

CARACTERISTICAS DE CARTONES EMPLEADOS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION

Aldo Ramírez C.*

S

e extrajo y estudió el material fibroso de materiales procedentes de seis países -dos marcas de Norte América y una de Europa, de Centro América, de Sur América y de Asia. Se analizaron las características morfológicas básicas y la distribución de las fibras en relación con las propiedades físicas y mecánicas de los materiales. Para cada uno se extrajo y determinó el contenido de aglomerante.

Los resultados muestran que la calidad de la fibra y una buena distribución de sus tamaños están relacionadas con las propiedades mecánicas, pero esto por sí sólo no garantiza un buen comportamiento físico del material. El tipo de aglomerante y el proceso de saturación del material fibroso determinan también las propiedades de comportamiento del producto. Por tanto, la composición del material fibroso, el tipo, cantidad, y proceso de saturación del aglomerante deben considerarse para obtener un producto de calidad aceptable.

Los procedimientos de fabricación y factores relacionados parecen influenciar el comportamiento físico de los productos. Por ejemplo, las muestras de Asia, Norte América, y Europa tienen contenidos de aglomerante similares, aunque en el primero se sigue un proceso de saturación diferente a los otros dos. Sin embargo, las propiedades físicas variaron significativamente entre ellas aún para el mismo proceso de saturación. Las muestras de Sur América tienen contenidos de aglomerante menores, pero sin embargo presentan propiedades físicas similares a las de Europa.

* Ingeniero Civil, M.Sc. Profesor e Investigador Asociado, Programa de Investigación en Fibras. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

INTRODUCCION

En el estudio de los materiales la determinación de sus propiedades básicas es de suma importancia. Con base en ellas se pueden modificar otros materiales, cambiando su composición o forma, y haciéndolos lo más cercano posibles al material cuyo comportamiento se quiere reproducir.

Las características geométricas y la composición del material determinan su comportamiento ante cargas y al efecto de los elementos. Se puede esperar que materiales similares, sometidos a condiciones similares, se comporten de manera similar.

Los papeles y cartones empleados para la fabricación de materiales en la industria de la construcción se clasifican en diferentes clases (Rodríguez 1970). Las pulpas celulósicas son la materia prima para su fabricación; sus características específicas determinarán en buena medida la calidad y comportamiento del producto terminado.

Estos productos se clasifican como cartones cuando poseen un espesor mayor o igual a 0,3 mm. De acuerdo con esta clasificación, las felpas empleadas en la fabricación de cartones que serán impregnados con asfalto u otro aglomerante (para el caso de techos o paneles impermeabilizantes) se pueden considerar como tales. Pueden emplearse con espesores

Para la fabricación de cartones corrugados, la pulpa adecuada es la semiquímica (obtenida de materia vegetal sometida a un débil tratamiento químico, seguido de un tratamiento mecánico).

mayores en la fabricación de otros materiales de construcción o en el corrugado de refuerzo para cajas de cartón.

Un uso de los cartones es la fabricación de láminas (corrugadas para techo, o planas para paredes). Estos materiales compuestos, se fabrican con celulosa (en la mayoría de los casos) y algún tipo de aglomerante. El material base para estas láminas es un cartón (o felpa) de fibras orgánicas, para el cual las características específicas de las pulpas determinarán la calidad y comportamiento del producto terminado.

Dentro de las características que deben estudiarse, está la composición fibrosa del material. En particular, las propiedades morfológicas aportan información importante sobre su potencial como materiales resistentes y adecuados.

Aquellos cartones (o felpas) que se impregnan con aglomerantes como el asfalto, lo hacen siguiendo alguno de dos procesos diferentes: por inmersión directa en un tanque de asfalto caliente, o por medio de una cámara al vacío donde se inyecta asfalto caliente. Las propiedades del asfalto también determinarán el comportamiento del compuesto, por lo cual es de suma importancia impregnar las láminas con el asfalto adecuado y siguiendo un procedimiento que permita la penetración de la cantidad necesaria en cada lámina. El asfalto provee las características de impermeabilización del material y está expuesto a la acción de los elementos, especialmente de la luz ultra violeta (UV) que es extremadamente perjudicial a su composición. La exposición excesiva a la luz UV descompone la capa protectora de asfalto, permitiendo que penetre agua a la felpa orgánica reduciendo sus propiedades mecánicas e iniciando el efecto de destrucción progresiva del material.

