

FIBRA DE PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*) PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CARTÓN RECICLADO

(AFRICAN OIL PALM FIBER TO IMPROVE MECHANICAL PROPERTIES OF RECYCLED PAPERBOARD)

J. D. ANGARITA M.*; D. I. DÍAZ D.*; L. A. LOZANO U.**

Universidad Industrial de Santander
Grupo de Investigación en Celulosa Pulpa y Papel CICELPA

*Ingeniero Químico UIS

jdangarita@gmail.com; ddiazduran@gmail.com

**Directora CICELPA

cicelpa@uis.edu.co

Fecha Recepción: 4 de Febrero de 2009

Fecha Aceptación: 19 de Marzo de 2009

RESUMEN

Las fibras recicladas producen papeles con pobres propiedades mecánicas debido a la pérdida irreversible de la capacidad de hinchamiento con los niveles y duración del secado, i.e. hornification¹. Existen varios métodos para restaurar las uniones interfibrilares de la fibra reciclada entre los cuales se encuentra las mezclas con fibra virgen. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de pulpa de raquis de la hoja de palma africana (RHPA) sobre las propiedades mecánicas de cartón comercial colombiano. En el laboratorio fueron evaluadas hojas estándar de prueba siguiendo los métodos estándar TAPPI con adiciones de 15%, 25%, 35% y 50% de pulpa RHPA. Las propiedades de resistencia de los papeles obtenidos fueron proyectadas usando correlaciones para estimar el comportamiento como cartón corrugado. Las más importantes propiedades de resistencia mecánica de cartones RCT, CMT y CFC fueron incrementadas a partir del porcentaje de adición más bajo de pulpa RHPA (15%). El SCT estimado a partir de correlaciones mostró incrementos hasta del 54% para el cartón evaluado respecto a los materiales originales. La pulpa RHPA puede ser mezclada con cartón comercial reciclado para mejorar sus propiedades mecánicas.

Palabras claves: *Cartón Reciclado; Mezclas; Fibra Virgen; Fibra de Raquis de Hoja de Palma de Aceite; Restauración; Propiedades Mecánicas; Correlaciones; Cajas Corrugadas.*

ABSTRACT

Recycled fibers produce paper with poor mechanical properties due to the irreversible lost of the swelling capacity with the level and duration of drying, i.e., hornification. The blending with virgin fiber is one of the methods to recover the interfiber bonding of the recycled pulp. The aim of this study was to evaluate the effect of blending African oil-palm frond-rachis soda pulp (RHPA) on the mechanical properties of Colombian commercial paperboard. At the laboratory standard handsheets were evaluated following the TAPPI standard methods at ratios of 15%, 25%, 35% and 50% of RHPA pulp. Strength properties of papers obtained were projected using relationship to estimate its behavior as corrugated board. The most important mechanical properties of paperboard RCT, CMT and CFC were increased since the lowest addition percentage of RHPA pulp (15%). SCT estimated by relationship showed increases of up to 54% for the evaluated paperboard in relation to the original material. RHPA pulp can be blended with commercial paperboard to improve its mechanical properties.

Keywords: *Recycled Paperboard; Blending; Virgin Fiber; Oil-Palm frond Rachis Fiber; Upgrading; Mechanical Properties; Relationship; Corrugated Box.*

¹ Aunque el término hornification no tiene traducción exacta en español, puede ser interpretado como endurecimiento o rigidez de las fibras lignocelulósicas debido a la pérdida de su capacidad de hinchamiento.

INTRODUCCIÓN

El sector de pulpa y papel ha tenido un gran dinamismo a la par con el desempeño de la economía nacional. En 2006 la industria del papel registró crecimientos en consumo y producción de los cuales el rubro más significativo, debido al volumen producido, fue el de papel para envolturas y empaques, que aumentó su producción en un 5% llegando a 458000 toneladas. Debido al incremento en la necesidad de empaques de empresas nacionales y extranjeras que suplen el mercado nacional y de exportación, se espera un crecimiento aún mayor del sector de pulpa, papel y cartón, mostrando además una clara oportunidad de negocio en el reciclaje de papel, que en 2006 aumentó el 4% respecto al año anterior, recogiendo 581300 toneladas de papel para reciclar, de las cuales el 60% correspondieron a cartón corrugado [1].

La materia prima básica para la producción de papel y cartón es la celulosa, la cual se obtiene del papel reciclado o de pulpa de fibras vegetales. El 51% de las fibras utilizadas hoy en Colombia provienen de papel reciclado [2]. Sin embargo el uso de fibra reciclada produce un papel con pobres propiedades mecánicas debido a la disminución de las uniones interfibrilares. La pulpa reciclada entonces, debe ser tratada para restaurar sus uniones de resistencia, para lo cual hay seis métodos posibles: tratamiento mecánico, aditivos químicos, tratamiento químico, fraccionamiento, modificaciones en el proceso de fabricación y mezclas con fibra virgen [3, 4].

