

# ***ESTUDIO DE LAS MODIFICACIONES FISICAS DE FIBRA CELULOSICA DE CONIFERA SOMETIDA A REPETIDOS CICLOS DE SECADO Y HUMEDECIMIENTO.***

***Leonor Navarrete Fuentes***

***José Turrado Saucedo Departamento de Madera, Celulosa y Papel***

***Universidad de Guayaquil, Ecuador***

***Roberto Melo Sanhueza Departamento de Ingeniería Química***

***Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Concepción, Chile.***

## ***RESUMEN***

El proceso de secado en la fabricación de papel produce un endurecimiento de la capas externas de la estructura de la fibra celulósica. Esto incide considerablemente en el primer proceso de fabricación de papel, así como durante el reciclado, ya que las fibras van perdiendo sus propiedades físicas y químicas obteniéndose un papel de menor resistencia.

En este trabajo se cuantifican los cambios producidos en pulpas química Kraft de pino radiata cruda y blanqueada, sometidas a repetidos ciclos de humedecimiento y secado evaluando las propiedades de las fibras. Todas las propiedades de resistencia y el grado de hinchamiento de las fibras. Todas las propiedades de resistencia disminuyen con el reciclado al igual el índice de retención de agua.

También se estudia como la adición de fibra virgen y de Hidróxido de Sodio a las fibras recicladas afecta las propiedades de resistencia, en el primer caso se observa una mejoría en todas las propiedades, pero en el segundo no se observan cambios significativos. Al refinar pulpa reciclada se mejoran las propiedades de resistencia de las fibras, pero no se logra obtener las mismas características que fibras nunca secas.

El simple proceso de eliminación de agua de la estructura de la pared celular provoca endurecimiento de ésta, lo que se observó al aplicar dos procesos de secado: a temperatura ambiente y a 80°C, las propiedades de resistencia no presentan diferencias.

## **INTRODUCCION**

Durante el proceso de fabricación de papel, en particular en el proceso de secado del papel, la fibra forma enlaces con otras fibras y consigo misma, (enlaces del tipo puentes de Hidrógeno) estos enlaces tienen una energía del orden de 25 kJ mol, lo que impide la penetración de agua a la fibra en el posterior tratamiento de rehumedecimiento<sup>(1,2)</sup> disminuyendo así su capacidad de hinchamiento y por lo tanto la flexibilidad para la estructuración de la hoja de papel<sup>(3,4,5)</sup>. Esto provoca que las propiedades de resistencia del papel sean diferentes en comparación con el papel que se produce directamente relacionadas con la hidratación e hinchamiento de la fibra celulósica, como son: tensión, explosión y rasgado<sup>(3,6,7,8)</sup>.

Este fenómeno ocurre principalmente en pulpas químicas de bajo rendimiento ya que no presentan un gel lignohemicelulósico, el cual previene la formación de enlaces tipo puentes de Hidrógeno intra e interfibrilares.

Para poder explicar esto se debe tener un conocimiento previo de la estructura de la pared celular de la fibra y de la fibra en sí. Se han propuesto algunos modelos de la pared de la fibra y el más aceptado hasta ahora es el de Scallan<sup>(1)</sup>, este modelo propone básicamente lo siguiente: durante el secado se produce un empaquetamiento de fibrillas, las cuales están unidas entre sí por medio de puentes de hidrógeno. Cuando la fibra es sometida a humedecimiento se genera un hinchamiento progresivo de la pared celular, los enlaces entre fibrillas se van rompiendo por acción del agua, produciendo una fibrilación interna, pero no se produce un completo hinchamiento.

Los parámetros que intervienen en el comportamiento de las fibras durante los ciclos de secado y humedecimiento son los siguientes: número de ciclos, rendimientos de la pulpa, agua removida, temperatura y grupos ácidos presentes en la pulpa<sup>(9,10)</sup>.

Las alternativas propuestas para disminuir y/o evitar el endurecimiento de las fibras durante el secado son: carboximetilación, metilación,<sup>(1)</sup> adición de aditivos químicos<sup>(9,10)</sup>, pulpaje de alto rendimiento, refinación, fraccionamiento, mezclas

de fibras vírgenes con fibras recicladas y desfibración en seco.