Una forma de establecer criterios mínimos de resistencia y durabilidad, es el análisis de las características de los materiales actualmente empleados en el mercado mundial para la fabricación de elementos que serán luego impregnados con asfalto u otro aglomerante.

Con base en una revisión de la disponibilidad mundial de estos materiales se llevó a cabo el estudio de seis marcas de láminas corrugadas fabricadas con cartones. Estas procedieron de Norte, Centro, Sur América, Europa, y Asia. Se realizaron estudios de la composición fibrosa de las mismas así como de las propiedades físicas y mecánicas más relevantes para establecer sus relaciones.

Los cartones impregnados con asfalto tienen un amplio uso en países desarrollados, y representan una opción viable para aquellos en desarrollo. Por esta razón se seleccionaron para este estudio. Para determinar sus características se estudiaron las propiedades de sus componentes básicos, así como el comportamiento físico y mecánico del compuesto para determinar su relación con aquellos. Para ese fin se obtuvieron muestras de láminas de diferentes países (dos marcas de Norte América y una de Europa, de Centro América, de Sur América y de Asia). Asimismo se estudiaron las propiedades morfológicas del papel y cartón kraft reciclado disponible en el país para su fabricación.

RELACION DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS PULPAS Y DE LAS PROPIEDADES MORFOLOGICAS CON LA RESISTENCIA

Características de la pulpa

Para la fabricación de cartones corrugados, la pulpa adecuada es la semiquímica (obtenida de materia vegetal sometida a un débil tratamiento químico, seguido de un tratamiento mecánico) (Rodríguez 1970). Interesa que estos cartones tengan buena resistencia al desgarro y a los dobles pliegues, que permitan asegurar una buena formación en las máquinas onduladoras. Este tipo de pulpa no necesita blanquearse o que se cuiden otros detalles de apariencia, pues

Para mejorar la resistencia de los cartones se requiere de un cierto balance entre el contenido de fibra corta y de fibra larga. Generalmente, la cantidad de fibra larga debe variar entre un 25 y un 30%.

las felpas fabricadas con ella serán cubiertas con asfalto, o colocadas donde no importa mucho su apariencia externa. El espesor de las felpas debe controlarse y mantenerse dentro de ciertos límites. La absorción de agua es muy importante, pues en una de las fases de fabricación (el ondulado) lleva consigo esa humectación. Como pauta inicial, la calidad de la pulpa debe ser adecuada y no admitir variaciones en la composición química ni en el tratamiento mecánico previo a la fabricación del cartón.

Las resistencias al desgarro y al estallido (ensayo donde se ejerce presión, por medio de una sección circular de un diámetro determinado, sobre la superficie del cartón, hasta que reviente), dependen mucho del proceso de fabricación y de la composición de las pulpas. En el caso de las pulpas semiquímicas, provenientes generalmente de maderas de fibras cortas, los procesos químicos conocidos son al sulfito ácido, sulfito neutro, al sulfato, y a la sosa en frío. Sin embargo, los papeles obtenidos con pasta semiquímica de fibra corta tienen poca resistencia en húmedo. Los cartones fabricados con pulpas semiquímicas, tienen buena resistencia al estallido, aunque son más rígidas debido al contenido de hemicelulosas, y presentan un bajo índice de desgarro y dobles pliegues.

Para mejorar la resistencia de los cartones se requiere de un cierto balance entre el contenido de fibra corta y de fibra larga. Generalmente, la cantidad de fibra larga debe variar entre un 25 y un 30% (A.F.M.S.A. 1982). Las pastas de paja y bagazo, aunque tienden a ser de fibra corta, se han considerado aptas para papel de ondular, pero no necesariamente para otros propósitos. Sus características se mejoran agregando fibra larga. Las maderas de coníferas procesadas mediante el proceso Kraft (al sulfito) proporcionan pulpas con fibra larga, la cual mejora las propiedades de papeles que requieren gran resistencia al estallido, y buenas propiedades de resistencia mecánica y al alargamiento.