Actualmente para recuperar las propiedades de los materiales la industria utiliza pulpas vírgenes a partir de maderas de bosques plantados, importación de pulpas vírgenes, especialmente de fibra larga o importación de cartones y papeles reciclados de alta calidad, i.e., *Old Corrugated Container* (OCC) [5]. Se plantea entonces la posibilidad de sustituir los materiales utilizados tradicionalmente para restaurar las propiedades mecánicas de las fibras recicladas, por las fibras de los residuos lignocelulósicos del creciente sector palmero.

En Malasia el Malaysian Palm Oil Board (MPOB), ha llevado a cabo investigaciones de producción de papel a partir de los racimos vacíos de la palma africana (EFB) con excelentes resultados. Por su

parte en Colombia el Grupo de Investigaciones en Celulosa Pulpa y Papel (CICELPA), ha demostrado que el raquis de la hoja de palma africana (RHPA) tiene gran potencial para ser utilizado con fines papeleros [6-11].

La industria de la palma de aceite genera grandes cantidades de residuos sólidos, no sólo durante el beneficio sino durante el proceso de corte y cosecha [12]. Una hectárea del cultivo de palma africana en Colombia puede producir aproximadamente 3,8 toneladas de material fibroso seco de raquis de hoja. Convertir los residuos lignocelulósicos de la industria palmera a pulpa para papel, sería una ventajosa forma de utilizarlos en aplicaciones de mayor valor agregado, que además de contribuir en la competitividad del sector palmicultor [13], establecería una nueva fuente continua y abundante de materia prima para la industria de pulpa, papel y cartón que ayudaría a aumentar los ciclos de reciclado de la fibra secundaria empleada en la producción de embalajes nacionales.

Este trabajo evaluó los efectos de la adición de pulpa de raquis de hoja de palma de aceite (RHPA), sobre las propiedades de resistencia físico-mecánicas en pulpas obtenidas a partir de cartón reciclado de denominaciones 620 y 720 kgf/m. Mejorar o por lo menos mantener las propiedades de resistencia de estos cartones, para su utilización en la producción de embalajes, puede contribuir a reducir el impacto ambiental y los costos de producción del sector papelerero. Además, sabiendo que las propiedades de resistencia de los papeles componentes del cartón son utilizados por la industria para estimar el comportamiento de los embalajes, bajo condiciones normales de carga, se utilizaron correlaciones ampliamente conocidas para extrapolar el comportamiento como cartón corrugado de los papeles obtenidos de cada porcentaje de mezcla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

La pulpa RHPA usada en este estudio fue obtenida a partir de raquis previamente reducido de tamaño², secado y tamizado. Cajas de cartón corrugado doble cara y onda tipo A, en dos denominaciones

² Los raquis fueron astillados y molidos en un desintegrador y picador de cuchillas y martillos Cremasco DP-4. Este proceso separa la parte fibrosa del raquis y el parénquima.

comerciales, 620 kgf/m (cartón tipo I) y 720 kgf/m (cartón tipo II), fueron utilizadas para obtener la pulpa de fibra secundaria.

Pulpeo

Las condiciones de pulpeo empleadas para obtener la pulpa RHPA fueron las siguientes: hidromódulo³ 1:8,5; tiempo de elevación 60 minutos; tiempo de digestión 90 minutos; temperatura máxima 160 °C; concentración del licor 15% NaOH b.m.s. El material fue pre-impregnado con el licor durante 20 minutos antes de la digestión. El pulpeo se llevo a cabo en un digestor M/K de acero inoxidable estacionario de 6 litros con recirculación externa. La pulpa fue lavada para retirar el licor residual y refinada a una consistencia (cs) de 3,12% en un desfibrador Sprout-Waldron de disco sencillo hasta alcanzar un grado de refino de 478 ml CSF.

Caracterización del cartón corrugado

Se tomaron muestras de cartón corrugado de cada tipo (I y II) para evaluar las propiedades: peso básico, calibre, resistencia a la explosión, SCT y FCT. Luego se separaron las láminas del cartón para obtener los tres papeles componentes a los que se les evaluó: peso básico, calibre, resistencia a la explosión y a la tensión, RCT, CLT, CFC, y CMT, tanto en sentido transversal (CD) como en sentido máquina o longitudinal (MD).

Repulpeo del cartón corrugado

La etapa de repulpeo constó de una cocción de 30 minutos a 60°C con 0,5% NaOH b.m.s., posteriormente esta mezcla pasó a un pulper cónico (capacidad de 21 L, 3000 rpm) por 5 minutos a 7,5% cs. La pulpa obtenida fue lavada, prensada y homogenizada.

Mezclas de pulpas y evaluación en el laboratorio

En el laboratorio se hicieron mezclas de pulpa RHPA con pulpa de cada tipo de cartón reciclado, tanto tipo I como tipo II, en porcentajes de mezcla en peso de 15%, 25%, 35% y 50% de pulpa RHPA.

