CARACTERIZACIÓN DE LA PULPA PRODUCIDA CON DIFERENTES CONDICIONES DE PROCESO RDH.

Ramírez Esteban, Melo Robertoy Paz José. Universidad de Concepción Lab. Productos Forestales(LPF), con la cooperación de Celulosa Arauco y Constitución, Planta Constitución.

Resumen

Madera de pino radiata (Pinus radiata D.Don) se sometió a un proceso de Pulpaje del tipo Rapid Displacement Heating (RDH), en laboratorio, moviendo los valores de las variables involucradas para determinar como afectan a las características de la pulpa y a las respuestas del proceso. Se estudiaron Rendimiento. Rechazo. Kappa. Rasgado. Ruptura. Explosión y Luminosidad respecto de cómo se ven influenciadas por la Densidad básica de la madera, por la distribución de álcali en el proceso y por las temperaturas de las etapas. Como resultados se obtuvo una jerarquización de las variables respecto de las respuestas en estudio, representadas en gráficos de barra que permiten determinar que variables son más importantes, para cada respuesta. Además, se propone una dirección de optimización del Rasgado. propiedad central de este estudio. Basándose en los resultado, se concluye que las propiedades de la pulpa se ven fuertemente afectadas por la forma cómo se conduce una cocción RDH. En particular, el rasgado potencial de la fibra, dado por una alta densidad básica, puede ser muy distinto al obtenido si el proceso es incorrectamente operado. Las condiciones que genera un proceso RDH para las reacciones químicas, mejoran efectivamente las propiedades de la pulpa, en particular la resistencia al Rasgado, el resto de las propiedades de la pulpa, si bien se ven afectadas al modificar las condiciones del proceso, presentan siempre valores aceptables para el tipo de producto. lo que hace del Rasgado la propiedad limitante. La característica de un proceso RDH, es decir, su perfil de concentración, se obtiene cuando la concentración de álcali, en la primera etapa de licor caliente. es menor que la siguiente. e. incluso, menor que la anterior. También, se presenta cuando las dosificaciones son siempre ascendentes (caso particular de la situación anterior). Dichos perfiles, mantenidos entre niveles recomendados, son la causa del mejor rasgado en la pulpa.

Introducción

En los años 80 comienza una gran actividad en cuanto a la investigación del pulpaje kraft, la que dio como resultado nuevos procesos discontinuos que pudiesen competir con los continuos en el consumo de energía. En 1995, Celulosa Arauco y Constitución (Chile) inicia la transformación de Planta Constitución desde un proceso convencional a una de las nuevas tecnologías, denominada Rapid Displacement Heating (RDH) de Beloit, transformándose en la única industria del país con tecnología de desplazamiento de licores. El presente trabajo tiene como objetivo general disponer de la información experimental para lograr una optimización del proceso RDH, y como objetivos particulares: conocer el comportamiento de la producción industrial en el proceso tradicional y RDH en planta Constitución; seleccionar un conjunto de variables a estudiar, que a la luz de la información disponible muestren ser las más influyentes en las características en estudio del producto; simular el proceso RDH en laboratorio, determinando qué variable afecta de manera más importante a las características de la pulpa, centrando el estudio en aquellas variables que más influyen sobre el rasgado.

Un proceso RDH utiliza la recirculación de licores gastados de cocciones anteriores, para aprovechar su contenido de energía calórica y reactivos. Las etapas del proceso son: carga de astillas, colchón frío (CP), llenado con licor tibio (WF), llenado con licor caliente (C1 y C2), tiempo para alcanzar temperatura (TAT), tiempo de reposo (TTT), desplazamiento y descarga. [1][2][3]

Estudios experimentales han mostrado que un proceso RDH presenta ventajas respecto del proceso convencional, entre ellas destaca la Deslignificación Extendida que posibilita, entre otras cosas, aumentar las

propiedades mecánicas y de resistencia de la pulpa^{[2][4][6]}. Esta ventaja se atribuye a una mayor selectividad del proceso^[6], debido a la Química del RDH, que no es otra cosa que diferentes condiciones para las reacciones de deslignificación, producto de las diferencias en los perfiles de concentración de reactivos. Un proceso RDH a diferencia de uno convencional, presenta una alta sulfidez al comienzo de la cocción (derivada de la recirculación de licores gastados o licor negro), para luego diminuir. Por otro lado la concentración de álcali efectivo del proceso RDH es baja al comienzo del mismo, para aumentar en la etapa de deslignificación principal y luego disminuir gradualmente.

