

Rev. Cienc. Tecnol.

Año 7 / Nº 7b / 2005 / 54-62

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE PULPAS SGW Y RECICLADAS EN LA FABRICACIÓN DE CARTÓN MULTICAPA

¹Vallejos, María E.; ¹Area, María C.; ²Mangolini Neves, José.

¹Programa de Investigación de Celulosa y Papel, FCEQyN, UNaM. Félix de Azara 1552, (3300), Posadas, Misiones, Argentina, Tel/Fax: 54-3752- 422198. (u1054078@correu.udg.es; m_c_area@fceqyn.unam.edu.ar).

²Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.; D.P.F.-A.C.P. Av. Prof. Almeida Prado, 532, 05508-901 São Paulo, SP. Brasil Tel.: 055(011) 3767-4449 / Fax: 055(011) 3767-4098. (jmango@ipt.br).

EVALUATION OF THE BEHAVIOR SGW AND RECYCLED PULPS IN MULTIPLY BOARD MANUFACTURE

ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the behavior of different combinations of stone groundwood pulp (SGW) with two qualities of recycled fibers (paper of long fiber Kraft bags and newspapers), in Duplex and Triplex multiply board. Duplex boards of 120 g/m² were made using a mixture of SGW and recycled newspaper in the inferior layer, with a superior layer of 100% recycled Kraft pulp. Triplex boards of 180 g/m² were formed with a superior layer of 100% recycled Kraft, and alternating newspaper recycled pulp and SGW in the other two layers (central and inferior). In the third part of the work, another Triplex was elaborated maintaining the layers of recycled Kraft 100% and SGW, and replacing the inferior layer by a recycled Triplex. Conventional physical and optical tests were practiced. Conclusions about the best combination of pulps in all obtained boards were elaborated.

KEYWORDS: Multiply board, stone groundwood, recycled pulps, physical properties, stiffness.

RESUMEN

El objetivo del trabajo es evaluar el comportamiento de diferentes combinaciones de pulpas mecánicas a la piedra (SGW) con dos calidades de fibras recicladas (papel de bolsas kraft de pino y papel periódico), en cartones multicapa Duplex y Triplex. Los cartones Duplex de 120 g/m² se realizaron utilizando en la capa inferior un empaste de pulpa mecánica SGW y pulpa reciclada de diario, con capa superior de pulpa reciclada kraft 100%. Los cartones Triplex de 180 g/m² se formaron con una capa superior de pulpa reciclada kraft 100%, y otras dos, media e inferior, en las que se alternaron pulpas SGW y reciclada de diario. En la tercera parte del trabajo se confeccionó otro Triplex manteniendo las capas de reciclado kraft 100% y SGW, y sustituyendo la capa inferior por Triplex reciclado. Se practicaron los ensayos físicos y ópticos convencionales. Se elaboraron conclusiones sobre la mejor combinación de pulpas en todos los cartones obtenidos.

PALABRAS CLAVES: Cartón multicapa, pulpa mecánica a la piedra, pulpas recicladas, propiedades físicas, rigidez.

INTRODUCCIÓN

Los cartones multicapa se fabricaron tradicionalmente utilizando pulpa kraft en las capas superior e inferior, y materiales de bajo costo en las capas intermedias, tales como SGW, TMP y CTMP. Colocando diferentes tipos de pulpa en las distintas capas se logra el mejoramiento de la economía de fibras y de las propiedades de la hoja, básicamente la rigidez a la flexión (1, 2, 3).

La industria del cartón tiende a utilizar materias primas que produzcan menor costo global, mayor aprovechamiento de los recursos fibrosos y un impacto ambiental positivo.

La utilización de fibras de menor costo (fibra reciclada, pulpa mecánica) permitiría la instalación de pequeños emprendimientos a nivel regional para la producción de cartones multicapa, con un impacto positivo sobre los aspectos socioeconómicos del lugar.

En las estructuras de cartones multicapa es importante el tipo de material que conforma cada capa, y en especial su ubicación relativa. La composición de cada capa depende del uso final del cartón.

Las propiedades más importantes del material para cartón de embalaje son la rigidez y la resistencia a la compresión. Las pulpas mecánicas se caracterizan por poseer fibras rígidas, que aportan alto volumen específico y rigidez a la flexión. Para una capa dada, la rigidez es función del módulo de elasticidad y de la tercera potencia del espesor. Por este motivo, el espesor es más importante que el módulo de elasticidad al evaluar las características de la capa.

La rigidez disminuye con la adición de pulpa química, ya que estas poseen fibras más flexibles, produciendo papeles más densos. La rigidez total se puede predecir analíticamente a partir de las propiedades elásticas de los materiales, considerando al cartón como a una viga con carga. Para una hoja homogénea de ancho unitario, la rigidez aumentará con el cubo del espesor de acuerdo con la ecuación:

$$S = \frac{E \cdot I}{a} = \frac{E \cdot t^3}{12} \quad (1)$$

Donde:

$$I = \frac{a \cdot t^3}{12} \quad (2)$$

a = Ancho

I = Momento de inercia de la sección transversal de la hoja

t = Espesor de la hoja

E = Módulo de elasticidad

S = Rigidez a la flexión

La rigidez total del cartón multicapa es:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_k \quad (3)$$

$$R = E_1 I_1 + E_2 I_2 + \dots + E_k I_k \quad (4)$$

k = Número de capas

Ek = Módulo de elasticidad de la capa k

Ik = Momento de Inercia de la capa k

La rigidez del cartón multicapa (S), se puede predecir de la siguiente ecuación:

$$S = \frac{D - B^2}{A} \quad (5)$$

Donde:

$$A = \sum (E_k)_k (z_z - z_{z-1}) \quad (6)$$

$$B = \frac{1}{2} \sum (E_k)_k (z_z^2 - z_{z-1}^2) \quad (7)$$

$$D = \frac{1}{3} \sum (E_k)_k (z_z^3 - z_{z-1}^3) \quad (8)$$

Las coordenadas de las capas se calculan mediante:

$$Z_0 = -\frac{t}{2} \quad K = 0 \quad (9)$$

$$Z_k = Z_{k-1} + t_k \quad K = 1, 2, \dots, k \quad (10)$$

Donde:

t = Espesor total

t_k = Espesor de la capa k

Con estas ecuaciones puede calcularse la rigidez de un cartón multicapa, a partir de los espesores de cada capa y su módulo de elasticidad (4).

El objetivo general del trabajo fue evaluar el comportamiento de diferentes combinaciones de pulpas SGW con fibras recicladas en cartones multicapa Duplex y Triplex. El trabajo se realizó en tres etapas, intentando, en cada caso, optimizar la calidad del cartón:

- Se determinaron las mejores proporciones de pulpa SGW y reciclada en empastes, que se utilizarán como

capa inferior en un cartón Duplex, (con capa superior de pulpa reciclada kraft 100%).

- Se establecieron la posición y el espesor de las capas de pulpas SGW y reciclada en un cartón Triplex, compuesto de una capa superior de pulpa reciclada kraft 100% y otras dos, media e inferior, alternando pulpas SGW y reciclada.

- Se determinó la perspectiva de reutilización futura del cartón Triplex formado en las condiciones determinadas en el punto anterior, o sea, el número de reciclados al que puede someterse sin deteriorar las propiedades. Para esto, sobre la base del mejor punto obtenido en el ítem anterior, se mantuvieron las capas de reciclado kraft 100% y de SGW, y se sustituyó la tercera capa por la pasta del cartón Triplex reciclado.

METODOLOGÍA

Como materias primas se utilizaron pulpas SGW de 71 °SR, proveniente de la Empresa Klavin de Telémaco Borba, Brasil, (denominada S), papel reciclado de 22 °SR, proveniente de bolsas de harina recolectadas en Argentina, producidas con kraft 100% de pino (denotada K) y papel periódico reciclado de 56 °SR, recolectado en Encarnación, Paraguay, proveniente de Chile (llamado D).

Para la formación de hojas multicapa de la primera y segunda parte se utilizó un formador Regmed de laboratorio tipo Rapid-Köthen. Se superpusieron las hojas húmedas (2 o 3 según el cartón) antes de proceder a la etapa de secado. Las hojas se elaboraron según dos gramajes: 120 g/cm² (Duplex) y 180 g/m² (Triplex).

La primera parte del trabajo consistió en la elaboración de cartones Duplex (120 g/m²). Estos se formaron con una capa superior de 60 g/m² de pulpa kraft (K) y de una capa inferior de un empaste de pulpas SGW y diario (S+D). La configuración estructural de las capas de los cartones (cinco), se presenta en la Tabla 1 y en la Figura 1.

En la segunda parte del trabajo se formaron los cartones Triplex, superponiendo tres hojas húmedas (30-60-90 g/cm²) antes de proceder a la etapa de secado. El gramaje del cartón obtenido fue de 180 g/cm². La composición de

los cartones se presenta en la tabla 2. La configuración estructural de las capas se muestra en la figura 2.

TABLA 1. Configuración estructural de los cartones

Configuración y composición	% de S
$K_{1/2}D_{1/2}$	0
$K_{1/2}(S+D)_{1/2}$	25
$K_{1/2}(S+D)_{1/2}$	50
$K_{1/2}(S+D)_{1/2}$	75
$K_{1/2}S_{1/2}$	100

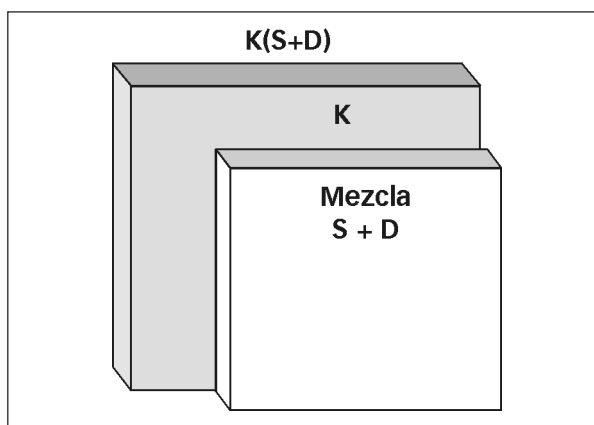


FIGURA 1. Configuración estructural de los cartones dúplex.

TABLA 2. Configuración estructural de los cartones Triplex.

