacional a través del Ministerio de Agricultura; La Universidad pública con la escuela de ingeniería de materiales de la Universidad del Valle en Cali y la Industria privada [6].

### Conductividad térmica

La manifestación más común de la energía es el calor. De ésta forma se traslada entre cuerpos a diferente temperatura. Suele aparecer también cuando la exergía se degrada descargándose al medio ambiente.

El calor es la forma más fácil de perder energía, así ésta se escapa en las tuberías y recipientes calientes y se gana en los fríos. Para evitar esto se recubren de una barrera térmica

De acuerdo con su configuración molecular y densidad, los materiales sólidos tienen la propiedad de facilitar de forma diversa el paso del flujo de calor. Esto se caracteriza con el coeficiente de conductividad térmica, o simplemente conductividad térmica de materiales con altos valores son buenos conductores de calor y con  $k$  bajo, son aislantes. La expresión matemática es la ecuación de Fourier:

$$q = -k\Delta T \text{ o } q = -k \frac{\partial T}{\partial z} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde :

$q$  = flujo del calor

$\Delta T$  = gradiente de temperatura

$k$  = conductividad térmica del material

Los valores de  $k$  se determinan en laboratorios mediante pruebas estandarizadas, son imprescindibles para los cálculos de ingeniería, éstos aparecen en textos y cuadernos técnicos [7] algunos se muestran en el cuadro 1.

Algunos materiales aislantes de uso muy común en la técnica moderna son la lana de vidrio ( $k = 0.041$ ) para aislar recipientes calientes mientras que para los fríos es el poliestireno expandido ( $k = 0.038$ ). Son obtenidos

**Cuadro 1.** Conductividades térmicas de materiales aislantes.

Material	Conductividad $\frac{w}{m^{\circ}c}$
Lana mineral I	0.042
Lana mineral II	0.041
Arcilla expandida	0.08
Corcho	0.03
Vidrio celular	0.044
Poliestireno expandido	0.038
Arcilla expandida	0.08

Fuente: Smith W, 1993, Incropera, 1997

en procesos industriales y tienen la particularidad negativa de que durante su obtención y aplicación de alguna manera pueden influir negativamente sobre el medio ambiente. Un sustituto vegetal que puede ser auto sostenible y degradable es una alternativa muy atractiva [8].

### Vida térmica

Cuerpos con diferente nivel de temperatura puestos en comunicación espontáneamente establecen un flujo de calor desde el más caliente hacia el más frío hasta que sus temperaturas se igualan. El tiempo que tardan en alcanzar el equilibrio térmico se puede modificar colocando entre ellos una barrera térmica [7, 9].

La vida térmica, medida en horas, es tiempo que tarda el interior de un recipiente en alcanzar el equilibrio térmico. Se miden en laboratorio mediante pruebas estándar con una temperatura exterior controlada y se registra el comportamiento de la temperatura interior del recipiente ensayado. El tiempo transcurrido hasta el equilibrio indi-

ca que tan bueno es para conservar el frío o el calor. Se determinan dos vidas térmicas: una vida térmica fría y otra caliente como índices de la capacidad de conservar un producto frío y caliente respectivamente [9].

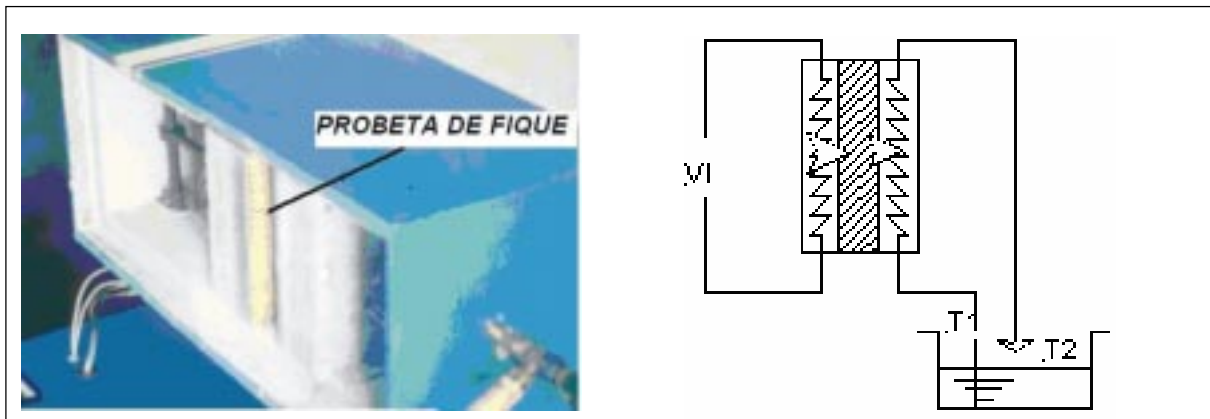
## METODOLOGÍA E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