Estudio del efecto relativo de las variables en las propiedades de la pulpa.

Metodología Experimental.

Las cocciones se realizan en un equipo piloto de laboratorio, que consiste en dos digestores discontinuos de laboratorio conectados entre sí, y a dos estanques de calentamiento, el cual permite calentar a presión tres mezclas distintas de licor, las que pueden ser ingresadas por el fondo de uno de los digestores discontinuo de 7 l, del tipo M/K fabricado por M/K System USA. Los licores son ingresados al digestor utilizando la diferencia de presión que se establece entre los estanques de calentamiento y el digestor, y la impulsión por bomba. A medida que se ingresa una cantidad de licor por el fondo del digestor, se desplaza una cantidad similar fuera de éste a un pequeño recipiente y luego al exterior del sistema. El equipo experimental permite medir tanto la temperatura de salida, como el volumen de los licores desplazados permitiendo el control del proceso por cualquiera de las dos variables descritas, además, posibilita tres desplazamientos: 1,- Licor tibio (WF) desplazando al Colchón Frío (CP), 2,- Licor caliente uno (C1) desplazando al licor tibio (WF) y licor caliente dos (C2) desplazando a C1. El equipo referido no permite almacenar los licores desplazados.

Las variables propuestas para el estudio son: Densidad de la madera (D). Dosificación (%WF) y tiempo recirculación después del Llenado con licor tibio. Dosificación (%C1 y % C2) y temperatura (T_{c1}, T_{c2}) en C-1 y C-2 del llenado con licor caliente, además de la temperatura (T) de cocción en la última etapa. El conjunto de variables presentadas resulta de un análisis de todas las variables involucradas en un proceso RDH industrial, de aquí se concluyó que las 8 variables en estudio son las más importantes, ya que las otras o son una combinación de estas, o no pueden ser controladas fielmente en planta. Por otro lado, se presenta una dependencia entre tres de las variables en estudio, las variables que tienen que ver con la dosificación (%WF, %C1, %C2) son dependientes unas de otras, ya que en cualquier pulpaje Kraft se carga una cantidad de álcali constante, así %WF + %C1 + %C2 = Cte., de manera que cualquier diseño experimental basado en la independencia de las variables en estudio, no sería aplicable. Así se decidió asociar %WF con %C1, %WF + %C1 = Cte., de tal forma que un aumento en cualquiera de ellas significa la disminución de la otra, el %C2 se deja libre, teniendo presente que su modificación equivale a cambiar la cantidad de álcali total cargado, Las asociaciones presentadas permiten controlar la cantidad de álcali cargado y reducen el número de variables a 7.

Dados los objetivos de este trabajo, se requiere de una metodología experimental que permita establecer la importancia relativa de las variables en estudio respecto de alguna respuesta. La metodología utilizada se conoce como Diseño Factorial Reducido (o Diseños Saturados) de Plakett y Burman^[7]. Plakett y Burman confeccionaron matrices de experimentos que permiten determinar la importancia relativa de una variable respecto de otra y, además, indica de qué manera cada variable afecta a la respuesta, es decir, si la induce a aumentar o a disminuir. Las matrices referidas existen hasta para 100 variables, siendo aplicable el método si el número de variables en estudio más uno es múltiplo de cuatro, y si todas las variables son independientes. Para el caso particular de este trabajo, la matriz a utilizar es:

Número Ensayos	Variables Independientes							
Ensayos	1	2	3	4	5	6	7	
1	+	-	-	+	-	+	+	
2	+	+	-	-	+ 1	_	+	
3	+	+	+	-	_	+		
4	-	+	+	+	_	_	+	
5	+	-	+	+	+			
6	-	+	-	+	+			
7	-	-	+	_	+			
8	-	-	-				7	

Los signos (+) y (-) de las columnas representan los valores de cada variable en dos niveles, uno máximo (+) y uno mínimo (-), la combinación de estos valores en las filas de la matriz forman las condiciones a utilizar en cada experimento. Como se muestra, para las siete variables en estudio sólo se requiere de ocho experimentos, (cocciones en nuestro caso), para obtener la información requerida. El efecto unitario de una variable sobre alguna respuesta, se obtiene de la suma algebraica de los valores de dicha respuesta en los ocho experimentos, siguiendo los signos de la columna asociada a la variable en cuestión, el resultado es un valor que al compararlo con los obtenidos por las otras variables, permite jerarquizarlas por importancia, el signo del resultado indica si la variable se asocia en forma directa o inversa con la respuesta. Como los valores no representan nada en si mismos, sólo tienen sentido al compararlo con los otros, se transforman a porcentaje de influencia para mayor claridad.