Configuración de los Triplex	K	D	S
$K_{1/3}K_{1/3}K_{1/3}$	1,00	-	-
$D_{1/3}D_{1/3}D_{1/3}$	-	1,00	-
$S_{1/3}S_{1/3}S_{1/3}$	-	-	1,00
$K_{1/3}D_{1/3}D_{1/3}$	0,333	0,666	-
$K_{1/3}S_{1/3}S_{1/3}$	0,333	-	0,666
$K_{1/3}D_{1/3}S_{1/3}$ $K_{1/3}D_{1/3}S_{1/3}$	0,333	0,333	0,333
$K_{1/3}D_{1/2}S_{1/6}$ $K_{1/3}S_{1/6}D_{1/2}$	0,333	0,500	0,166
$K_{1/3}D_{1/6}S_{1/2}$ $K_{1/3}S_{1/2}D_{1/6}$	0,333	0,166	0,500
$K_{1/6}D_{1/3}S_{1/2}$	0,166	0,333	0,500
$K_{1/3}S_{1/2}D_{1/6}$	0,166	0,500	0,333

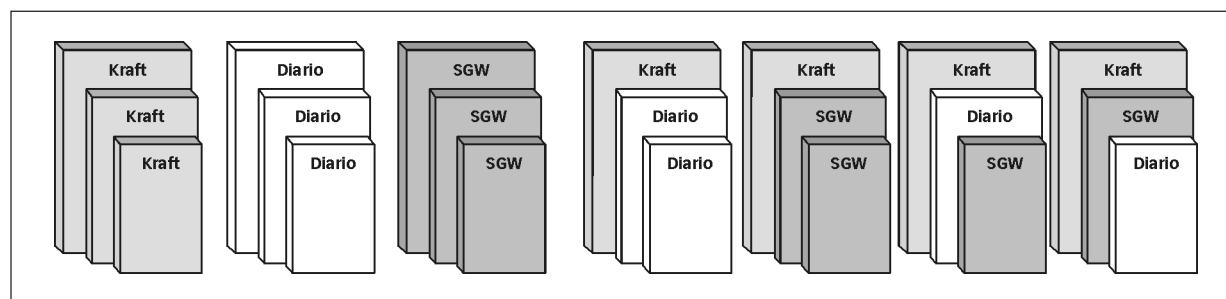


FIGURA 2. Configuración estructural de los cartones triplex.

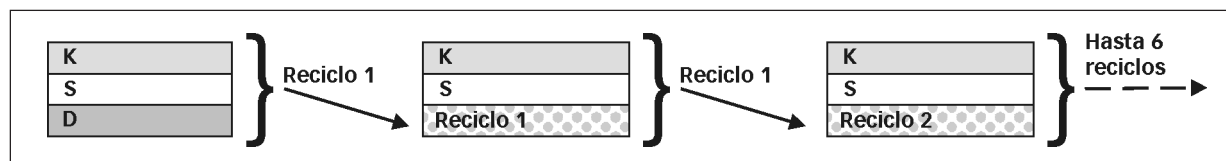


FIGURA 3. Proceso de reciclado y formación de los cartones Triplex.

La tercera parte involucró el proceso de reciclado, incluyendo:

a) Reciclo de hojas de 60 g/m² de las pulpas puras de referencia K y S (3 reciclados).

b) Reciclo de los cartones Triplex de 180 g/m².

A partir de los resultados de los ensayos físicos y ópticos de la segunda parte, se determinó que el mejor cartón es el de composición 1/3 K, 1/3 S y 1/3 D, con S en la capa media. El proceso de reciclado y formación de hojas multicapa se indica en la Figura 3.

Los cartones se confeccionaron en una formadora TAPPI. La desintegración se realizó en un desfibrador British. Las pulpas desintegradas se utilizaron para formar las hojas componentes del cartón, de 1,2 g cada una. Las hojas se prensaron juntas para formar el cartón multicapa, y luego se secaron al aire, bajo tensión, en una atmósfera acondicionada a 23°C y 50% de humedad relativa.

El procedimiento de reciclado en laboratorio consistió en la repetición del ciclo: formación de los cartones (sin recirculación de finos) -prensado-secado-desintegración, según se describe en la Figura 4. Se realizó un total de 5 ciclos.

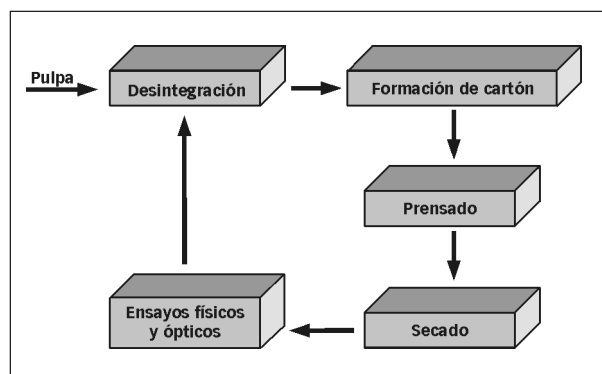


FIGURA 4. Procedimiento de reciclado en el laboratorio.

Sobre los cartones Duplex y Triplex se practicaron los ensayos físicos y ópticos convencionales, según normas TAPPI.

Los módulos de elasticidad de las pulpas se determinaron mediante dos métodos:

1. Método A: A partir de los valores de espesor y rigidez de los cartones realizados con pulpas puras (experiencias 1, 2 y 3), utilizando la fórmula (5). Estos valores fueron utilizados para predecir los valores teóricos de rigidez.

2. Método B: A partir de la pendiente al origen del gráfico Tracción-Elongación, obtenidos en los ensayos de resistencia a la tracción para los tres tipos de pulpa.

Los trabajos se realizaron en los laboratorios del PROCYP (Misiones, Argentina) y en el IPT (Sao Paulo, Brasil).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto de la pulpa mecánica en los cartones Duplex

Las propiedades físicas y ópticas de los cartones Duplex se muestran en la Tabla 3 (se incluyen los resultados de rigidez teórica calculada mediante las ecuaciones 5 a 10).