Hojas estándar de prueba de 60 g/m² fueron hechas para la evaluación de propiedades de pulpas (resistencia a la explosión, tensión

³ El hidromódulo es la relación licor de cocción / material lignocelulósico seco (b.m.s) expresada en L/Kg.

y rasgado); y 200g/m² para la evaluación de propiedades de papeles para cartón (RCT, CLT, CCT, CMT e índices de resistencia)⁴. Las propiedades de resistencia fueron medidas para la pulpa RHPA pura en tres grados de refino, para los controles de cada tipo de cartón (0% pulpa RHPA) y para cada porcentaje de mezcla de pulpa RHPA con cada tipo de cartón corrugado siguiendo los métodos estándar TAPPI [14].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades de la pulpa RHPA

Estudios preliminares han mostrado las ventajas del pulpeo a la soda en fibras no madereras como RHPA en términos de rendimiento, número Kappa, impacto ambiental⁵ e índices de resistencia del papel [6,7,15]; las condiciones de pulpeo empleadas están basadas en un estudio reciente [10] en función de estos últimos.

El rendimiento de la pulpa a la soda RHPA obtenida fue 66,2%, el consumo de NaOH 90,9%, el número Kappa⁶ 63 y el contenido de lignina residual 9,5. El pulpeo disolvió el 37% de la lignina presente en la fibra RHPA.

El *freeness*⁷ decrece con el tiempo de refino debido a: el incremento en la fibrilación externa, la fibrilación interna, i.e., hinchamiento; el acortamiento de fibra y la producción de finos [16-18]; incrementando el área de superficie hidrofílica resultando en más agua absorbida y retenida [15]. La fibrilación interna mejora la flexibilidad de las fibras y por tanto su conformabilidad en la red fibrosa, esto se manifiesta en un incremento de la densidad del papel. La densidad influye sobre casi todas las propiedades mecánicas, físicas y eléctricas [16,18,19]. Los índices de explosión, tensión y rasgado aumentaron para la pulpa RHPA, como se observa en la Figura 1, debido al aumento de la densidad logrado con el refino.

⁴ Equivalente al promedio medido de los pesos básicos de cada papel componente de los cartones corrugados.

⁵ El pulpeo con NaOH es más amigable con el ambiente que los procesos al sulfito y kraft [15].

⁶ El número Kappa es una medida del contenido de lignina en la pulpa. Lignina (%) = 0,15 x No Kappa [14].

⁷ *Freeness* es un término sin traducción exacta al español usado ampliamente por papeleros para designar la capacidad de una pulpa para permitir el paso de agua a través de ella (grado de desgote o drenabilidad).

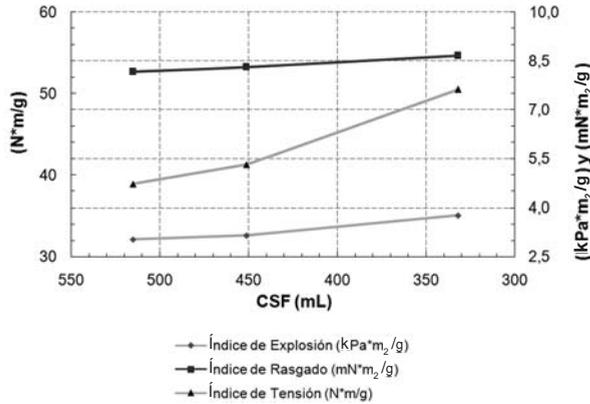


Figura1. Efecto del *freeness* sobre los índices de la pulpa RHPA

Propiedades de las mezclas de pulpas

Los efectos de la adición de pulpa RHPA en pulpas de cartón tipo I y tipo II, son discutidos en función de las propiedades más importantes para papel y cartón.

• Efecto sobre el *freeness*

El *Freeness* en las mezclas de pulpas es medido por incrementos en el *Canadian Standard Freeness*⁸ (CSF) con la adición de pulpa RHPA. Los cambios pueden ser explicados en términos de las propiedades intrínsecas de la fibra reciclada con respecto a las propiedades de la pulpa virgen. Es sabido que la fibra secundaria pierde su capacidad de hinchamiento y flexibilidad debido a la remoción de la hemicelulosa⁹ con los niveles, duración y ciclos secado-rehumectación, i.e., *hornification* [3,4, 20,21].

Después de la adición de fibras vírgenes, cuya estructura interna permanece en gran parte intacta, el hinchamiento podría tener lugar en un mayor grado y como consecuencia el CSF disminuye.

⁸ Canadian Standard Freeness (CSF) es el método más utilizado en el mundo para estimar el alcance de la refinación de una pulpa a través de la medición de su capacidad de desgote.

⁹ La capacidad de absorción de agua de las fibras es función del número de iones aportados por los ácidos carboxílicos presentes en la hemicelulosa [15].

