Proceso discontinuo de pulpaje kraft con preimpregnación de astillas

Cristoffanini V., Carlos; Melo S., Roberto
Laboratorio de Productos Forestales, Facultad de Ingeniería,
Universidad de Concepción
Casilla 53-C, Concepción - Chile

SUMARIO

Se ha llevado a cabo un estudio teórico y experimental para demostrar las bondades de un cambio en las curvas de calentamiento, dando paso a una etapa de impregnación inicial y una de cocción propiamente tal en la producción de pulpa kraft de pino insigne (**Pinus radiata** D. Don). Las ventajas se reflejan en un aumento de rendimiento, disminución de rechazos, contenido de lignina y la posibilidad de disminuir los consumos de vapor y/o aumentar la producción.

Mediante un trabajo experimental se comprobó que realizando una preimpregnación, a 140°C, se obtiene un aumento en el rendimiento de alrededor de 1% y una tendencia a la baja de los rechazos.

Para un mismo Kappa se observa que es posible disminuir el tiempo de cocción en 19 minutos o más. Estos resultados han sido apoyados por un modelo semiteórico-computacional adaptado para **Pino radiata** (D. Don).

INTRODUCCION

— Objetivos

Se desea evaluar técnicamente la alternativa de introducir en una cocción kraft, en digestores discontinuos, astillas de madera de pino insigne previamente tratadas con licor de cocción, a una temperatura que favorezca la impregnación por sobre la deslignificación.

Con este pretratamiento se pretende mejorar la calidad de la pulpa, aumentar el rendimiento, disminuir el tiempo de pulpaje y facilitar el control.

Sin embargo, la intención central de este trabajo es mostrar una alternativa de inversión en la industria de pulpa, con especial énfasis en la de aquellos países donde el capital es escaso.

— Principios teóricos

Se ha demostrado que la deslignificación de la madera en el pulpaje al sulfato está controlada tanto por fenómenos de reacción como de difusión. Un análisis teórico predice que permitiendo una homogeneización del licor dentro de las astillas, al comienzo del pulpaje, la reacción será también más homogénea, lo que conllevaría una serie de beneficios.

Dentro de la astilla se disuelven tanto lignina como parte de los carbohidratos, durante el proceso. Se pueden reconocer, en el fenómeno, cinco etapas (ref. 2, 3, 4):

(1) Transporte de los agentes químicos desde el seno del fluido a los sitios de reacción con fenómenos de penetración capilar y de difusión.
(2) Adsorción de los reactivos.
(3) La reacción química.
(4) Desorción de los productos.
(5) Transporte de los productos de la reacción, por difusión, hacia el licor.

La velocidad del proceso está limitada por la cinética de deslignificación. Gran número de investigadores han concluido que en astillas, por sobre cierto espesor (1 a 3 mm), la velocidad de reacción está parcialmente controlada por fenómenos de transporte (ref. 2, 5, 6), especialmente la difusión; por esta razón se debe considerar en un modelo los pasos 1, 3 y 5.

En el pulpaje kraft y en otros similares se encuentran involucradas dos clases de variables (ref. 1, 7, 8):

(1) **Variables asociadas a la madera.**
- Especie
- Densidad
- Crecimiento
- Dimensión de la astilla
- Daño en el astillado

(2) **Variables asociadas a la operación de pulpaje.**
- Temperatura
- Tiempo
- Concentración de reactivos químicos
- Carga de los reactivos, hidróxido y sulfuro o relación entre licor y madera.

El trabajo se limita al estudio de las curvas de temperatura y tiempo, manteniendo el resto de las variables constantes en valores estimados como típicos. Esto se debe a que un estudio más profundo queda fuera de nuestro alcance y las combinaciones sólo están limitadas por la imaginación del investigador.

Existen diversas variables que permiten medir los resultados del pulpaje, la importancia de éstas dependerá de la finalidad del producto. Es así como, por ejemplo, si se desea una pulpa de alto rendimiento no interesará tanto su contenido de lignina como en una pulpa que será blanqueada; en el primer caso interesará más la pérdida en peso de materia prima. Se han considerado para el estudio las siguientes respuestas del proceso:

- Rendimiento total %
- Rendimiento clasificado %
- Rechazos %
- Indice Kappa
- Factor H (ref. 9).

