RIDaNaM
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Secretaría de Investigación y Postgrado. Maestrías en Madera, Celulosa y Papel

Maestranda
Ing. María Evangelina Vallejos

Evaluación del comportamiento de pulpas SGW y recicladas en la fabricación de cartón multicapa

Tesis de Maestría presentada para obtener el título de "Magíster en Ciencias de la Madera, Celulosa y Papel"
OCyP

Directora
Dra. María Cristina Area

Co-Director
Dr. José Mangolini Neves

Posadas, 2002

Esta obra está licenciada bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

rid.unam.edu.ar

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales

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

Ing. María Evangelina Vallejos

Tesis presentada a la Universidad Nacional de Misiones como exigencia parcial de la Maestría en Ciencias de la Madera, Celulosa y Papel.

Directora: Dra. María Cristina Area (PROCYP, FCEQYN, UNaM).

Co-Director: Dr. José Mangolini Neves (IPT, USP).

2002

A todos los que hicieron posible este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó bajo la dirección de la Dra. Maria Cristina Area, y parte del mismo se desarrolló 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 participaron 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.

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

A los integrantes del PROCYP, mi más sincero agradecimiento por su apoyo y colaboración.

RESUMEN

La utilización de pulpa mecánica SGW y pulpa reciclada en la producción de cartón, justifica la evaluación de su comportamiento en la fabricación de cartón multicapa, de modo de establecer las posibilidades y potencialidad de su uso. La pulpa mecánica posee una densidad baja, por lo cual su incorporación en la capa central de un cartón multicapa genera una estructura de elevada rigidez. Esta es la razón principal de su importancia en la fabricación de cartón. Como materias primas se utilizaron pulpas SGW de la Empresa de Klabin (Brasil), pulpas recicladas provenientes de bolsas de harina de 50 kg (Argentina) y diarios paraguayos (Última Hora, Noticias). Las experiencias siguen un diseño experimental propuesto por el experimentador (no se ajusta a los proporcionados por los programas de diseño), realizando diferentes combinaciones de la pulpa SGW con las pulpas recicladas en cartones multicapa dúplex y tríplex. Se realizaron 29 experiencias, que incluyeron 7 con dúplex, 17 con tríplex y 5 experiencias de reciclo del tríplex que presentó las mejores propiedades físico-mecánicas. Las experiencias fueron realizadas en el Instituto de Pesquisas Tecnológicas del estado de Sao Paulo (IPT), Brasil y en el Programa de Investigación de Celulosa y Papel (PROCYP) de la Argentina, con la participación de la Universidad de Sao Paulo (USP). Los resultados obtenidos para los cartones dúplex con pulpa kraft (K) en el anverso, permiten concluir que es más ventajoso utilizar 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. En los cartones tríplex se determinó que la configuración KSD y la combinación 1/3 K - 1/3 S - 1/3 D presentó las mejores características de resistencia y el mayor valor de rigidez. Los sucesivos reciclos del cartón tríplex utilizado en el reverso del cartón indicado anteriormente, producen un leve aumento de la densidad de la hoja, con el consecuente aumento de la resistencia a la tracción y, en mucha mayor medida, el aumento de la explosión. Si bien se produce una caída en el rasgado, esta propiedad no es fundamental en este tipo de cartones. La reutilización de este cartón tríplex es, por consiguiente, factible.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS ii
RESUMEN iii
CONTENIDO iv
LISTA DE TABLAS vii
LISTA DE FIGURAS ix
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS xi
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 1
1.1. Introducción 1
1.2. Objetivo general 1
1.3. Objetivos particulares 1
1.4. Justificación 2
CAPÍTULO 2: LA PULPA MECÁNICA SGW 3
2.1. Introducción 4
2.2. Clasificación de pulpas mecánicas 5
2.3. Sistemas de producción de pulpas mecánicas SGW 6
2.4. Características fibrosas 8
2.5. Propiedades típicas de las hojas de pulpa Mecánica 9
2.6. Ventajas y limitaciones 11
2.7. Usos finales 12
2.8. Las pulpas mecánicas y el medio ambiente 14
CAPÍTULO 3: PULPAS FABRICADAS A PARTIR DE PAPELES Y CARTONES RECICLADOS 15
3.1. Introducción 16
3.2. Clasificación de papeles y cartones para el reciclado 17
3.3. Sistemas de tratamiento de fibras secundarias 17
3.4. Características y propiedades de la pulpa reciclada 20
3.5. Comportamiento de las propiedades de las pulpas con el reciclado 22

3.6. Usos finales 25
3.7. Ventajas y limitaciones 26
3.8. Las pulpas recicladas y el medio ambiente 26
CAPÍTULO 4: LOS CARTONES MULTICAPA 28
4.1. Introducción 29
4.2. Tipos de cartones 30
4.3. La estructura del cartón multicapa 34
4.4. Propiedades y características del cartón multicapa 36
4.5. La optimización de la economía de fibras 39
4.6. Utilización de las pulpas de alto rendimiento en envases 40
4.7. Las fibras secundarias en los cartones multicapa 42
CAPÍTULO 5: MATERIALES Y MÉTODOS 43
5.1. Plan de trabajo experimental 44
5.2. Materias primas 44
5.3. Ensayos preliminares 45
5.4. Diseño experimental 45
5.5. Formación y ensayo de los cartones 48
5.6. Reciclado de las pulpas puras y del cartón tríplex 50
CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN: CARTÓN DÚPLEX 54
6.1. Características de las pulpas 55
6.2. Propiedades de los cartones dúplex 55
CAPÍTULO 7: RESULTADOS Y DISCUSIÓN: CARTÓN TRÍPLEX 59
7.1. Propiedades de los cartones tríplex 60
7.2. Cartones homogéneos 62
7.3. Cartones heterogéneos 64
7.4. Cartones con la misma composición pero distinta configuración 66
CAPÍTULO 8: RESULTADOS Y DISCUSIÓN: Reciclado 69
8.1. Propiedades de las pulpas con el reciclado 70
8.2. Propiedades del cartón con el reciclado 74

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES **78**

9.1. Cartón dúplex 79

9.2. Cartón tríplex 79

9.3. Reciclado del cartón tríplex 79

9.4. Metodología 79

BIBLIOGRAFÍA **80**

ANEXO I: LA RIGIDEZ DE CARTONES MULTICAPA **83**

A.I.1. La rigidez de cartones multicapa 84

A.I.2. Rigidez de grados comerciales 87

A.I.3. Mediación de la rigidez a la flexión 88

A.I.4. Referencias del Anexo I 92

ANEXO II: ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA INDUSTRIA DEL CARTÓN MULTICAPA **93**

A.II.1. El cartón como materia prima en el embalaje 94

A.II.2. La industria del embalaje en Argentina 94

A.II.3. Las fibras recicladas – Tendencias 96

A.II.4. Referencia del Anexo II 98

LISTA DE TABLAS

2.1: Significado de las abreviaturas de las pulpas mecánicas 6
2.2 Principales usos de las pulpas mecánicas 13
3.1 Dificultad de desintegración de la materia prima 20
3.2 Fuente y usos finales del papel recuperado 25
4.1 Ejemplos de productos envasados, sus requerimientos especiales para el cartón y los grados típicos de cartón 34
5.1 Plan de trabajo y lugar donde se desarrolló el mismo 44
5.2 Diseño de las experiencias para cartón dúplex 46
5.3 Diseño de las experiencias para cartón tríplex 47
5.4 Técnicas y normas utilizadas en la caracterización y formación 53
6.1 Propiedades de las pulpas K, S, y D 55
6.2 Grado de refino de los empastes de las pulpas S y D 55
6.3 Resultados de los ensayos físicos y ópticos de cartones dúplex K(S+D) 56
6.4 Propiedades que no presentaron diferencias significativas con la proporción de pulpa SGW 58
7.1 Resultados de los ensayos físicos y ópticos de cartones tríplex 61
7.2 Módulos de elasticidad de las pulpas puras 62
7.3 El gramaje y el tipo de pulpa en el cartón 63
7.4 Resultados de los ensayos Físicos y Ópticos de pulpa K a distintos gramajes 63
7.5 Resultados de los ensayos Físicos y Ópticos de pulpa S a distintos gramajes 63
7.6 Resultados de los ensayos Físicos y Ópticos de pulpa D a distintos gramajes 63
7.7 Porcentaje de variación de las propiedades con el agregado de pulpas S y D al cartón KKK 65
7.8 Posición y gramaje de la pulpa S en la composición del cartón 66
7.9 Propiedades sin diferencias significativas con la variación de la posición y composición de la pulpa SGW 68
8.1 Resultados de los ensayos físicos y ópticos de la pulpa reciclada K con el reciclo 71

8.2 Resultados de los ensayos físicos y ópticos de la pulpa reciclada S con el reciclo 71
8.3 Los valores de las propiedades de la pulpa D 70
8.4 Resultados de los ensayos físicos y ópticos del cartón multicapa con el reciclo 75
A.I.1 Valores de referencia de referencia de cartones comerciales 91
A.II.1 Total de ventas anuales en los distintos sectores 95
A.II.2 Datos del mercado nacional de cartones multicapa (2001) 95

LISTA DE FIGURAS

2.1 El árbol familiar de las pulpas mecánicas 5
2.2 Diferencias típicas en la resistencia a la tracción de varias pulpas 10
2.3 Diferencias típicas en la resistencia al rasgado de varias pulpas 10
2.4 Diferencias típicas en la capacidad de dispersión de la luz de varias pulpas 10
3.1 Sistema característico de tratamiento de fibras secundarias 19
3.2 Kraft Blanqueada sin refinar. El porcentaje de cambio en las propiedades durante el reciclado 23
3.3 Pulpa SGW. El porcentaje de cambio en las propiedades durante el reciclado 24
3.4 El reciclado potencial de diferentes tipos pulpas 24
4.1 Clasificación de grados de cartones 30
4.2 Estructura típica de un cartón para caja plegable 31
4.3 Estructura típica de un cartón gris con cubierta 32
4.4 Cartón homogéneo blanqueado monocapa 32
4.5 Estructura de un cartón homogéneo blanqueado con tres capas 32
4.6 Cartón homogéneo no blanqueado en tres capas 33
4.7 Cartón para embalaje de líquidos de dos capas 33
4.8 Esquema de la estructura de un cartón multicapa 35
4.9 Rigidez a la flexión (normalizado con respecto al gramaje) para diferentes grados de cartones 37
4.10: Ejemplo de optimización del costo de las materias primas 40
5.1 Configuración del cartón dúplex 46
5.2 Configuración del cartón tríplex 48
5.3 Formación del cartón dúplex 49
5.4 Formación del cartón tríplex 50
5.5 Procedimiento de reciclado en el laboratorio 51
5.6 Reciclado del cartón tríplex 52
6.1 Los Índice de tracción, explosión y rasgado según del % de S en la capa inferior 57
7.1 El volumen específico y el índice de tracción en función del gramaje y del tipo de pulpa 64

7.2 Variación del índice de tracción y rasgado con el gramaje 66
7.3 Comportamiento de la rigidez con el gramaje de S y su posición en el cartón 67
8.1 Los porcentajes de cambios de las propiedades y el porcentaje de elongación de la pulpa K con el reciclado 72
8.2 Los porcentajes de cambios de las propiedades y el porcentaje de elongación de la pulpa S con el reciclado 72
8.3 Los porcentajes de cambios de las propiedades del cartón y el porcentaje con el reciclado de elongación 76
A.I.1 Diagrama de fuerzas y variación de la tensión y compresión a través del espesor de una hoja de cartón 84
A.I.2 Coordenadas de las capas del cartón multicapa 87
A.I.3 Rango de los valores de rigidez para gramajes entre 100 – 200 g/m2. 88
A.I.4 Rango de los valores de rigidez para los cartones dúplex y tríplex 88
A.I.5 Comparación de los cinco tipos de ensayos: Taber, Instron, Gurley, Lhomargy, y Clark 89

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

AFCP: Asociación de Fabricantes de Celulosa y Papel

CAPES: Fundación de Coordinación del Perfeccionamiento del Personal de Nivel Superior

CP: Pulpa químicas (Chemical pulp).

CSF: Canadian Standard Freeness

DI: Destintado (Deinking).

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

FBB: Folding boxboard

I.N.D.E.C: Instituto Nacional de Estadística y Censo

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LPB: Liquid packaging board

N. A: No aplicable.

OCC: Embalaje viejo corrugado (Old corrugated container).

P/S: Sustitutos de pulpa (Pulp sustitutes).

PROCYP: Programa de Investigación de Celulosa y Papel

SBS: Solid bleached (sulfate) board

SECYT: Secretaría de Ciencia y Técnica

SUS: Solid unbleached (sulfate) board

TAPPI: Technical Association for the Worldwide Pulp, Paper, and Converting Industry

TEA: Tensile Energy Absorption

USP: Universidad de Sao Paulo

WLC: White lined chipboard

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

Los cartones multicapa tradicionalmente se fabricaron utilizando pulpa kraft blanqueada y sin blanquear en las capas superior e inferior respectivamente, con un material de bajo costo en las capas intermedias.

La rigidez es la propiedad más crítica en el cartón para envases. La pulpa mecánica utilizada en la capa central del cartón multicapa genera una estructura de elevada rigidez. Por esta razón constituye un componente importante en la fabricación de estos cartones.

El cartón multicapa posibilita el uso de diferentes materias primas en las capas individuales, mejorando las características de los productos y la economía de fibras. Produce estructuras con mejores características que usando una sola capa, mediante una adecuada composición de las capas individuales, lo que posibilita el desarrollo de nuevos productos.

1.2. Objetivo general

Evaluar el comportamiento de diferentes combinaciones de pulpa mecánica a la piedra (*Stone Groundwwod, SGW*) con fibras recicladas en cartones multicapa dúplex y tríplex.

1.3. Objetivos particulares

1. Determinar las mejores proporciones de pulpa SGW y reciclada en empastes, que se utilizarán como capa inferior en un cartón dúplex, (con capa superior de pulpa reciclada kraft 100%), tal de optimizar la calidad de este tipo de cartón.

2. Establecer la posición y el espesor de las capas de pulpa SGW y de pulpa reciclada, en un cartón tríplex compuesto de una capa superior de pulpa reciclada kraft 100%, y otras dos, media e inferior, alternando pulpas SGW y reciclada, que optimicen la calidad del mismo.

3. Determinar la perspectiva de reutilización futura del cartón tríplex formado en las condiciones determinadas en el punto anterior, o sea, el número de reciclos al que puede someterse, para lo cual se mantendrán las capas de reciclado kraft 100% y de SGW del mejor punto obtenido en el ítem anterior, y se sustituirá la tercer capa por el reciclado de cartón tríplex.

1.4. Justificación

Unas de las propiedades más críticas en el cartón para envases es la rigidez. Por su naturaleza de poseer baja densidad, la incorporación de pulpa mecánica en la capa central del cartón multicapa genera una estructura de elevada rigidez, y por esta razón esta pulpa ha sido tradicionalmente un ingrediente importante en la fabricación del cartón.

Colocando diferentes tipos de pulpa en las distintas capas se logra una mayor economía de fibras y la mejora de propiedades de la hoja.

La utilización de fibras de menor costo (fibra reciclada, pulpa mecánica), propiciaría la instalación de pequeños emprendimientos para la producción de cartones multicapa.

El impacto se verá reflejado en aspectos socioeconómicos, como ser, la creación de una fuente más de trabajo en la región y la posibilidad de disponer de un producto más económico.

CAPÍTULO 2: LA PULPA MECÁNICA SGW

2.1. Introducción

La producción de pulpa mecánica pura utiliza solo métodos mecánicos para desfibrar la madera, a diferencia de la producción de pulpa química, que utiliza reactivos para disolver y eliminar la lignina que mantiene unidas a las fibras. La pulpa mecánica pura se produce por presión de los troncos contra la superficie de un cilindro de piedra que gira a elevada velocidad, ó alimentando chips a un refinador. El pulpado mecánico, que se inició en 1843 con el proceso del molino de piedra (*Stone Groundgood, SGW*), evolucionó marcadamente en las últimas décadas.

En el pulpado mecánico, las fibras se desgarran de la madera, razón de la variación en longitud y composición. Por lo tanto, la pulpa mecánica es una mezcla de haces fibrosos, fibras individuales y fibras rotas. Su composición química se conserva inalterada durante el pulpado (excepto por la eliminación de los compuestos solubles en agua). La pulpa conserva toda la lignina presente en la madera, elevando el rendimiento entre 90 y 95%, en contraste con el aproximadamente 50% de la pulpa química.

Las pulpas mecánicas se producen a partir de madera blandas (coníferas y latifoliadas de baja densidad), debido a que las fibras de maderas duras (pequeñas y delgadas) sufren daños severos durante el pulpado mecánico, generando un material muy fino que produce hojas débiles.

El papel formado a partir de la pulpa mecánica es suave, voluminoso, absorbente y opaco; también es débil y puede deteriorarse con el tiempo, especialmente con la luz solar.

Debido a que en la pulpa mecánica las fibras se encuentran rotas y desgarradas, pueden absorber rápidamente la tinta en las prensas rotativas de elevada velocidad que se utilizan para imprimir periódicos, revistas y publicaciones similares. Por lo tanto, actualmente la mayor parte de la pulpa

mecánica se utiliza en la fabricación de papel periódico, y en menor proporción, en papeles para libros (1).

2.2. Clasificación de pulpas mecánicas

La figura 2.1 muestra las abreviaturas que describen la combinación de temperatura, químicos, presión y acción de refinación que se utilizan para fabricar pulpas de varios rendimientos y resistencias. Se indica en verde la ubicación del pulpado SGW en el árbol.

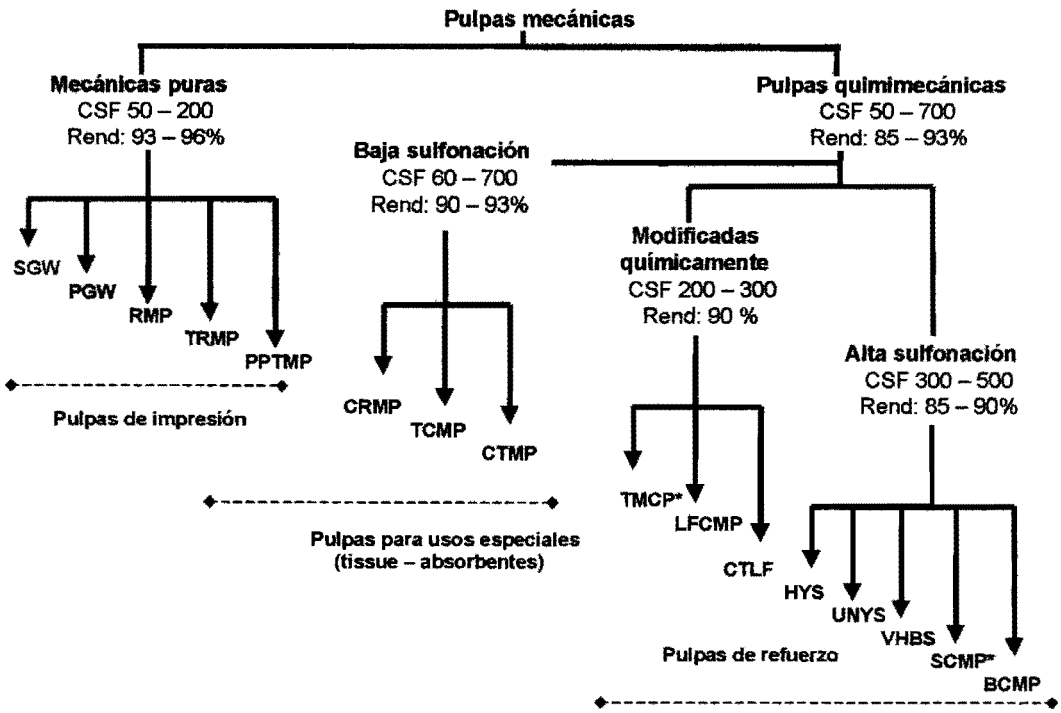

Figura 2.1: El árbol familiar de las pulpas mecánicas. (* Procesos patentados) (2).

En la tabla 2.1 se indican los significados de las abreviaturas del árbol familiar de las pulpas mecánicas (2).

Tabla 2.1: Significado de las abreviaturas de las pulpas mecánicas.