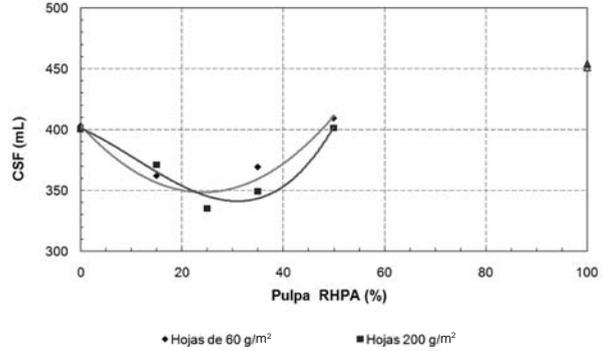


Figura 2. Efecto de la adición de pulpa RHPA al cartón tipo I sobre el *freeness*

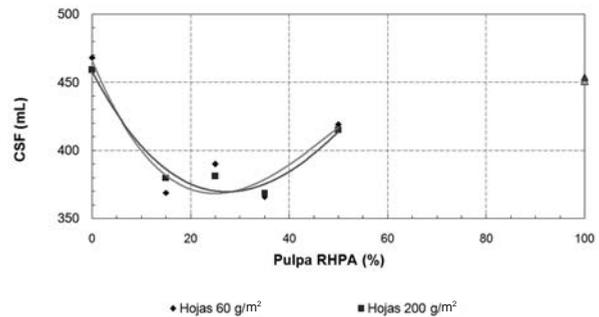


Figura 3. Efecto de la adición de pulpa RHPA al cartón tipo II sobre el *freeness*

Las Figuras 2 y 3 muestran que el CSF decrece con la adición de pulpa RHPA para los dos tipos de cartón, en ambos pesos básicos. El 50% de adición de pulpa RHPA produjo un incremento en el *freeness* debido al mayor número de uniones interfibrilares formadas entre fibras RHPA¹⁰, incrementando la fracción de vacíos y afectando el grado de entrecruzamiento de la red fibrosa.

• Efecto sobre la densidad

La densidad del papel es una medida indirecta de la flexibilidad de la pulpa y conformabilidad de las fibras en la red fibrosa. Los incrementos en la densidad se asumen como consecuencia del reemplazo de fibras rígidas recicladas por fibras flexibles vírgenes de RHPA [15,19]. La "rigidez" de las fibras recicladas produce hojas menos densas. Las Figuras 4 y 5 muestran incrementos en la densidad de las hojas con la adición de pulpa RHPA para el cartón tipo I.

¹⁰ Tres tipos de uniones interfibrilares pueden ser identificadas para la mezcla de pulpa RHPA y fibra reciclada: RHPA-RHPA, reciclado-reciclado y RHPA-reciclado [22].

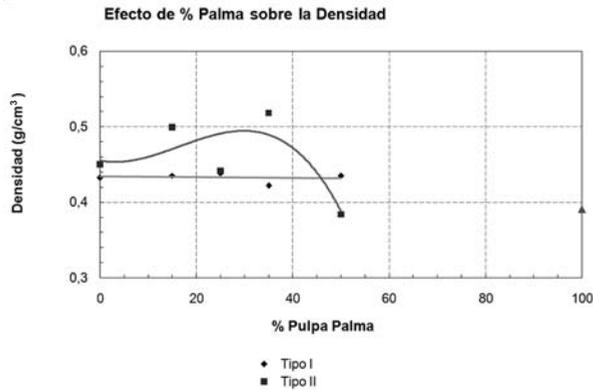


Figura 4. Efecto de la adición de pulpa RHPA sobre la densidad en hojas de 60 g/m²

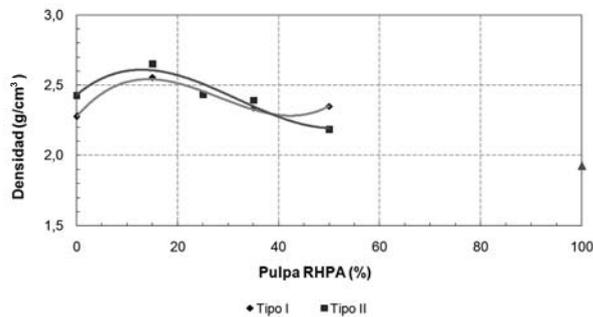


Figura 5. Efecto de la adición de pulpa RHPA sobre la densidad en hojas de 200 g/m²

Las diferencias observadas en la densidad entre los tipos de cartón, el comportamiento de la densidad con la adición de pulpa RHPA y los resultados de la caracterización del cartón, indican que las fibras constituyentes del cartón tipo I han soportado un mayor número de reciclos o que los porcentajes de fibra reciclada en las pulpas de cada cartón son diferentes. Por tanto la adición de pulpa RHPA en el cartón tipo I proporciona un mayor potencial de restauración, por sustitución de fibras, que en el cartón tipo II; permitiendo que la densidad de las mezclas sea más alta que la densidad del control del cartón tipo I en cada porcentaje de adición, incluso 50%.