La Tabla 3, indica que el agregado de pulpa mecánica al empaste utilizado en la capa inferior de los cartones Duplex disminuyó significativamente las resistencias mecánicas en general, y en mayor proporción la resistencia a la tracción. Esto puede también observarse en la Figura 5 (32% al pasar de 0-100% de pulpa SGW).

El incremento en el volumen específico (18% al pasar de 0 a 100% de SGW) debiera corresponderse con un aumento en la rigidez. Sin embargo, se determinó estadísticamente que no existen diferencias significativas en la rigidez con el aumento del porcentaje de SGW en el reverso.

TABLA 3. Resultados de los ensayos físicos y ópticos para los cartones Duplex.

Pulpa Mecánica (%)	Volumen específico (cm ³ /g)	Espesor (mm)	I. Rasgado (mN.m ² /g)	I. Explosión. (kPa.m ² /g)	I. Tracción (Nm/g)	Rigidez experimental (mN m)	Rigidez teórica (mN m)
0	2,21	0,2741	4,44	2,09	35,94	1,25	1,22
25	2,25	0,2767	4,67	1,83	30,75	1,19	1,24
50	2,33	0,2913	4,44	1,86	29,54	1,16	1,25
75	2,36	0,2913	3,93	1,74	26,55	1,09	1,26
100	2,60	0,3223	3,70	1,56	24,47	0,96	1,27

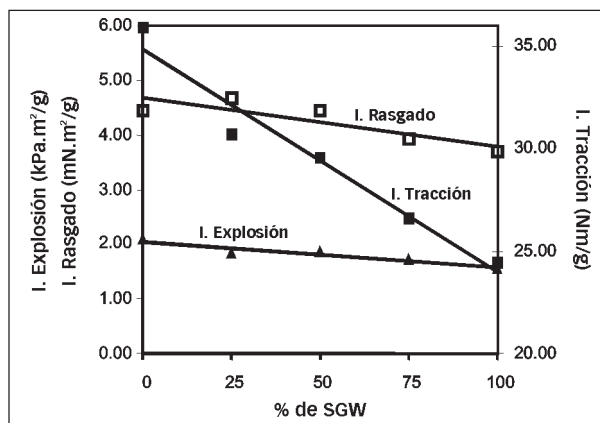


FIGURA 5. Variación de las resistencias mecánicas con la proporción de pulpa SGW en el empaste

No existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores experimentales y teóricos de rigidez.

Se concluye que la presencia de pulpa reciclada de diario en el reverso contribuye más a la rigidez del cartón multicapa que la pulpa mecánica SGW.

Si bien el agregado de pulpa mecánica produjo una disminución general de las resistencias, no afectó significativamente la permeabilidad al aire, delaminación entre capas, rigidez, brightness, y las coordenadas de color L^* y b^* , según se muestra en la Tabla 4.

TABLA 4. Propiedades que no fueron afectadas por proporción de pulpa SGW.

Propiedad	Media
Permeabilidad al aire ($\mu\text{m}^2/\text{Pa.s}$)	8,04
Delaminación entre capas (kg/cm^2)	3,76
Rigidez experimental (mN m)	1,14
Rigidez teórica (mN m)	1,25
Brightness (% ISO)	22,0
L^*	64,4
b^*	18,8

El efecto de la pulpa mecánica en los cartones Triplex

Para el análisis se consideraron los factores posición y gramaje de la pulpa S en la composición del cartón, (Tabla 5). Los resultados obtenidos de los ensayos físicos y ópticos se muestran en la Tabla 6.

TABLA 5. Gramaje de la capa (g/m^2).

Posición	Gramaje de la capa (g/m^2)		
Interior	30	60	90
Reverso	30	60	90

Se determinó estadísticamente que la rigidez es la única propiedad que presenta diferencia significativa con respecto a la posición de la capa de pulpa de SGW. La posición KSD presenta mayores valores de rigidez que la posición KDS (Figura 5).

Sin embargo, la rigidez no presentó diferencias significativas con el aumento del gramaje de la pulpa SGW en las capas interior y reverso.

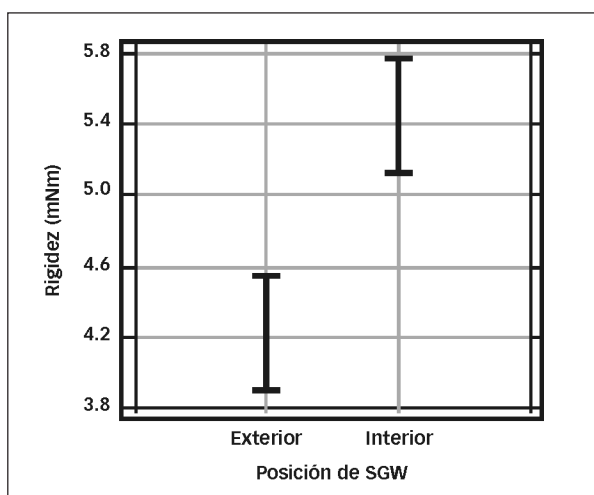


FIGURA 5. Variación de la rigidez con la posición de la pulpa SGW.

TABLA 6. Resultados obtenidos de los ensayos físicos y ópticos de los cartones Triplex.