Para una determinada materia prima es primordial conocer a priori el comportamiento de las fibras celulósicas en el proceso de reciclado, para posteriormente aplicarle algún tratamiento que permita mejorar las propiedades de resistencia de las fibras. Este es el objeto principal de este trabajo es decir cuantificar los cambios que sufre la fibra de pulpa Kraft de pino radiata cruda y blanqueada en un proceso de reciclado, evaluando sus propiedades de resistencia y el grado de hinchamiento de las fibras.

## **PARTE EXPERIMENTAL**

El resumen del trabajo experimental se presenta en la figura N°1.

La preparación de material consiste en la formación de hojas de papel en laboratorio con un gramaje correspondiente a 80 g/m<sup>2</sup> cpm 100% de pulpa Kraft, tanto cruda como blanqueada. Estas hojas se sometieron a repetidos ciclos de secado humedecimiento con el fin de cuantificar los cambios que se producen en proceso de reciclado, considerando en este caso un proceso idealizado ya que todas las fibras poseen el mismo grado de endurecimiento. El proceso de reciclado consiste en humedecer las hojas de papel secas y desintegrarlas a 50.000 revoluciones en un desintegrador Tappi standard, se aparta una cantidad de pulpa para determinar el índice de retención de agua y con el material restante se procede a la formación de hojas con el gramaje indicado, el secado se realiza a temperatura ambiente, finalmente las hojas pasan por la calandria a una presión de 60 psi para posteriormente evaluar sus propiedades de resistencia: Índice de tensión, rasgado, explosión y doblez (normas Tappi)

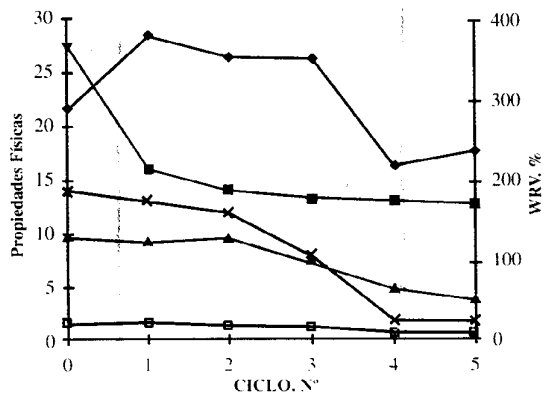
La adición de hidróxido de Sodio se realiza en la etapa de desintegración de las hojas de papel una vez secas, concluido este proceso se lava la pulpa con agua desionizada para eliminar el exceso de NaOH se procede a la formación de hojas. El rango de adición estudiado es de 0,5 a 1% b.p.s.

Al mezclar fibra virgen con fibra reciclada se reproducen en alguna medida lo que se realiza industrialmente obteniéndose cuantitativamente los