Tipo de pulpado		
SGW	*Stone Groundwood*	Pulpado mecánico a la piedra
PGW	Pressurized Groundwood	Pulpado mecánico a la piedra presurizado
RMP	Refiner Mechanical Pulp	Pulpado mecánico refinado
TRMP	Thermorefiner Mechanical Pulp	Pulpado mecánico termo-refinado.
PRMP	Presure Refined Mechanical Pulp	Pulpado mecánico refinado presurizado
TMP	Thermo Mechanical Pulp	Pulpado termomecánico.
PPTMP	Tandem or presure/presure Termomechanical Pulp	Pulpado termomecánico presión/presión ó Tandem
RMP	Refiner Mechanical Pulp	Pulpado mecánico refinado
CRMP	Chemirefinermechanical Pulp	Pulpado quimimecánico refinado
CTMP	Chemithermomechanical Pulp	Pulpado quimitermomecánico
TCMP	Thermochemimechanical Pulp	Pulpado termoquimimecánico
TMCP	Thermomechanicalchemi Pulp	Pulpado termomecanoquímico
LFCMP	Long fiber Chemimechanical Pulp	Pulpado quimimecánico defibras largas
CTLF	Chemically Treated Long Fiber	Fibras largas tratadas químicamente
HYS	High Yield Sulfite	Sulfito de alto rendimiento
UHYS	Ultra High Yield Sulfite	Sulfito de ultra alto rendimiento
VHYBS	Very High Yield Bisulfite	Bisulfito de muy alto rendimiento
SCMP	Sulfonated Chemimechanical Pulp	Pulpa quimimecánica sulfonada
BCMP	Bisulfite Chemimechanical Pulp	Pulpa quimimecánica al bisulfito

2.3. Sistemas de producción de pulpas mecánicas SGW

Las pulpas mecánicas SGW fueron las primeras pulpas mecánicas producidas a partir de madera. Su producción comercial comenzó a partir del siglo XIX, y consistía en forzar los troncos (de 1 a 1,5 m de longitud) contra una piedra rotante a lo largo del eje longitudinal de los mismos (grano), a temperatura ambiente y presión atmosférica, en presencia de grandes volúmenes de agua.

Las características de las pulpas mecánicas dependen sobre todo de la especie de madera usada, la calidad de la madera, las condiciones de proceso y la cantidad de energía eléctrica aplicada. Generalmente se producen a partir de madera blandas (coníferas y latifoliadas de baja densidad), porque las fibras de maderas duras, que son más pequeñas y delgadas, sufren daños severos durante los procesos de pulpado mecánico dando como resultado un material muy fino que produce hojas demasiado débiles.

Las pulpas mecánicas pueden producirse mediante piedras ó refinadores.

En los molinos de piedra, los troncos descortezados se presionan contra una piedra abrasiva rotativa que desfibra al tronco y separa las fibras de la matriz, en un proceso de compresión y descompresión generado por el paso las partículas abrasivas sobre las fibras individuales.

El refinador separa las fibras de los chips alimentados entre dos discos de metal, por la acción de barras y ranuras de la superficie de los discos.

Estos dos tipos de pulpa mecánica difieren en que la pulpa a la piedra posee un elevado contenido de material fino debido a la acción abrasiva, mientras que la pulpa refinada presenta un contenido menor de material fino y las fibras largas tienden a ser semejante a cintas.

El proceso de pulpado SGW evolucionó muy lentamente desde su primera instalación industrial en 1866. La tecnología progresó principalmente con el aumento de la capacidad de producción: piedras sintéticas, cargado automático, control de procesos, etc.

La pulpa SGW posee menor costo de fabricación dentro de las mecánicas, pero también, menor calidad en lo que respecta a las resistencias físico-mecánicas.

El mecanismo del pulpado mecánico consiste en una serie de acciones simultaneas. Las acciones dominantes son la compresión y descompresión a elevada frecuencia, que se produce en la interfase en que las partículas abrasivas contactan con la madera, y contribuyen a aflojar las fibras por fatiga y rotura. Al mismo tiempo se genera una cantidad de calor considerable debido a la fricción de la piedra con la madera, y también por la fricción dentro de la estructura la madera a medida que se produce la deformación. Este calor ablanda la lignina que une las fibras entre sí y facilita la separación de las fibras de la madera.

La mayor parte de la energía se disipa en forma de calor en la zona de desfibrado, por lo cual es importante el control de temperatura mediante los rociadores. Un enfriamiento excesivo mediante agua impide la acción de ablandamiento, mientras que una humedad insuficiente permite el inicio de la carbonización de la madera (1).

2.4. Características fibrosas

Los efectos de la piedra son múltiples, y dependen sobre todo de la materia prima utilizada. Las pulpas mecánicas en general están compuestas por tres tipos de elementos fibrosos:

- ***Fracción de fibras:*** Fibras enteras y cortadas. Su cantidad, calidad superficial, y la forma en que se disponen, definen en parte la resistencia de la hoja
- ***Fracción de finos:*** Segmentos muy cortos de fibras y fragmentos de paredes celulares. Contribuyen a conferir resistencia a la hoja. Aportan a las propiedades de impresión
- ***Haces fibrosos:*** Conjuntos de pocas fibras sin separar. Producen irregularidades en la trama fibrosa.

Lo que se busca, es aumentar la flexibilidad de las fibras largas, disminuir la formación de astillas (sin disminuir simultáneamente la fracción

de fibras largas) y aumentar la proporción de finos fibrilares (disminuyendo la cantidad de trozos de fibras).

Con el proceso SGW no es posible formar un papel lo suficientemente fuerte para ser utilizado en diarios u otros tipos de papeles para impresión sin recurrir a las pulpas químicas en una proporción de aproximadamente 30%. (1)

2.5. Propiedades típicas de las hojas de pulpa mecánica

Las pulpas mecánicas forman hojas más voluminosas, y con mayor coeficiente de dispersión de la luz, que las pulpas químicas. Usando pulpas mecánicas, se logra un papel con aceptable mayor rigidez a bajos gramajes que usando pulpas químicas.

Entre las pulpas de carácter mecánico, cuando se comparan al mismo nivel de drenado, la TMP normalmente posee el volumen específico más alto y la CTMP el más bajo, mientras que las pulpas PGW y SGW alcanzan valores intermedios. La SGW posee mayor permeabilidad al aire, seguida por la PGW, TMP, y CTMP en este orden.

Las pulpas mecánicas a la piedra, SGW, usualmente exhiben las mejores propiedades ópticas debido a las bajas temperaturas de proceso utilizadas. La SGW posee el mayor blanco y mayor poder de dispersión de la luz sin blanqueo, seguido por la PGW.

Las figuras 2.2, 2.3 y 2.4 muestran las diferencias en las resistencias y coeficientes de dispersión entre algunas pulpas mecánicas de coníferas por un lado, y pulpas kraft y destintadas (*Deinking pulp, DIP*) por otro lado.

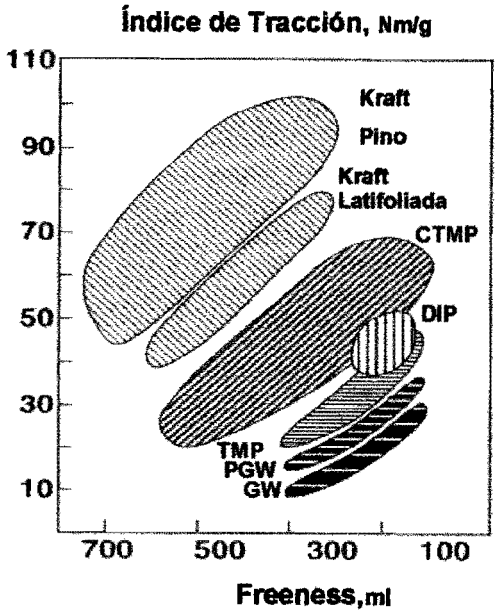

Figura 2.2: Diferencias típicas en la resistencia a la tracción de varias pulpas (3).

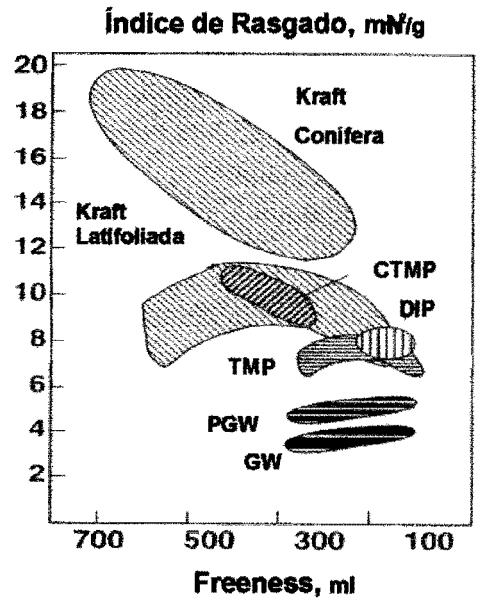

Figura 2.3: Diferencias típicas en la resistencia al rasgado de varias pulpas (3).

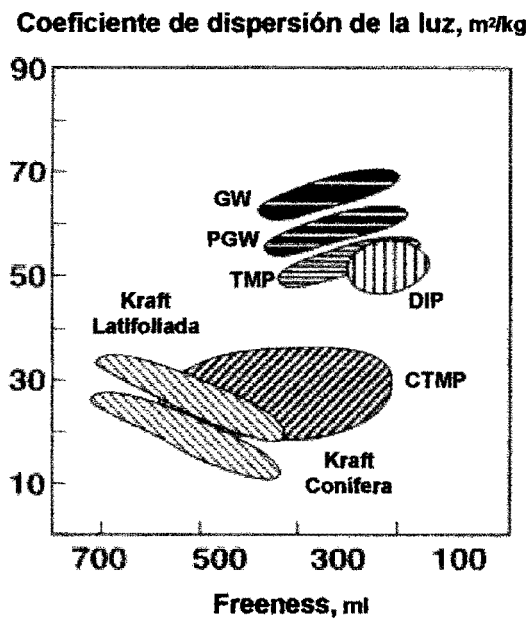

Figura 2.4: Diferencias típicas en la capacidad de dispersión de la luz de varias pulpas (3).

Las pulpas refinadas (TMP y CTMP) poseen la mejor resistencia al rasgado y a la tracción pero los coeficientes de dispersión de la luz más bajos. Lo contrario ocurre con las pulpas a la piedra (SGW y PGW), las cuales poseen las mejores propiedades ópticas pero menores resistencias (3).

2.6. Ventajas y limitaciones

Las pulpas mecánicas poseen algunas características particulares que las hacen especialmente aptas para algunos usos, aunque por sus bajas resistencias casi siempre se las utiliza mezcladas con otras más fuertes.

La expansión del uso de productos descartables tales como contenedores de alimentos, bandejas, toallas, servilletas de papel, como así también libros y revistas de pulpas económicas y telas de papel, y el crecimiento de mejoras en el proceso, han hecho de las pulpas mecánicas una parte importante y de rápido crecimiento en la industria del papel.

Las ventajas generales de las pulpas mecánicas respecto a las químicas:

- ***Tecnología más simple:*** Poseen menores costos de producción.
- ***Presencia de finos (gran área superficial):*** Mejor absorción y capacidad de impresión. Aumentan la absorbencia de aceites, permitiendo el uso de tintas secantes. Elevada opacidad, que inhibe la transparencia en los impresos; (cuanto más resistente es la pulpa, más baja es la opacidad).
- ***Fibras más cortas:*** Disminución del "efecto de lado" (en máquinas convencionales, el lado de la hoja que queda sobre la tela formadora, se marca más que el otro, que apoya en los fieltros). Favorecen la formación, (las fibras más largas de pulpas químicas, floculan, perjudicando la formación).
- ***Mayor volumen específico:*** Favorecen la acción del calandrado, produciendo una hoja de acabado más suave.

- ***Elevada rigidez:*** Aptas para la plancha de moldear (productos moldeados).

Las desventajas de las pulpas mecánicas con respecto a las químicas:

- ***Heterogeneidad del material fibroso:*** La presencia de astillas y haces fibrosos (difíciles de extraer de la pulpa) produce roturas de la hoja húmeda y en el papel resultante por concentración de tensiones generando pérdidas de producción durante la fabricación e impresión del papel.
- ***Bajas resistencias:*** Siempre deben mezclarse con pulpas químicas para correr satisfactoriamente en la máquina de papel.
- ***Inestable color y blanco (revenido):*** Los procesos de blanqueo no eliminan la lignina (1, 3, 4, 5).

2.7. Usos finales

Las pulpas mecánicas generalmente se clasifican en grados, de acuerdo con el papel en el cual se usan, por ejemplo, de diario, de empapelar, de libros, tissue y carbones. No son estrictas las divisiones entre grados, aunque los patrones de calidad se encuentran muy bien definidos.

Los grados de pulpa mecánica son:

- Papel periódico.
- Papel de empapelar.
- Libros.
- Cartones.
- Tissue.
- Especiales (1, 4, 5).

Las pulpas mecánicas son usadas principalmente para la producción de impresión mecánica, porque cuentan con buena opacidad e

imprimibilidad a bajo gramaje, pero con una limitada resistencia y durabilidad. Los principales requisitos para estos grados son un buen comportamiento del papel en máquinas de impresión e imprimibilidad. Las pulpas mecánicas puras (SGW, PGW, y TMP) son usadas en todos los grados de impresión mecánica, pero la economía de fabricación y la calidad del producto final depende del tipo de pulpa mecánica utilizada.

Otras aplicaciones incluyen a varios grados de cartón, papel de empapelar, papeles finos, tissue, productos absorbentes y moldeados. El cartón plegado para cajas con su composición de tres capas ha sido tradicionalmente fabricado con pulpa SGW en la capa media. La tabla 2.2 señala los principales usos de las mecánicas.

Tabla 2.2: Principales usos de las pulpas mecánicas (1, 4, 5).

PULPAS MECÁNICAS (CON O SIN BLANQUEO)	- Papel para diario, 10 - 30% de pulpa química - Papel para rotograbado y revistas, 20 - 50% de pulpa química. - Papeles para impresiones en general 30 - 70% de pulpa química. - Papeles tissue, higiénicos y absorbentes, en diferentes empastes. - Cartulinas y cartones forrados, mezclados con papel recuperado y recubiertos con pulpas químicas blanqueada. - Pulpa moldeada con poco o nulo agregado de otras pulpas.
PULPAS TERMOMECÁNICAS	- Papel para diario, reemplazando en el empaste a las pulpas químicas. - Papeles absorbentes (tissue) - Cartones. - Pulpa moldeada.
PULPAS QUIMIMECÁNICAS (SIN BLANQUEAR)	- Papel para diario, reforzado con 10 -15% de pulpas químicas. - Papel para revista.
PULPAS QUIMIMECÁNICAS (BLANQUEADAS)	- Papeles de impresión en general 30 -70% de pulpa química. - Papel base para estucar - Cartulina para envases de alimentos.

Algunos grados de papeles de pared poseen más del 70% de pulpa mecánica. Algunos papeles finos son fabricados con la adición de 5 – 20%

de pulpa mecánica, aunque se los llama "*wood-free*" (libres de pulpa mecánica). Muchos tissue y productos moldeados usan pulpa mecánica, pero corrientemente emplean pulpa de papel recuperado (3). La tabla 2.2 indica los principales usos de las pulpas mecánicas.

2.8. Las pulpas mecánicas y el medio ambiente

El proceso SGW no utiliza productos químicos, produce una disolución mínima de sustancias de la madera, y no genera emisiones al aire. Sus efluentes acuosos se limitan al agua de descortezado (sino es en seco), de lavado de troncos, y al proceso de molienda.

Las aguas en general se limpian fácilmente de arena y corteza, y la mayoría se reutiliza. Algo de finos se escapa del sistema, pero se extraen fácilmente con un tratamiento primario de efluentes (decantadores), y eventualmente secundario (6).

CAPÍTULO 3: PULPAS FABRICADAS A PARTIR DE PAPELES Y CARTONES RECICLADOS

3.1. Introducción

El papel de desperdicio se presenta como un recurso papelero socialmente interesante, tanto por sus aspectos ecológicos como económicos. La industria de la pulpa y el papel, sufre severas críticas debido a su impacto ambiental. Los papeleros han reciclado siempre los desperdicios de la planta tales como bordes de recorte, rotos, tope de bobinas y papel fuera de especificación. Estos materiales se repulpan, recuperándose las fibras mediante operaciones relativamente simples, lo cual es económicamente necesario. La novedad surge a partir de los requerimientos actuales de la industria, que consiste en recuperar fibras de los productos papeleros ya utilizados por el consumidor.

La industria del procesamiento de papel desperdicio está ganando importancia en el ámbito internacional, convirtiendo un producto usado y desechado en una materia prima utilizable. Los requerimientos de capital de la industria de procesamiento de las fibras secundarias, son pequeños comparado con la industria papelera clásica. Como consecuencia, expandirla al nivel necesario no será globalmente caro (7).

El incremento en la utilización de fibras recicladas conduce a cambios tecnológicos y provoca la necesidad de un mayor conocimiento de cómo el reciclado afecta las propiedades de las fibras.

El uso de fibras recicladas produce papeles con inferiores propiedades mecánicas. La aparente deficiencia de la fibra reciclada puede superarse por refinación o por adición de químicos en los procesos de fabricación de papel. El secado es el proceso de mayor responsabilidad en los cambios de las propiedades de la fibra. Los cambios irreversibles que se producen en las fibras generalmente reducen el potencial papelero del papel recuperado (8).

3.2. Clasificación de papeles y cartones para el reciclado

Para una utilización eficiente de los papeles y cartones como fuentes de fibras secundarias, es necesario elegir y clasificar los materiales de acuerdo con su calidad y tipo, los que pueden encontrarse dentro de las siguientes categorías:

- ***Fibras oscuras y fuertes de pulpa kraft***: Las principales fuentes son las cajas de cartón corrugado (kraft liner doble, DKL; cajas de cartón corrugado, OCC), bolsas, papeles de envoltura, etc.
- ***Fibras débiles de blancura media***: Generalmente consta de una mezcla de pulpa mecánica y química. Las principales fuentes son periódicos, revistas, guías telefónicas, libretas de notas, etc.
- ***Fibras blancas y fuertes de pulpas químicas:*** Las principales fuentes son papeles de impresión y escritura de impresión usados generalmente para correspondencia comercial y productos de impresión de elevada calidad.

Existen otras clasificaciones de papeles a recuperar, las cuales difieren en complejidad y de país en país, como por ejemplo, la clasificación que se basa en la cantidad y la calidad de las impurezas presentes en el material a reciclar.

3.3. Sistemas de tratamiento de fibras secundarias

El tratamiento que necesitan los papeles y cartones para convertirlos en pulpa reutilizable, depende de la naturaleza de los mismos, su grado de contaminación y su utilización final. Los papeles viejos limpios y sin imprimir no presentan grandes dificultades, salvo el posible gasto de energía de desintegración. Su tratamiento es simple, generando un producto final de elevada calidad.

En el caso de papeles y cartones destinados a fabricar un papel cuyo aspecto final no tenga demasiada importancia, la preparación es similar a la

anterior, pero adicionando etapas de depuración en función del grado de contaminación presente en la materia prima. Serán precisamente estas etapas de depuración las que marcarán la complejidad del circuito de preparación de la pasta y, por consiguiente, el consumo energético.

Cuando se trata de papeles impregnados, sin clasificar, con presencia de compuestos termorreblandecibles, etc., la simple desintegración produce una pasta de mal aspecto (presencia de manchas de diversos colores, puntos grasos, etc.). Si se desea mejorar el aspecto final del producto, se hace necesario incorporar una etapa de dispersión a consistencia y temperatura elevadas.

Un caso particular de tratamiento es el de papeles impresos cuando se requiriere obtener una pasta final de buen aspecto y blancura similar a la de las fibras originales. En este caso se deberá añadir una etapa de destintado y, eventualmente, una de blanqueo.

Un sistema característico de tratamiento de fibras secundarias presenta las siguientes etapas:

- Separación de la materia prima en fibras individuales.
- Extracción de las impurezas no deseables. Comprende las operaciones de tamizado, depuración, flotación y lavado, en las que se extraen los contaminantes medios y pequeños de las fibras útiles, y donde se realiza el destintado.
- Dispersión (reducción en tamaño) de cualquier contaminante remanente. En este punto, cualquier impureza residual (normalmente muy pequeña en tamaño y cantidad) es reducida (dispersada) por debajo del límite de visibilidad normal.
- Tratamiento tecnológico final selectivo y especial de las fibras para la producción de papel, con el fin de lograr las propiedades finales de la pulpa. En esta etapa, se utilizan procesos tales como: fraccionamiento de fibras, blanqueo, refinación y adición de químicos (9).

Un sistema característico de tratamiento de fibras secundarias se puede representar de la siguiente manera, figura 3.1.