### Determinación del coeficiente de conductividad térmica

Para medir  $k$  se siguió el procedimiento establecido por la norma ASTM C 177-63. El instrumento usado es el mostrado en la figura 2, consta de: cuatro placas muy pulidas, iguales y construidas con materiales de alta conductividad térmica, colocadas por parejas simétricas, dos calientes donde se mide  $T_1$  y dos placas frías donde se mide  $T_2$ .

En medio de las placas se colocaron las probetas construidas con láminas de fique de 10x10x1 cm (figura 3). Una resistencia eléctrica de potencia regulable proporciona el flujo de calor. La circulación de agua de caudal ajustable remueve el calor. El conjunto está provisto de termocuplas calibradas en las placas y en la entrada y salida del agua. La medición de temperaturas, el caudal y la corriente eléctrica determinan el flujo de calor. Un esquema simplificado de un par del conjunto se muestra a continuación. Figura 2 muestra una parte de la máquina usada en el ensayo.

Se ensayaron, en laboratorios cuatro tipos de presentaciones comerciales que se denominaron: I, II, III y IV mostradas en la figura 3 en grupos de 10 ensayos. Se

**Figura 2.** Equipo para determinación del coeficiente de conductividad térmica

hicieron varias mediciones, se promediaron para minimizar errores y se reportó el promedio como el resultado del ensayo.

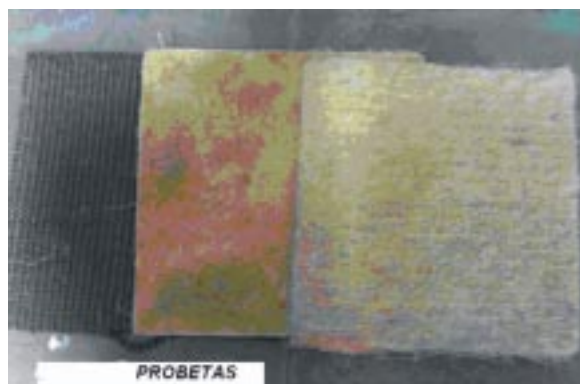
### Ensayo de vidas térmicas fría y caliente

Se realizaron en la Cámara Ambiental WHO - PAHO - UV que la Organización Mundial de la Salud (WHO) y la Organización Panamericana de la Salud (PAHO) en la Universidad del Valle. El laboratorio consiste de: un cuarto donde se simulan y controlan climas, un sistema de control y un sistema de adquisición de datos computarizados. El laboratorio se usa para el ensayo y desarrollo de equipos para la cadena de frío de vacunas.

Se hicieron dos ensayos de vida térmica: una vida fría y una vida caliente, adoptando los protocolos para los equipos de cadena de frío de vacunas de la organización mundial de la salud OMS (WHO) [10]. La vida térmica (fría y caliente) de un recipiente es el tiempo que dura la temperatura de un producto en alcanzar el equilibrio térmico en una prueba estándar.

Para el ensayo de vida fría se utilizaron dos probetas idénticas, con agua a  $-21^{\circ}\text{C}$ , una aislada con un revestimiento de fique y otra sin aislar, se introdujeron en una cámara ambiental donde la temperatura fue controlada con el fin de mantenerla estable a  $32^{\circ}\text{C}$ . Para la vida caliente se introdujeron probetas, una aislada y la otra no, con producto a  $78^{\circ}\text{C}$  mientras el ambiente se sostuvo a  $-15^{\circ}\text{C}$ . En el sistema de adquisición de datos construyó la historia del comportamiento térmico y se trazaron las curvas.