- Efecto sobre los índices de tensión, explosión y rasgado

La resistencia a la tensión, a la explosión y al rasgado son las propiedades mecánicas más importantes del papel [23]. La Figura 6 muestran

que los índices de resistencia de la mezcla de pulpas son más altos, en cada porcentaje de adición, que los índices del control del cartón tipo I (0% RHPA).

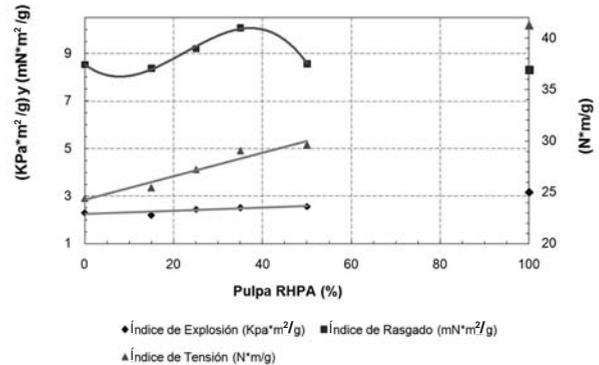


Figura 6. Efecto de la adición de pulpa RHPA sobre los índices del cartón tipo I en hojas de 60 g/m²

La resistencia de un papel depende tanto de la resistencia de las fibras individuales como de la resistencia de la red interfibrilar [17]. Una fibra flexible tiene más área superficial para uniones, por lo tanto la red fibrosa formada por este tipo de fibras mostrará mayor resistencia a los esfuerzos. Esto sugiere que los incrementos en los índices de resistencia están relacionados con los incrementos observados en la densidad de la mezcla de pulpas que es una medida indirecta de la flexibilidad de sus fibras.

Por otro lado, la adición de pulpa RHPA en la pulpa del cartón tipo II no mostró incrementos en los índices de resistencia para ningún porcentaje (Figura 7). Teniendo en cuenta que el mayor porcentaje de fibras que constituyen el cartón tipo II son relativamente más flexibles que las fibras RHPA (lo cual se puede ver al comparar tanto la densidad de estas pulpas puras entre sí, como el comportamiento de la densidad en las mezclas), se sugiere que la sustitución de fibra reciclada por fibra virgen RHPA, no produce un arreglo fibrilar en la red que favorezca la resistencia de este cartón.

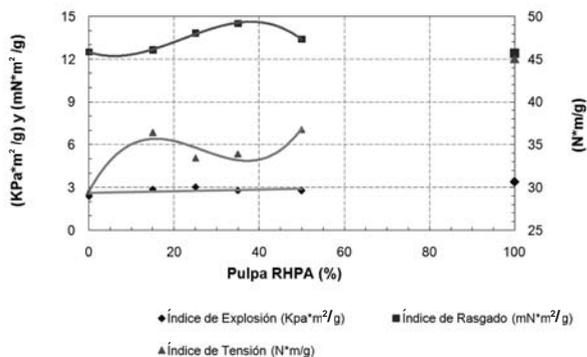


Figura 7. Efecto de la adición de pulpa RHPA sobre los índices del cartón tipo II en hojas de 60 g/m²

• Efecto sobre las propiedades del cartón.

Los embalajes de cartón corrugado bajo efectos de compresión pueden presentar dos tipos de fallas: fallas en la resistencia a la compresión del cartón corrugado y/o fallas en la resistencia de sus papeles componentes [24]. La propiedad más importante de una caja corrugada, es la resistencia a la compresión (BCT), la cual determina el comportamiento de la caja en un medio dinámico [23]. El BCT puede ser estimado a partir de ensayos en porciones de cartón corrugado (SCT o ECT) y a partir de ensayos en los papeles componentes (RCT, CLT, CFC y CMT).

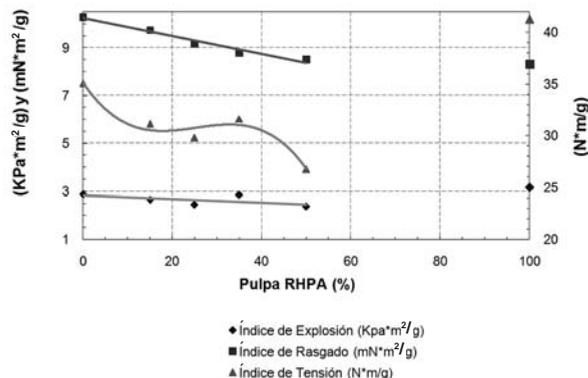


Figura 8. Efecto de la adición de pulpa RHPA sobre las propiedades del cartón tipo I: CLT, CMT, CFC (o CCT) y RCT

Las Figuras 8 y 9 muestran que la adición de pulpa RHPA incrementó todas las propiedades

estructurales de cartones excepto CLT¹¹. Estos resultados demuestran que la red fibrilar formada por fibra reciclada y virgen ofrece gran resistencia a los esfuerzos de compresión para los dos tipos de cartón¹².