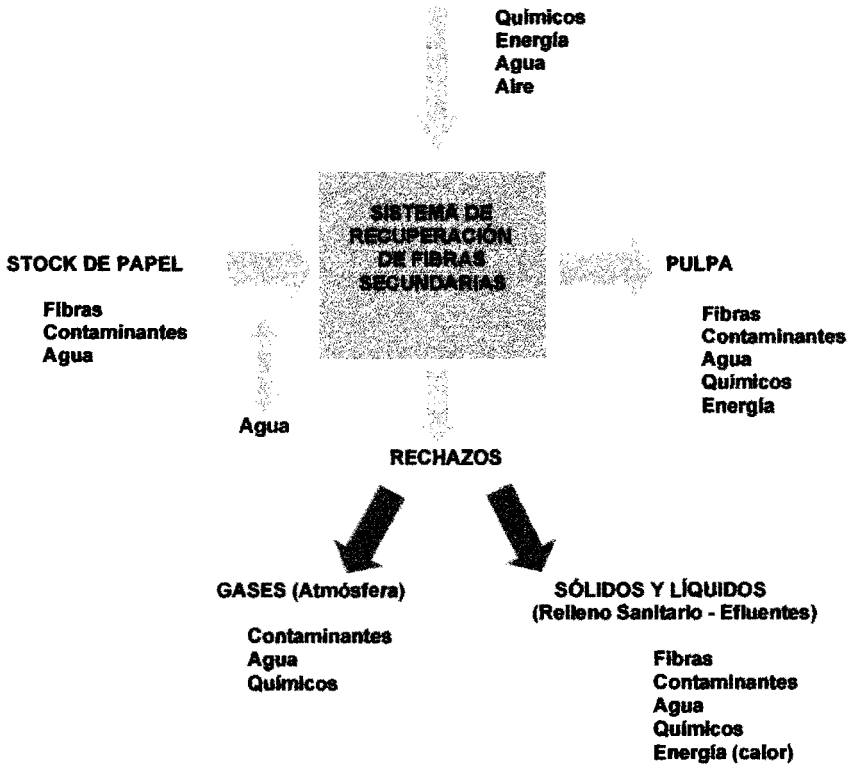

Figura 3.1: Sistema característico de tratamiento de fibras secundarias (9).

El sistema de tratamiento mediante el cual la materia prima será reciclada, dependerá de su facilidad de desintegración, tabla 3.1 (9).

Tabla 3.1: Dificultad de desintegración de la materia prima.

Dificultad de desintegración	Materia prima
Tipo I **Fácilmente desintegrable**	▪ Pastas húmedas, recortes de papel sin encolar, roturas de prensas, papeles tisú, papeles de cigarrillos, papeles de periódicos.
Tipo II **Medianamente desintegrables**	▪ Pastas al 90% (kraft o bisulfito, cruda o blanqueada, simiquímica), algunos tipos de papeles reciclados sin mezclar (cartones, revistas, etc.)
Tipo III **De mayor dificultad de desintegración.**	▪ Pastas mecánicas viejas, papeles resistentes a grasas, papeles encolados, papeles encapados, cartones ondulados, papeles reciclados mezclados.
Tipo IV **De difícil desintegración**	▪ Papeles reciclados resistentes en húmedo.

3.4. Características de la pulpa reciclada

El incremento en la utilización de fibras recicladas conduce a cambios tecnológicos y provoca la necesidad de un mayor conocimiento de cómo el reciclado afecta las propiedades de las fibras. Los cambios irreversibles que se producen en las fibras generalmente reducen el potencial papelero del papel recuperado.

La pérdida de propiedades de las fibras ocurre principalmente durante el secado, y está asociada al cerramiento permanente de los poros de la pared celular por formación de enlaces hidrógeno entre microfibrilas (hornificación); enlaces que no se rompen cuando la pulpa se vuelve a sumergir en el agua.

Las pulpas mecánicas y de ultra alto rendimiento muestran poco o ninguna hornificación irreversible debido a la presencia de un gel lignohemicelulósico en las paredes de la fibra que impide algún contacto directo entre las superficies celulósicas durante el secado.

Generalmente, se pudo observar que el uso de fibras recicladas produce papeles con propiedades mecánicas inferiores. La aparente deficiencia de la fibra reciclada puede superarse por refinación o por adición de químicos en los procesos de fabricación de papel (10).

Las propiedades que influirán en el comportamiento del papel fabricado a partir de fibras recicladas son:

- Resistencia de fibras
- Longitud de fibras
- Hinchamiento de las fibras
- Potencial de enlace de las fibras

Una forma de medir la resistencia individual de las fibras es mediante la longitud de rotura *zero – span* de la hoja (determinación de la resistencia a la tracción con la distancia cero entre las mordazas). La longitud de las fibras en pulpa virgen juega un rol importante en el desarrollo de la resistencia del papel.

El enlace fibra – fibra está influenciado por dos parámetros. El primero es el hinchamiento (*swielling*) que determina la conformación de las fibras, y con ella al área relativa de enlace. El segundo parámetro es la resistencia específica de enlace. El mecanismo del enlace fibra – fibra involucra enlaces de hidrógeno, los cuales suelen disminuir en las fibras sometidas a secado (8).

Las fibras recicladas poseen en general bajas resistencias, debido a un conjunto de factores:

- Hornificación producida durante el primer secado, que reduce la capacidad de unión interfibra del reciclado.
- Acumulación de fibras cortadas y finos, producido por los sucesivos repulpes.
- Refinación inadecuada de la pulpa para no producir problemas de drenado.

- Acumulación de partículas extrañas (caolines, pigmentos, etc.), que aumentan el gramaje sin contribuir a las resistencias.
- Acumulación de materiales extraños (aceites, almidón seco, resina/alúmina, etc.), que recubren a las fibras interfiriendo con las uniones.
- Debilitamiento de las fibras producidas por los procesos físicos en general a que fueron sometidas.

Diferentes autores concluyeron que la incorporación de fibra reciclada disminuye proporcionalmente la resistencia de la hoja final (7).

3.5. Comportamiento de las propiedades de las pulpas con el reciclado

Para explotar al máximo las propiedades de las fibras de papeles de desperdicio, es necesario un conocimiento de cómo éstas se ven afectadas por el proceso de reciclado.

Numerosos investigadores estudiaron el comportamiento de las pulpas durante el reciclo. Algunos examinaron la influencia de la especie de madera de origen; y otros centraron su atención en el comportamiento de distintos tipos de pulpas durante su reutilización.

El proceso de reciclado consiste en la repetición del ciclo: remojado – desintegración – formación de la hoja – prensado – secado.

Al comparar pulpas equivalentes, se observa que las propiedades típicas (densidad, resistencia físico- mecánicas) presentan tendencias, en líneas generales, similares durante el reciclado, pero las variaciones en valor absoluto difieren de autor a autor. Estas variaciones, a veces importantes en magnitud, podrían atribuirse a las diferentes metodologías empleadas en la simulación del proceso.

Pulpas kraft: En las pulpas kraft refinadas la longitud de rotura (directamente proporcional a la resistencia a la tracción) y el índice de explosión de la pulpa kraft generalmente disminuyen. La longitud de rotura es una medida de la resitencia a la tracción independientemente del gramaje de la hoja del papel. Es igual a la longitud límite, calculada, de una tira de papel o cartón de cualquier anchura uniforme, por encima de la cual, si dicha tira se suspendiese por su extremo, se rompería por su propio peso. Estos resultados indican principalmente la influencia negativa del secado con calor y no dan indicio de una restitución de la capacidad de enlace por medio de la refinación en cada ciclo. Por otro lado la variación del rasgado de las pulpas presenta una gran variabilidad, independientemente de la metodología utilizada (11).

En las pulpas kraft sin refino se nota un incremento de la resistencia a la tracción. Un aumento mayor se observa en la resistencia a la explosión, mientras que el rasgado, después de elevarse inicialmente, finalmente cae. La densidad permanece sin cambios. Estas tendencias son diferentes de aquellas obtenidas con la pulpa refinada, y la razón se encuentra en la naturaleza de las pulpas. La figura 3.2 muestra el comportamiento de una pulpa química sin refinar durante el reciclado (12).

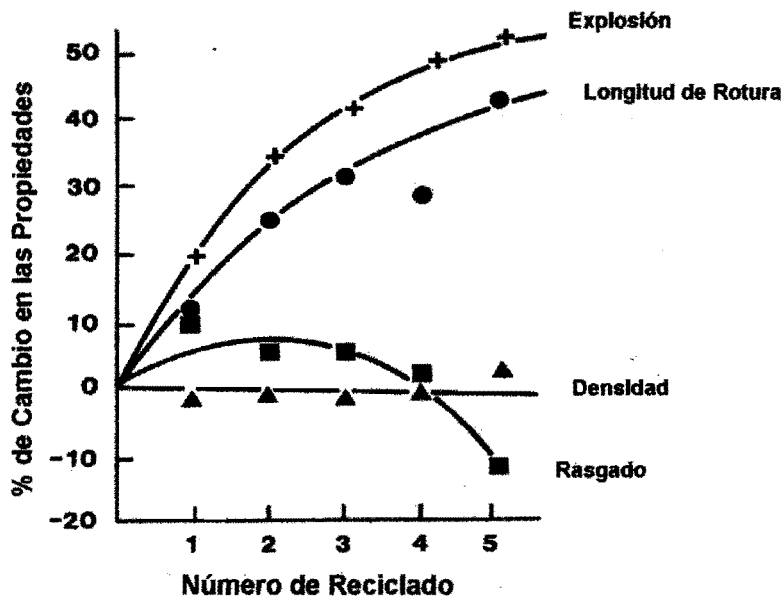

Figura 3.2: Kraft Blanqueada sin refinar. El porcentaje de cambio en las propiedades durante el reciclado (12).

Pulpa mecánica a la piedra (SGW): Las pulpas mecánicas SGW, TMP y CTMP se comportan similarmente durante el reciclado. Se observaron ganancias en la resistencia a la tracción, explosión, resistencia a la delaminación entre capas, densidad de la hoja y resistencia al aire.

La figura 3.3 muestra el comportamiento de una pulpa SGW sin refinar durante el reciclado.

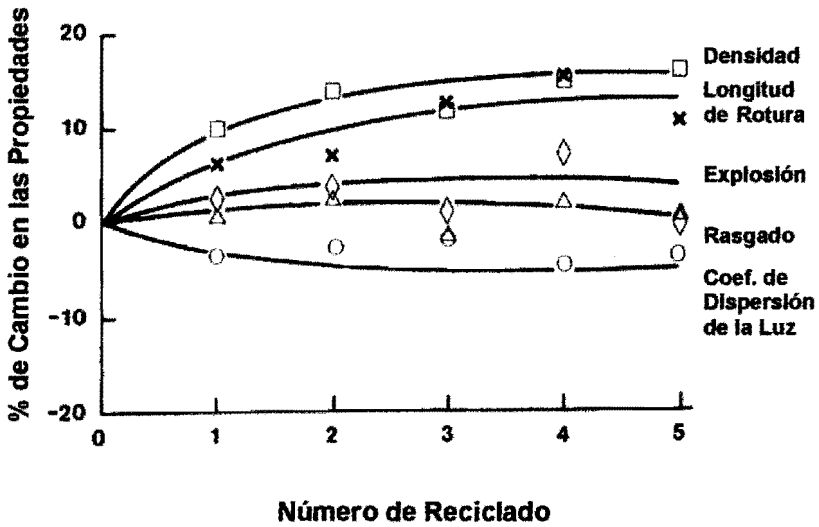

Figura 3.3: Pulpa SGW. El porcentaje de cambio en las propiedades durante el reciclado (12).

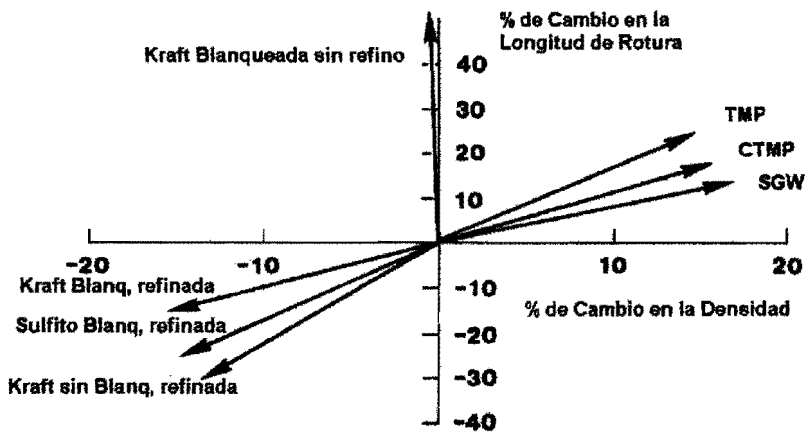

Figura 3.4: Potencial de reciclado de diferentes tipos de pulpas. Las flechas apuntan en la dirección en que aumenta el número de reciclos (12).

El efecto del reciclado sobre el tipo de pulpa puede resumirse en la figura 3.4. Se observan claramente tres efectos:

- Pérdida de resistencia y densidad de las pulpas químicas refinadas.
- Ganancia de resistencia y densidad en las pulpas mecánicas.
- Ganancia de resistencia con solo un pequeño cambio en la densidad en las pulpas químicas sin refinar (12).

3.6. Usos finales

La tabla 3.2 indica la fuente, el tipo de papel recuperado y las aplicaciones de las pulpas recicladas (9).

Tabla 3.2: Fuente y usos finales del papel recuperado (9).

Fuente (grupo funcional)		Stock del papel recuperado*	Productos fabricados con la pulpa reciclada
1.	Cartón de embalaje	OCC, mezcla.	1, 4 b, 6, 7, 8**
2.	Papeles de pulpa mecánica a la piedra	Periódico, DI (GW)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8**
3.	Tissue y otras máquinas Papeles crespados.	P/S, DI (CP) Mezcla.	2, 3, 5, 6, 7
4.	Cartón para cajas plegables. a) Sólido blanqueado. b) Combinación.	P/S, DI (CP), Mezcla.	3, 5, 8** 1, 4, 6, 7
5.	Impresión, escritura y relacionados.	P/S, DI (CP), Mezcla de desperdicios de oficina e impresoras.	2, 3, 4, 5, 6, 7
6.	Industrial Embalaje Conversión Misceláneos	Mezcla, P/S	1, 3, 4, 6, 7
7.	Papeles y cartones para la construcción	N. A. (reciclado interno)	N. A. (reciclado interno)
8.	Pulpa de mercado	N. A.	1, 2, 3, 5

** pulpas de mercado fabricas, de grados preseleccionados.

3.7. Ventajas y limitaciones

Podría pensarse que sería posible un reciclado ilimitado sí las fibras se separaran correctamente, pero no es así. Encontrar en las fibras recicladas las propiedades de las fibras vírgenes originales es un gran reto. En este sentido se realizaron progresos, particularmente en las áreas de: destintado, blanqueo, separación de contaminantes, fraccionamiento de fibras largas y cortas, y mejoramiento de las propiedades.

La reducción de la resistencia y la contaminación son los problemas principales que limitan actualmente la utilización de fibras recicladas en algunos grados. Para que sea posible vencer estos problemas deben incentivarse la investigación y el desarrollo tecnológico de procesos tendientes a incrementar el uso de fibras recicladas en papeles y cartones, y nuevos sistemas de remoción de contaminantes.

3.8. Las pulpas recicladas y el medio ambiente.

El reciclado ha impactado favorablemente en la sensibilidad de la sociedad al tratarse de la mejor modalidad de gestión de los residuos. Esta perspectiva medioambiental explica su auge en el mundo moderno.

El papel muestra especial importancia por su elevada participación en los residuos sólidos urbanos y su reciclabilidad. Esta presencia en los residuos es consecuencia del alto y creciente consumo del papel y cartón.

Según la evolución del consumo mundial, se destacan dos hechos:

- La industria papelera ha incrementado paulatinamente el uso de la fibra reciclada.
- Los residuos de papel y cartón, crecientes en función de la evaluación del consumo, son gestionados ventajosamente a través del reciclado.

La creciente acumulación de desperdicios y de productos sólidos desechados (basura) trae aparejada grandes problemas para la industria y la sociedad en general.

Ecológicamente hablando, la mayor propuesta es el desarrollo de soluciones según el siguiente orden de jerarquía:

- Reducción
- Reciclado
- Incineración
- Rellenos de terrenos

Una solución recomendada, especialmente para las ciudades con limitado espacio para relleno, es la incineración. Posee sobre todo una aplicación definitiva en el control global de residuos sólidos, pero las emisiones de gases de los incineradores constituyen un severo contaminante del aire. Pocos equipos cumplen con las regulaciones de calidad del aire, en lo que se refiere a la instalación de precipitadores electroestáticos y sistemas lavadores de gases de elevada energía.

Con los problemas que produce el quemado y la dificultad de conseguir espacios para rellenos sanitarios, el costo de la disposición de residuos sólidos aumenta. Cuanto mayor es la tasa de reciclado, menor es el factor de costo municipal relativo a la disposición de los residuos sólidos.

Esto son los motivos de la creciente presión hacia la industrialización de los desperdicios, lo que conlleva un incremento del uso de materiales reciclados (7).

CAPÍTULO 4: LOS CARTONES MULTICAPA

4.1. Introducción

Las técnicas de fabricación de cartón multicapa se introdujeron en la producción de cartones a causa de la imposibilidad de producir cartones de altos gramajes en una sola capa. Sin embargo, pronto se advirtió que estas técnicas permitían colocar diferentes tipos de pulpas en las distintas capas y optimizar el uso de sus componentes.

Hasta principios de 1900 todos los papeles producidos se elaboraban manualmente y, cuando se requirieron cartones de gramaje elevado ó con dos lados diferentes, normalmente las capas individuales se superponían cuando las hojas aún estaban húmedas y luego se prensaban y secaban. En la actualidad, la tecnología para la formación de estructuras multicapa, es una parte importante en la fabricación de un amplio rango de productos de papel y cartón.

Los cartones multicapa se fabricaron tradicionalmente utilizando pulpa kraft blanqueada y sin blanquear en las capas superior e inferior respectivamente, y materiales de bajo costo en las capas intermedias. Las ventajas de las estructuras multicapa incluyen:

- Posibilitan el uso de diferentes materias primas en las capas individuales, para mejorar las características de los productos y la economía de fibras.
- Pueden producir estructuras con mejores características usando una selección adecuada en la composición de las capas individuales.
- Representan la oportunidad para el desarrollo de nuevos productos (13).

4.2. Tipos de cartones

La gran variedad de cartones existentes en el mercado se clasifican en tres categorías, como se muestra en la figura 4.1 (14).

Grados de cartones		
Cartones	**Cartones de embalaje**	**Cartones especiales**
Cartón para caja plegable	Cartón liner - Marrón (kraft, reciclado) - Moteado - Top blanco - Top estucado blanco	Cartón para tubos de cartón
Cartón gris cubierta blanca		Papel de pared
Cartón homogéneo blanqueado		Cartón silicatado
Cartón homogéneo no blanqueado		Cartón para encuadernación
Cartón para embalaje de líquidos (blanqueado o no blanqueado)	Corrugado medio (semiquímica y reciclado)	Cartón madera y otros

Figura 4.1: Clasificación de grados de cartones (14).

Cartones de embalaje: Constituyen una gran parte del mercado en la industria del cartón.

- **Corrugado medio:** El más común es de 130 g/m^2, pero también se utilizan de 150, 160, 180 y 200 g/cm^2. La rigidez constituye el principal requerimiento para este cartón. Se fabrica usualmente con pulpa semiquímica (NSSC) de latifoliadas de alto rendimiento (80%), con hasta un 40% de fibra reciclada (300 - 450 CSF). La fibra empleada como reciclada es el mismo cartón corrugado. La mayoría de los cartones corrugados medios son hojas de un solo pliego. Eventualmente se hace corrugado medio con 100% de fibra reciclada en máquina multicapa.

- **Cartón liner:** El liner más común es el de 200 g/m^2 pero se utilizan también liner de 130, 160, 190, 340, y 440 g/m^2. El liner debe ser

suficientemente fuerte para alcanzar la resistencia requerida (usualmente a la explosión) y también poseer suficiente rigidez. Debe presentar una apariencia aceptable, si bien no posee requerimientos de blanco. En general el liner se fabrica de pulpa kraft sin blanquear de coníferas a 55% de rendimiento. Esto puede suplementarse con 20% de pulpa kraft de latifoliadas y con hasta 40% de fibra reciclada (400 – 650 CSF). La fibra reciclada es también cartón corrugado de las mismas características señaladas anteriormente. La mayoría de los liner se fabrican utilizando una caja de cabeza de máquina secundaria que provee el 20% del gramaje. Este top-liner es generalmente una pulpa más limpia para mejorar la apariencia. Si quiere obtenerse un liner blanco, puede utilizarse una pulpa blanca en el top-liner. Existe un liner hecho con 100% de fibras recicladas, que puede prepararse en Foudrinier o máquinas multicapa (15).

Cartones: Los cartones se dividen en varios subgrados:

- ***Cartón para caja plegable*** (*Folding boxboard, FBB*). 160 – 450 g/m^2. Propiedades mecánicas necesarias: espesor, rigidez a la flexión y resistencia en la dirección Z. Figura 4.2.

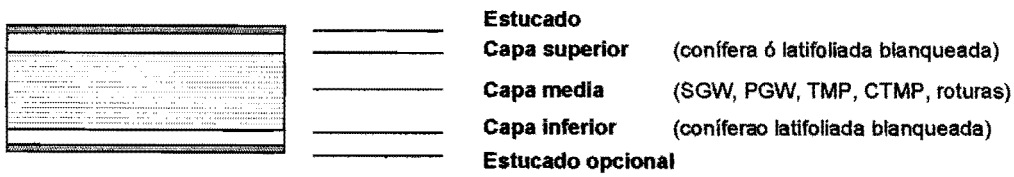

Figura 4.2: Estructura de un cartón para caja plegable (14).