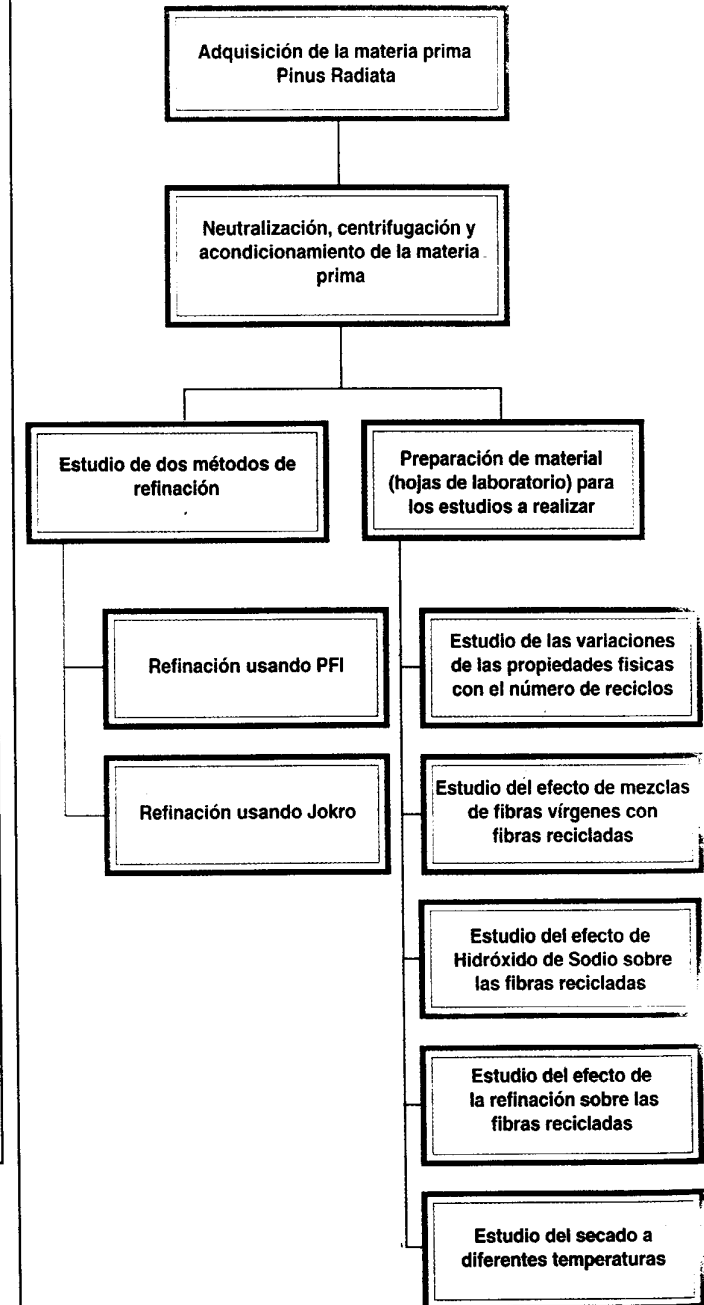
cambios producidos en las propiedades de resistencia y el grado de hinchamiento de las fibras el cual se midió utilizando la técnica de índice de retención de agua (WRV).

El secado de las hojas a dos diferentes condiciones permite determinar en cierta medida si la temperatura de secado o sólo la eliminación de agua son los responsables del endurecimiento de las fibras durante este proceso. Se realizó un estudio adicional con el fin de determinar las diferencias entre dos sistemas de refinación: refinación en PFI y refinación en Jokro. que corresponden a dos

Gráfico n°1: Variación de las Propiedades Físicas de Pulpa Cruda con el Reciclado



# Trabajo a desarrollar



normas diferentes; y se evaluaron las propiedades de resistencia en ambos casos.

## DISCUSIÓN DE RESULTADO

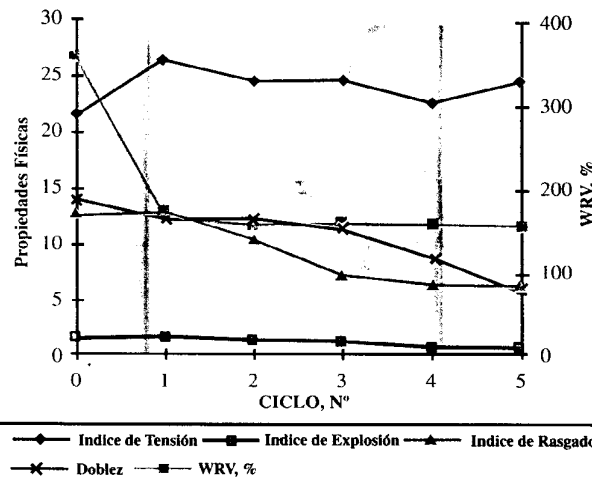
La cuantificación de los cambios sufridos por las fibras en el proceso de reciclado se puede observar en los gráficos N°1 y N°2, que corresponden a pulpa cruda blanqueada respectivamente.

Se observa que todas las propiedades de resistencia disminuyen, pero el cambio más drástico lo experimenta el índice de retención de agua, que cae fuertemente en el primer reciclado, tanto en pulpa cruda como en pulpa blanqueada, lo que está en concordancia con algunos estudios reportados en literatura(5,11,12). La importante reducción en esta variable, se debe al endurecimiento que sufre la fibra durante el proceso de secado, las laminillas

de la fibra se colapsan y no permiten posterior hidratación. Este punto es de especial interés debido a que la pulpa se comercializa una vez seca, presentado un grado de endurecimiento por lo que su potencial de reciclado se ve disminuido. La mayor variación se observa en la pulpa blanca, y esto se debe a que la formación de puentes de Hidrógeno dentro de la fibra se produce entre las microfibrillas directamente en cambio en la pulpa cruda la cantidad de lignina presente ayuda a disminuir la formación de estos enlaces. A pesar de esto la caída del índice de retención de agua en este caso es importante por que la cantidad de lignina presente en la pulpa cruda es baja, índice Kappa 19,85.