Características morfológicas

La longitud promedio de las fibras es una propiedad fundamental de una pulpa. Estudios realizados con diferentes pulpas (Clark 1942; Clark 1962) han determinado que manteniendo constantes características de las fibras, especialmente su peso por unidad de longitud (decigrex), la resistencia a la tracción de una pulpa poco refinada aumenta de manera proporcional a $L^{1/2}$ (donde L es la longitud promedio de fibra), la resistencia a la prueba de estallido varía según L, la resistencia al doblado o corrugado según L^5 , y la resistencia al desgarro según $L^{3/2}$. A esto hay que agregar que la resistencia al impacto mejora con la presencia de fibra larga, y la porosidad está relacionada directamente con la longitud y ancho de fibra (Rodríguez 1970).

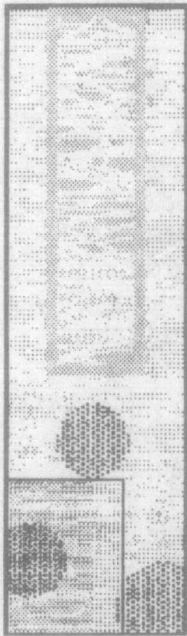
Estas relaciones se mantienen independientemente del grado de uniformidad en la longitud de las fibras (mezclas de varias longitudes, o de una sola longitud), pero los valores numéricos de los exponentes decrecerán conforme la pulpa se refine por más tiempo (pues el refinado va acortando las fibras). Asimismo, la densidad de la felpa se verá afectada considerablemente por L si todas las fibras tienen las mismas características de refinado.

En el análisis de una pulpa, el valor del promedio aritmético de la longitud de fibra no tiene mucho significado. Si las fibras son de longitudes mixtas, el promedio aritmético es una medida arbitraria, ampliamente influenciada por el límite inferior de longitud de fibra seleccionado, por debajo del cual ya no se consideran como fibras sino como partículas. Para obviar este problema se emplea el promedio ponderado por longitud y peso. La longitud de fibra ponderada por longitud de una pulpa puede resultar mayor a la media aritmética, especialmente si las partículas de longitudes iguales o menores a 0,1 mm se incluyen en la estimación de los promedios numéricos. Por esta razón la media numérica o aritmética de longitud de fibra es una cantidad de poca utilidad, pues

las pulpas consisten de traqueidas, y otros elementos pequeños, que hacen que la proporción numérica de elementos cortos sea mayor conforme las longitudes decrecen. La longitud promedio ponderada también tendrá poco sentido si no se establece el límite inferior que clasifica al elemento como fibra, o como partícula.

Las fibras cortas contribuyen poco a la longitud total media, pero numéricamente hablando, afectan el resultado final de una media aritmética tanto como lo hacen las fibras largas. También contribuyen muy poco al peso en el cálculo de la longitud promedio ponderada y, por tanto, tienen un efecto casi despreciable en los resultados de las pruebas. Esto corresponde a un efecto casi despreciable sobre las propiedades básicas de una pulpa, excepto en el caso de las pulpas de madera molida. Sin embargo sí afectan la consistencia, la resistencia a tracción transversal, o la permeabilidad al aire de los productos fabricados con ella. Aún aquí, su influencia se debe básicamente a su relación de esbeltez más que a su corta longitud. En cada caso, debe determinarse el porcentaje de finos presente en una pulpa, pues esa porción no contribuirá a la propiedad de longitud. La longitud promedio ponderada se reduce proporcionalmente a ese porcentaje de finos.

La longitud de fibra media ponderada de una pulpa es una propiedad fundamental de esta, y se relaciona directamente con las propiedades del papel (Clark 1962). Si l_i es la longitud de cualquier fibra de una muestra de pulpa, w_i su peso, y si N es el número de fibras medidas, su longitud total ($\sum l_i$) será L , la longitud promedio aritmética o numérica será $\sum l_i / N$ o L/N . Su longitud promedio ponderada por longitud será $\sum l_i^2 / \sum l_i$ y su longitud promedio ponderada por peso será $\sum (l_i w_i) / \sum w_i$. Pulpas fabricadas de distintas fuentes, poseen pesos por unidad de longitud particulares. Este valor recibe el nombre de "decigrex". Se expresa en miligramos por cada 100 m, o bien, decigramos por 10 km. Cuando se cuenta con mezclas no bien identificadas, se dificulta la determinación del peso por unidad de longitud para cada tipo y longitud



de fibra. Debido a que existe información insuficiente disponible, en estos casos se utiliza un factor de 1,15 (TAPPI T 401). La longitud promedio ponderada por longitud y peso se determina por:

$$L_p = \frac{\sum l_i^2 f}{\sum l_i f} \cdot (1 - F) \cdot dg \cdot \pi/4$$

donde:

L_p = longitud promedio ponderada por longitud y peso

l_i = longitud de la i ésima fibra

f = frecuencia con que aparece la longitud l_i

F = relación de finos (fibras y otra materia con longitudes menores a 0,1 mm)

dg = factor decigrex

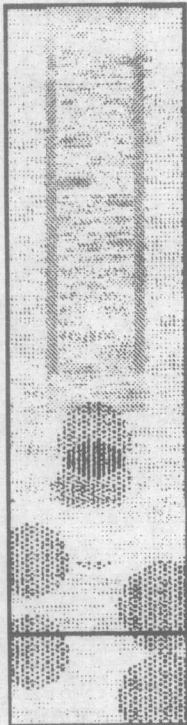
$$\frac{\sum l_i^2 f}{\sum l_i f} = \text{longitud ponderada por longitud}$$

El empleo del decigrex tiene varias ventajas sobre la medición de anchos de fibra. No solo es más sencillo y rápido, sino que incluye también los efectos del espesor de pared, el tamaño del lumen, y la densidad del material celulósico que compone las fibras. Sin embargo, en este estudio se midieron esos valores para obtener los índices de CF y FR.

OBJETIVOS

Los objetivos de este estudio fueron:

- Estudiar las propiedades morfológicas de la materia prima empleada para la fabricación de cartones (o felpas), corrugadas impregnadas con asfalto, en particular la longitud de fibra, el ancho de fibra, el espesor de pared, y la distribución de longitudes de fibra.



- Estudiar las propiedades morfológicas del papel y cartón kraft reciclado disponible en el país para la fabricación de cartones.
- Estudiar las características dimensionales y propiedades físicas y mecánicas de los cartones impregnados, y su relación con las propiedades de las materias primas.

PROCEDIMIENTO

Propiedades morfológicas de las felpas

A las muestras de cada marca se les extrajo el asfalto por medio del Método B de Reflujo, y el método Abson B para filtrado (sin modificaciones) (ASTM D 2172-81, ASTM D 1856-79). El contenido de asfalto se determinó por diferencias de peso.

Una vez extraído el asfalto, las muestras se redujeron a pulpa por medio de saturación en agua. Este mismo proceso se empleó con las muestras de papel y cartón reciclado. Porciones de cada una se emplearon para determinar la longitud de fibra, ancho, espesor, porcentaje de finos, y distribución de longitudes. Se siguió la norma TAPPI T 232 cm-85 como base para la determinación de esas características. Se empleó una pantalla de proyección para microscopio, donde las fibras se seleccionaron aleatoriamente por medio de un barrido del escenario del microscopio cada 5 mm tanto horizontal como verticalmente. Con el propósito de obtener una distribución más representativa se realizaron 300 mediciones individuales para cada marca. También se determinaron los factores Runkel y de Flexibilidad.

Propiedades físicas y mecánicas

Las propiedades físicas del compuesto (cartón impregnado con asfalto) fueron peso unitario (acondicionado), contenido de humedad, absorción de agua, y cambios dimensionales producidos por este último.

Las propiedades físicas se determinaron después de un período de saturación en agua de 24 horas. La saturación se hizo en especímenes colocados horizontalmente en un tanque de agua y sin sellar los extremos.

Las propiedades mecánicas se determinaron a muestras extraídas de la parte plana entre las corrugaciones y ensayados en estado acondicionado, estudiándose la resistencia a flexión estática y a tracción.

DISCUSION DE RESULTADOS

La distribución de longitud de fibra, longitud promedio, diámetro tangencial, espesor de pared, Coeficiente de Flexibilidad, y Factor Runkel para el material fibroso extraído de las láminas estudiadas se presentan en el Cuadro 1.

Las propiedades físicas y mecánicas, así como la longitud de fibra promedio (ponderada por longitud y peso) se presentan en el Cuadro 2.

Las marcas B a F muestran una distribución de longitud de fibra similar. La marca A muestra una marcada desviación de las otras marcas (Figura 1).