- ***Cartón gris cubierta blanca*** *(White lined chipboard, WLC).* Debido al uso de varios tipos de fibras recicladas en la capa media, no se usa para el embalaje de ciertos alimentos, salvo que se coloque un

plástico protector entre el producto y el embalaje. (200 – 450 g/m^2). Propiedades mecánicas necesarias: similares al FBB. Figura 4.3.

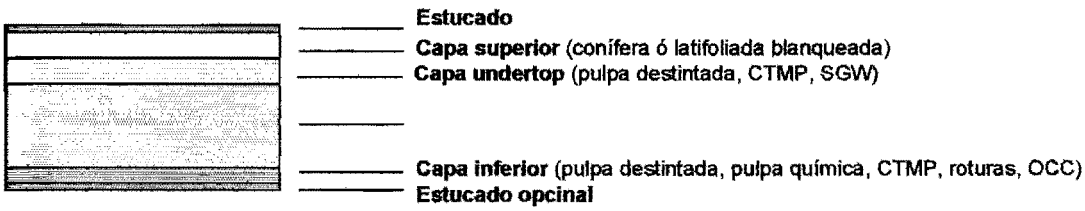

Figura 4.3: Estructura típica de un cartón gris con cubierta (14)

- ***Cartón homogéneo blanqueado*** (*Solid bleached (sulfate) board, SBS*). Propiedades mecánicas requeridas: similares al FBB y WLC. Figuras 4.4 y 4.5.

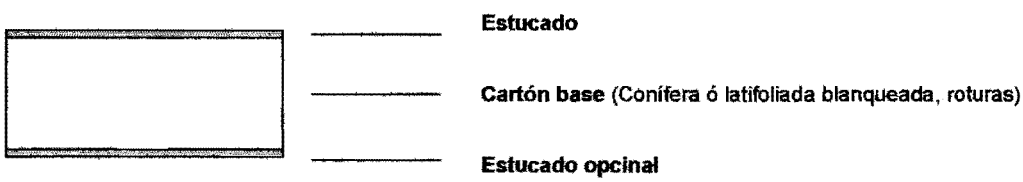

Figura 4.4: Cartón homogéneo blanqueado monocapa (14).

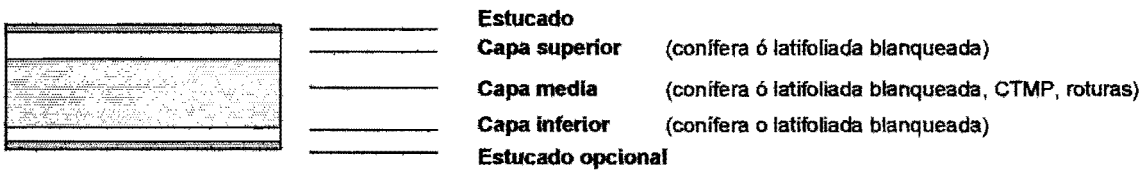

Figura 4.5: Estructura de un cartón homogéneo blanqueado con tres capas (14).

- ***Cartón homogéneo no blanqueado*** (*Solid unbleached (sulfate) board, SUS*). Mayores de 500 g/m^2. Figura 4.6. Propiedades mecánicas: Rigidez, resistencia al rasgado, resistencia en la dirección Z.

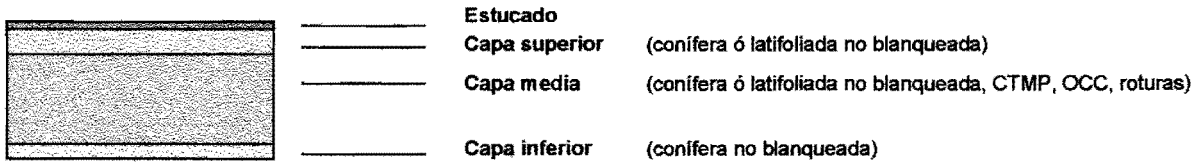

Figura 4.6: Cartón homogéneo no blanqueado en tres capas (14).

- ***Cartón para embalaje de líquidos*** (*Liquid packaging board, LPB*). Propiedades mecánicas: Rigidez, resistencia en la dirección Z. Figuras 4.7.

Figura 4.7: Cartón para embalaje de líquidos de dos capas (14).

La tabla 4.1 señala los ejemplos de productos envasados, y sus requerimientos especiales para el cartón y los grados típicos de cartón (14).

Tabla 4.1: Ejemplos de productos envasados, sus requerimientos especiales para el cartón y los grados típicos de cartón (14).

Producto	Requerimientos especiales	Grados de cartón
Alimento directo.	Pureza, limpieza, maquinabilidad.	FBB
Alimentos congelados.	Resistencia, barrera, pureza, limpieza, maquinabilidad.	SBS, SUS
Alimento indirecto.	Maquinabilidad.	SUS
Golosinas, confitería.	Apariencia atractiva, pureza, limpieza, olor, libre de manchas.	FBB, SBS
Porta botellas.	Resistencia.	SUS
Cosméticos, artículos de tocador.	Apariencia atractiva.	FBB, SBS
Cigarrillos, tabaco.	Maquinabilidad, olor y libre de manchas, apariencia	SBS, FBB
Farmacéuticos.	Identificación, maquinabilidad.	FBB, WLC
Detergentes.	Resistencia, maquinabilidad.	WLC, SUS
Artículos de pasatiempo (hobby).	Resistencia	WLC
Textiles, ropas, calzado.	Apariencia	WLC, FBB
Juguetes, juegos	Resistencia, pureza.	WLC, SUS
Productos de papel	Apariencia, maquinabilidad.	WLC
Leche, jugos.	Maquinabilidad, limpieza, pureza, resistencia.	LPB

4.3. La estructura del cartón multicapa.

En un cartón multicapa, si bien el tipo de materiales que conforman cada capa es importante, su ubicación relativa lo es mucho más. Una forma de ver las ventajas de esta composición, es la posibilidad de utilizar fibras de menor costo en la parte central de la hoja tal como fibra secundaria ó pulpa mecánica. Ubicadas en esta posición, será menor su contribución en aspectos no deseables, como sus bajas resistencia ó aspecto (15).

El gramaje total de una estructura multicapa puede reducirse sin perjudicar las características de la hoja, mediante una distribución selectiva de las fibras componentes. Las características de las hojas pueden

mejorarse, por ejemplo, usando una composición que reúna los mejores requerimientos de superficie para las capas exteriores, y una composición que reúna otras necesidades en la parte interna de la hoja (capa media).

Con la aparición de pulpas de alto rendimiento de calidad superior, el concepto de la fibra barata como material separador se ha modificado parcialmente y la incorporación de TMP y sobre todo CTMP, de alto volumen específico y buenas resistencias, es deseable por su contribución a las propiedades físicas de la hoja.

Una estructura tipo multicapa puede verse en la figura 4.8:

Recubrimiento (coating)	**0 – 20 g/cm^2**
Liner superior (top liner)	**40 – 50 g/cm^2**
Relleno (filler)	**100 – 350 g/cm^2**
Liner inferior (back liner)	**20 – 30 g/cm^2**

Figura 4.8: Esquema de la estructura de un cartón multicapa (16).

Este cartón puede contener cuatro tipos de materias primas diferentes que conforman las cuatro capas, y la composición de cada capa depende del uso final. Inclusive pueden utilizarse diferentes pulpas de reciclado, aunque en general el alto costo del destintado no justifica su utilización en el liner superior. El liner superior es el más caro, ya que las propiedades ópticas y de resistencia son muy importantes en esta capa.

El liner inferior se utiliza para ahorrar liner superior en algunas máquinas. Usualmente esta capa es más débil y más oscura que el liner superior, por lo que puede poseer más contaminantes (por ejemplo, tinta no dispersa). El liner inferior provee la cubierta para la parte inferior de la hoja. Dependiendo del uso final, esta cubierta puede ser una versión más limpia

de la misma materia prima del relleno. Este liner colabora también con la resistencia de la hoja.

El relleno forma la mayor parte del cartón, y por esto se utiliza la materia prima de más bajo costo en esta capa, dentro de la limpieza requerida en este grado. Sin embargo, esta capa debe cumplir con ciertos requerimientos como ser: elevada rigidez, resistencia interna, y formación.

De este modo, se obtienen distintas características utilizando distintas pulpas en las diferentes capas, y pueden realizarse cambios para diferentes requerimientos de grado y espesor (16).

4.4. Propiedades y características del cartón multicapa

Si se considera la unión física de fibras como una estructura tridimensional, todas las hojas son estructuras. La unión física de fibras, finos y cargas no es uniforme en la dirección Z.

Muchas de las propiedades requeridas de una hoja multicapa podrían ser las mismas que las requeridas para una sola capa. Esto incluye características superficiales, porosidad, y resistencias físicas como explosión, tracción, características direccionales, etc.; pero hay algunas características particularmente relacionadas a las estructuras multicapa: la rigidez a la flexión y la adhesión entre capas (15).

Los gramajes para un dado grado de cartón pueden comprender de 100 a 800 g/m^2 pudiendo abarcar diferentes materiales. Los productos pueden cubrir una gran extensión de propiedades mecánicas. Para obtener una idea general de las propiedades dominantes en los diferentes tipos de cartones, se han realizado diagramas en los cuales se graficaron diferentes propiedades en función del índice de tracción. El índice de tracción se eligió como un indicador para los diferentes tipos de fibras usadas en el material. Los resultados que se indican en la figura 4.9 están basados en ensayos de

41 grados comerciales diferentes de cartones usados en Suecia. No se encontraron investigaciones realizadas sobre grados de América Latina (17).

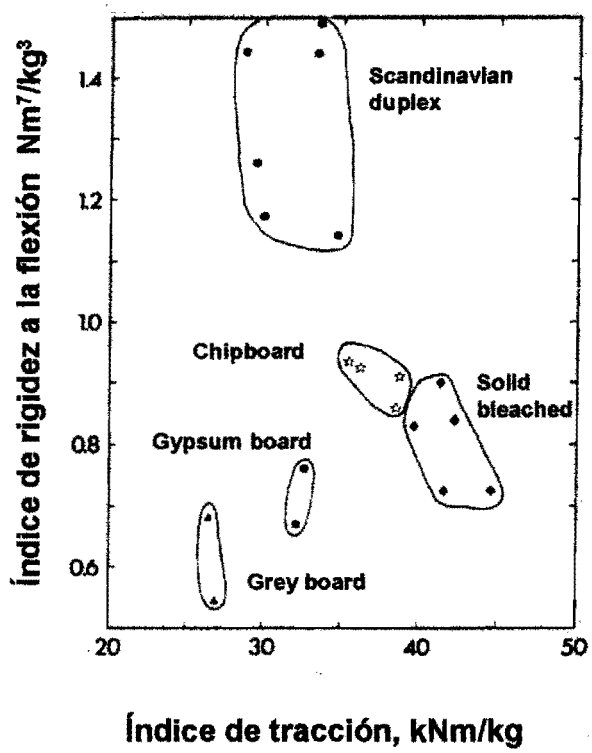

Figura 4.9: Rigidez a la flexión (normalizado con respecto al gramaje) para diferentes grados de cartones (17).

Donde:

- **Solid bleached:** estucado / pulpa química blanqueada/ estucado.
- **Scandinavian dúplex:** estucado / pulpa química blanqueada / pulpa mecánica / sulfito no blanqueado.
- **Chipboard:** estucado / pulpa química blanqueada / fibra reciclada (una o más capas).
- **Gypsum board**: Cartón multicapa formado 100% de fibras recicladas usado para las superficies exteriores de yeso usado en paneles para la construcción.

- **Grey board:** Cartón homogéneo fabricado a partir de una mezcla de papeles recuperados (17).

La rigidez a la flexión: Es la resistencia del material a fuerzas de flexión simples, se diferencia de la rigidez a la compresión ó de la resistencia al aplastamiento de canto, en que la deformación plástica influye en gran medida (17). La rigidez total del cartón es función únicamente de los valores de rigidez de las capas externas. La porción central del cartón proporciona volumen y actúa como espaciador, lo que incrementa la contribución de las caras superior e inferior. Los factores básicos que gobiernan la rigidez del cartón son el espesor de la hoja y su módulo elástico. El módulo de elasticidad depende de la habilidad de la cara superior convexa de la hoja para estirarse, y de la cara inferior (cóncava) para comprimirse. Así, el grado de tensión o compresión a que estará sometido el material depende de su posición en la hoja.

Otras propiedades importantes son la resistencia a la compresión y la resistencia la delaminación entre capas.

La resistencia a la delaminación: Permite evaluar en que medida el papel o el cartón pueden soportar tensiones perpendiculares al plano y, por lo tanto, en que medida podrá resistir las diversas tensiones a lo largo de la impresión y de la manipulación.

La estructura del papel es multiplanar, no se encuentran fibras dispuestas en la dirección del espesor. En los ensayos de tracción en el plano las uniones interfibras están sometidas básicamente a esfuerzos cortantes. Para poder evaluar la cohesión de la hoja se debe provocar su deformación en el plano perpendicular al plano de los enlaces (dirección del espesor o dirección Z).

Resistencia a la compresión de canto: Es una propiedad decisiva en un gran número de propiedades funcionales del papel y, sobre todo, del cartón. En la mayoría de las operaciones de manipulación, así como en las

características de aplicación final, esta debilidad a la compresión puede ser la característica decisiva. Tanto el papel como el cartón presentan, en general, menor resistencia a esfuerzos de compresión de canto que a esfuerzos de tracción (18).

4.5. La optimización de la economía de fibras

La formación multicapa permite producir un cartón que posee volumen en la capa central y, densidad y resistencia en la capa exterior, tal que la hoja resultante mejore sus características de rigidez. Esto puede realizarse con una distribución selectiva de fibras y/o por refinado diferencial. Se ha encontrado que la rigidez de la hoja de una sola capa puede igualarse a una hoja multicapa que posea un gramaje total menor. Esto es consecuentemente un ahorro sustancial de fibras.

Otro método de mejoramiento en la economía de fibras es el uso de fibras de bajo costo para las capas interiores sin afectar adversamente a las propiedades de las hojas o apariencia de las hojas. Un ejemplo de esto es el uso de fibras secundarias en las capas medias en la fabricación de cartones.

Otro ejemplo de optimización del costo de las materias primas se muestra en la figura 4.10. Puede verse que la hoja de una sola capa posee una rigidez máxima cuando está confeccionada con 100% pulpa mecánica a la piedra (SGW) y la rigidez se reduce con la adición de pulpa química. En el caso de la hoja con dos capas la máxima rigidez se obtiene cuando el contenido de pulpa química es un 13% del gramaje total y es mínima cuando es del 83%. En el caso de una construcción de tres capas, la máxima rigidez se obtiene cuando el gramaje de las capas inferior y superior es un 35% del gramaje total y las hojas poseen una estructura simétrica (15).

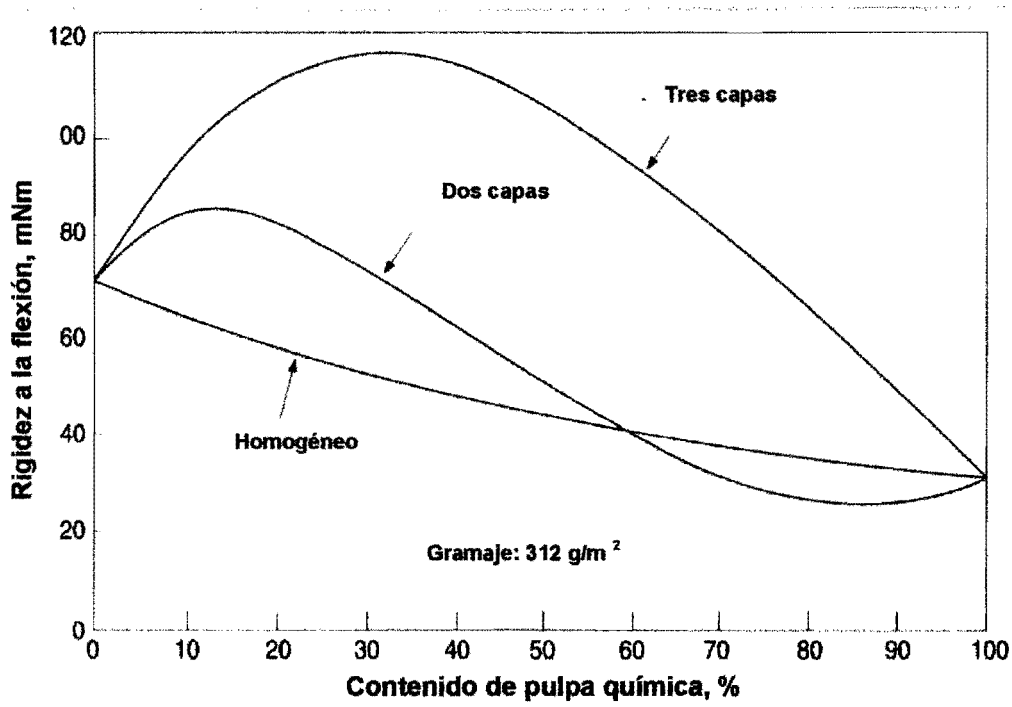

Figura 4.10: Ejemplo de optimización del costo de las materias primas (15).

4.6. Utilización de las pulpas de alto rendimiento en envases

La rigidez es la propiedad más crítica en el cartón para envases. La incorporación de pulpa mecánica en la capa central de un cartón multicapa genera una estructura de elevada rigidez (por su naturaleza de poseer baja densidad), y por esta razón es un componente importante en la fabricación del cartón.

En un cartón multicapa, la composición de cada capa debe seleccionarse de acuerdo con su función. La capa superior debe llevar la información sobre el contenido del envase, y por lo tanto es muy importante su calidad para la impresión. Por este motivo, esta capa se fabrica de pulpa química, la cual posee un elevado módulo de elasticidad. Esto se complementará con las capas centrales de alto volumen específico, para

generar una estructura de elevada rigidez. En general, para aumentar la calidad de impresión se aplica un encapado (coating).

Debido a que la rigidez es función de la tercera potencia del espesor, y con la tendencia a utilizar bajos gramajes, es esencial que la capa central posea un elevado volumen específico sin sacrificar la resistencia. Es importante que la formación y la superficie de la capa central sean uniformes, ya que sus contornos se reflejarán en la capa superior. Estos factores restringen la calidad de la pulpa mecánica en esta capa.

Los requerimientos de densidad, rigidez y resistencia se aplican también al la capa inferior, y por lo tanto, la incorporación de pulpa mecánica en esta capa es en general menor o nulo. Si se incorpora, debiera tratarse de CTMP o BCTMP de calidad superior. Si bien las capas centrales pueden fabricarse de SGW, PGW o TMP, las pulpas CTMP son las que presentan mayor potencialidad debido a que combinan un alto volumen específico y un mayor módulo de elasticidad.

Cuando el cartón es utilizado para envasar alimentos, es esencial que el contenido no sea contaminado por ningún tipo de compuesto que provenga del cartón. En general, los alimentos que se envasan usualmente en cartón la leche, los jugos de fruta y el vino. Este tipo de cartón se fabricó usualmente con pulpa química blanqueada, generalmente encolada con productos neutros. Sin embargo, estos envases requieren una elevada rigidez, ya que deben soportar la presión interna del líquido, y la compresión del apilado y la pulpa química no es ideal en este aspecto. Por esta razón, se han desarrollado estructuras sándwich con dos capas de pulpa química de alto rendimiento. En este tipo de envases, es privativa la utilización de pulpas CTMP, debido a su bajo contenido de extractivos, con respecto a las SGW o TMP, que podrían contaminar con gusto y olor al contenido (16)

4.7. Las fibras secundarias en los cartones multicapa

En cuanto a las propiedades físicas, la rigidez en general es menor en la pulpa reciclada que para la pulpa virgen. En el top liner se mezcla ocasionalmente una pulpa fuerte con otra más débil siempre que se cubran los requerimientos de tracción. En lo que respecta a las propiedades ópticas, son importantes solo en el top liner del box board. Por esta razón no se suele incorporar fibras recicladas debido a que no se justifica el costo de destintado.

La limpieza de las pulpas está determinada por el uso final (por ejemplo, contaminantes que son prohibidos en cartones para la industria alimenticia).

El factor más importante, sin embargo, es la fuente del reciclado. Por ejemplo, el repulpe de bolsas multicapa (multi wall bags) posee el 70% de la resistencia a la tracción y 63% de la resistencia a la explosión de la fibra virgen kraft, mientras que con el repulpe de periódicos, la proporción de resistencia desciende a 30% y 20% respectivamente.