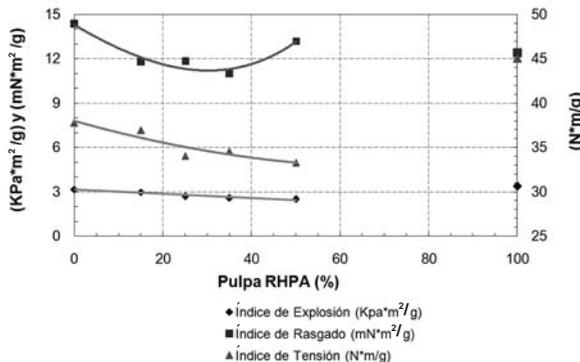


Figura 9. Efecto de la adición de pulpa RHPA sobre las propiedades del cartón tipo II: CLT, CMT, CFC (o CCT) y RCT

Por otra parte, el mayor porcentaje de cambio en las propiedades del cartón tipo I respecto al cartón tipo II, con la adición de pulpa RHPA, coincide con el mayor potencial de restauración que la fibra virgen tiene sobre la fibra menos flexible del cartón tipo I. Las propiedades RCT, CMT y CFC se restauraron en cada tipo de cartón a partir de 15% de adición de pulpa RHPA.

• Correlaciones para estimar propiedades de cartones

Existen correlaciones para estimar a partir del RCT, CFC y CLT de los papeles componentes la resistencia a la compresión vertical (ECT o SCT) del cartón corrugado. Asimismo el ECT se relaciona con la resistencia a la compresión dinámica de la caja (BCT) a través de la conocida ecuación de McKee [14,25].

Teniendo en cuenta la exactitud de las correlaciones aquí empleadas y su amplia utilización en la industria, es posible proyectar

¹¹ Debido a la alta dispersión que presentan los valores del ensayo CLT los papeleros prefieren los valores RCT.

¹² La anisotropía del papel hace necesario que se analice la resistencia de las hojas en función de la dirección en que se aplican los esfuerzos. Así, las pruebas practicadas al papel se dividen en esfuerzos de compresión (RCT, CFC, CMT y CLT) y esfuerzos de tensión (tensión y rasgado).

las propiedades de compresión de los papeles obtenidos en cada porcentaje de mezcla, para estimar el comportamiento que tendrían si se utilizaran como cartón corrugado para la producción de embalajes. Debido al incremento

observado en las propiedades para cartones de las pulpas mezcladas, las propiedades proyectadas para cartón superan las propiedades obtenidas experimentalmente para cada tipo de cartón corrugado en la caracterización.

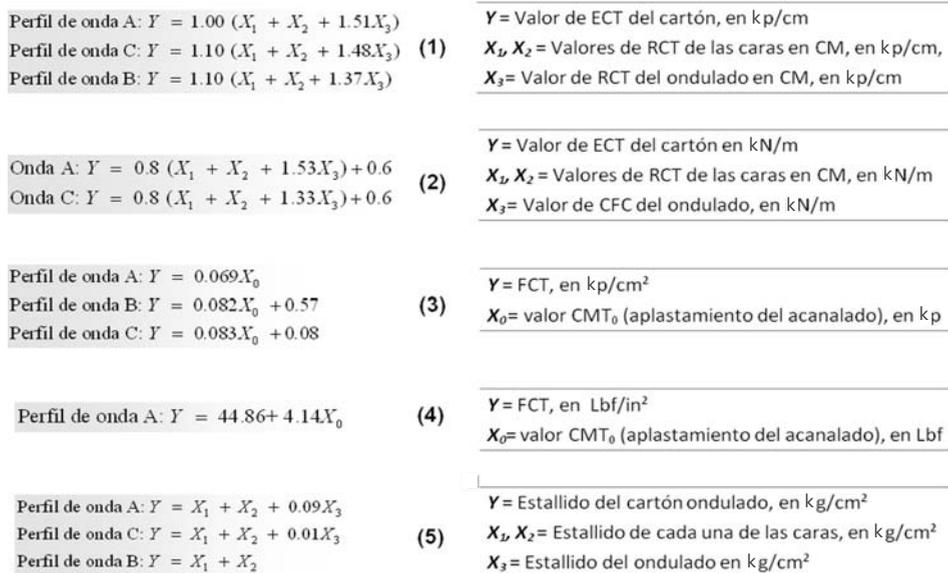


Figura 10. Correlaciones para estimar el comportamiento de cartón corrugado y embalajes a partir de las propiedades de sus papeles componentes [14, 24, 25]

La Tabla 1 muestra que la adición de pulpa RHPA puede incrementar la propiedad SCT para los dos tipos de cartón a partir del 15% de adición de pulpa RHPA. Para el cartón tipo I se alcanzó un incremento hasta de 54% en la propiedad SCT con 25% de pulpa RHPA mediante la ecuación 1; porcentaje similar se obtuvo con la ecuación 2 para el mismo contenido de fibra RHPA. Asimismo el 25% de adición de RHPA mostró el mayor incremento en el índice de explosión con 57%.