Las respuestas en estudio de este trabajo son: Rendimiento clasificado, Kappa, Rechazo, Ruptura. Explosión, Luminosidad y Rasgado. Para todas las mediciones se utilizaron las Normas Tappi respectivas para cada caso, y las refinaciones necesarias fueron realizadas en un refinador PFI. Dado que el método requiere un valor específico como respuesta, para el caso de las propiedades mecánicas, donde tradicionalmente se obtienen curvas de refinación, se utilizan como valores representativos los que correspondan a los 30° SR.

Condiciones de los Pulpajes.

De acuerdo con la matriz ya presentada, se asignaron valores máximos y mínimos a las variables, de acuerdo a los valores que estas tienen en el proceso de Planta Constitución, quedando la matriz de experimentos como sigue.

Número			Variables In	dependientes	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
Cocción	D gr/cm3	%WF %AE/ madera seca	%C2 %AE/ madera seca	T° C1 °C	T° C2 °C	T° Coc. ° C	Recircula cion WF min
1	435	0	9,5	145	150	170	20
2	435	5,8	9.5	135	160	165	20
3	435	5.8	14.5	135	150	170	10
4	386	5.8	14.5	145	150	165	20
5	435	0	14.5	145	160	165	10
6	386	5.8	9 5	145	160	170	10
7	386	0	14.5	135	160	170	20
8	386	0	9,5	135	150	165	10

Las variables dependientes, %C1 y %AE adoptan los siguientes valores: %C1 = 3.4 % o 9.2 % si %WF es (+) o (-), respectivamente. Y % AE adopta los valores de 20 o 25% si %C2 es (-) o (+), respectivamente.

La madera utilizada fue provista por Celulosa Arauco y Constitución S.A., Planta Constitución, y corresponde a Pino Radiata (Softwood). La madera de mayor densidad se obtiene de muestras tomadas en astillas provenientes de aserraderos y la de baja densidad corresponde a madera de picado en planta. En ambos casos, las astillas fueron clasificadas, utilizándose el aceptado en el estudio, limpiadas de nudos se les determinó la humedad y la densidad básica; fueron envasadas en bolsas plásticas en paquetes de 1700 gr. y refrigeradas para mantener sus condiciones sin variación durante los experimentos.

El resto de los parámetros fijos en cada cocción se presentan a continuación.

Parámetro Fijo	Valor	
Madera húmeda a cargar	1700 gr.	
% CP	13%	
Temperatura CP	80° C	
Temperatura WF	126° C	
Tiempo calentamiento hasta 126ªC del WF	16 min	
Tiempo hasta temperatura TTT	20 min	
Tiempo a temperatura TAT	40 min	

Las mezclas de licor blanco y licor negro se preparan asegurando que al ingresar un volumen determinado al digestor, se esté ingresando la cantidad de álcali necesaria para cumplir con el porcentaje establecido para la etapa. Recordemos que en un proceso RDH, el digestor trabaja lleno a tope. luego el concepto de relación licor/madera, u otro similar, pierde sentido, sólo importa ingresar al digestor una cantidad de álcali determinada; así, tampoco, importa demasiado la humedad de la madera en la preparación de los licores. Por otro lado, el contenido de álcali del licor negro no se considerá al preparar las mezclas, es decir, el licor negro sólo constituye volumen para efecto de la preparación. Se estableció que los volúmenes a ingresar por etapa son: CP = 1,4 lt. WF=4I, C1 = C2 = 3 l. Cada uno de estos volumenes corresponde a la base de cálculo que se utilizará para preparar los licores, nótese que el WF tiene un calor superior a las otras etapas, la razón es que el WF tiene que desplazar al CP, llenar el digestor e impregnar las astillas, por lo que es lógico suponer que el licor a utilizar es mayor; por otro lado, menores volúmenes de licor originan tiempos de desplazamiento muy cortos, de manera que las astillas no alcanzan a calentarse por el contacto con el nuevo licor.