Las propiedades morfológicas son similares para la mayoría (Figura 2). Tanto el tamaño de lumen como la longitud de fibra ponderada parecen relacionadas con la absorción de agua y el cambio volumétrico del material, aumentando estos conforme aumenta el contenido de agua (Cuadro 2).

La cantidad de asfalto es variable (de 33 a 55%) en todas las marcas. Sin embargo no parece existir una relación directa entre la cantidad de asfalto y el comportamiento físico. Se observa que un mayor porcentaje de asfalto no implica necesariamente una menor absorción de agua o una variación volumétricamente menor debidas a la absorción de agua (Figura 3).

El método de saturación no parece estar relacionado con el contenido de asfalto en todos los casos. El proceso al vacío produce, en términos relativos, una

CUADRO 1. Propiedades morfológicas para el material fibroso de cartones empleados en la fabricación de las diferentes marcas

Marca	Distribución por longitud de fibra (%) *					Long. media (mm)	Diámetro (micras)	Espesor pared (micras)	Lumen (micras)	CF	FR	P.U.* (g/cm ³)	t* (mm)
	Corta	Mediana	Larga	Muy Larga	Finos								
A	55	10	7	4	24	0,75	19,57	3,82	11,94	38	0,64	0,53	2,2
B	54	12	10	9	14	0,91	29,26	5,30	18,67	31	0,57	0,55	2,8
C	36	18	12	11	23	1,01	30,52	6,51	17,50	33	0,74	0,57	3,0
D	50	13	9	13	14	0,99	34,16	7,14	19,88	29	0,72	0,54	2,8
E	46	17	11	8	18	0,94	37,93	8,19	21,55	25	0,76	0,58	3,0
F	54	15	9	10	12	0,89	34,57	7,06	20,45	26	0,69	0,70	2,5

Finos - L < 0,1 mm
Corta - 0,1 ≤ L < 0,9 mm
Mediana - 0,9 ≤ L < 1,2 mm

Larga - 1,2 ≤ L < 1,6 mm
Muy Larga - 1,6 ≤ L mm

CF - Coeficiente de Flexibilidad de Peteri FR - Factor Runkel

* Longitud de fibra determinada primero por medio de la norma TAPPI T232 cm - 85 y luego ajustada por el porcentaje de finos. El peso unitario (P.U.) corresponde al cartón después de extraído el asfalto. El espesor (t) es el que indica el fabricante.

CUADRO 2. Longitud de fibra ponderada, propiedades físico-mecánicas, y otras características para las diferentes marcas estudiadas

Marca	Longitud ponderada de fibra (mm)	Propiedades Mecánicas			Propiedades Físicas						Contenido de Asfalto (%)	Proceso de Impregnación
		Tracción* (MPa)	Flexión** (MPa)	AA (%)	CE (%)	CL (%)	CA (%)	VV (%)	PU (g/cm ³)			
A	0,718	9,26	7,49	7,72	5,52	0,35	1,24	7,20	1,03	49,33	Inmersión	
B	1,094	15,84	11,86	16,32	5,11	0,40	1,13	6,72	0,94	50,10	Vacío	
C	0,934	9,63	6,90	7,91	5,56	0,19	0,59	6,38	0,94	49,05	Vacío	
D	1,178	22,98	15,91	15,05	11,86	0,99	2,33	15,63	0,96	41,35	Inmersión	
E	1,160	24,97	17,22	16,07	9,64	0,40	1,90	12,27	1,14	33,43	Inmersión	
F	1,063	17,81	12,01	12,62	8,78	0,33	1,13	10,04	1,06	54,79	Vacío	

* Contenido de Humedad promedio de 5,90%

** Contenido de Humedad promedio de 7,95%

AA - Absorción de agua después de 24 horas

CE - Variación del espesor después de 24 horas de saturación en agua

CL - Variación de longitud después de 24 horas de saturación en agua

CA - Variación del ancho después de 24 horas de saturación en agua

VV - Variación volumétrica después de 24 horas de saturación en agua

mayor impregnación de asfalto. A pesar de esto, las marcas A y C se fabricaron con diferentes métodos de impregnación y contienen cantidades similares de asfalto (Cuadro 2, Figura 3).