El cartón tipo II presentó el mayor incremento en el SCT con 50% de pulpa RHPA, el porcentaje de cambio del índice de explosión disminuyó con cada porcentaje de adición de pulpa RHPA superando en todos los casos el valor de referencia. Aunque el FCT proyectado no superó la propiedad medida para el cartón tipo II, el incremento cercano al 7% logrado con 25% de pulpa RHPA en el cartón tipo I no debe ser despreciado.

Tabla 1. Porcentaje (%) de cambio del SCT, FCT e índice de explosión estimado a través de correlaciones para los papeles componentes en cada porcentaje de adición respecto a las cajas de cartón originales

Cartón	Pulpa RHPA (%)	SCT ⁽¹⁾ (%)	SCT ⁽²⁾ (%)	FCT ⁽³⁾ (%)	FCT ⁽⁴⁾ (%)	Indice Explosión ⁽⁵⁾ (%)
Tipo I	0	27,93	31,69	-37,25	-22,62	23,58
	15	43,43	47,42	-22,14	-5,40	48,47
	25	53,99	55,40	-11,37	6,88	57,43
	35	49,06	50,70	-9,30	9,24	49,66
	50	46,71	56,34	-9,06	9,50	41,56
Tipo II	0	3,44	7,05	-27,19	-26,04	39,74
	15	6,33	15,73	-8,36	-8,53	33,38
	25	12,12	16,46	-11,72	-11,67	21,03
	35	13,56	18,81	-3,64	-4,15	15,28
	50	22,24	23,69	-4,62	-5,07	13,16

NOTA: Los superíndices junto a la propiedad en cada columna, corresponden a la ecuación de la figura 10 empleada en la estimación.

CONCLUSIONES

Las propiedades de resistencia a la compresión de los cartones reciclados fueron incrementadas con la adición de la pulpa RHPA a la soda. Los cambios sobre las propiedades variaron dependiendo de las propiedades individuales, el porcentaje de adición y el tipo de cartón usado y no estuvieron en todos los casos linealmente relacionados con las propiedades de la pulpa RHPA.

Las propiedades más importantes para cartones: RCT, CMT y CFC, aumentaron para los dos tipos de cartones empleados, a partir del porcentaje de adición más bajo de RHPA (15%). Para el cartón tipo I se lograron incrementos hasta de un 20% en el RCT; 45% en el CMT y 27% en el CFC. El cartón tipo II presentó incrementos máximos en el RCT de 18%, 40% en el CMT y 16% en el CFC.

El SCT estimado a partir de correlaciones indica que la adición de 25% de pulpa RHPA puede incrementar hasta un 54% esta propiedad para el cartón tipo I respecto a las cajas originales. Para el cartón tipo II se puede lograr un incremento hasta del 22% en el SCT con 50% de adición de RHPA.

Es técnicamente factible utilizar la fibra RHPA en inserciones para mejorar las propiedades mecánicas estructurales de cartones de denominación comercial 620 y 720 kgf/m, aumentando así la vida útil de los embalajes y aplazando su disposición final en los rellenos sanitarios. Además, el valor agregado dado a los residuos de la palma africana a través de esta aplicación alternativa, puede contribuir a la competitividad de la cadena productiva del aceite de palma

REFERENCIAS

- [1] REVISTA DINERO. Pulpa papel y cartón [en línea]. <http://www.dinero.com/noticias-caratula/pulpa-papel-carton/34885.aspx> [citado en 25 de mayo de 2007]
- [2] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN-DNP. (2007). Documento sectorial, cadena pulpa, papel, cartón, industria gráfica, industria editorial: agenda interna para la productividad y la competitividad. Bogotá: DNP p.11.
- [3] HUBBE, M. A., VENDITTI, R. A., ROJAS, O. J. (2007). What happens to cellulosic fibers during papermaking and recycling?. *BioResources Online Journal*. Vol.2 (4) [en línea] http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_02/BioRes_02_4_739_788_Hubbe_VR_Recycling_Cellulosic_Fibers_Review.pdf
- [4] MINOR J. L. SCOTT C. T., ATALLA Rajai H. (1993). Restoring bonding strength to recycled fibers. *Recycling symposium*. TAPPI Press, New Orleans. [en línea] <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1993/minor93a.pdf>
- [5] SMURFIT KAPPA CARTÓN DE COLOMBIA. Reciclaje [en línea]. <http://www.smurfitkappa.com.co/DropdownMenu/Products/Resources/Recycling/> [citado en 2006]
- [6] WAN ROSLI, W.D., LAW, K.N., ZAINUDDIN, Z., ASRO, R. (2004). Effect of pulping variables on the characteristics of oil-palm frond-fiber. *BioResource Technology* [base de datos en línea]. Vol.93 p.233-240. Disponible en SCIENCE DIRECT Database.
- [7] WAN ROSLI, W.D., ZAINUDDIN, Z., LAW, K.N., ASRO, R. (2007). Pulp from oil palm fronds by chemical processes. *Industrial Crops and Products* [base de datos en línea]. Vol.25; p.89-94.
- [8] LAW, KWEI-NAM, JIANG, X. (2001). Comparative papermaking properties of oil-palm empty fruit bunch. *Tappi Journal*. Vol.84, No.1; p.95.
- [9] ROJAS, E., GOMEZ, D. (2004). Obtención y evaluación de pulpas semiquímicas al sulfito neutro a partir de la hoja de palma africana. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, p.81
- [10] RIOS S.M, VESGA, S. (2008). Obtención y evaluación de pulpa a partir del raquis de la palma africana mediante los procesos soda y soda-AQ. Trabajo de grado (Químico). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, p. 109
- [11] VALDIVIESO, L. (2003) Obtención de pulpas a la soda en frío a partir de la hoja de palma