Así para preparar los reactivos se realizan los siguientes cálculos:

Sea AE: Concentración licor blanco en g/lt

%I: Porcentaje de AE a cargar respecto de la madera seca para una de las etapas RDH

MH: Madera Húmeda cargada

MS: Madera seca cargada

%S: Seco

[c]: Concentración teórica del licor a cargar, pues no considera la

concentración del licor negro.

V_i : Volumen de base de calculo para la etapa respectiva.

V: Volumen total de licor a preparar (V ≥ V,)

V_B: Volumen de licor Blanco a cargar.

V_N: Volumen de licor Negro a cargar.

a) MS= MH * %S/100 Fórmula 1 b) [c] = (MS*%I/100) / V_1 Fórmula 2 c) V_B = [c) * V / AE Fórmula 3 d) V_N = V - V_B Fórmula 4 En particularV = V_1 , así V_B = (MS*%I/100)/AE. Fórmula 5

En general el Volumen total de mezcla a preparar es distinto del Volumen utilizado como base cálculo, se puede demostrar que el espacio libre estando el digestor cargado fluctúa entre los 3 a 4 litros (de aquí las bases de cálculo), así que el licor que se puede ingresar al digestor a lo más corresponde a dichas cantidades, sin embargo, se puede requerir más licor para lograr calentar las astillas o proteger a las bombas de algún descuido. Se preparan las cuatro mezclas, cargándolas en los estanques de calentamiento, se procede a calentar los licores a las temperaturas establecidas para la etapa respectiva. Además, se carga el CP en el digestor y se precalienta a la temperatura establecida. El control del proceso se realiza por volumen de licor desplazado y temperatura.

La cocción comienza cuando las astillas son ingresadas al digestor, desde este momento se controla el tiempo total de cocción, los pasos que continúan son:

- a) Carga el WF desplazando el CP, hasta que la temperatura de salida supere los 82°C, (en planta se cierra a los 96° C que sería el ideal), lo mínimo a desplazar deben ser los 1.4 lt del CP.
- b) Calentar el WF y recircular el tiempo y a la temperatura requerida.
- c) Cargar C1 desplazando el WF, hasta que el volumen a la salida complete los tres litros.
- d) Cargar C2 desplazando C1, hasta que el volumen a la salida complete los tres litros.
- e) Iniciar Tiempo de calentamiento hasta la temperatura requerida (TTT).
- f) Iniciar el tiempo determinado de reposo a temperatura (TAT) .

En cada etapa descrita se lleva un estricto registro de los tiempos de cada desplazamiento, de los tiempos de calentamiento, de las temperaturas a la que queda el digestor después de una etapa o al iniciar un

calentamiento, etc.., toda esta información es útil al momento de evaluar una cocción.

Adicionalmente se realizó una cocción convencional con madera de baja densidad, igual a la utilizada en los experimentos ya descritos, para verificar los efectos de una cocción RDH, a través de la comparación de las curvas de rasgado.

Las condiciones utilizadas son:

Madera baja densidad 1700 gr. Húmedos

Relación Licor Madera 4,8
% AE/madera seca 20 %

T° Cocción 170 °C

Tiempo hasta Temperatura 126 min.

Tiempo a Temperatura 48 min.

Resultations

Las características de la madera utilizada fueron las siguientes.

Tipe	P	romed io	Densidad Básica	
Madera	% Seco	% humedad	Kg/m3	
Alta densidad	47,7	52,3	434,7	
Baja densidad	63,5	36.5	385.8	

El estudio entrego los siguientes resultados.