Como consecuencia, es evidente que si se quiere utilizar fibra secundaria en el top liner o back liner, la fuente deberá ser cuidadosamente seleccionada. Algunas variantes tecnológicas podrían así mismo probarse para mejorar la calidad del reciclado, como optimizar el grado de refinación, o mediante el prensado a elevadas temperaturas, lo cual también seria aplicable a las CTMP.

En esta forma, podría pensarse en un multicapa: reciclado – CTMP – reciclado, con un top liner de fibra virgen o no, de acuerdo con el uso final del envase (16).

CAPÍTULO 5: MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Plan de trabajo experimental

El trabajo se dividió en dos partes y se realizó en dos laboratorios, como se muestra en la tabla 5.1:

Tabla 5.1: Plan de trabajo y lugar donde se realizó el mismo.

Parte I **Laboratorio del IPT**	**Parte II** **Laboratorio del PROCYP**
- Aprendizaje de técnicas de formación, dúplex y tríplex. - Ensayos preliminares.	- Reciclado de las pulpas puras: kraft reciclada y pulpa mecánicas SGW. - Ensayos físicos y ópticos.
- Formación de cartones dúplex y tríplex.	- Reciclado del cartón tríplex. - Ensayos físicos y ópticos.
- Ensayo físicos y ópticos.	- Análisis de Resultados.
- Análisis de Resultados.	- Elaboración de la tesis.

5.2. Materias primas

Las materias primas utilizadas en este trabajo no requirieron ningún tratamiento previo a su utilización, debido a que su obtención y preparación constituyeron parte de otro trabajo de tesis (19). Como materias primas se utilizaron las siguientes pulpas:

Pulpa mecánica a la piedra SGW (S): Obtenida a través de la Empresa Klabin (Telémaco Borba, Brasil), compuesta por un 12% de *Araucaria angustifolia* y un 88% de *Pinus taeda*. La pulpa se centrifugó, y se guardó en bolsas negras de polietileno con algodón embebido en formol, para su conservación; y se almacenó a 4°C en una cámara frigorífica.

Pulpa de papel kraft reciclado (K): Proveniente de bolsas kraft de harina de 50 kg recolectadas en panaderías de la ciudad de Posadas (fibra larga kraft 100%). Las bolsas fueron sometidas a un pulpado, con agua y a

temperatura ambiente. La pulpa obtenida se sometió a depuración, centrifugación y secado al aire; luego se guardó en bolsas.

Pulpa de papel periódico reciclado (D): Diarios "Noticias" y "Última Hora" recolectados en Encarnación, Paraguay (papel periódico importado de Chile). Los diarios recibieron el mismo tratamiento que las bolsas kraft.

5.3. Ensayos preliminares

Las pulpas fueron caracterizadas a través de la clasificación de fibras. realizado en el trabajo de tesis indicado (19).

Se realizaron ensayos preliminares de formación de cartones multicapa, para determinar la aptitud de la técnica de formación a utilizar, debido a la falta de una norma estandarizada para la formación de cartón multicapa. Las hojas componentes de cada capa fueron realizadas de acuerdo a la norma. Se observó que los cartones formados presentaron buenas características de formación y adhesión entre las capas.

5.4. Diseño experimental

La nomenclatura utilizada a lo largo del trabajo para la identificación de las pulpas es la siguiente:

K: Pulpa reciclada kraft.

D: Pulpa reciclada de diario.

S: Pulpa mecánica a la piedra (*SGW*).

Cartón dúplex.

Las experiencias realizadas se basaron en el estudio de la influencia de las proporciones de pulpa SGW y reciclada en empastes en la capa inferior del cartón, sobre las propiedades físicas y ópticas del cartón (con

capa superior de pulpa reciclada kraft 100%). De este modo, se podría determinar las mejores proporciones, a utilizar para optimizar la calidad de este tipo de cartón.

La tabla 5.2 presenta el diseño y número de experiencias que se realizaron. Además, señala los porcentajes de las pulpas en el cartón, sus configuraciones y el porcentaje de la pulpa S en el empaste. Se realizaron diez experiencias que incluyeron 5 repeticiones (R). La figura 5.1 representa la configuración de este cartón.

Tabla 5.2: Diseño de las experiencias para cartón dúplex.

N° Experiencia		Configuración del cartón	% Composición del cartón			% S en empaste
			K	D	S	
1		$K_{1/2}D_{1/2}$	50	50,0	0,0	0
2	(2 R)	$K_{1/2}(S+D)_{1/2}$	50	37,5	12,5	25
3	(1 R)	$K_{1/2}(S+D)_{1/2}$	50	25,0	25,0	50
4	(2 R)	$K_{1/2}(S+D)_{1/2}$	50	12,5	37,5	75
5		$K_{1/2}S_{1/2}$	50	0,0	50,0	100

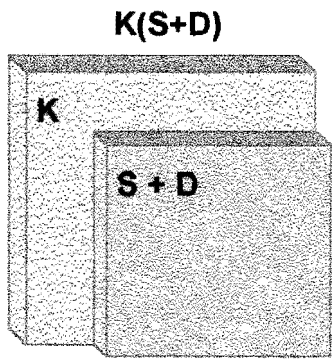

Figura 5.1: Configuración del cartón dúplex.

Cartón tríplex.

Las experiencias realizadas se basaron en el estudio de la influencia de dos factores sobre las propiedades físicas y ópticas del cartón. Estos se elaboraron en todos los casos con capa superior de pulpa reciclada kraft 100%.

Los factores que se seleccionaron fueron:

- La posición de la capa de pulpa S en la estructura del cartón.
- El gramaje de la pulpa S.

Así, se podría determinar la posición y gramaje a utilizar para optimizar la calidad de este tipo de cartón.

La tabla 5.3 presenta el diseño de las experiencias y las repeticiones realizadas (R), también indica los porcentajes de las pulpas en el cartón, y sus configuraciones. Las experiencias realizadas fueron diecisiete e incluyen cuatro repeticiones. La figura 5.2 representa la configuración de los cartones.

Tabla 5.3: Diseño de las experiencias para cartón tríplex.

N° Experiencias	Configuración	K	D	S
1	$K_{1/3}K_{1/3}K_{1/3}$	1,00		
2	$D_{1/3}D_{1/3}D_{1/3}$		1,00	
3	$S_{1/3}S_{1/3}S_{1/3}$			1,00
4	$K_{1/3}D_{1/3}D_{1/3}$	0,33	0,66	
5	$K_{1/3}S_{1/3}S_{1/3}$	0,33		0,66
6	$K_{1/3}S_{1/3}D_{1/3}$	0,33	0,33	0,33
7	$K_{1/3}D_{1/3}S_{1/3}$			
8 (2 R)	$K_{1/3}D_{1/2}S_{1/6}$	0,33	0,50	0,17
9 (2 R)	$K_{1/3}S_{1/6}D_{1/2}$			
10 (2 R)	$K_{1/3}D_{1/6}S_{1/2}$	0,33	0,17	0,50
11 (2 R)	$K_{1/3}S_{1/2}D_{1/6}$			
12	$K_{1/6}D_{1/3}S_{1/2}$	0,16	0,33	0,50
13	$K_{1/3}S_{1/2}D_{1/6}$	0,16	0,50	0,33

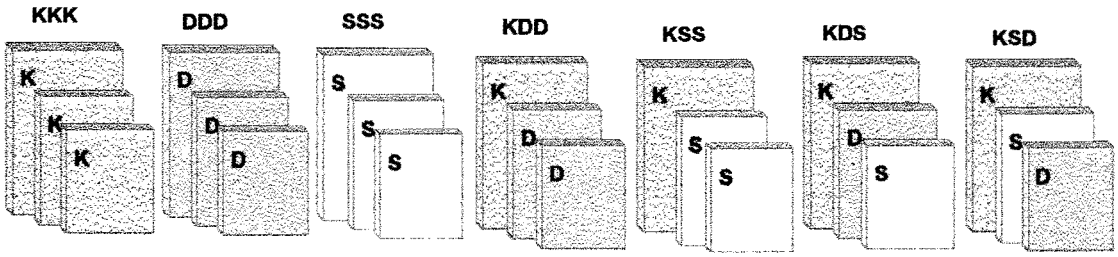

Figura 5.2: Configuraciones del cartón tríplex.

5.5. Formación y ensayo de los cartones

Caracterización de las pulpas y los empastes.

Como caracterización de las tres materias primas se determinó únicamente el Grado de refino utilizando el método Schopper-Riegler (°SR).

Otras caracterizaciones de las mismas materias primas se citan de otro trabajo (19). Las mismas incluyen:

- Clasificación de fibras.
- Observación microscópica.

Formación de los cartones.

La preparación de las pulpas incluyó:

Determinación del contenido de humedad.

Desintegración: Las pulpas se desintegraron en un equipo de laboratorio, mediante un tratamiento mecánico en medio acuoso, de manera que las fibras fueran separadas unas de otras sin alteración apreciable de sus propiedades estructurales.

Preparación de la suspensión: La pulpa desintegrada se colocó en un tanque agitado y se diluyó para su homogeneización, determinándose la consistencia de la suspensión.

Preparación de los empastes: En el caso de mezclas de pulpas, se determinó la consistencia de las suspensiones y con ello se calcularon los volúmenes a mezclar para obtener la proporción de pulpas deseada, verificando la consistencia y determinando el Grado Schopper Riegler de la mezcla.

Formación del cartón dúplex (120 g/m^2): Los cartones dúplex se formaron uniendo dos hojas húmedas (ambas de 60 g/m^2). El cartón se compuso de:

- Una capa superior de pulpa K.
- Una capa inferior de un empaste de pulpas S y D.

Las hojas componentes de los cartones se prepararon en un formador Regmed. de laboratorio del tipo Rapid-Köthen antes de proceder a la etapa de secado. La formación se esquematiza en la figura 5.3.

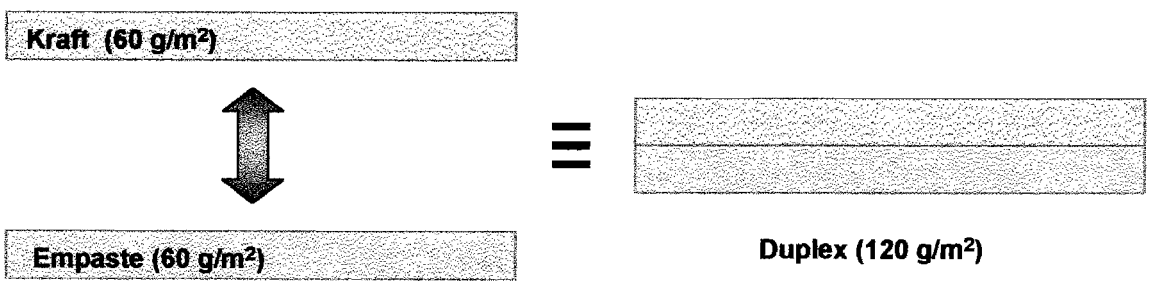

Figura 5.3: Formación del cartón dúplex.

Formación de los cartones tríplex (180 g/m^2): Los cartones se formaron superponiendo tres hojas húmedas (30 – 60 – 90 g/m^2). La composición es la siguiente:

- Una capa superior de pulpa K.

- Una capa media de S ó D.
- Una capa inferior de D ó S.

Las hojas se prepararon en un formador Regmed de laboratorio del tipo Rapid-Köthen antes de proceder a la etapa de secado. La formación se esquematiza en la figura 5.4.

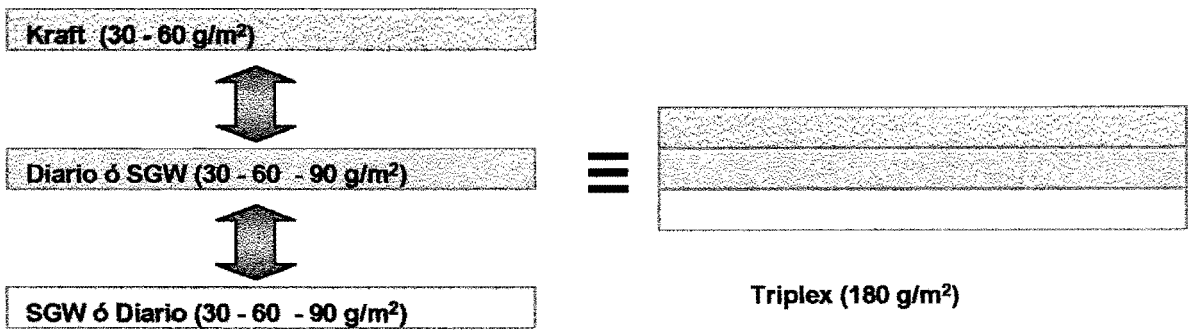

Figura 5.4: Formación del cartón tríplex.

Las técnicas, métodos y normas utilizadas en la caracterización de las materias primas y formación de las hojas componentes de los cartones, se indican en la tabla 5.4:

Ensayo de los cartones

Los cartones formados fueron acondicionados a atmósfera estándar, y se realizaron los ensayos físico-mecánicos y ópticos sobre las hojas de pulpa, según se indica en la tabla 5.4.

5.6. Reciclado de las pulpas puras y del cartón tríplex

El reciclo se realizó en la planta piloto del PROCYP. Las hojas se formaron en una formadora de hojas de acuerdo a la norma TAPPI, cuyo sistema de formación y secado difieren del que se utilizó en los ítems anteriores, para la formación de los cartones dúplex y triples. Por este motivo se partió de la

formación inicial de las hojas (número de reciclo cero). El procedimiento de reciclado en el laboratorio consistió en la repetición del ciclo: desintegración – formación de hojas (sin recirculación de los finos) – prensado – secado, como se muestra en la figura 5.5.

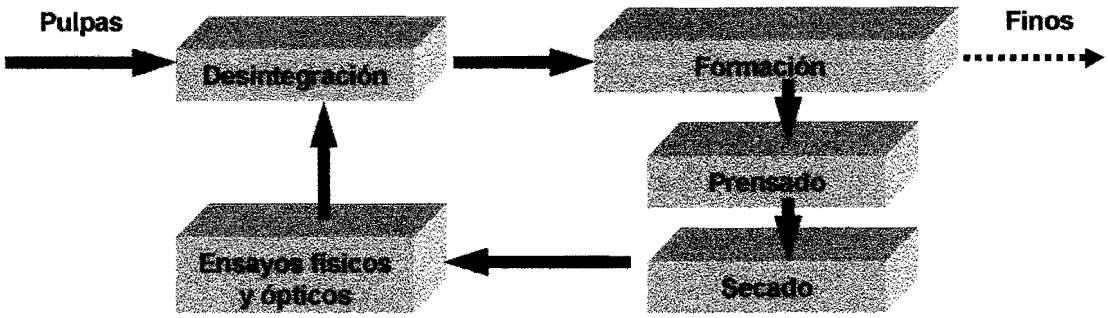

Figura 5.5: Procedimiento de reciclado en el laboratorio.

Reciclado de las pulpas puras de referencia

La desintegración de las pulpas se realizó en un desfibrador de laboratorio. Las pulpas desintegradas se utilizaron para formar las hojas de 1,2 g, que se prensaron y luego se secaron al aire, entre anillos en una atmósfera acondicionada a 23°C y 50% de humedad relativa. Sobre estas hojas se practicaron los ensayos físicos y ópticos convencionales. Esto permitió observar el comportamiento de estas pulpas con el reciclado, y utilizar esta información como complemento en la interpretación de los resultados obtenidos con el reciclo del cartón tríplex.

La pulpa D no fue reciclada porque del análisis de resultados de los cartones tríplex se determinó que es la capa a sustituir por la pulpa proveniente del cartón reciclado. Después del primer reciclo su proporción es de solo 11% de la composición del cartón. Este porcentaje tiende a cero en los posteriores reciclos.

Las pulpas que se reciclaron son las siguientes:

- Pulpa K (3 reciclos).

- Pulpa S (3 reciclos).

Reciclado del cartón tríplex.

El reciclado del cartón se realizó del mismo modo que el reciclado de las hojas. El proceso de reciclado consistió en la repetición del ciclo que muestra la figura 5.5, hasta 5 veces (número de reciclos: 5). El tipo de cartón utilizado en el reciclo, derivó del análisis de los resultados de los ensayos físicos y ópticos. El proceso se indica en la figura 5.6

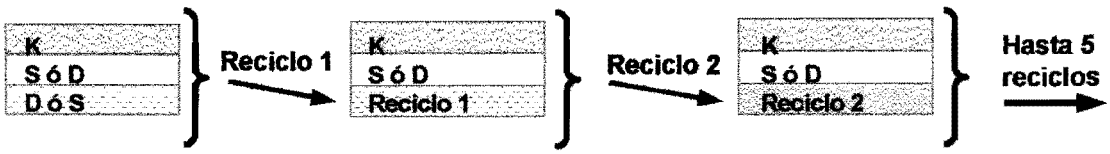

Figura 5.6: Reciclado del cartón tríplex.

Ensayo de las hojas de pulpas puras y del cartón tríplex.

Las hojas de las pulpas puras y cartones formados se acondicionaron a atmósfera estándar, y se realizaron los ensayos físico-mecánicos y ópticos sobre las hojas de pulpa. Los ensayos realizados se indican en la tabla 5.4.

Tabla 5.4: Ensayos realizados sobre las hojas y los cartones reciclados.

Ensayo	Norma
Humedad (%)	TAPPI T 412 om-94
Grado de refino – Método Shopper Riegler (°SR)	ISO 5267 –1:1979
Clasificación de fibras – Método Bauer McNett	TAPPI T 233 cm-95
Formación de hojas- Método Rapid-Köthen	ISO 5269/2-1980
Formación de hojas	TAPPI T 205 sp-95
Acondicionamiento estándar	TAPPI T 402 sp-98
Gramaje (g/m^2)	TAPPI T 410 om-98
Espesor (mm)	TAPPI T 411 om-97
Resistencia al aire Gurley (s)	TAPPI T 460 om-98
Resistencia al rasgado (mN)	TAPPI T 414 om-98
Resistencia a la explosión (kPa)	TAPPI T 403 om-97
Resistencia a la tracción (kN/m)	TAPPI T 494 om-96
Elongación (%)	TAPPI T 494 om-96
Energía absorbida a la tracción (TEA) (J/m2)	TAPPI T 494 om-96
Resistencia a la flexión – Rigidez Taber (mN m)	TAPPI T 489 om-99
Blancura (% ISO)	ISO 2470:1977
Parámetros de color CIE Lab (L*, a*, b*)	TAPPI T 527 om-94

CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN: CARTÓN DÚPLEX

6.1. Características de las pulpas

La tabla 6.1 muestra las características de las tres materias primas, indicadas como K, D y S, estas incluyen:

- Grado de refino – Método Schopper-Riegler (°SR).
- Clasificación de fibras (19).

El grado de refino (°SR) de los empastes utilizados en la capa inferior del cartón dúplex se indican en la tabla 6.2.

Tabla 6.1: Propiedades de las pulpas K, S, y D.

Propiedad	Pulpa K	Pulpa D	Pulpa S
Grado de refino (°SR)	22	56	71
Clasificación de fibras:			
Retenido 30 mesh, (%)	85,44	4,85	45,67
Retenido 50 mesh, (%)	7,77	19,64	19,21
Retenido 100 mesh, (%)	3,97	25,31	11,79
Pasa 100 mesh, (%)	2,82	50,20	23,33

Tabla 6.2: Grado de refino de los empastes de las pulpas S y D.

% de S en el empaste (S + D)	°SR
100	71
75	64
50	61
25	57
0	56

6.2. Propiedades de los cartones dúplex.

En la tabla 6.3, se indican los valores de las propiedades de estos cartones en función del porcentaje de pulpa mecánica a la piedra (S) presente en el empaste que compone la capa inferior.

Tabla 6.3: Resultados de los ensayos físicos y ópticos de cartones dúplex K(S+D).

Pulpa S (%)	Volumen específico (cm^3/g)	Permeabilidad aire (µm /Pa.s)	I. Rasgado ($mN.m^2/g$)	I. Explosión ($kPa.m^2/g$)	Rigidez experimental (mN m)	Rigidez teórica (mN m)	I. Tracción (Nm/g)	Delaminación (kg/m^2)	Blancura (ISO)	Color CIE lab		
										L*	a*	b*
0	2,21	4,89	4,44	2,09	1,25	1,222	35,94	4,34	21,93	64,07	6,41	18,38
25	2,25	7,95	4,67	1,83	1,19	1,239	30,75	3,70	22,14	64,49	6,44	18,73
50	2,33	7,12	4,44	1,86	1,16	1,253	29,54	3,26	21,85	64,14	6,57	18,68
75	2,36	8,98	3,93	1,74	1,09	1,263	26,55	3,82	22,18	64,68	6,70	18,99
100	2,60	10,50	3,70	1,56	0,96	1,267	24,47	4,20	21,48	63,90	7,15	18,90

Para las experiencias realizadas con repeticiones se indica directamente el promedio de los valores correspondientes a cada experiencia. Estos resultados fueron procesados mediante programas específicos (hoja de cálculo y análisis estadístico de datos). En la tabla 6.3, se agrega una columna que corresponde a la rigidez teórica, calculada con las ecuaciones (4) a (9) que se presentan en el Anexo I.