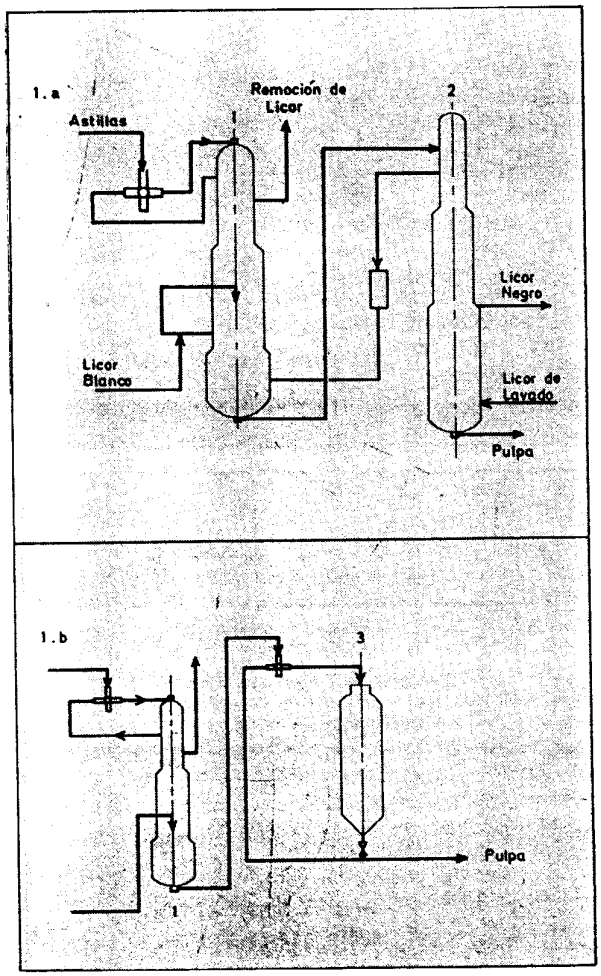
Tesis

El puntaje de partida de este proyecto fue el intento de optimizar el procedimiento de cocción y dar una alternativa de inversión al agregar una etapa adicional al proceso industrial.

"Si el primer período del proceso es el de mayor consumo de álcali y aún cuando las astillas se encuentren llenas de licor en un comienzo, debido a la penetración, es de esperar que se produzca un gradiente de concentración dentro de la astilla; recordemos que la cinética está parcialmente controlada por la difusión. Como es necesario obtener pulpa con un promedio de lignina bajo un nivel determinado, del pulpaje se obtiene un cierto rendimiento supeditado a la anterior condición económica".

Basado en nuestros conocimientos del pulpaje kraft se ha planteado la siguiente hipótesis:

"Si levantamos temperatura en el autoclave hasta un nivel que favorezca la difusión por sobre la reacción, se provocará sólo la primera etapa de reacción, pero no la segunda, que es más dependiente de la temperatura y relativamente más lenta. Luego de un período de latencia aumentaremos la temperatura hasta su punto máximo y completaremos el proceso".



Se puede prever que si de lo anterior se obtienen buenos resultados, el pulpaje se puede llevar a cabo en dos equipos, uno en que se produzca la "PREIMPREGNACION" y en otro la digestión principal (ver figura 1a). Con la tecnología actual es posible implementar una torre continua (1) que enseguida alimente a digestores discontinuos; existen en funcionamiento digestores continuos que utilizan ya este procedimiento (ver figura 1 b).

En este trabajo se intenta la confirmación de la hipótesis y la cuantificación de sus beneficios.

PARTE EXPERIMENTAL

El Modelo

Se ha desarrollado un modelo matemático que simula el proceso y se resuelve computacionalmente.

Este modelo se basa en un trabajo realizado por Gustafson et al. (1983) de la Universidad de Washington, EE.UU. (ref. 2) y ha sido gran parte aplicado en forma textual. Básicamente los cambios consisten en reemplazos en las ecuaciones de velocidad.

Además se varía el valor de algunas constantes de tal manera de lograr la especificidad para pino insigne. En aquel trabajo también se hace mención de algunos modelos anteriormente desarrollados (ref. 2, 3); la elección de éste se debe a que es el más avanzado que se tiene a disposición y es posible reproducir.

En el desarrollo del modelo se han considerado los fenómenos de transporte y reacción, y es general en cuanto a especies arbóreas. Considera las reacciones de la lignina, celulosa, grupos acetilos y galactoglucomananos, de la soda y los sulfuros; desprecia las reacciones de condensación de lignina. Toma en cuenta la difusión dentro de las astillas, de diferentes espesores. Utiliza además una fase líquida homogénea y temperatura homogénea en todo el digestor.