N°	Composición Capas	V. E. (cm^3/g)	Espesor (mm)	I. Rasgado ($\text{mN.m}^2/\text{g}$)	I. Explosión ($\text{kPa.m}^2/\text{g}$)	Rigidez experimental (mN/m)	Rigidez teórica (mN/m)	I. Tracción (Nm/g)
1	$K_{1/3}K_{1/3}K_{1/3}$	1,85	0,3405	9,42	4,60	3,62	3,20	48,51
2	$D_{1/3}D_{1/3}D_{1/3}$	2,36	0,4395	3,03	1,92	4,63	4,63	32,86
3	$S_{1/3}S_{1/3}S_{1/3}$	2,70	0,4925	1,13	0,71	4,95	4,95	17,45
4	$K_{1/3}D_{1/3}D_{1/3}$	2,11	0,3860	4,50	2,00	4,12	4,39	21,05
5	$K_{1/3}S_{1/3}S_{1/3}$	2,35	0,4305	3,23	1,11	4,72	4,80	21,84
6	$K_{1/3}D_{1/3}S_{1/3}$	2,25	0,4140	4,24	1,50	4,43	4,30	28,38
7	$K_{1/3}S_{1/3}D_{1/3}$	2,27	0,4155	4,30	1,59	5,96	4,92	28,52
8	$K_{1/3}S_{1/6}D_{1/2}$	2,21	0,3973	4,06	1,76	5,28	4,65	31,15
9	$K_{1/3}D_{1/6}S_{1/2}$	2,33	0,4251	3,28	1,21	4,38	4,55	23,76
10	$K_{1/3}S_{1/2}D_{1/6}$	2,33	0,4319	3,16	1,18	5,07	5,03	22,67
11	$K_{1/3}D_{1/2}S_{1/6}$	2,22	0,4055	4,21	1,73	3,84	4,21	30,82
12	$K_{1/6}S_{1/2}D_{1/3}$	2,36	0,4265	2,25	1,32	5,04	5,37	24,31
13	$K_{1/6}D_{1/2}S_{1/3}$	2,46	0,4505	2,84	1,38	4,31	4,61	25,71

Las resistencias mecánicas del cartón disminuyeron significativamente al aumentar el gramaje de pulpa SGW, siendo el Índice de tracción la propiedad que más descendió. El volumen específico presentó un comportamiento inverso (Figuras 6 y 7).

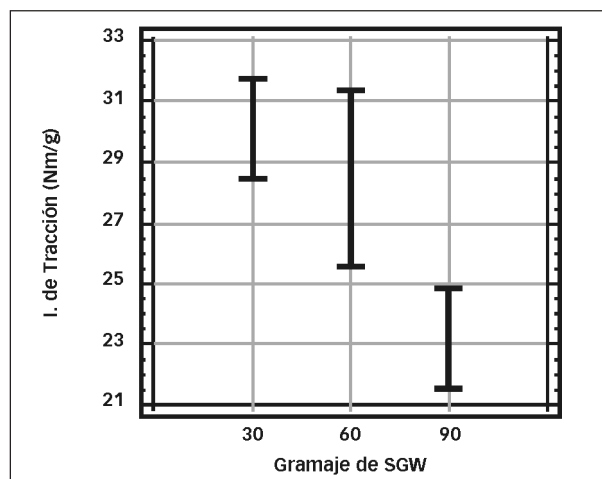


FIGURA 6. Variación del volumen específico con el gramaje de la pulpa SGW.

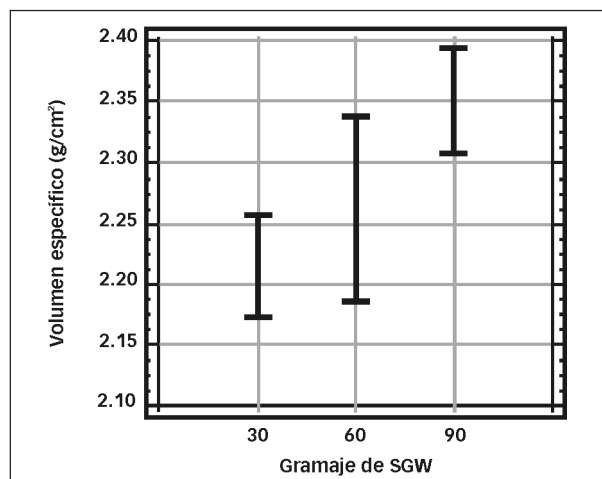


FIGURA 7. Variación del índice de tracción con el gramaje de la pulpa SGW.

Las propiedades que no presentaron diferencias significativas con la variación de la posición y composición de la pulpa SGW se indican en la Tabla 7, con sus medias.

TABLA 7. Propiedades que no presentaron diferencias significativas con la variación de la posición y composición de la pulpa SGW

Propiedad	Media
Permeabilidad al aire ($\mu\text{m} / \text{Pa.s}$)	3,28
Delaminación entre capas (kg/cm^2)	4,03
Brightness (ISO)	22,1
L*	64,6

La Tabla 8 presenta los valores del módulo de elasticidad de las pulpas puras, obtenidos según los dos métodos descriptos en la metodología.

TABLA 8. Módulos de elasticidad de las pulpas puras.

Pulpa	Método A	Método B
K	1100	1358
D	655	742
S	497	340

Efecto del reciclado

• Reciclo de pulpas puras

Las propiedades físicas y ópticas de las pulpas K y D recicladas se indican en la Tabla 9. La Tabla 10 presenta los resultados correspondientes a los reciclos de la pulpa S.

Los porcentajes de cambios de las propiedades de las pulpas K y S se muestran en las Figuras 8 a 11.

Volumen específico: Tanto en el caso de la pulpa química K, como en la pulpa mecánica S, se observó una leve disminución en el primer reciclo (aproximadamente 5% del V. E. Inicial), sufriendo pocos cambios con los posteriores.