El doblez cae a valores bastante bajos, lo cual se debe a la rigidez que va adquiriendo la fibra en el proceso de reciclado. El índice de tensión aumenta en el primer reciclado y luego comienza a descender, esto se debe a que durante el reciclado se produce generación, de finos y fibrilación, esto último permite aumentar la cantidad de enlaces fibra-fibra

Gráfico n°2: Variación de las Propiedades Físicas de Pulpa Blanca con el Reciclado



Y por lo tanto el aumento de la tensión, pero a medida que el reciclado continúa la fibra se va endureciendo cada vez más y los enlaces formados pierden su fuerza. Por otra parte, el reciclado produce finos adicionales por el acortamiento de las fibras, lo que va en desmedro de las propiedades de resistencia.

La adición de NaOH en el primer reciclado no produce cambios importantes en las propiedades de

resistencia tanto en la pulpa cruda como en la blanqueada. El cambio más fuerte se produce con el índice de retención de agua, pero este cambio también es insignificante, lo que se puede deber a que los grupos ácidos presentes en la pared de la fibra no se disocian en presencia de hidróxido de sodio, esta disociación es la responsable de los cambios en el nivel de hinchamiento de la fibras. Este efecto se puede observar claramente en la tabla N°1 para la pulpa cruda y en la tabla N°2 para la pulpa blanqueada.

**Tabla N°1: Variación de las propiedades físicas de pulpa cruda con la adición de Hidróxido de Sodio (NaOH) en el primer reciclado.**

Adición NaOH, %	IT, Nm/g	IE, kPam <sup>2</sup> /g	IR, mNm <sup>2</sup> /g	Doblez, N°	WRV, %
0	28,43	1,73	9,19	13	212,72
0,5	22,51	1,27	9,22	6	184,20
0,75	24,51	1,45	8,54	12	203,44
1,0	23,89	1,53	7,75	12	232,00
Ciclo 0	21,61	1,60	9,76		

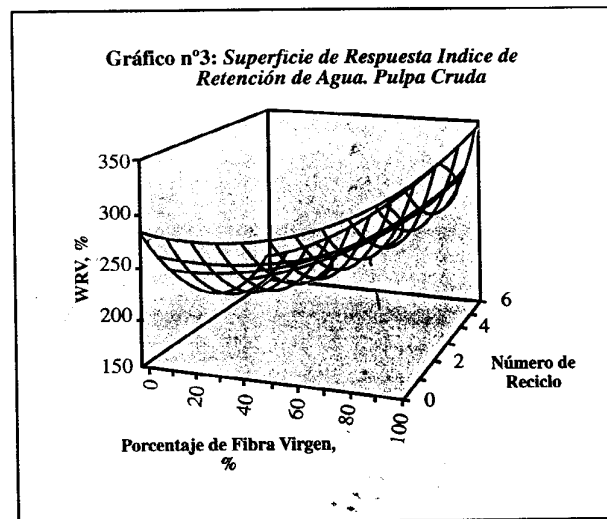
**Tabla N°2: Variación de las propiedades físicas de pulpa blanca de Hidróxido de Sodio (NaOH) en el primer reciclado.**