Figura 3. Probetas construidas con láminas de fique de 10x10x1cm.



## RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSIÓN

### Medición de k

Los resultados finales de la medición de k se muestran en figura 4. Se aceptaron errores relativos inferiores al 10%.

Se confirmaron los resultados con pruebas sobre unas probetas de fique: picado con densidad  $285.416\text{ g/m}^3$ ; sin hilar densidad  $321.726\text{ g/m}^3$ ; un producto comercial denominado tela de guata con densidad  $103.437\text{ g/m}^3$ ; picado en una matriz de resina termoestable con densidad  $336.384\text{ g/m}^3$ ; En los cálculos se usó la ecuación [9]:

$$k = \frac{QL}{A(T_1 - T_2)} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

Q= flujo de calor

A= área

L espesor,

$T_1, T_2$  = temperaturas calientes y fría

### Ensayo de vida térmica fría y caliente

Las probetas usadas en los ensayos se muestran en la figura 5

Para comparar el comportamiento de las fibras de cada material se graficaron las conductividades (k) en función de la temperatura para varias presentaciones comerciales de fique, algodón mineral y lana mineral (figura 6).

Figura 4. Comportamiento de conductividad térmica en probetas de fique

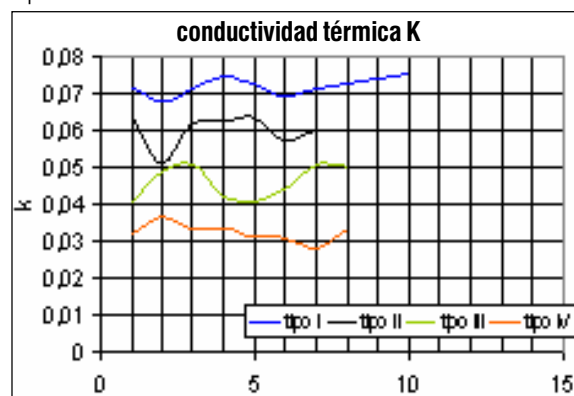


Figura 5. Probetas para el ensayo de vida térmica



**Ensayo de vida fría**

Para la medición de la vida fría se prepararon dos recipientes idénticos, uno aislado con una capa de 1.5 cm. de fique y el otro sin aislar. Se llenaron con agua a 0°C y se introdujeron en la cámara mientras ésta se mantenía a 32°C. La figura 7 muestra la historia del comportamiento de la temperatura interior (Producto) y la temperatura ambiental, registrados por el sistema, con relación al tiempo. Estos resultados se confrontaron con los obtenidos en otros experimentos.

**Ensayo de vida caliente**

De manera semejante al anterior se prepararon dos probetas idénticas, una aislada y la otra no. Se introdujo

un producto a 80°C y se mantuvieron en un ambiente a 15°C. En la figura 8 se registra la historia del comportamiento de las probetas con el producto caliente. Los comentarios respecto a la ecuación del calentamiento y a la pendiente de la curva hechos en el caso anterior de la curva de vida fría son válidos en este caso.

Del comportamiento de las curvas se observó que en el caso de la probeta aislada con fique a las nueve horas empezó a variar la temperatura interior mientras que en el caso de la no aislada, el cambio fué a las tres. Para los tramos siguientes las curvas tienen claramente una forma exponencial de acuerdo a la expresión:

$$v = v_0 e^{-mt} \tag{Ec. (3)}$$

Donde:

$$m = \frac{1}{R_t V \rho C}$$

- R<sub>t</sub> = resistencia térmica total
- V = volumen
- ρ = densidad
- C = calor específico

Al comparar la ecuación con la curva se obtiene menor pendiente en el caso aislado. Para cada caso se tendrá R<sub>t</sub> diferentes correspondiendo el mayor al caso aislado.