La pulpa química no refinada muestra poco cambio en la densidad de la hoja durante el reciclado. Esto podría deberse a la contraposición de factores. Por un lado,

TABLA 9. Propiedades físicas y ópticas de las pulpas K y D recicladas.

Reciclo	Espesor (mm)	V. E. (cm^3/g)	I. Rasgado ($\text{mN m}^2/\text{g}$)	I. Tracción (N m/g)	Elongación (%)	I. Explosión ($\text{kPa m}^2/\text{g}$)	Permeabilidad al aire ($\mu\text{m}/\text{Pa.s}$)
0	0,1195	1,849	21,92	38,98	3,61	2,91	38,4
1	0,1152	1,780	17,09	42,90	3,47	3,17	32,3
2	0,1125	1,772	18,13	42,06	3,39	3,22	31,9
3	0,1135	1,781	18,78	38,98	2,76	2,68	36,5

TABLA 10. Propiedades físicas y ópticas de la pulpa S reciclada.

Reciclo	Espesor (mm)	V. E. (cm^3/g)	I. Rasgado ($\text{mN m}^2/\text{g}$)	I. Tracción (N m/g)	Elongación (%)	I. Explosión ($\text{kPa m}^2/\text{g}$)	Permeabilidad al aire ($\mu\text{m}/\text{Pa.s}$)
0	0,2000	3,060	1,20	5,81	0,77	0,19	54,3
1	0,1772	2,858	0,97	6,66	0,77	0,20	34,8
2	0,1939	2,883	1,16	7,44	0,87	0,23	34,8
3	0,1839	2,925	1,14	7,20	0,73	0,23	41,4

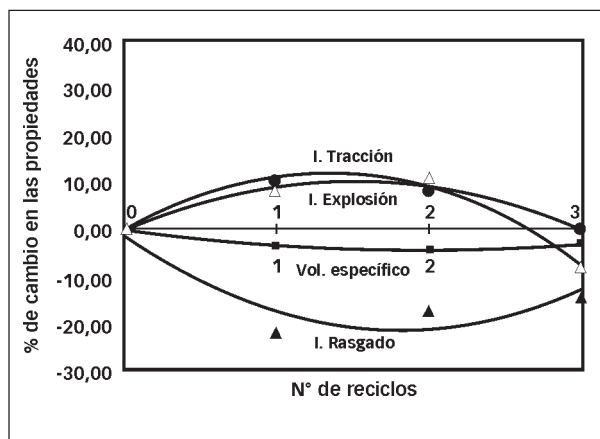


FIGURA 8. Cambio de las propiedades con el reciclado: pulpa K pura.

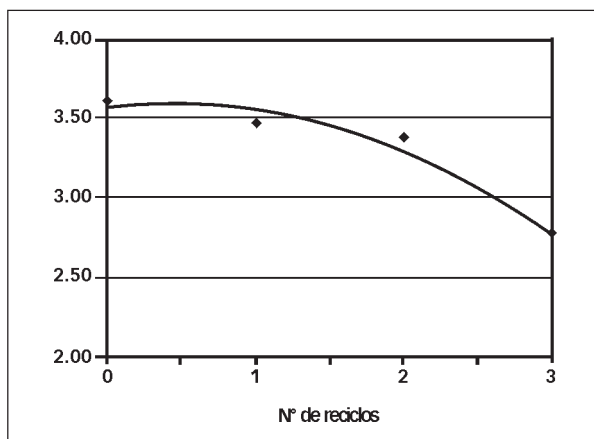


FIGURA 9. Elongación vs. reciclados: pulpa K pura.

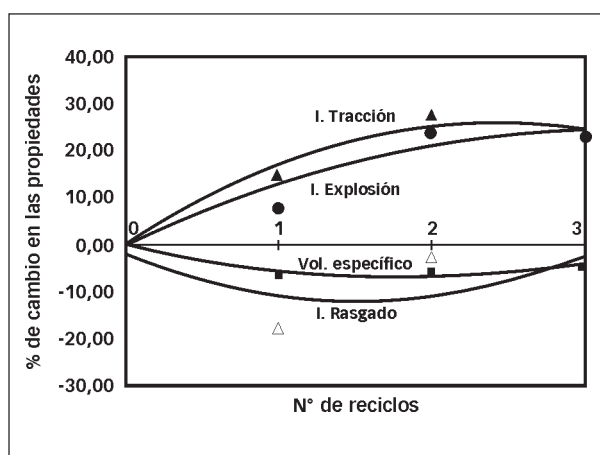


FIGURA 10. Cambio de las propiedades con el reciclado: pulpa S pura.

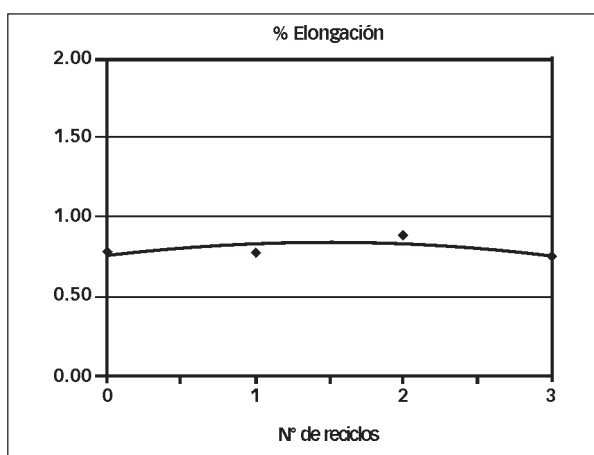


FIGURA 11. Elongación vs. reciclados: pulpa S pura.

la pérdida de densidad causada por la hornificación de las fibras, que las vuelve más rígidas. Por otro, la ganancia en la densidad debido a la remoción la curvatura de la fibra (de-curling), debido a la acción repetida de formación de la hoja, prensado, secado y remojo (5). Existiría además a un efecto de liberación de tensiones (6).