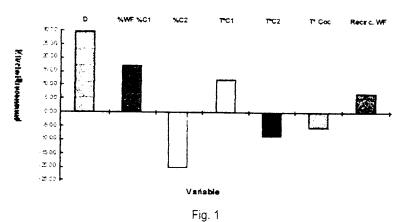
Prueba	Pulpa	1 -	Rendimie	Rechazo	Карра	Rasgado	Ruptu	Explosió	Luminosi
1	seca	Seco	nto				га	n	dad
	gr	gr	%	%	Nº	f	km	f	
cocción 1	396.8	3,959	48.9	0,49	38,50	152	9,9	80	59,96
cocción 2	398,2	32,517	49.1	4,01	52,39	158	9,9	75	55.11
cocción 3	382.5	1.205	47,2	0,15	33,12	158	9,3	74	60,6
cocción 4	504,8	29.476	46,8	2,73	42,85	120	11,3	87	61,.02
cocción 5	377.2	39,515	46,5	4.87	54,00	152	9,2	72	57.24
cocción 6	503.8	25.942	46,7	2,40	35,90	114	11,4	85	60,44
cocción 7	4 67,2	2,909	43,3	0,27	24,66	114	10,7	82	64.83
cocción 8	49 0,8	50,23	45,5	4,65	50,01	112	10,9	83	58.01

Todas las propiedades mecánicas expresadas a 30° SR Tabla 1

Aplicando el método ya descrito a los datos de la Tabla 1, expresando los resultados como porcentaje y graficando, se obtiene la representación de los resultados. Cabe hacer notar que un porcentaje negativo (barra hacia abajo) indica que la variable en cuestión afecta de manera inversa a la respuesta, y un porcentaje positivo indica que la variable afecta a la respuesta en forma directa.

Efectos de las variables sobre Rendimiento, Rechazo y Kappa Validación del Método Experimental

Efectos Relativos de las Variables Sobre el Rendimiento Clasificado



D %WF%C1 %C2 T*C1 T*C2 T*C0c Record WF

Efectos Relativos de las Variables Sobre el Kappa

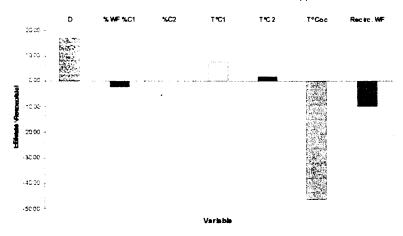


Fig. 3

Antes de presentar y analizar los efectos de las variables sobre el resto de las respuestas, es bueno detenerse un momento en estos tres primeras figuras (Fig. 1, 2 y 3). Ya que es posible comparar los resultados con lo que se sabe del proceso de pulpaje, de manera de verificar la validez del método utilizado, nos detendremos sólo en las variables más importantes para cada caso. Los gráficos indican que para el Rendimiento Clasificado las variables más importantes son: Densidad y Dosificación de las etapas C2, WF y C1, además, indica que a mayor Densidad Básica mayor rendimiento, que a mayor porcentaje de álcali en C2 menor rendimiento, y que las etapas combinadas WF - C1 aumentan el rendimiento cuando %WF aumenta y %C1 disminuye (recordar que C1 es función de WF). Mayor densidad básica implica, entre otras cosas, que las fibras de la madera son más robustas, pared más gruesa, así la degradación y daño que pudiese sufrir la pared durante el proceso de pulpaje se hace menor que en la madera de baja densidad y, por ende, al final del proceso es factible rescatar más fibras de la primera madera, que de la segunda. Que el aumento de álcali en C2 disminuya el rendimiento no es ningún secreto, mayor cantidad de reactivo a alta temperatura, como es el caso de C2, implica un ataque enérgico a la lignina y a la celulosa, provocando una mayor degradación de ambas y por tanto pérdidas de rendimiento. Como WF está a baja temperatura, su ataque a la madera no es importante en comparación con C2 y con C1, que también está a una temperatura relativamente más alta; así, el aumento de álcali en WF y la consecuente disminución en C1, no hacen otra cosa que disminuir la cantidad de álcali que al final habrá en las etapas de cocción, disminución de reactivo aumenta el rendimiento, tendremos al final mayor cantidad de celulosa y más lignina.

Para el caso del rechazo vemos que la Tº de Cocción, la cantidad de álcali en C2 y la recirculación en el WF son las variables más importantes, todas variables con efecto inverso, es decir, su aumento implica una disminución del rechazo. Nuevamente los resultados son esperados, el rechazo esta constituido, en general, por todo aquello que no reaccionó bien, no alcanzando a transformarse en fibra, baja temperatura de cocción y bajo contenido de álcali en la etapa de cocción (determinada por C2) implican menor ataque a la madera y déficit de reactivo lo que debe aumentar el rechazo, y, por último, una corta recirculación en el WF disminuye la impregnación de la madera, y la preparación de la lignina para ser atacada, y hace más corto el tiempo de cocción, todo lo cual, también, aumenta el rechazo.