- africana, blanqueo y evaluación. Trabajo de grado (Químico). Universidad Industrial de Santander Bucaramanga, p. 91
- [12] CONVENIO INTERINSTITUCIONAL DE COOPERACIÓN UPME – INDUPALMA – CORPODIB. (2003). Programa estratégico para la producción de biodiesel – combustible automotriz- a partir de aceites vegetales. Bogotá: CORPODIB, p. 445
- [13] GARCÍA, J.A. (2008). Programa de plantas de beneficio. En: CONGRESO NACIONAL DE CULTIVADORES DE PALMA DE ACEITE (36°, Bucaramanga). XXXVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite [en línea] http://www.fedepalma.org/congreso/2008/presentaciones/6_Plantas_Beneficio.pdf.
- [14] Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (1994). TAPPI Test methods. Atlanta: TAPPI Press. P. 1400
- [15] WAN ROSLI, W.D., ZAINUDDIN, Z., LAW, K.N., ASRO, R. (2005). Upgrading of recycled paper oil palm fiber soda pulp. *Industrial Crops and Products* [en línea]. No.21; p.325-329.
- [16] RUSHDAN I., LATIFAH J., HOI W.K., MOHD NOR M.Y. (2007). Commercial-scale production of soda pulp and medium paper from oil palm empty fruit bunches. *Journal of Tropical Forest Science* [en línea]. Vol.19, No.3. p.121-126.
- [17] HILTUNEN, Eero. (2003) On the beating of reinforcement pulp. 65 h. Doctoral thesis (Doctor of Science in Technology). Helsinki University of Technology. Department of Forest Products Technology. Laboratory of Paper Technology. Espoo (Finland).
- [18] NISHI, K. B., VIET, H., KIEN, L. N. (2007). A comparative study of the effect of refining on physical and electrokinetic properties of various cellulosic fibres. En: *Bioresource Technology*, [base de datos en línea]. No.98; p.1647–1654.
- [19] RUSHDAN, I. (2003). Structural, mechanical and optical properties of recycled paper blended with oil palm empty fruit bunch pulp. En: *Journal of Oil Palm Research*. Vol.15, No.2. p.28-34
- [20] SUTJIPTO, E.R, LI, K., PONGPATTANASUEGSA, S., NAZHAD, M. M. (2008). Effect of recycling on paper properties. *Tappsa Journal*. [en línea] http://www.tappsa.co.za/archive3/Journal_papers/Effect_of_recycling_on_paper_p/effect_of_recycling_on_paper_p.html
- [21] NAZHAD, M. M, PASZNER, L. (1994). Fundamentals of strength loss in recycled paper. En: *Tappi Journal*. Vol.77, No.9. p. 171-179
- [22] KARLSSON, H. (2007). Some aspects on strength properties in paper composed of different pulps. Licentiate thesis. Karlstad University Studies. Faculty of technology and Science Chemical engineering. Sweden, 56h. [en línea]: http://www.diva-portal.org/diva/getDocument?urn_nbn_se_kau_diva-1196-1__fulltext.pdf
- [23] SCHUENEMAN, H. H, CP-P, MH. (2008). Paper and corrugated paperboard: The who, what, when, where, why, and how of the most commonly used packaging material. WESTPAK, INC. San José, California. [en línea] <http://www.westpak.com/techpapers>
- [24] ESCOTO G, T. (1996). Control de calidad en pulpas, papeles de embalajes y cartones: aspectos fundamentales y el concepto de calidad total. México: Departamento de madera celulosa y papel. Universidad de Guadalajara. p. 283
- [25] TAGLE S., J.L. (1982). Papeles Componentes del Cartón Ondulado. *Investigación y técnica del papel*. Tomo 19, No.73; p. 269-287