Las fibras de la pulpa mecánica se vuelven más flexibles y colapsables durante el reciclo, produciendo hojas más densas. Este aplastamiento es simplemente una deformación mecánica sin uniones químicas en el lumen, a diferencia de las pulpas químicas blanqueadas, que colapsan (5).

Índice de tracción y de explosión: la pulpa química K presentó un aumento de aproximadamente el 10% en ambos índices durante los primeros reciclados, disminuyendo posteriormente. El incremento inicial en las resistencias se debe a que en este tramo del reciclado las fibras sufren el efecto de la remoción de curvatura (de-curling), que supera al nivel de hornificación de esta etapa. La caída posterior indicaría que el efecto de la hornificación se hace más importante (5, 6).

La pulpa mecánica S mostró un elevado incremento de ambas propiedades (cercano al 30%) durante los primeros reciclados, para luego mantenerse. Esto ocurre debido al incremento en el nivel de enlace en las fibras, que se tornan más flexibles durante los sucesivos reciclados (7, 8).

Índice de rasgado: se comportó del mismo modo en ambas pulpas, es decir, disminuyó rápidamente durante los primeros reciclados, sufriendo un leve recupero en los dos últimos, sin llegar a alcanzar los valores iniciales.

La disminución en la pulpa química K podría atribuirse a un acortamiento en la longitud de fibra con el reciclado, que tiende a ser superado en los últimos reciclados con el mejoramiento en el potencial de enlace entre fibras (7). Existe desacuerdo en la literatura sobre el efecto que produce el reciclado sobre la resistencia al rasgado del papel (8). Se sospecha que el grado de refinado original de la pulpa posee una gran influencia sobre esta propiedad cuando el papel es reciclado (9).

En la pulpa mecánica S, la disminución del rasgado con el reciclo es pequeño en comparación con la pulpa química.

Elongación: la elongación del papel kraft es muy elevada en el inicio, y descende con cada reciclo. Esto puede deberse a la remoción de la curvatura de las fibras (de-curling).

En el caso de la pulpa mecánica, prácticamente no presenta cambios con los sucesivos reciclados, presentando siempre un nivel de elongación bajo.

♦ **Reciclo del cartón Triplex:**

Las propiedades físicas y ópticas del cartón Triplex sometido a sucesivos reciclados, se indica en la Tabla 11.

Los porcentajes de cambio en las propiedades con el reciclado del cartón se atribuyen principalmente a las modificaciones ocurridas en la capa inferior durante el reciclado, ya que las otras capas permanecen constantes en posición y gramaje. La capa inferior varió su composición de 100% de pulpa reciclada de diario, D, hasta un empaste de 50/50 de K y S.

Los porcentajes de cambio en las propiedades con el reciclado del cartón Triplex se muestran en las Figuras 12 y 13.

Volumen específico: disminuyó levemente con el reciclo, lo que podría atribuirse a un efecto combinado entre la disminución del volumen específico sufrida du-

rante el reciclo por ambas pulpas y el aumento progresivo de pulpa química, de bajo volumen específico.

Índice de tracción, explosión y elongación: la tracción presenta un pequeño incremento con el número de reciclados, algo inferior al 10%, pero con tendencia creciente, evidenciando el incremento de la proporción de la pulpa mecánica en el empaste. La evolución de ésta última con los reciclados (Figura 10) parece contrarrestar la tendencia decreciente de la pulpa kraft pura (Figura 8).

La explosión se eleva rápidamente durante los dos primeros reciclados, para luego mantenerse. Esto puede explicarse observando la evolución de la elongación (Figura 13).

El aumento pronunciado de la elongación es producto de las diferentes composiciones del cartón. En cada reciclo aumenta la proporción de pulpa kraft, ya que la capa superior es siempre de kraft puro (elevada elongación, ver Figura 9). La capa inferior tiene mayor proporción de pulpas kraft y SGW con un solo reciclo.

Índice de rasgado: disminuyó rápidamente durante los primeros reciclados, sufriendo un leve recupero en los dos últimos, sin llegar a alcanzar los valores iniciales. Sigue las mismas tendencias observadas en las pulpas recicladas.

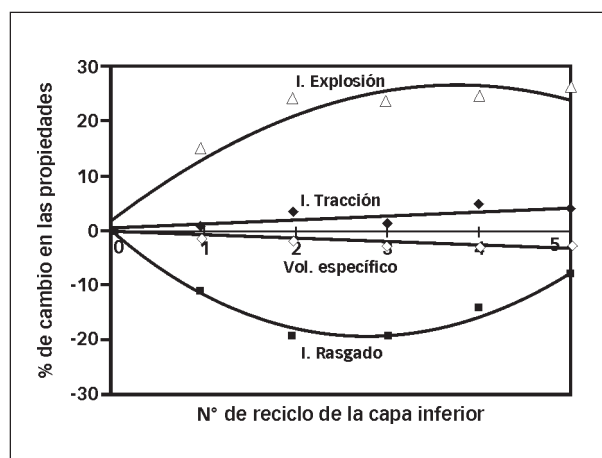


FIGURA 12. Cambio de las propiedades con el reciclado del cartón Triplex.