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante el test de Análisis de Varianza de un factor *(One – Way ANOVA)*, considerando como factor al porcentaje de pulpa mecánica SGW (% S) en el empaste de la capa inferior.

Índices de tracción, rasgado y explosión: Se observaron diferencias significativas ($p < 0{,}005$) en estos tres índices al aumentar la proporción de SGW en el empaste. El agregado de pulpa mecánica al empaste utilizado en la capa inferior de los cartones dúplex disminuyó significativamente las resistencias mecánicas en general, y en mayor proporción la resistencia a la tracción. Esto puede también observarse en la figura 6.1 (disminución del 32% al pasar de 0 a 100% de pulpa SGW).

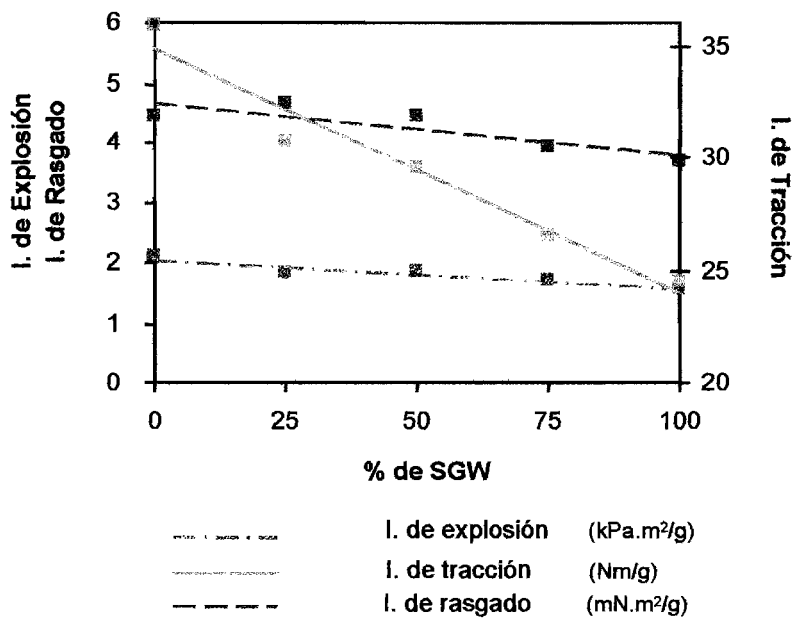

Figura 6.1: Los Índice de tracción, explosión y rasgado según el porcentaje de S en la capa inferior.

Esta disminución, se relaciona con que las pulpas mecánicas SGW (S), son intrínsecamente poco resistentes. Los índices de explosión y rasgado presentan cambios menos pronunciados que el índice de tracción (disminuyen en 25 y 17% respectivamente, al pasar de 0 a 100% de pulpa SGW).

Volumen específico y rigidez: 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 ($p > 0,05$) en la rigidez con el aumento del porcentaje de SGW en el reverso. Se calculó asimismo la rigidez teórica mediante las ecuaciones (4) a (9) del Anexo I, encontrando que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los valores experimentales y teóricos.

El agregado de pulpa mecánica no afectó significativamente la permeabilidad al aire, delaminación entre capas, rigidez, blancura, y las coordenadas de color L* y b*, tabla 6.4.

Tabla 6.4: Propiedades que no presentaron diferencias significativas con la proporción de pulpa SGW.

Propiedad	Media
Permeabilidad al aire (μm /Pa.s.)	8,04
Delaminación entre capas (kg/cm^2)	3,76
Rigidez experimental (mN m)	1,14
Rigidez teórica (mN m)	1,25
Blancura (ISO)	22,00
L*	64,37
b*	18,78

CAPÍTULO 7: RESULTADOS Y DISCUSIÓN: CARTÓN TRÍPLEX

7.1. Propiedades de los cartones tríplex.

La tabla 7.1 presenta los valores de las propiedades de los cartones tríplex en función de la configuración de sus capas. Para las experiencias realizadas con repeticiones se indica directamente el promedio de los valores correspondientes a cada experiencia.

La nomenclatura utilizada para indicar la configuración es la siguiente:

$$K_x\ A_y\ B_z$$

Donde:

K: Capa superior de pulpa reciclada kraft.

A: Capa media de pulpa reciclada de diario ó mecánica (D ó S).

B: Capa inferior de pulpa mecánica ó reciclada de diario (S ó D).

x, y, z: Gramaje de cada capa en g/m^2.

Los resultados se procesaron mediante programas específicos (de hoja de cálculo y análisis estadístico de datos). En la tabla 7.1 se agrega una columna que corresponde a la rigidez teórica, calculada como se indica en el ítem 6.2.

Los módulos de elasticidad de las pulpas, tabla 7.2, fueron determinados por dos métodos:

Método A: A partir de los valores de espesor y rigidez Taber de los cartones confeccionados con pulpas puras (experiencias 1, 2 y 3), utilizando la fórmula 1 del Anexo I. Estos módulos de elasticidad se utilizaron para predecir los valores teóricos de rigidez.

Tabla 7.1: Resultados de los ensayos físicos y ópticos de cartones tríplex.

N°	Configuración	Volumen específico (cm^3/g)	Permeabilidad aire (μm /Pa.s)	I. Rasgado ($mN.m^2/g$)	I. Explosión ($kPa.m^2/g$)	Rigidez Exp. (mN m)	Rigidez teórica (mN m)	I. Tracción (Nm/g)	Delaminación (kg/m^2)	Blancura (ISO)	Color CIE lab		
											L*	a*	b*
1	K_{60} K_{60} K_{60}	1,85	7,11	9,42	4,60	3,20	3,62	48,51	4,26	21,03	63,34	6,72	18,85
2	D_{60} D_{60} D_{60}	2,36	1,27	3,03	1,92	4,63	4,63	32,86	4,30	39,22	72,34	-1,04	6,96
3	S_{60} S_{60} S_{60}	2,70	2,73	1,13	0,71	4,95	4,95	17,45	4,21	52,54	85,71	1,47	15,42
4	K_{60} D_{60} D_{60}	2,11	2,14	4,50	2,00	4,12	4,12	21,05	4,34	22,06	64,25	6,30	18,46
5	K_{60} S_{60} S_{60}	2,35	3,30	3,23	1,11	4,72	4,72	21,84	3,54	22,11	64,60	7,04	18,97
6	K_{60} D_{60} S_{60}	2,25	2,66	4,24	1,50	4,43	4,43	28,38	3,81	21,97	64,09	6,31	18,40
7	K_{60} S_{60} D_{60}	2,27	2,30	4,30	1,59	5,96	5,96	28,52	4,40	22,11	64,55	6,93	18,86
8	K_{60} S_{30} D_{90}	2,21	2,95	3,87	1,76	5,28	5,28	29,31	4,02	22,16	64,71	6,81	19,12
9	K_{60} D_{30} S_{90}	2,33	3,76	3,28	1,21	4,38	4,38	23,76	4,16	22,05	64,60	6,49	18,79
10	K_{60} S_{90} D_{30}	2,37	5,17	3,16	1,18	5,07	5,07	22,67	3,57	22,17	64,98	6,95	19,19
11	K_{60} D_{90} S_{30}	2,22	2,82	4,21	1,73	3,84	3,84	30,83	4,21	22,12	64,54	6,31	18,68
12	K_{30} S_{90} D_{60}	2,36	2,34	2,25	1,32	5,04	5,04	24,31	3,55	23,85	68,14	7,58	22,12
13	K_{30} D_{90} S_{60}	2,46	1,97	2,84	1,38	4,36	4,31	25,71	3,66	22,98	65,16	5,14	18,43

Método B: Tomando como base la rigidez Instron, a partir de la ordenada al origen de la pendiente en la zona elástica del gráfico: tracción vs. deformación, obtenidos en los ensayos de resistencia a la tracción para los tres tipos de pulpa.

Tabla 7.2: Módulos de elasticidad de las pulpas puras.

Pulpa	Método A	Método B
K	1.100	1.358
D	655	742
S	497	340

Para el análisis, los resultados se agruparon, de la siguiente forma:

- Cartones homogéneos (formados de un solo tipo de pulpa).
- Cartones heterogéneos.
- Cartones heterogéneos con la misma composición pero distinta configuración (formados de dos tipos de pulpas).

7.2. Cartones homogéneos

Para este análisis se utilizaron los resultados de otro trabajo realizado en el mismo laboratorio (19), con las mismas pulpas y similares condiciones de trabajo. Estos resultados incluyen las propiedades para hojas formadas de una sola pulpa de gramajes 25, 60 y 120 g/m^2, agregándose los cartones homogéneos de 180 g/m^2 realizado en este trabajo (tabla 7.3). Las tablas 7.4, 7.5, y 7.6 muestran los valores de las propiedades de las pulpas a distintos gramajes.

Los resultados se analizaron utilizando el análisis estadístico Análisis de Varianza de dos factores *(Multifactor ANOVA)*, considerando como factores el gramaje y el tipo de pulpa (tabla 7.3).

Tabla 7.3: El gramaje y el tipo de pulpa en el cartón.

Tipo de pulpa	Gramaje de la capa (g/m^2)			
K	25	60	120	180
S	25	60	120	180
D	25	60	120	180

Tabla 7.4: Resultados de los ensayos físicos y ópticos de la pulpa K a distintos gramajes.

Gramaje (g/m^2)	Volumen específico (cm^3/g)	I. Rasgado ($mN.m^2/g$)	I. Explosión ($kPa.m^2/g$)	I. Tracción (Nm/g)
25	3,50	15,6	3,1	27,07
60	2,27	23,6	2,9	34,82
120	1,89	18,8	4,06	41,7
180	1,85	9,42	4,60	48,51

Tabla 7.5: Resultados de los ensayos físicos y ópticos de la pulpa S a distintos gramajes.

Gramaje (g/m^2)	Volumen específico (cm^3/g)	I. Rasgado ($mN.m^2/g$)	I. Explosión ($kPa.m^2/g$)	I. Tracción (Nm/g)
25	4,36	2,05	1,35	8,39
60	3,26	2,03	0,89	11,33
120	2,80	2,34	0,79	10,75
180	2,70	1,13	0,71	17,45

Tabla 7.6: Resultados de los ensayos físicos y ópticos de la pulpa D a distintos gramajes.

Gramaje (g/m^2)	Volumen específico (cm^3/g)	I. Rasgado ($mN.m^2/g$)	I. Explosión ($kPa.m^2/g$)	I. Tracción (Nm/g)
25	3,59	6,47	1,99	20,02
60	2,71	7,97	1,72	23,95
120	2,36	9,36	1,78	25,35
180	2,36	3,03	1,92	32,86

El análisis estadístico señaló que el gramaje y el tipo de pulpa afectaron significativamente el volumen específico y el índice de tracción, mientras que los índices de rasgado y de explosión solo fueron afectados por el tipo de pulpa (figura 7.1). Esto indica que las tres pulpas poseen propiedades significativamente diferentes. Los factores no presentaron interacciones entre sí.

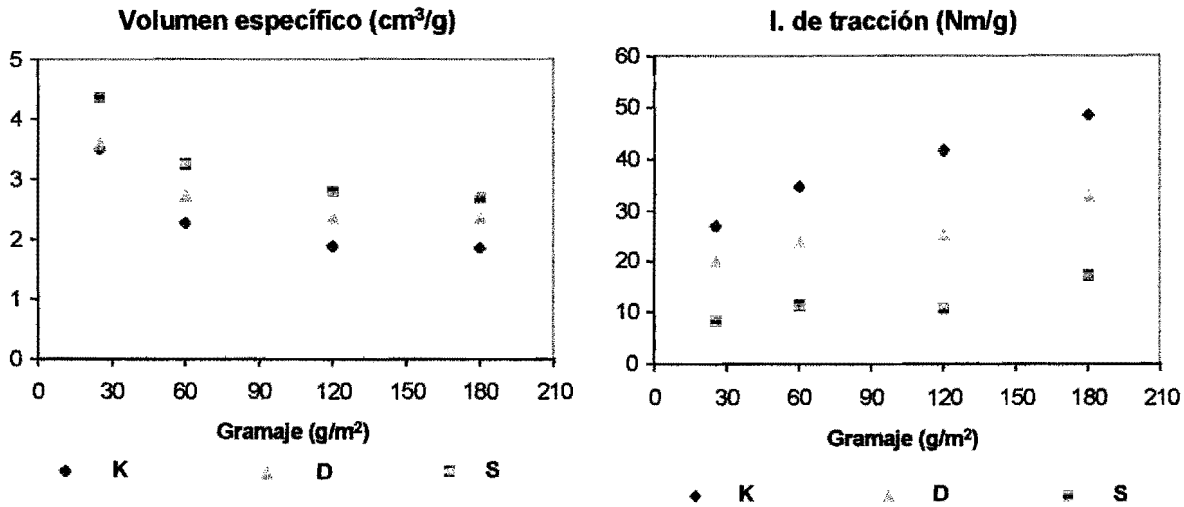

Figura 7.1: Volumen específico e índice de tracción en función del gramaje y del tipo de pulpa.

7.3. Cartones heterogéneos

La cuantificación del efecto de agregar capas de pulpas S y D de distintos gramajes a la composición, se realizó tomando como referencia el cartón homogéneo confeccionado de pulpa reciclada kraft (K K K), la cual posee mayor resistencia y menor volumen específico, (tabla 7.7).

Tabla 7.7: Porcentaje de variación de las propiedades con el agregado de pulpas S y D al cartón KKK.

Tipo de cartón	Volumen específico %	I. Rasgado %	I. Explosión %	I. Tracción %	Rigidez %
K S S	27	- 66	- 76	- 55	47
K D S_{30}	20	- 55	- 62	- 36	20
K S_{30} D	20	- 59	- 62	- 40	65
K D S_{60}	22	- 55	- 67	- 42	38
K S_{60} D	23	- 54	- 65	- 41	86
K D S_{90}	26	- 65	- 74	- 51	37
K S_{90} D	29	- 66	- 74	- 53	58

De esta tabla podemos indicar respecto al cartón K S_{60} D:

- Es la estructura que presenta el mayor incremento de rigidez y la menor pérdida de índice de rasgado.

- La diferencia en el Volumen específico con K S_{90} D es de 6% (2.27 cm^3/g el primero y 2.37 cm^3/g el segundo).

- La diferencia en el índice de explosión con el cartón con la capa media de S_{30} es de solo 3% (1.6 $kPa.m^2/g$ del primero y 1,7 $kPa.m^2/g$ del cartón con capas S_{30}).

- La diferencia en el índice de tracción con el cartón con la capa media de S_{30} es de 5% (28.5 N m/g del primero y 30.8 N m/g del cartón con capas S_{30} exterior).

En conclusión, se optó por seleccionar al cartón de estructura **$K_{60}S_{60}D_{60}$** sobre todo por su elevada rigidez, considerando que las resistencias respecto a los demás no presentan diferencias significativas. Este cartón se utilizó para realizar los reciclos.

7.4. Cartones con la misma composición pero distinta configuración

Los resultados se analizaron estadísticamente utilizando el análisis Análisis de Varianza de dos factores *(Multifactor ANOVA)*, considerando como factores a la posición y gramaje de la pulpa S en la composición del cartón, (tabla 7.8).

Tabla 7.8: Posición y gramaje de la pulpa S en la composición del cartón.

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

Índices de tracción, explosión y rasgado: Estas propiedades no presentaron diferencias significativas con la posición de la capa de la pulpa S. Por el contrario, al aumentar el gramaje de pulpa S, estas resistencias mecánicas disminuyeron significativamente, siendo el Índice de tracción la propiedad que más disminuyó (figura 7.2).

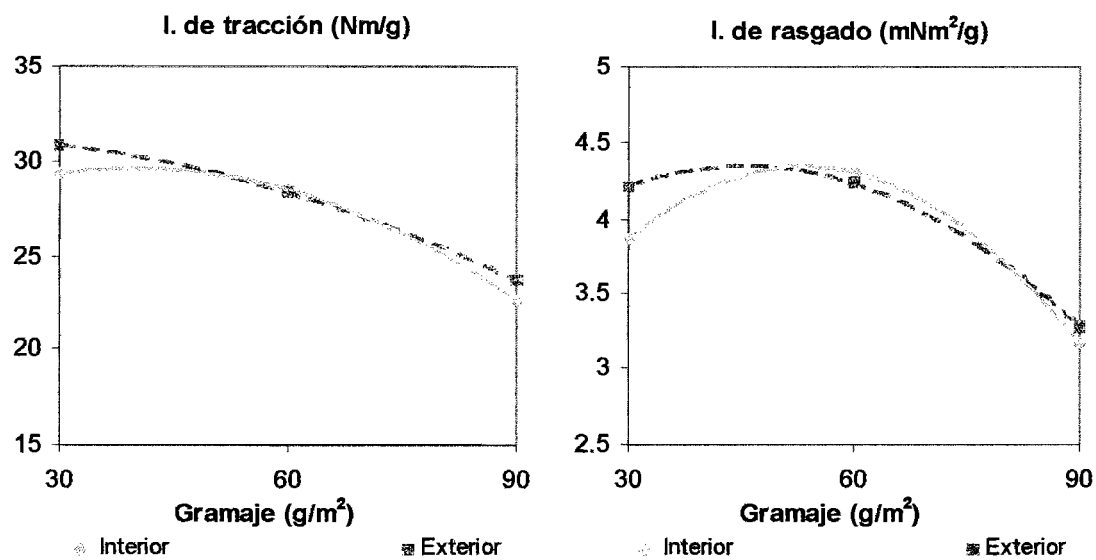

Figura 7.2: Variación del los Índices de tracción y de rasgado con el gramaje.

Rigidez y Volumen específico: Estadísticamente se determinó 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 valores de rigidez mayores que la posición KDS, (figura 7.3). Este resultado corrobora que la rigidez es la única propiedad que puede ser mejor desarrollada en una configuración multicapa (20).

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

El volumen específico presentó un comportamiento inverso al de las propiedades mecánicas, aumentando con el gramaje.

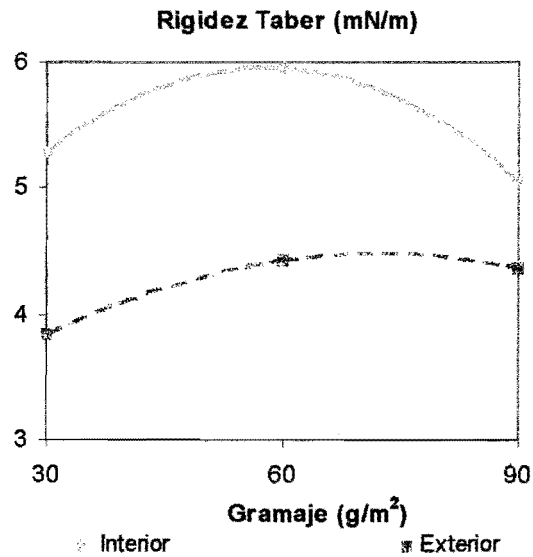

Figura 7.3: Comportamiento de la Rigidez con el gramaje de S y su posición en el cartón.

Las propiedades que no presentaron diferencias significativas con la variación de la posición y composición de la pulpa SGW se indican en la tabla 7.9, con sus medias.

Tabla 7.9: Propiedades que no presentaron diferencias significativas con la variación de la posición y composición de la pulpa SGW.

Propiedad	Media
Permeabilidad al aire (μm /Pa.s.)	3,28
Delaminación entre capas (kg/cm^2)	4,03
Blancura (ISO)	22,10
L*	64,58

CAPÍTULO 8: RESULTADOS Y DISCUSIÓN: RECICLADO

8.1. Propiedades de las pulpas con el reciclado.

Los valores de las propiedades de las pulpas puras en función del número de reciclos a que fueron sometidas se indican en las tablas 8.1 y 8.2.

En la tabla 8.3 se muestran los valores de las propiedades de la pulpa D, que no fue reciclada, debido a que su porcentaje tiende a cero con los sucesivos reciclo según se explica en la sección 5.6.

Tabla 8.3: Los valores de las propiedades de la pulpa D.

Propiedades	**Pulpa D**
Volumen específico (cm^3/g)	2,682
Espesor (mm)	0,1796
Permeabilidad aire (μm /Pa.s)	8,27
I. Rasgado ($mN.m^2/g$)	7,61
I. Explosión ($kPa.m^2/g$)	1,22
I. Tracción (Nm/g)	26,44
Elongación (%)	1,77
Blancura (ISO)	38,9

Los porcentajes de cambio de las propiedades de las pulpas K y S se muestran en las figuras 8.1 y 8.2. La evolución de la Elongación del papel con el reciclado se muestra también estas figuras.

Tabla 8.1: Resultados de los ensayos físicos y ópticos de la pulpa reciclada K con el reciclo.