Este da resultados de una calidad relativa (Ejemplo: $\pm 1\%$ sobre rendimiento), pero sirve para contemplar los fenómenos y comparar tendencias entre diferentes procedimientos y condiciones de trabajo.

Verificación de Modelo

Se han utilizado los resultados experimentales de Kerr (ref. 3) para verificar la calidad de las predicciones; se usa la información de dicho autor por sus trabajos en pino insigne. Señalemos que el modelo no sólo es más complejo que el de partida, sino que está acomodado a esta especie. Se aprecia gran precisión con respecto a las curvas de consumo de reactivos, y al contenido de lignina.

Diseño Experimental

Disponemos de una unidad de digestión de 1,2 litros de capacidad, con un bulbo para termómetro adosado a la tapa, dentro del cual introducimos la termocupla del termómetro digital. La tapa cuenta además con un tornillo perforado para permitir el desgase de la unidad.

Para calentar el digestor se ha dispuesto de un baño de aceite con calefacción, agitador y termómetro. El control de temperatura es manual.

El desarrollo experimental se ha dividido en dos etapas:

1. **En la primera, "Pulpaje estándar".**

Las condiciones de operación han sido tomadas de tal manera que simulen un pulpaje, dentro del rango de operación típico y que, además, sea sencillo de reproducir en laboratorio. Se ha considerado la variación del tiempo de cocción para obtener una curva que correlacione rendimiento y rechazos, versus factor H.

Las condiciones de trabajo se indican en la Tabla 1 y Figura 2 a.

2 **En la siguiente etapa, "Pulpaje con preimpregnación".**

Se simulan dos señales escalón de la temperatura que en un comienzo se eleva entre los 130° y 160°C, luego de mantenida así por 60 minutos viene el segundo aumento para llegar a 174°C y mantenerla hasta completar la cocción. Ver Figura 2 b.

Tabla 1. **Condiciones de Pulpaje**

(1) Composición	Industrial	Estándar	Con Impregnación
Lignina	L = 27,1%		
Holocelulosa	H = 70,1%		
Celulosa	C = 53,7%		
Glucomananos	G = 16,4%		
Acetilos	AC = 1,3%		
(2) Reactivos			
Alcali Ef.	AE = 58,0 g/l	40,0	40,0
Sulfidez	S = 27,6%	27,0	27,0
Relación L:M	3.5 — 4,5:1	4.5:1	4.5:1
(3) Astillas			
Especie	Pinus radiata		
Espesor	2—10 mm	2-10	2-10
(4) Condiciones de operación			
Temp. máxima	170-175°C	174	174
A Tiempo hasta T máxima	60-100 min	75	—
B Tiempo A T máxima	90-120 min	Variable	Variable
A Tiempo de Preimpregnación	—	—	60
Temperatura de Preimpregnación			140°C