La longitud de fibra ponderada (por longitud y peso) muestra una fuerte correlación entre esta y las propiedades mecánicas de las láminas. Entre mayor sea

la longitud ponderada más resistente es el material (Figura 4).

De los materiales reciclados que se pueden emplear en el país (papel y cartón) el papel posee un mayor porcentaje de fibra corta (Cuadro 3). El cartón kraft es la mejor fuente de fibra larga.

De acuerdo con la longitud media, ponderada por longitud y peso, el papel es

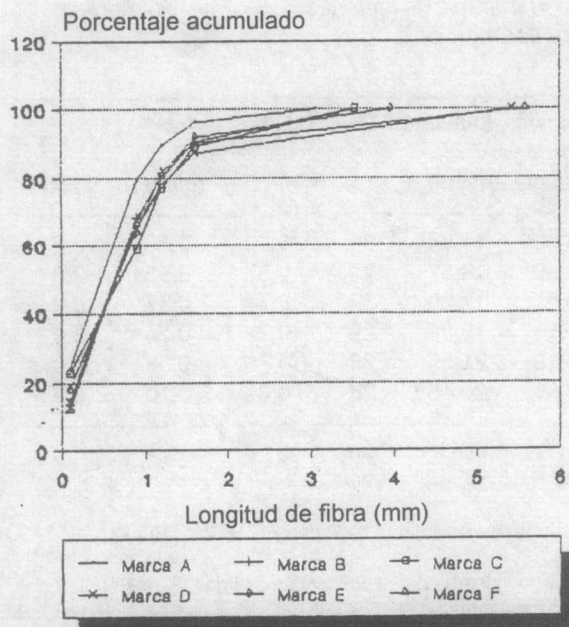
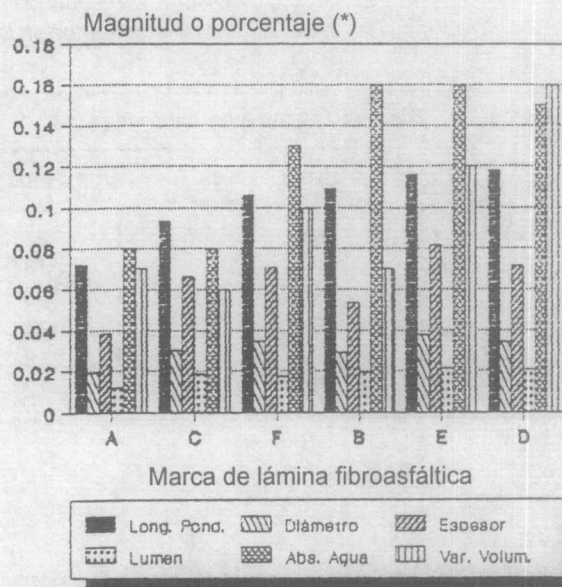
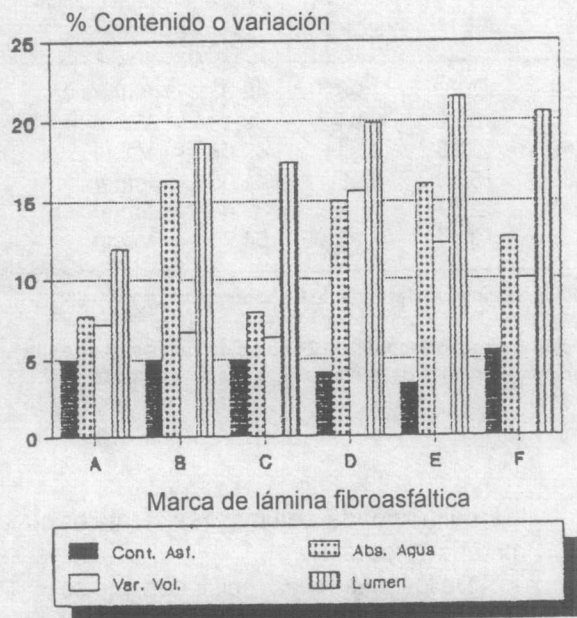


FIGURA 1. Distribución de longitud de fibra acumulativa.



* Longitud Ponderada ($\times 10+1$), Diámetro, Lumen, Espesor de pared ($\times 10-1$) mm. Absor. Agua y Var. Volumen ($10+2$) %.