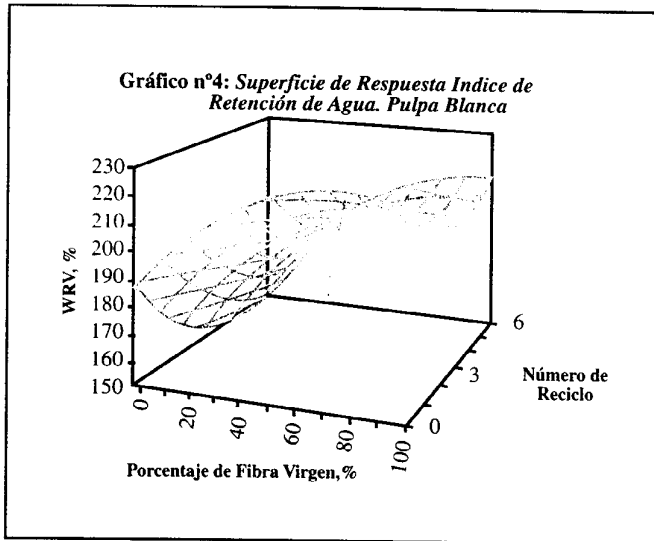
Adición NaOH, %	IT, Nm/g	IE, kPam <sup>2</sup> /g	IR, mNm <sup>2</sup> /g	Doblez, N°	WRV, %
0	26,56	2,02	12,50	12	165,60
0,5	21,62	1,59	10,57	13	186,41
0,75	24,36	1,72	11,34	21	191,76
Ciclo 0	21,39	1,95	12,49	14	257,2

IT: Índice de Tensión; IE: Índice de Explosión; IR: Índice de Rasgado; WRV: Índice de Retención agua.

Como era de esperar la adición de fibra virgen en el proceso de reciclado mejora las propiedades de resistencia, también aumenta la capacidad de hinchamiento de la fibra de un 13% para 10% de pulpa virgen, hasta 24,91% para 80% de pulpa virgen. Para el caso de la pulpa blanca el índice de retención de agua aumenta de 8,36% para un 10% de fibra virgen y 22,06% para un 80% de adición de fibra virgen.

Los valores mas bajos de WRV se obtienen a 0% de adición de fibra virgen y después de tres reciclados; lo que se puede observar en los gráficos N°3 y N°4, para pulpa cruda y pulpa blanqueada respectivamente. Es en este punto donde se analizó la refinación de la fibra para determinar las





mejoras que se puedan lograr. Los resultados se presentan en las tablas N°3 y N°4, se observa que las propiedades de resistencia aumentan con el tratamiento mecánico, lo que concuerda con estudios reportados en literatura(4). El comparar con los datos de las curvas de refinación originales, se observa que las propiedades de tensión, explosión y doblez aumentan, pero no logran los valores obtenidos con pulpa nunca seca.

La capacidad de hinchamiento aumenta con la refinación, esta variación se debe a que se produce la fibrilación interna de la fibra durante la refinación, pero la fibra reciclada presenta endurecimiento en su estructura, por lo que sus otras propiedades disminuyen; además la generación de finos contribuye a aumentar el índice de retención de agua.

Tabla N°3: Curva de Refinación de pulpa cruda sin reciclar y con tres reciclós.

Tiempo, min	°SR	Índice de Tensión	Índice de Explosión	Índice de Rasgado	Doblez	WRV
0	12 - 12	21,61 - 26,32	1,60 - 1,40	9,63 - 7,48	14 - 8	365,15 - 178,08
15	12 - 14	45,20 - 41,88	4,54 - 2,84	9,12 - 7,91	1020 - 86	365,00 - 211,27
30	15 - 16	77,73 - 60,41	6,66 - 4,03	8,59 - 6,93	1443 - 256	363,07 - 264,26
60	22 - 25	92,47 - 71,00	7,57 - 5,22	7,53 - 6,75	1017 - 242	294,86 - 432,61
90	38 - 38	93,48 - 77,05	6,71 - 5,62	7,80 - 6,76	808 - 101	246,58 - 20,07

Tabla N°4: Curva de Refinación de pulpa blanca sin reciclar y con tres reciclós.

Tiempo, min	°SR	Índice de Tensión	Índice de Explosión	Índice de Rasgado	Doblez	WRV
0	12 - 12	21,39 - 24,55	1,95 - 1,42	9,63 - 7,48	14 - 11	359,15 - 154,33
15	14 - 14	60,30 - 50,40	6,50 - 3,74	10,12 - 6,56	950 - 113	342,20 - 198,16
30	16 - 17	81,41 - 65,77	7,46 - 4,67	9,39 - 7,49	1198 - 286	318,88 - 242,10
60	27 - 27	92,37 - 71,12	7,88 - 5,52	8,15 - 6,47	1005 - 250	300,36 - 290,10
90	35 - 39	90,22 - 78,66	6,67 - 5,54	8,03 - 6,62	808 - 101	246,58 - 169,88

La mayor variación se observa en el doblez, la disminución de esta variable se debe principalmente a la rigidez que adquiere la fibra reciclada, la flexibilidad de la fibra no puede ser recuperada por la refinación.