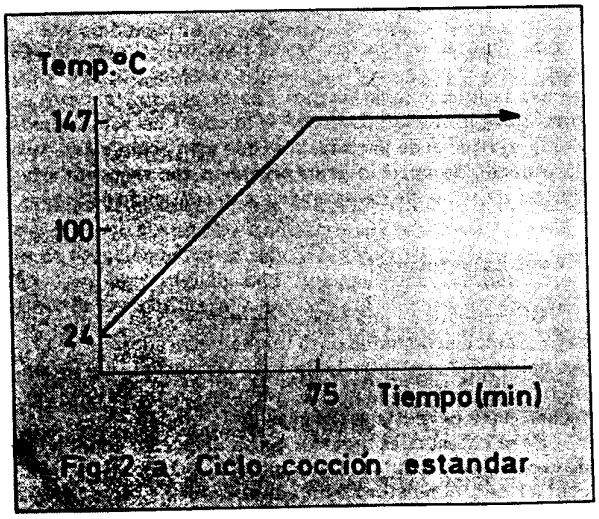


Fig. 2 a. Ciclo cocción estandar

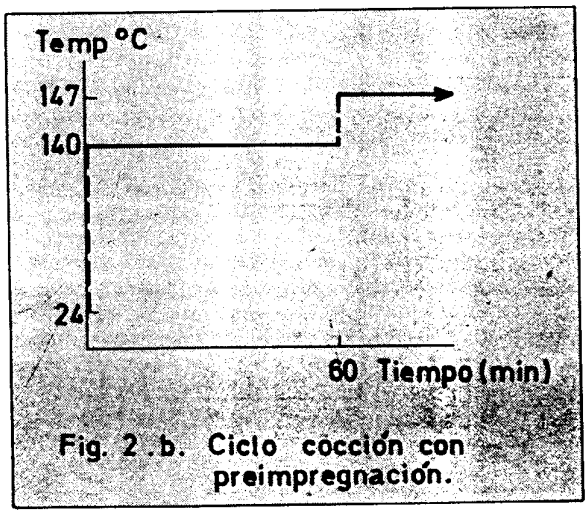


Fig. 2 .b. Ciclo cocción con preimpregnación.

RESULTADOS Y DISCUSION

(1) **Del Modelo.**

— Se obtienen curvas con una precisión de 1% sobre el rendimiento base madera seca (bms) y de 2 puntos sobre el Indice Kappa, resultados que han sido considerados aceptables para el propósito del trabajo; no es este el caso del consumo de álcali.

— Muestra rendimientos similares para contenidos iguales de lignina en ambos procedimientos, estándar y con preimpregnación.

— **Al concluir la etapa de preimpregnación se obtiene un producto más homogéneo, el perfil de concentración dentro de las astillas se hace menos pronunciado; especialmente se aprecia esta diferencia en las de mayor espesor.**

— **Se observa que el mayor consumo de soda se produce al comienzo de la cocción, efecto de los grupos acetilos y los galactoglucomananos, llegando el contenido de álcali a valores cercanos a cero. Este hecho viene a respaldar la tesis propuesta.**

(2) **Experimental, Tablas 2 y 3.**

— La dispersión de los rechazos es alta, varían entre 1 y 4%, sin seguir una tendencia específica; esto provoca una distorsión sobre el rendimiento total. Se observa que, en promedio, los rechazos del proceso industrial típico son mayores.

— **El rendimiento clasificado muestra una clara tendencia descendente a medida que aumenta el factor H utilizado, manteniéndose el método desarrollado por encima del estándar.**

— **La Figura 3 muestra las curvas decrecientes del Indice Kappa con respecto al factor H. La del**

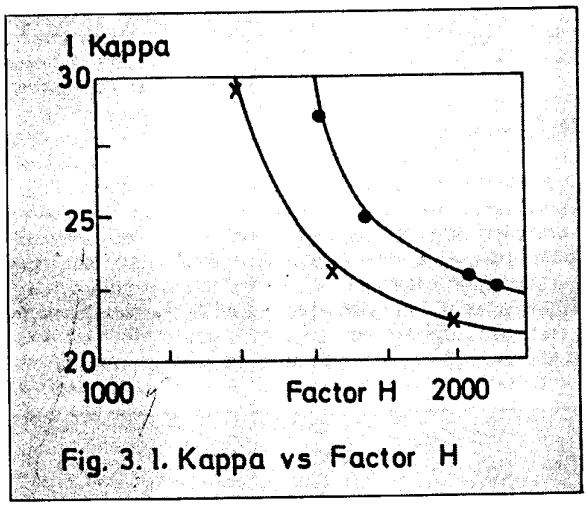


Fig. 3. I. Kappa vs Factor H

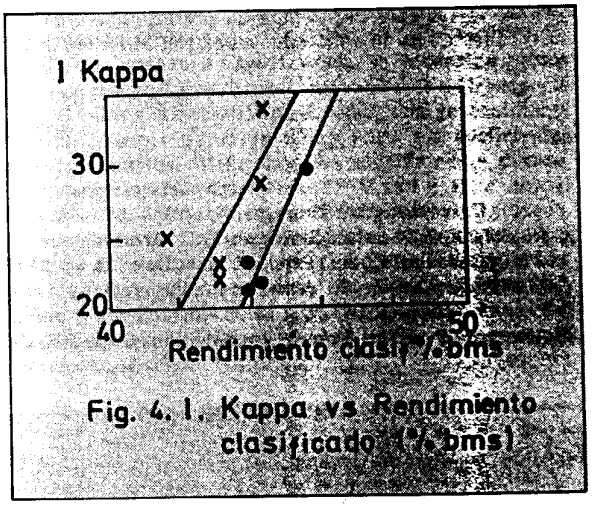


Fig. 4. I. Kappa vs Rendimiento clasificado (% bms)