Figura 6. Variación de la conductividad con la temperatura en fique, algodón mineral y lana mineral

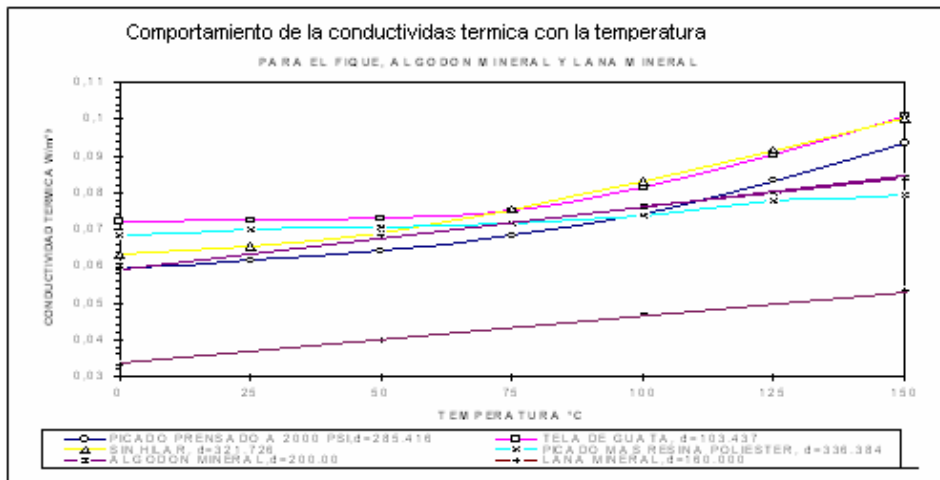


Figura 7. Comportamiento de la temperatura con el tiempo para ensayo vida fría

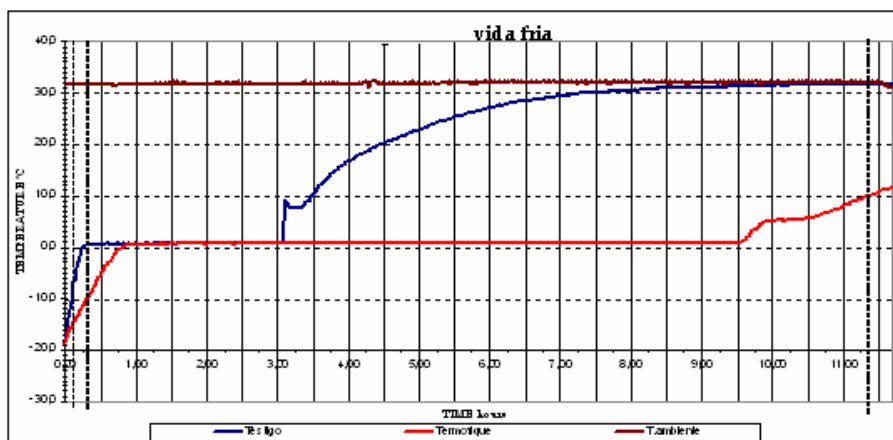
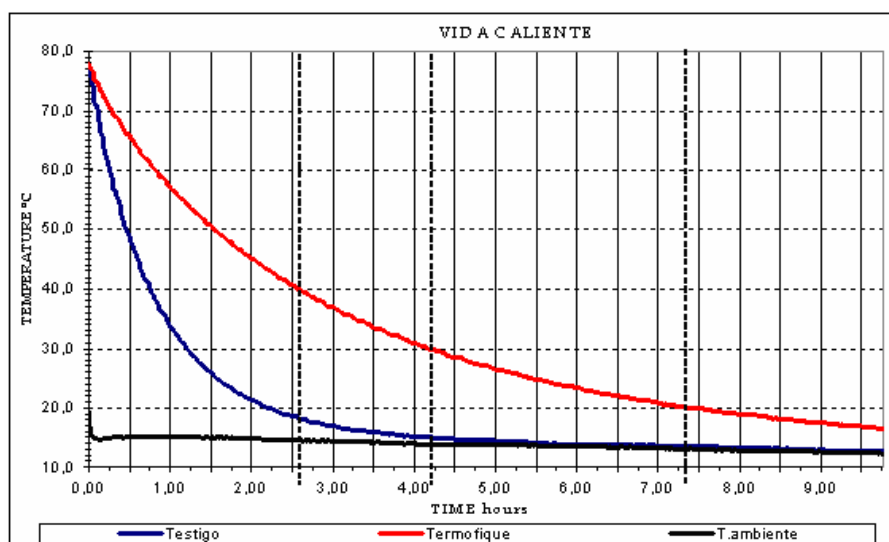