Al analizar el proceso de secado a temperatura ambiente y a 80°C, no se observan variaciones en las propiedades físicas; por lo que se puede confirmar lo enunciado por Laivins y Scallan(4), es decir, el endurecimiento de las fibras depende de la

remoción de agua y no del proceso utilizado en la eliminación de ésta.

En el estudio comparativo entre los dos sistemas de refinación se observa que se obtienen mayores valores de índice de tensión y rasgado a un menor grado de refinación (°SR) en el refinador Jokro en comparación con el refinador PFI, esta situación es la misma para los dos tipos de pulpa estudiados. Esto indica que se tiene una mayor fibrilación, por lo que se produce una mayor cantidad de enlaces

fibra-fibra, en el refinador Jokro sin una mayor generación de finos (°SR).

Con la refinación, la hoja aumenta su unión y rigidez, por lo tanto, el valor de rasgado disminuye. En el refinador Jokro se produce más rápida-

mente la fibrilación, luego la fibra está más rígida en la hoja y el índice de rasgado disminuye más rápidamente en comparación con la refinación en PFI. Los resultados de este estudio se presentan en la tabla N°5, para pulpa cruda y blanqueada.

40°SR	Indice de tensión	Indice de explosión	Indice de Rasgado	Doblez
Jokro Pulpa Cruda	97,12	7,17	10,35	1133
PFI Pulpa Cruda	87,49	8,21	9,43	1407
Jokro Pulpa Blanqueada	94,45	7,08	10,04	968
PFI Pulpa Blanqueada	93,19	7,44	9,40	1911

## CONCLUSIONES

En este trabajo fue posible realizar la cuantificación de las propiedades físicas y capacidad de hinchamiento de las fibras celulósicas sometidas a repetidos ciclos de secado y humedecimiento. La fibra de pulpas químicas sufre endurecimiento en su pared celular, lo que provoca disminución en la capacidad de hinchamiento y en las propiedades físicas. Se confirmó lo estudiado por los autores, pero en este caso se tienen los valores asociados a los cambios de la pulpa de Pinus Radiata.

La adición de fibra virgen produce mejoras en las propiedades durante el reciclado al igual que la refinación pero en ninguno de los dos casos se logran las propiedades de resistencia de las pulpas nunca secas.

La adición de NaOH(0,5% a 1% b.p.s.) no provoca cambios sustanciales en las propiedades de las pulpas en el primer reciclo. Sea cual sea el proceso de secado en la fabricación de papel se produce el endurecimiento de las fibras, es decir, que la simple remoción de agua produce deterioros de fibras.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 Stone, J.E.; Scallan, A.M; Pulp paper mag Canada, 66(8), 407-414, (1965)
- 2 Scallan, A.M; Fiber water interactions in papermaking, Trans. Symp. Oxford, 19-23 (1977)
- 3 Pulp and paper international, 37(7), Julio 1995
- 4 Minor, J.L.; Progress in Paper recycling, 3 (2), 93-95. (1994)
- 5 Casey, J.; 1,2-64. México (1990)
- 6 Fengel, D.; Wegener, G.; Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions; 76-78 (1983)
- 7 Laivins, G. V.; Scallan, A.M.; Products of Paper making, 2, 1235-1260.(1993)
- 8 Higgins, H.; McKenzie, A.; Appita, 16(6), 145-161 (1963)
- 9 Stone, J.E.; Scallan, A.M.; Cellulose Chem. Technol., 2, 343-358. (1968)
- 10 Scallan, A.M.; Tigerstöm, A.C.; J. Pulp and Paper Science, 18(5), J188-J193, (1992).
- 11 Howard, R.C.; J. Pulp and Paper Science, 16 (5), J143-149, (1990)
- 12 Robertson, A.; Pulp and paper magazine of Canada, 65, T161-T168, (1964).