Tabla 2. **Pulpaje Estándar**

Exp. N°	Tiempo B min	Factor H	Rend. Tot.%	Rend. Cl%	Rech. %	Indice Kappa
01	78	2051	43,93	43,16	0,77	23,16
02	60	1636	45,60	44,36	1,24	28,36
03	72	1762	46,30	41,81	4,49	25,01
04	45	1180	48,50	44,30	4,20	[illegible]
05	81	2133	44,51	43,31	1,20	[illegible]

Tabla 3. **Pulpaje con Preimpregnación**

Exp. N°	Tiempo A min	Tiempo B min	Factor H	Rend. Tot.%	Rend. Cl%	Rech. %	Indice Kappa
01	60	66	1648	45,53	43,88	[illegible]	[illegible]
02	90	63	1635	45,17	43,78	[illegible]	[illegible]
03	60	78	2007	45,60	43,89	[illegible]	[illegible]
04	60	45	1398	46,63	45,64	[illegible]	[illegible]
05	225	60	1673	46,73	45,69	[illegible]	[illegible]
06	60	93	2482	47,70	44,11	[illegible]	[illegible]

nuevo método se encuentra desplazada hacia la izquierda; esto implica que dicho proceso demora cerca de 20 minutos menos en realizarla.

— Al correlacionar el Indice Kappa con el rendimiento clasificado, Figura 4, se observa que los puntos obtenidos con preimpregnación se sitúan más a la derecha, o sea, para una pulpa de igual calidad se tiene entre 0,5 y 2,0% más de rendimiento, con una tendencia al aumento para pulpas con menor contenido de lignina.

CONCLUSIONES

— Se ha comprobado la tesis, no sólo siendo posible técnicamente llevar a cabo el procedimiento planteado sino que, además, presenta bondades sobre los procesos actualmente en uso.

— También cabe la posibilidad de ampliar esta tesis a procesos diferentes al kraft debido que, en general, las reacciones de pulpaje son similares y con velocidades de reacción y difusión dentro del mismo orden de magnitud, o sea, también estarían parcialmente controladas por la difusión.

— Variaciones del tiempo de preimpregnación (a 140°C) de 60 a 225 min. muestran mínimas diferencias en sus resultados lo que permite predecir que es posible realizar el proceso mediante una torre de impregnación continua, que luego entregue el material a una batería de digestores discontinuos.

— Este proceso llamado de preimpregnación, aún no ha sido optimizado. Se pueden incluir cambios en variables diferentes a las estudiadas; es por ello que es susceptible a modificaciones. Como se planteó en un comienzo, abre las puertas a una infinidad de variaciones sobre el mismo tema.

BIBLIOGRAFIA

1. Melo S., R. y Paz, J. "Texto básico sobre celulosa y papel", Universidad de Concepción, pp 155-157 (1980).
2. Gustafson, R.R.; C.A. Slaicher; W.T. McKean y B.A. Finlayson. Ind. Chem. Process. Des. Dev. 22, pp 87-96 (1983)
3. Kerr, A.J. Appita, 24 (3), p 180 (1970).
4. Axegard, P. et al. Svensk Papperstidn, 5, pp 131-136 (1973).
5. Kleppe, P.J. Tappi, 53, p 35 (1973).
6. Akhtaruzzman, A.; N. Virkola; Paperi Ja Puu; 61, p 578, p 629, p 737, p 805 (1979); 62, p 15, p 70, p 297.
7. McDonald, R. "The Pulping of Wood", 2th Ed., New York, pp 39-41 (1969).
8. Rydholm, S. "Pulping Processes". Wiley. New York, pp 610-635 (1965).
9. Vroom, K.E. Pulp Paper Mag. Can. 88 (3), p 228 (1957).

AVISO

En viaje por Estados Unidos uno de nuestros socios recogió la siguiente información:

Se ofrece:

MAQUINA PAPELERA JOHN INGLIS

Características:
Ancho: 184"
Velocidad: 1263 — 1750 pie/min.
Doble cajón
Prensas nuevas
Año construcción: 1956 (en operación hasta 1981)
Capacidad de producción: 800 TM/día, con Liner
Valor: US$ 3.400.000, puesto en USA.

Mayores antecedentes : Secretaría ATCP-Chile
Barros Arana 39 — piso 2°
Fono: 237679
Concepción.