FIGURA 2. Propiedades físicas y morfológicas



Proceso al vacío usados en B, C, y F
 Contenido de Asfalto ($\times 10+1$)

FIGURA 3. Contenido de asfalto vrs. propiedades físicas

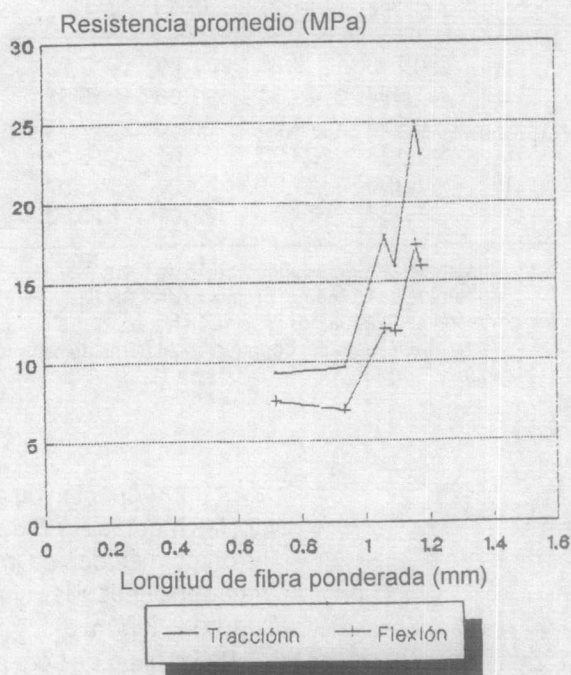


FIGURA 4. Longitud de fibra ponderada vrs. propiedades mecánicas

CUADRO 3. Propiedades morfológicas del papel y cartón reciclados

Tipo de Fibra	Distribución por longitud de fibra(%)					Long. media (mm)	Diámetro pared (micras)	Espesor pared (micras)	CF	FR
	Corta	Mediana	Larga	Muy Larga	Finos					
Papel	80	11	6	3	15,73	0,65	35,38	7,56	18	0,74
Cartón	39	21	24	16	11,45	1,17	33,55	7,02	35	0,72

Finos - L < 0,1 mm
Corta - 0,1 ≤ L < 0,9 mm

Mediana - 0,9 ≤ L < 1,2 mm
Larga - 1,2 ≤ L < 1,6 mm
Muy Larga - 1,6 ≤ L mm

CF - Coeficiente de Flexibilidad de Peteri
RF - Factor Runkel

Esta Investigación fue posible gracias al apoyo del International Development Research Centre de Canadá (IDRC), y del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). Colaboraron con la realización de los ensayos físicos y mecánicos los señores Gerardo Gamboa y Francisco Madrigal; y con las extracciones de asfalto la B.Q. Gretel Castro.

fuelle de fibra corta y el cartón kraft reciclado de fibra larga.

REFERENCIAS

Asesores en Finanzas y Mercadeo S.A. *Estudio de Prefactibilidad para la instalación de una planta integrada de pulpa y papel a partir de paja de arroz*. Informe Final. San José, 1982.

ASTM. *Recovery of Asphalt from Solution by Absorb Method*. D 1856-79.

ASTM. *Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous Paving Mixtures*. D 2172-81.

Canessa A., Edwin. "Aspectos anatómicos de la madera en relación con la fabricación de papel." *Tecnología en Marcha*. Julio-Setiembre: 33-37 (1980).

Clark, J. d'A. "The Measurement and Influence of Fiber Length." *Paper Trade Journal* 115 (26): 36 (1942).

Clark, J. d'A. "Effects of Fiber Coarseness and Length." *TAPPI* 45 (8): 628 (1962).

Ramírez C., Aldo. *Utilización de Residuos Fibrosos de la Agricultura para la fabricación de elementos de Vivienda Económica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. 1986.

Rodríguez, Juan. *Los controles en la fabricación de papel*. Blume. Madrid. 1970.

Runkel, R. O. "Pulp from tropical wood." *TAPPI* 34 (4): 174-178 (1952).

TAPPI. *Fiber Analysis of paper and paperboard*. T 401 om - 82.

TAPPI. *Fiber length of pulp by projection*. T 232 cm - 85.

TAPPI. *Forming Handsheets for reflectance tests of pulps*. T 218 om - 83.