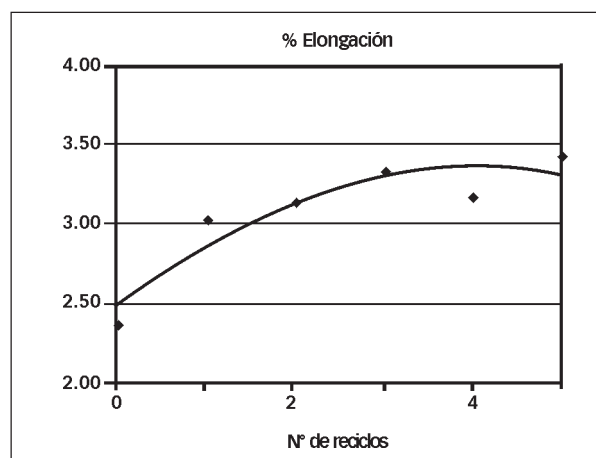


FIGURA 13. Elongación vs. reciclados del cartón Triplex.

TABLA 11. Propiedades físicas y ópticas del cartón Triplex sometido a sucesivos reciclados.

Reciclo	Espesor (mm)	V. E. (cm ³ /g)	I. Rasgado (mN m ² /g)	I. Tracción (N m/g)	Elongac. (%)	I. Explosión (kPa m ² /g)	Permeab. al aire (μm/Pa.s.)	Composición por capas del cartón		
								K	S	D
0	0,438	2,206	16,66	26,47	2,37	1,35	3,6	0,333	0,333	0,333
1	0,428	2,165	14,66	26,57	3,03	1,54	6,0	0,444	0,444	0,111
2	0,432	2,158	13,45	27,24	3,15	1,67	6,3	0,481	0,481	0,037
3	0,420	2,137	13,39	26,72	3,33	1,66	7,7	0,493	0,493	0,012
4	0,427	2,132	14,15	27,48	3,17	1,67	6,9	0,497	0,497	0,004
5	0,428	2,134	15,21	27,48	3,40	1,69	7,0	0,499	0,499	0,001

CONCLUSIONES

En los cartones Duplex es más ventajoso utilizar a la pulpa reciclada de diario (D) en el reverso. La pulpa mecánica (S) contribuyó poco en la rigidez, y disminuyó las resistencias a la tracción, al rasgado y explosión.

El cartón Triplex con la configuración KSD y la combinación 1/3 K-1/3 S-1/3 D presentó las mejores propiedades de resistencia y rigidez.

Los sucesivos reciclos produjeron un leve incremento de la densidad de la hoja, con el consecuente aumento de la resistencia a la tracción y, en mayor medida, el aumento de la explosión. Si bien se produce una caída en el rasgado, esta propiedad no es fundamental en este caso. Por consiguiente, es factible la reutilización de este cartón Triplex.

AGRADECIMIENTOS

Parte de este trabajo se realizó en el Instituto de Pesquisas Tecnológicas del Estado de Sao Paulo (IPT), Brasil, por medio de una Beca Mixta otorgada por las instituciones SCYT y CAPES, en el marco del proyecto binacional "Cooperación Brasil-Argentina en Investigación y Enseñanza en Celulosa y Papel". En este proyecto participan el Programa de Investigación de Celulosa y Papel (PROCYP) de la Argentina, la Universidad de Sao Paulo (USP), e indirectamente el IPT a través del Dr. J. Mangolini Neves.

A los integrantes del "Agrupamento Celulose e Papel" del IPT, en forma particular a Maria Luiza Otero D'Almeida.

A los integrantes del PROCYP.

REFERENCIAS

1. **Koran, Z.; Kamdem, D. P.**
"Multilayered paperboard from kraft pulp and TMP"
Tappi Journal, vol. 73, num. 2, pp.153-158. (1990).
2. **Valade, J. L.; Area, M. C.**
"Comportamiento de las pulpas de alto rendimiento en la producción de los distintos grados de papel para empaque". V Congreso internacional de ACOTEPAC, pp.11-16, (1992).
3. **Attwood, B.; Moore, G.**
"Multiply web structure and properties", An introduction to the theory and practice of multiply forming, PIRA International, pp. 125-140, (1995).
4. **Fellers, C.; de Ruvo, A.; Htun, M.; Carlsson, L.; Engman, C.; Lundberg, R.**
Carton Board, STFI, (1983).
5. **Howard, R. C.; Bichard, W.;**
"The basic effects of recycling on pulp properties", 1991 Recycling Forum, pp. 81-93.
6. **Ferguson, L. D.**
"Effects of recycling on strength properties", Paper Technology-October, pp. 14-20, (1992).
7. **Law, K. N., Valade J. L., Quan, J.**
"Effects of recycling on papermaking properties of mechanical and high yield pulps. Part I: Harwood pulps", Tappi Journal, vol. 79, núm. 3, pp. 167-174.
8. **Howard, R. C.**
"The effects of recycling on paper quality", Journal of Pulp and Paper Science, vol. 16, núm. 5, pp. J143-J149, (1990).
9. **Chatterjee, A.; Kortschot, M.; Roy, D. N.**
Whiting, P., "Tear and fracture behavior of recycled paper", Recycling: A TAPPI PRESS Anthology of Published Papers, pp. 173-179, (1997).

Recibido: 09/05/05.

Aprobado: 12/07/05.