Figura 8. Comportamiento de la temperatura con el tiempo para ensayo vida caliente



## CONCLUSIONES

Los resultados proporcionan coeficientes de conductividad térmica  $k$  del fique útiles para ser usados en cálculos ingenieriles. Las fibras del fique evaluadas tipo III y IV con promedios de conductividad  $0.045$ ,  $0.032 \frac{w}{m^{\circ}c}$  pueden competir de igual forma con todos los materiales mostrados en la cuadro 1 y los del tipo I, II lo pueden hacer en los mismos términos con la arcilla expandida por lo tanto se puede concluir que es un buen aislante térmico.

Del análisis de las curvas de vida térmica, se observa que, al utilizar I fique se prolonga la vida fría y caliente

de recipientes con productos. En el caso de la vida fría, a las 11 horas de inicio de la prueba, la probeta sin aislar alcanzó el 100% del equilibrio termodinámico, mientras que la aislada tuvo 10°C. A las 8 horas (una jornada de trabajo) la probeta sin aislar se mantuvo alrededor de 100% mientras que la aislada a 0°C. En el caso de la vida caliente (4, 8 horas y media jornada de trabajo) la probeta sin aislar estuvo en el 100% del equilibrio termodinámico y la aislada en alrededor de 30°C.

Los resultados indican que la fibra es un material aislante térmico apto en la conservación de la temperatura de los productos perecederos agrícolas y pecuarios y que es una barrera térmica efectiva y una solución

ecológica, económica y novedosa para el transporte y conservación alimentos y compite con los aislantes tradicionales [9] como el algodón mineral. El análisis comparativo del comportamiento de la conductividad térmica con respecto a la temperatura confirma que el fique puede competir con el algodón mineral

Los resultados de la investigación representan un beneficio social adicional al encontrar una aplicación adicional a la planta de fique, ya que proporciona otra alternativa comercial a un cultivo ancestral de zonas normalmente deprimidas. Un estudio técnico-económico-ambiental es recomendable cuando se desea aprovechar en aplicaciones específicas.

## REFERENCIAS

- [1] DICKSON, David. Tecnología Alternativa, Primera edición, 200 paginas, Biblioteca de Divulgación Científica, Ediciones Orbis, Madrid, 1986.
- [2] <http://www.open2.net/reith2000/index.html>, Nuestro futuro común, visitada ,junio 2006
- [3] [http://www.empaca.com.co/p\\_produccion.html](http://www.empaca.com.co/p_produccion.html), visitada junio 2006
- [4] RODRÍGUEZ CANO, Carlos, Introducción a la Historia del Fique, servicio de información agropecuaria ministerio de agricultura y ganadería del ecuador.
- [5] ÁLVAREZ, Carlos Alberto, Los mil usos del fique, AUPEC., 1996
- [6] RODRÍGUEZ CANO, Carlos, fabricación de pallets fibro-reforzados con fibra natural, servicio de información agropecuaria ministerio de agricultura y ganadería del ecuador.
- [7] Incropera P.F., De Witt David PIntroduction to Heat Transfer. John Wiley y Sons New York, 1990.
- [8] CHOVIN, Paul et ROUSSEL, André, La polución atmosférica, primera edición, 128 paginas, Biblioteca de Divulgación científica, Ediciones Orbis S. A., Buenos Aires, 1987.
- [9] ASTM. Book of ASTM Standers. Part 14. American society for testing and material. 1965.
- [10] Standards test procedures. World Health Organization 1998
- [11] Smith William. Ciencias de los materials,segunda edicion.1993