N° reciclo	Volumen específico (cm^3/g)	Espesor (mm)	Permeabilidad aire (μm /Pa.s)	I. Rasgado ($mN.m^2/g$)	I. Explosión ($kPa.m^2/g$)	I. Tracción (Nm/g)	Elongación (%)	Blanco (ISO)	Color CIE lab		
									L*	a*	b*
0	1,849	0,1195	38,40	21,92	2,91	38,98	3,61	20,5	63,4	5,0	19,5
1	1,780	0,1152	32,31	17,09	3,17	42,90	3,47	20,5	63,4	4,8	19,4
2	1,772	0,1125	31,90	18,13	3,22	42,06	3,39	20,5	63,4	4,6	19,3
3	1,781	0,1135	36,49	18,78	2,68	38,98	2,76	20,5	63,4	4,7	19,4

Tabla 8.2: Resultados de los ensayos físicos y ópticos de la pulpa mecánica S con el reciclo.

N° reciclo	Volumen específico (cm^3/g)	Espesor (mm)	Permeabilidad aire (μm /Pa.s)	I. Rasgado ($mN.m^2/g$)	I. Explosión ($kPa.m^2/g$)	I. Tracción (Nm/g)	Elongación (%)	Blancura (ISO)	Color CIE lab		
									L*	a*	b*
0	3,064	0,203	54,28	1,20	0,19	5,81	0,77	49,3	85,3	0,2	17,3
1	2,858	0,1772	34,8	0,97	0,20	6,66	0,77	49,1	85,1	0,2	17,2
2	2,883	0,1939	34,8	1,16	0,23	7,44	0,87	49,2	84,9	0,2	16,8
3	2,925	0,1839	41,4	1,14	0,23	7,20	0,73	48,8	84,7	0,0	16,8

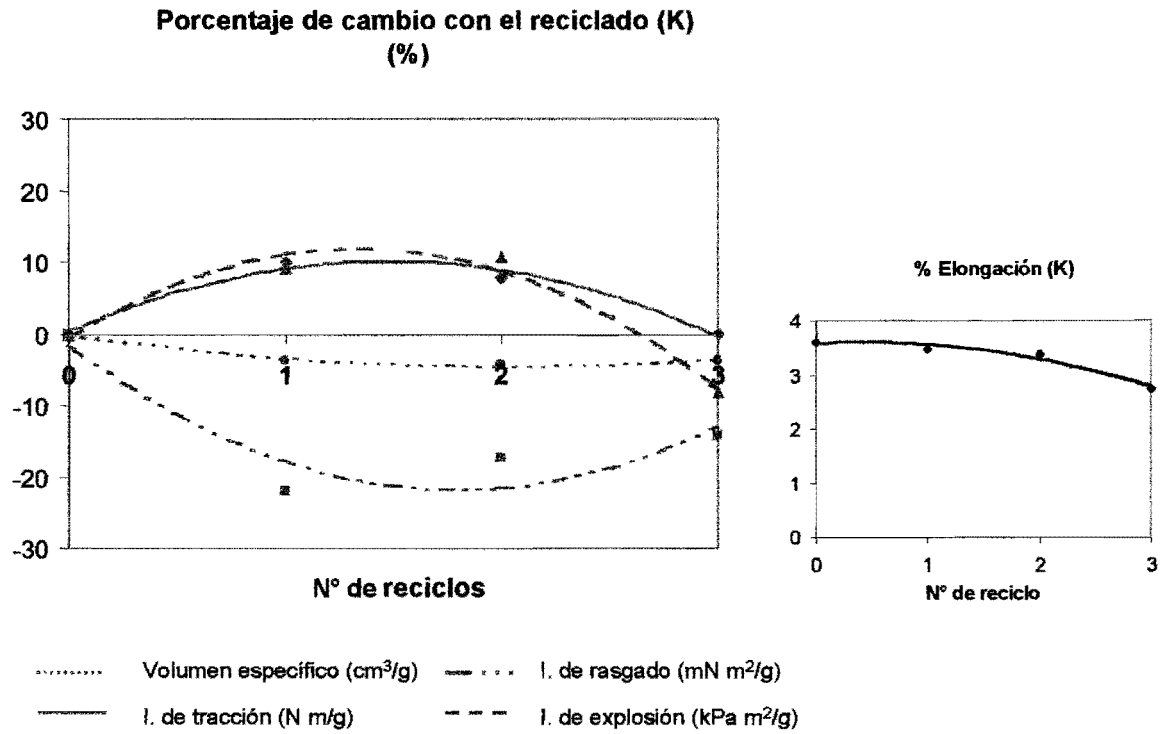

Figura 8.1: Los porcentajes de cambios de las propiedades y el porcentaje de elongación de la pulpa K con el reciclado.

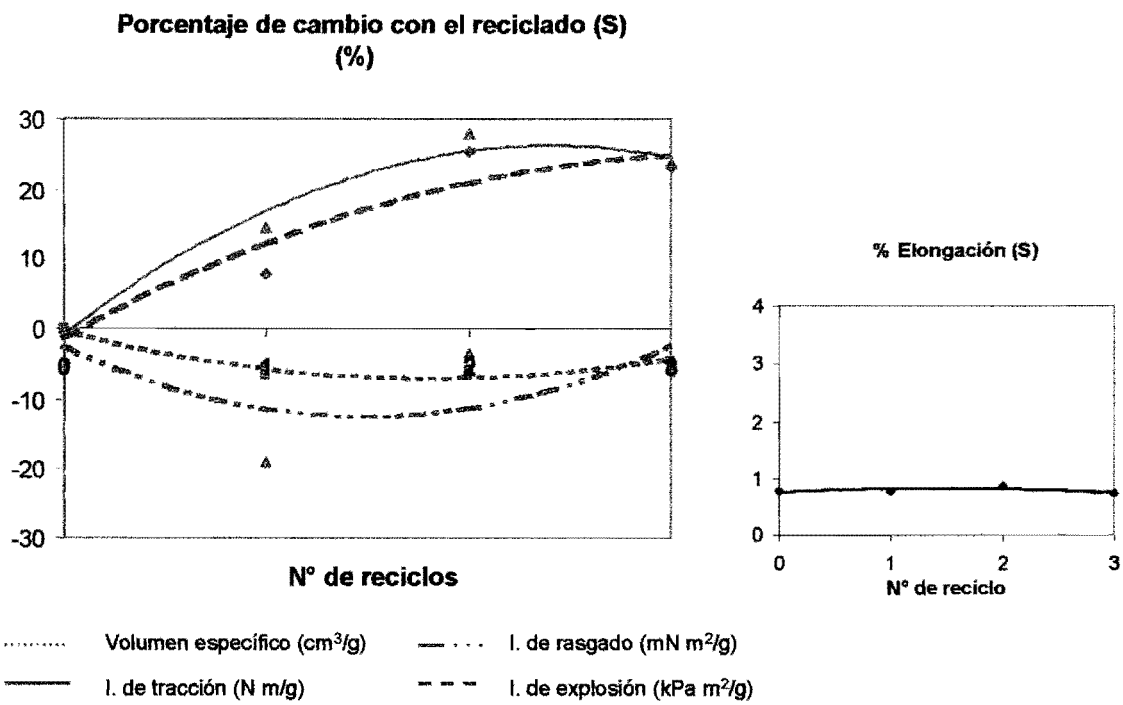

Figura 8.2: Los porcentajes de cambios de las propiedades y el porcentaje de elongación de la pulpa S con el reciclado.

Volumen específico: Tanto en el caso de la pulpa química K, como de la pulpa mecánica S se observó una leve disminución en el primer reciclo (aproximadamente 5% respecto del inicial), sufriendo escasa variación 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, 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 remojado (21). Existiría, además, un efecto de liberación de esfuerzos (22).

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 deferencia del caso en que colapsan las pulpas químicas blanqueadas (21).

Índice de tracción y de explosión: La pulpa química K presentó un aumento de aproximadamente el 10% en ambos índices durante los primeros reciclos disminuyendo posteriormente. El incremento inicial en las resistencias se debe a que en estas etapas 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 (21, 22).

La pulpa mecánica S mostró un elevado incremento (cercano al 30%) de los dos índices durante los primeros reciclos para luego mantenerse. Esto ocurre debido al mayor nivel de enlace en las fibras, que se tornan más flexibles durante los sucesivos ciclos de reciclado (23, 24).

Índice de rasgado: Para ambas pulpas se comportó del mismo modo, es decir, disminuyó rápidamente durante los primeros reciclos,

sufriendo un leve recupero en los dos últimos, reciclos sin llegar a alcanzar los valores iniciales.

La disminución del rasgado 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 reciclos con el mejoramiento en el potencial de enlace entre fibras (23). Existe desacuerdo en la literatura del efecto del reciclado sobre la resistencia al rasgado del papel (24), pero se sospecha que el grado de refino original de la pulpa posee una gran influencia sobre esta propiedad cuando el papel es reciclado (25).

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

Elongación: La elongación del papel kraft es muy elevada en el inicio, y desciende 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 reciclos, mostrando siempre un nivel bajo de elongación.

8.2. Propiedades del cartón con el reciclado.

La tabla 8.4 indica los valores de las propiedades del cartón tríplex reciclado en función del número de reciclos. 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 kraft y mecánica (K y S).

Los porcentajes de cambio en las propiedades con el reciclado y el porcentaje de elongación del cartón se muestran en la figura 8.3.

Tabla 8.4: Resultados de los ensayos físicos y ópticos del cartón multicapa con el reciclo.

N° reciclo	Volumen específico (cm^3/g)	Espesor (mm)	Permeabilidad aire (μm /Pa.s)	I. Rasgado ($mN.m^2/g$)	I. Explosión ($kPa.m^2/g$)	I. Tracción (Nm/g)	Elongación (%)	Blancura (ISO)	Color CIE lab		
									L*	a*	b*
0	2,206	0,438	3,6	16,66	1,35	26,47	2,37	20,8	64,64	5,71	21,0
1	2,165	0,428	6,0	14,66	1,54	26,57	3,03	21,2	65,10	5,53	21,0
2	2,158	0,432	6,3	13,45	1,67	27,24	3,15	20,7	64,47	5,55	20,8
3	2,137	0,420	7,7	13,39	1,66	26,72	3,33	20,7	64,53	5,48	21,0
4	2,132	0,427	6,9	14,15	1,67	27,48	3,17	20,7	64,49	5,45	21,0
5	2,134	0,428	7,0	15,21	1,69	27,48	3,4	20,7	64,44	5,41	20,9

Volumen específico: Disminuyó levemente con el reciclo. Esto podría atribuirse a un efecto combinado entre la disminución del volumen específico de ambas pulpas durante el reciclo y el aumento progresivo de pulpa química en la estructura (bajo Volumen específico).

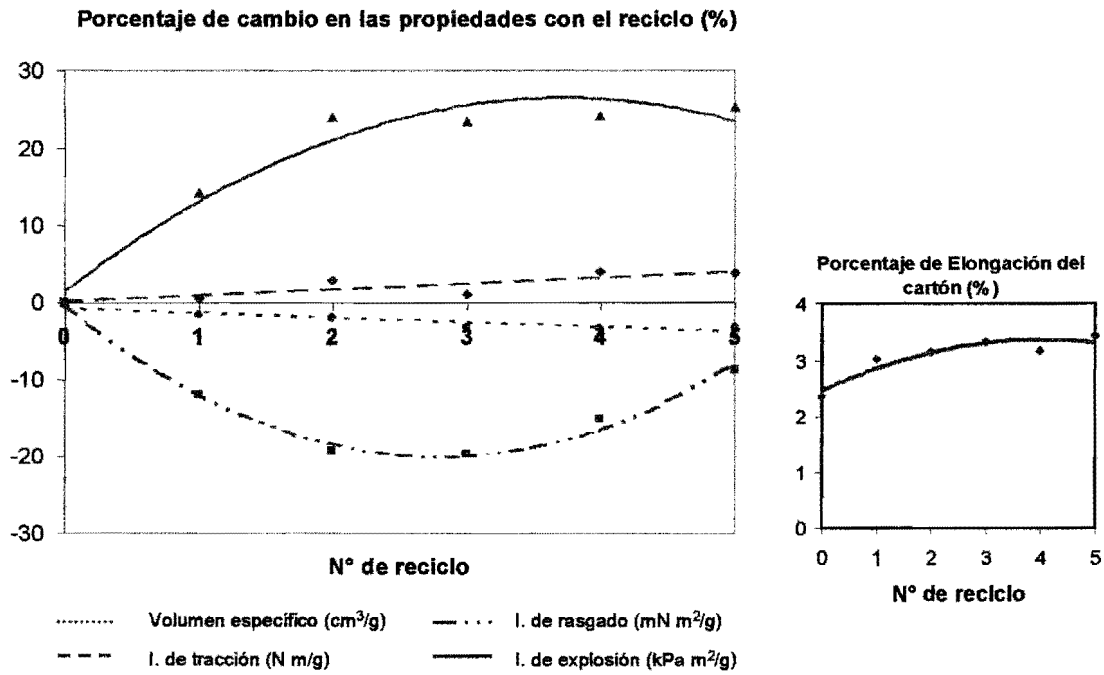

Figura 8.3: Porcentaje de cambio de las propiedades y de elongación del cartón con el reciclo.

Índice de tracción, explosión y elongación: La tracción presenta un pequeño incremento con el número de reciclos (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 reciclos (figura 6.6) parece contrarrestar la tendencia decreciente de la pulpa kraft pura (figura 6.5).

La explosión se eleva rápidamente durante los dos primeros reciclos, para luego mantenerse. Esto puede explicarse observando la evolución de la elongación (figura 6.7).

El aumento pronunciado de la elongación, es producto de la composición del cartón, en cuanto a sus capas. En cada reciclo aumenta la proporción de pulpa kraft, ya que la capa superior es siempre de kraft puro con un solo reciclo (elevada elongación, ver figura .5).

Índice de rasgado: Disminuyó rápidamente durante los primeros reciclos, sufriendo un leve recupero en los dos últimos, sin llegar a alcanzar los valores iniciales.

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES

9.1. Cartón dúplex

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

9.2. Cartón tríplex

El cartón tríplex que presentó las mejores características de resistencia y mayor rigidez es la configuración KSD y la combinación 1/3 K - 1/3 S - 1/3 D.

9.3. Reciclado del cartón tríplex

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

9.4. Aspectos de la Metodología

Se verificó una baja correlación entre la rigidez Instron y la rigidez Taber para los cartones dúplex y tríplex.

BIBLIOGRAFÍA

1. Pulp and Paper Manufacture – Mechanical Pulping, Vol. II; Capítulo 1, pp. 1-17, Tappi Press 3° edición (1987).
2. Cooper; W.; Kurdin, J. A.; "Acronyms for mechanical pulp: understanding the alphabet soup", Tappi Journal 70 (12): 231-232 (1987).
3. Papermaking Science and Technology – "Mechanical Pulping"; Capítulo 2, pp. 17-22, Tappi Press, Finlandia (1998).
4. Harris, G.; Sharman, P., "The globalization of yield pulping" NLK Article, Canadá (1995).
5. West, W., "Mechanical pulping as of today" Tappi Journal 62 (6): 19-22, (1979).
6. Wong, A.; Costantino, J.; Breck, D.; Herschmiller, D. Rae, J. G., "Toxicity and BOD of effluents derived from TMP of Eastern Canadian wood species" Pulp and Paper Canada 80(1): 58-64, (1979).
7. Hermana Gutiérrz, J. M.; "La recogida selectiva del papel y el cartón: Una exigencia social y económica". Proceedings del VIII Congreso Latinoamericano de Celulosa y Papel y IX Congreso internacional ACOTEPAC: 589-605 (1996).
8. "Secondary Fiber Recycling" — Edited by Richard J. Spangenberg – Capítulo 2, pp. 7-19, TAPPI PRESS (1993).
9. Recycling Paper, Tappi Press; Vol. 1, pp. 2-23, (1990).
10. Gavazzo, G. B.; Valade, J. L.; Law, K., "Comportamiento de pulpas termomecánicas, quimitermomecánicas y quimimecánicas de Picea negra durante el reciclado" 28° Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP: 343-355 (1995).
11. Gavazzo, G. B.; "La simulación del proceso de reciclado: Una revisión de métodos y resultados"; Proceedings del VIII Congreso Latinoamericano de Celulosa y Papel y IX Congreso Internacional ACOTEPAC: 127-137 (1996).

12. .Howard, R.C.; Bichard, W.; "The basic effects of recycling on pulp properties", Journal of Pulp and Paper Science 18 (4): J151 a J159 (1992).

13. Attwood, B.; Moore, G.; "An introduction to the theory and practice of multiply forming", Pira International, Capítulo 1 pp. 1-10, (1995).

14. Papermaking Science and Technology – "Paper and Board Grades", Capítulo 2, pp. 54-72, Tappi Press, Finlandia (1998).

15. Attwood, B.; Moore, G.; "An introduction to the theory and practice of multiply forming", Pira International, Capítulo 7, pp. 125-140, (1995).

16. Valade, J.L; Area; M.C.; "Comportamiento de las pulpas de alto rendimiento en la producción de los distintos grados de papel para empaques"; VIII Congreso Latinoamericano de celulosa y papel y IX Congreso internacional ACOTEPAC: 11-21 (1996).

17. Fellers, C., de Ruvo, A., Htun, M.; Carlsson, L., Engman, C., Lundberg, R., "Carton Board", Swedish Forest Products Research Laboratory STFI), Capítulo 4 5 y 6 (1983).

18. Astals, F.; "Apuntes de: Física del papel", Especialidad Papelera y Gráfica, UPC, ETSEIT, Terrassa.

19. Aguilar, S. A.; "Potencial de uso de pulpa mecánica a la piedra en diferentes calidades de papel y cartón", Tesis presentada a la Universidad Nacional de Misiones como exigencia parcial de la Maestría en Madera Celulosa y Papel (2001).

20. Koran, Z.; Kamdem, D. P.; "Multilayered paperboard from kraft pulp and TMP" Tappi Journal 73 (2): 153-158, (1990).

21. Howard, R. C., Bichard, W., "The basic effects of recycling on pulp properties", Recycling Forum, 81-93 (1991).

22. Ferguson, L. D., "Effects of recycling on strength properties", Paper Technology, 36(8): 14-20, (1992).

23. 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 79(3): 167-174 (1996).

24. Howard, R. C., "The effects of recycling on paper quality", Journal of Pulp and Paper Science, 16(5): J143-J149 (1990).

25. Chatterjee, A. Kortschot, M., Roy, D. N., Whiting, P., "Tear and fracture behavior of recycled paper", Recycling: A TAPPI PRESS Anthology of Published Papers, 173-179 (1997).

ANEXO I: LA RIGIDEZ DE LOS CARTONES MULTICAPA

A.I.1 La rigidez de los cartones multicapa

Las propiedades más importantes del material para cartón de embalaje son la rigidez y la resistencia a la compresión.

La rigidez juega un rol importante en proceso de fabricación del cartón, así como en el producto final. El objetivo principal del fabricante de cartón es producir la rigidez requerida con un gramaje mínimo y al menor costo posible. La rigidez a la flexión, es una medida de la resistencia de la hoja de papel ó cartón a las fuerzas de flexión.

Como el cartón es un material viscoelástico, esta es una propiedad relacionada con la región elástica de elongación. Los factores básicos que gobiernan la rigidez del cartón son el espesor de la hoja y su módulo elástico. El módulo elástico depende de la habilidad de la cara superior convexa de la hoja para estirarse, y de la cara inferior (cóncava) para comprimirse. En la figura A.I.1 se presenta un diagrama de fuerzas y las variaciones de la tensión y compresión a través del espesor.

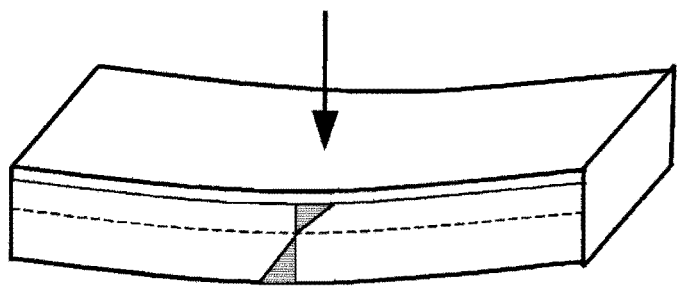

Figura A.I.1: Diagrama de fuerzas y variación de la tensión y compresión a través del espesor de una hoja de cartón (A1).

Como puede observarse, el grado de tensión a que está sometido el material depende de su posición en la hoja. La capa central es neutra, y por lo tanto su función no será aportar rigidez, sino actuar como separadora de

las otras capas. Así, la principal característica de esta capa deberá ser un alto volumen específico, lo que aportará un alto espesor con bajo gramaje.

A medida que nos desplazamos hacia las superficies, las capas deberán aportar más de su rigidez intrínseca. En las superficies se encuentran los mayores requerimientos de resistencia. Estas capas, deberán poseer un alto módulo de elasticidad, o sea, elevada densidad y grado de refino adecuados.

Para una hoja homogénea de ancho unitario, la rigidez aumentará con el cubo del espesor de acuerdo con la ecuación (A1).

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

Donde:

$$I = \frac{a.t^3}{12} \qquad (2)$$

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

t: = Espesor de la hoja en metros.

E = Módulo de elasticidad, Pa ó N/m^2.

S = Rigidez a la flexión, Nm.

Asimismo, la rigidez puede expresarse en términos de gramaje (W, g/m^2) y densidad (De), como:

$$S = \frac{E.W^3}{De^3.12} \qquad (3)$$

Como puede observarse, las condiciones requeridas para obtener una elevada rigidez son contrapuestas. Por un lado, un alto módulo de elasticidad (típico de una pulpa química refinada) y por otro lado, una baja densidad (en general, característico de una pulpa mecánica). Además de estos factores, también influyen sobre la rigidez: la especie de madera, el

rendimiento y tipo de pulpa, el grado de refino, el prensado y la tensión en húmedo, el contenido de aditivos, el calandrado, etc.

Para el caso de cartones multicapa, la rigidez puede calcularse a partir de la ecuación (4).

$$S = \frac{D - B^2}{A} \tag{4}$$

Donde:

$$A = \sum (E_k)_k (z_z - z_{z-1}) \tag{5}$$

$$B = \frac{1}{2} \sum (E_k)_k \left(z_z^{\,2} - z_{z-1}^{\,2}\right) \tag{6}$$

$$D = \frac{1}{3} \sum (E_k)_k \left(z_z^{\,3} - z_{z-1}^{\,3}\right) \tag{7}$$

Las coordenadas de las capas se calculan mediante (figura A.I.2):

$$Z_0 = -\frac{t}{2} \qquad K = 0 \tag{8}$$

$$Z_k = Z_{k-1} + t_k \qquad K = 1, 2, \cdots, k \tag{9}$$

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.

Los autores (A1, A2) reportan haber constatado un excelente acuerdo con valores experimentales, lo que implica que las propiedades correspondientes a las capas individuales no se modifican al formar el cartón multicapa, y que por lo tanto, las condiciones de fabricación no introducen

gradientes de tensión interna a través del espesor del cartón. La figura A.I.2 define las coordenadas del cartón (A1, A2).

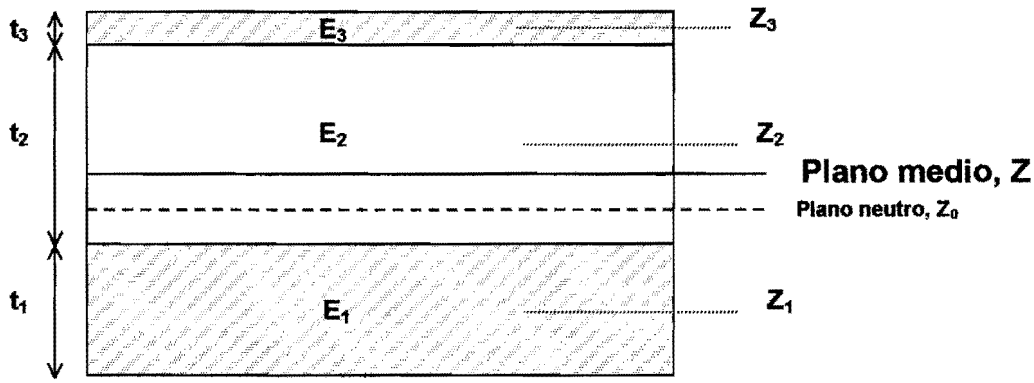

Figura A.I.2: Coordenadas de las capas del cartón multicapa (A1).

A.I.2 Rigidez de grados comerciales

La falta de referencias de cartones comerciales con las estructuras y composiciones utilizadas en este trabajo, motivó la utilización de valores de referencia de cartones comerciales de diferentes tipos, con gramajes entre 100 y 200 g/m^2, excepto del tipo corrugado. Los mismos se tomaron de guías de productos presentados en Internet, tabla A.I.1. Estos datos se compendiaron en las figuras A.I.3 y A.I.4.

La figura A.I.3 muestra el rango de los valores de rigidez para gramajes entre 100 – 200 g/m^2 aproximadamente van de 0.5 a 10 mN m. La figura A.I.4. indica los valores de rigidez para los cartones dúplex y tríplex obtenidos en este trabajo.

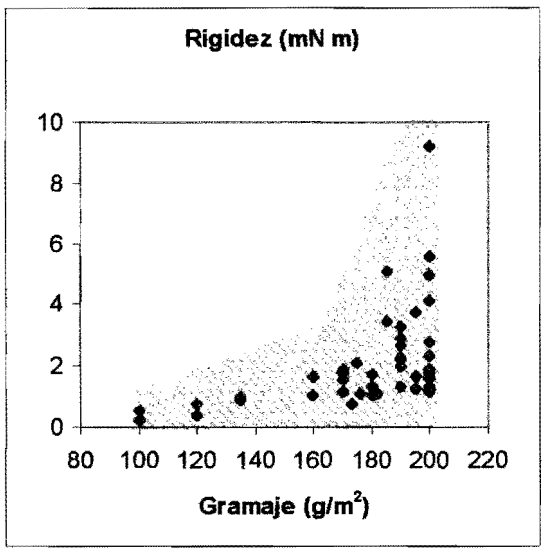

Figura A.I.3: Rango de los valores de rigidez para gramajes entre 100 – 200 g/m^2.

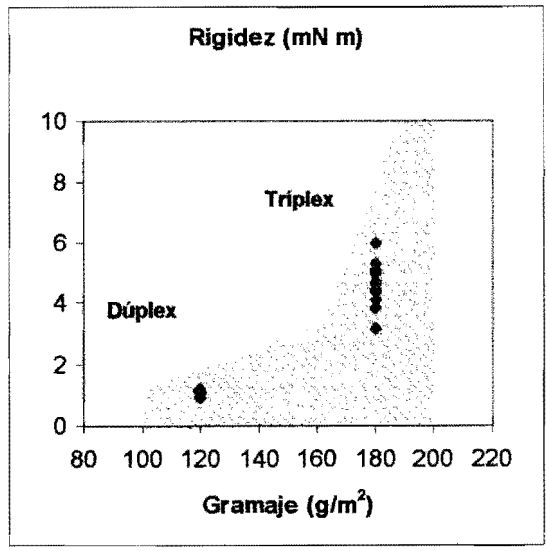

Figura A.I.4: Rango de los valores de rigidez para los cartones dúplex y tríplex.

A.I.3 Mediación de la rigidez a la flexión

La figura A.I.5 compara cinco tipos de ensayos: Taber, Instron, Gurley, Lhomargy, y Clark. En este trabajo se emplearon los dos primero ensayos, los cuales se desarrollan a continuación.

Rigidez Taber: La medición se realiza como se indica en la norma TAPPI 489 om-99. Se determina como el momento de flexión (g.cm) necesario para flexionar el extremo libre de una tira de 38 mm x 70 mm en 15° cuando la carga se aplica a 50 mm del extremo amordazado.

Este método presenta las siguientes limitaciones:

- Requiere de muestras homogéneas, libres de tensiones de tracción y compresión, plegado, curvatura o de alguna deformación permanente.

- Este ensayo es muy sensible a las variaciones del lado de la muestra, velocidad de carga, y ángulo de deflexión

Este método produce resultados reproductibles solo bajo condiciones bien controladas.

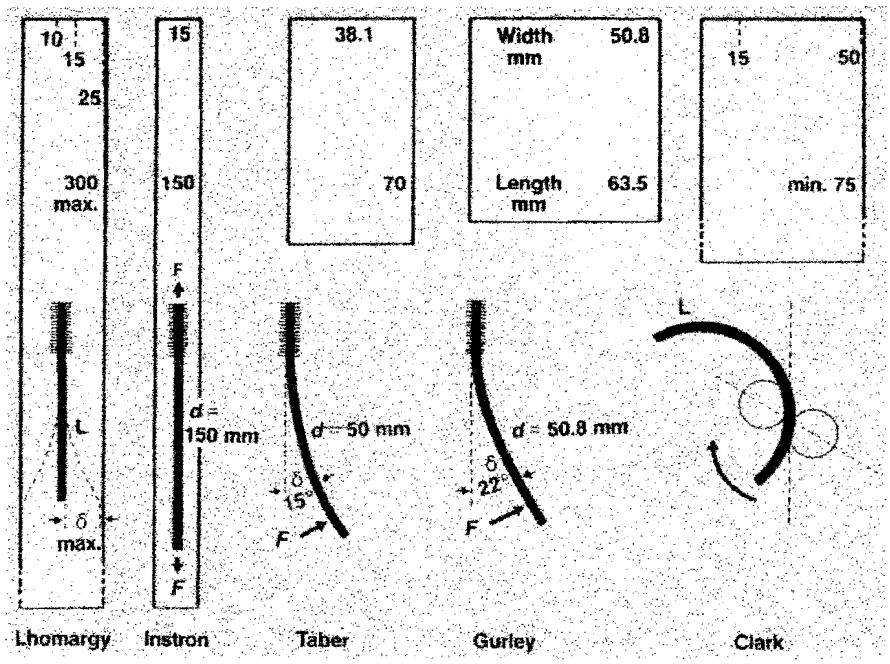

Figura A.I.5: Comparación de los cinco tipos de ensayos: Taber, Instron, Gurley, Lhomargy, y Clark (A4).

Rigidez Instron: La rigidez del cartón puede predecirse de la ecuación.

$$S = E \cdot I \qquad (11)$$

Donde:

I = Momento de inercia = a . $t^3/12$

E = Módulo elástico

El módulo de elasticidad es obtenido de la curva de esfuerzo de tracción vs. deformación en el ensayo estándar de tracción. De acuerdo a la Ley de Hooke:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \qquad (12)$$

Donde:

ε = Deformación

σ = Esfuerzo

E = Constante de proporcionalidad

La deformación (ε) es directamente proporcional a σ con una constante de proporcionalidad E, que se encuentra representada la línea recta en la región elástica de la curva esfuerzo vs. deformación. En teoría es un método relativamente simple, en la práctica presenta dos niveles de dificultades.

- La zona elástica tiende a mezclarse con la zona plástica, lo cual dificulta la determinación exacta de la pendiente de la porción recta línea de la curva.
- La determinación de t introduce grados de variación de imprecisión en el cálculo de I.

Se determinó que existe una correlación lineal entre la Rigidez Instron y la Rigidez Taber (A3).

En este trabajo se realizó el cálculo de la Rigidez Instron (denotada en las tablas 6.3 y 7.1 como rigidez teórica) y se verificó una baja correlación con la Rigidez Taber (indicada en las tablas 6.3 y 7.1 como rigidez experimental), figura A.I.6. Un mayor número de repeticiones mejoraría la verificación de esta correlación.

Tabla A.I.1: Valores de referencia de cartones comerciales.

	Gramaje (g/m^2)	Rigidez (mN m)
1	180 (A4)	1,73
2	190 (A4)	2,02
3	200 (A4)	2,37
4	200 (A4)	1,60
5	200 (A4)	2,80
6	200 (A4)	4,15
7	195 (A5)	3,72
8	200 (A6)	4,95
9	190(A6)	2,23
10	170 (A6)	1,91
11	190 (A6)	2,93
12	190 (A7)	1,32
13	200 (A7)	1,35
14	200 (A7)	1,25
15	200 (A7)	1,15
16	180 (A8)	1,06
17	200 (A8)	1,77
18	160 (A8)	1,06
19	180 (A8)	1,34
20	100 (A9)	0,56
21	120 (A9)	0,77
22	170 (A9)	1,80
23	190 (A9)	2,70
24	190 (A9)	2,00
25	185 (A10)	5,07
26	200 (A10)	9,23
27	185 (A10)	3,49
28	200 (A10)	5,61
29	170 (A11)	1,55
30	190 (A11)	3,29
31	170 (A12)	1,8
32	190 (A12)	2,3
33	100 (A13)	0,3
34	135 (A13)	1,0
35	160 (A13)	1,7
36	175 (A13)	2,1
37	100 (A13)	0,2
38	120 (A13)	0,4
39	135 (A13)	0,9
40	170 (A13)	1,2
41	190 (A13)	2,3
42	173 (A14)	0,8
43	182 (A14)	1,1
44	195 (A14)	1,3
45	200 (A14)	1,9
46	176 (A14)	1,1
47	200 (A14)	1,7
48	195 (A14)	1,7

A.I.4 Referencias del Anexo I

(A1) Fellers, C., de Ruvo, A., Htun, M.; Carlsson, L., Engman, C., Lundberg, R., "Carton Board", Swedish Forest Products Research Laboratory STFI), (1983).

(A2) (Attwood, B.; Moore, G.; "An introduction to the theory and practice of multiply forming", Pira International, Capítulo 7, 125-140, (1995).

(A3) Koran, Z.; Kamdem, D. P.; "The bending stiffness of paperboard" Tappi Journal 72(6): 175-179, (1989).

(A4) http:// www.itcbpl.com

(A5) 216.113.75.141/paperboard/data/pdfs/ArctiKoat_Tech_Sheet_whale.pdf -

(A6) http://eng.elo.ua/elo/catalogue/packboard/

(A7) http://www.stromsdal.com/products/english/stromcard.asp

(A8) http://www.ipe.es/empresas/ ficha_empresa.asp?empresa=44&categoria=todas

(A9) http://www.storaenso.com/CDAvgn/main/0,,1_-4224-4878-,00.html

(A10) http://www.ckb.nu/info.html

(A11) http://www.spamenang.com/tech-data.htm

(A12) http://www.crescendopaper.com.specs.html

(A13) http://www.tullis-russell.co.uk/papermakers/

(A14) http://www.westvaco.com/webapp/prod_guide/Product?Action=Line&ID=1

ANEXO II: ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA INDUSTRIA DEL CARTÓN MULTICAPA

A.II.1 El cartón como materia prima en el embalaje.

El cartón es la única materia prima utilizada en el embalaje que reúne tres características ambientales: totalmente reciclable, biodegradable, es decir, su período de descomposición en la naturaleza es relativamente corto y, además, se produce a partir de recursos naturales renovables.

Las nuevas materias primas para el embalaje desarrolladas en los últimos años, revolucionaron los hábitos de consumo y se transformaron en un gran problema ambiental. El cartón podría considerarse como la material prima correcta ya que es capaz de permitir infinitas formas, tamaños y espesores.

Las principales ventajas del cartón en el diseño de embalaje

- Liviano y fácil de transportar
- Mecánicamente fuerte, rígido y resistente
- Puede ser cortado y doblado
- Las superficies blancas y suaves permiten los principales procesos de impresión
- Agrega valor a los productos y a la marca
- Puede ser laminado y plastificado o recibir cualquier tratamiento que mejore su apariencia
- Fácil de almacenar y de ser expuesto en el punto de venda.
- Es renovable, biodegradable y reciclable.
- Permite envasar una infinidad de alimentos, productos farmacéuticos, cosméticos y juguetes.
- Tiene una mejor relación costo-beneficio (A1).

A.II.2 Industria del embalaje en Argentina

La proporción del Producto Bruto del país correspondiente a industria del envase y embalaje, en el año 1998, representó un 1,4 % del total. El volumen comercializado por la industria del envase y embalaje fue de 4.620 millones de dólares.

El total de ventas anuales en los distintos sectores de la industria del envase y embalaje se indica en la tabla A.II.1 (A2).

Tabla A.II.1: Total de ventas anuales en los distintos sectores.

Materia prima	Ventas (millones de dólares)
Plásticos	2.100
Cartón Corrugado	800
Flexibles	600
Hojalata	300
Papel y cartón	280
Vidrio	260
Aluminio	220
Madera	60

El consumo nacional aparente de papel y cartón en el año 2001 se estimó en 1.857.000 toneladas, de los cuales aproximadamente el 1,4% representó a los cartones multicapa (25.278 toneladas). La tabla A.II.2. señala consumo nacional aparente, producción nacional, exportaciones e importaciones de cartones multicapa en el año 2001 (A3).

Tabla A.II.2: Datos del mercado nacional de cartones multicapa (2001).

	Producción nacional (*)	Exportación (**)	Importación total	Importación (**)		Consumo nacional aparente
				Papeles	Conversión.	
Blanco	5.253	0	0	0	0	5.253
Gris	17.084	4	2.944	2.944	0	20.024
Total	**22.338**	**4**	**2.944**	**2.944**	**0**	**25.278**

(*) AFCP, (**) I.N.D.E.C.

A.II.3 Las fibras recicladas – Usos y tendencias

La industria de la pulpa y el papel utiliza fibras recicladas como su principal materia prima, como de plantas madereras y no madereras. Ambas son renovables, pero las fibras de madera crecen más lentamente que las fibras no madereras, ya que estas son a menudo obtenidas de las cosechas anuales de la agricultura. En los últimos años, la industria del papel fue acusada de ser causante de la deforestación, así como de contaminar el medioambiente.

La industria de la pulpa y el papel maneja sus recursos forestales en un modo sostenible para asegurar la continuación de sus operaciones. En suma para un manejo forestal sustentable y el establecimiento de plantaciones, la industria se encuentra activamente envuelta en recuperar papeles de desperdicio para complementar sus suministros de fibras.

El reciclado contribuye a una reducción en los requerimientos de pulpa virgen, para una disminución de los problemas de disposión de papeles de desperdicio, y para una reducción en el impacto ambiental del procesamiento del papel. El reciclado implica un extenso conjunto de sistemas, consumo de energía, y tiene un impacto sobre el manejo forestal, sobre la generación de energía. Procesar desperdicios de reciclado satisface la necesidad de disponerla de un modo ambientalmente seguro.

Se prevé un continuo incremento en el consumo de papel y cartón. Entre los años 1990-2005 crecería un 2, 5%. Para el año 2005 el consumo mundial alcanzaría 346 millones de toneladas.

Tradicionalmente la fibra reciclada ha reemplazado a la pulpa kraft sin blanquear en papeles para embalaje y cartones. Pero en el futuro este reemplazo se extendería a las pulpas mecánicas y químicas blanqueadas como el incremento de fibras recicladas en grados de papel periódico, impresión, y escritura, y tissue.

Una de las razones fundamentales para la utilización de fibras recicladas a través del mundo es que es un recurso local de fibras barato y fácilmente disponible, para fabricar papeles y cartones.

El consumo de fibras recicladas en el mundo (90,5 millones de toneladas en 1991), según la FAO, proviene de los siguientes grupos de papeles y cartones usados:

- 22% papel viejo de periódico y revista usados principalmente para destintado.
- 41% OCC y kraft marrón usados mayormente como materia prima para la producción corrugado.
- 15% papeles fabricados con la adición de 5% - 20% de pulpa mecánica (wood-free) y pulpas sustitutas, utilizadas para aplicaciones de calidad elevada como tissue y papeles de impresión y escritura.
- 22% mezclas, utilizadas generalmente para grados de embalaje de menor calidad.

La fuerza que motivó el uso de papeles de desecho ha sido tradicionalmente la económica. Las fibras recicladas han mejorado los costos de competitividad de los productores urbanos. Los desarrollos tecnológicos han permitido incrementar el uso de fibras recicladas en grados de calidad superior. En los últimos años el factor ambiental ha aumentado en la industria del papel para desarrollar productos "amigos del medioambiente". Los usos ambientales han superado en importancia a los factores económicos.

Hay algunos factores que limitan el crecimiento de la recuperación y utilización de las fibras recicladas. Es difícil y costoso aumentar el porcentaje por encima del 55% en los países densamente poblados. Por razones de calidad, no es posible utilizar una elevada distribución de papel desperdicio en todos los grados. Para grados de papel y cartón usados en contacto directo con alimentos, el uso de fibras recicladas no es totalmente aceptado.

Hay limites también para el número de reciclos de las fibras, la práctica está limitada a 4-5 veces.

El uso de fibras recicladas continuará creciendo, su importancia como una alternativa como materia prima sería enfatizada. Está previsto un consumo mundial de papel desperdicio para el año 2005 de 160 millones de tonelada, suponiendo un crecimiento promedio del 2,5% en el consumo global.

La industria del cartón para embalaje, particularmente los productores de liner y onda continuarán siendo los principales usuarios del papel reciclado. Las fabricas de liner, onda y cartones representó casi el 60% del consumo total de cartón en 1990.

En el futuro, se espera un considerable crecimiento de la utilización de las fibras recicladas en todos los grados de papeles y cartones, el sector del embalaje seguirá siendo el principal consumidor. Pero también se espera un crecimiento del uso de fibras recicladas en papel periódico, papeles de impresión y escritura y papeles tissue (A4).

A.II.4. Referencias del Anexo II

(A1) http://www.papelcartao.com.br

(A2) http://www.ulade.com/espanhol/news/news1/argentina.htm

(A3) Asociación de Fabricantes de Celulosa y Papel (AFCP), Argentina.

(A4) Virta, J., "World-wire review of recycled fibre", Recycled Fibres – Issues and Trends (FAO), pp. 15-49 (1993).