Finalmente, tenemos que sobre el Kappa actúa fundamentalmente la temperatura de cocción y el álcali en C2. lo que es natural, puesto que corresponde a las dos variables que controlan la reacción de deslignificación y, por supuesto, un aumento de cualquiera de ellas implica mayor intensidad en la deslignificación y, por ende, menor Kappa (obsérvese el efecto inverso de la variables referidas). La densidad también presenta una importancia considerable, a mayor densidad de la madera, pared más gruesa, la lignina ubicada en la pared de ésta es más difícil de extraer, lo que incide en aumentos de Kappa, para procesos a condiciones iguales.

Con lo anterior, no existe razón para pensar que los resultados que arroje el método no sean válidos. Pasemos a revisar lo que más interesa, que son los efectos sobre las características de la pulpa.

Efectos de las variables sobre las características físicas y mecánicas de la pulpa.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para la Ruptura, Explosión, Luminosidad y Rasgado de la pulpa, para las primeras tres propiedades nos detendremos sólo en presentar las variables más importantes y el sentido de su efecto, el Rasgado será analizado con mayor detención.

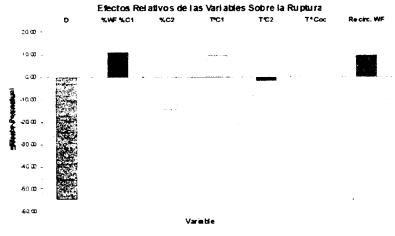


Fig. 4

Efectos Relativos de las Variables Sobre la Explosión

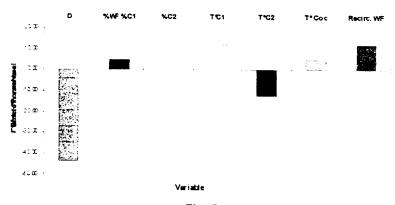


Fig. 5

Efectos Relativos de las Variables Sobre la Luminosida

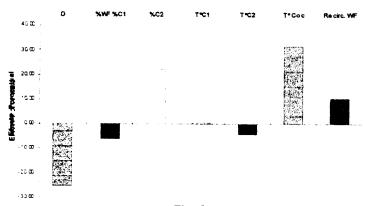


Fig. 6

Destaca la densidad básica, parámetro que caracteriza a la madera utilizada, como una variable importante tanto para Ruptura (Fig. 4) como Explosión (Fig. 5), con una influencia negativa. Lo que ocurre es que Rasgado y Explosión dependen principalmente del área de enlace entre las fibras al formar la hoja, y del número de ellos; la fibra de madera de mayor densidad es más rígida y, por ende, se le hace más difícil adaptarse a la superficie de otra fibra; así, al formar la trama que constituye la hoja, el área de contacto es menor en este tipo de fibras que en las de madera de baja densidad, con esto, el número de enlaces disminuye y, también, la Ruptura y la Explosión.

Para la luminosidad (Fig. 6) destacan la Temperatura de cocción, % C2 y la densidad de la madera; sin embargo, nos detendremos en el efecto de la variable WF - C1, puesto que indica que aumentos de álcali en WF y disminuciones en C1 oscurecen la pulpa, destacamos este hecho puesto que , según el personal de Planta Constitución, pruebas realizadas cuando el proceso RDH partió, confirman el hecho que al aumentar en demasía el álcali en el WF la celulosa resulta más oscura, (otra razón para validar el método utilizado). Por otro lado, que mayor Temperatura de cocción mejore la luminosidad es algo natural, dado que al atacar más la fibra, menos lignina queda al final, y es en la lignina donde radican los compuestos químicos que oscurecen la pulpa

Efectos de las variables sobre el Rasgado.

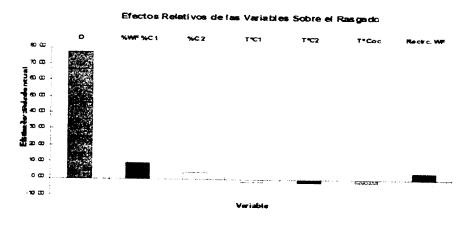


Fig. 7

Como se observa en la Figura 7, la densidad básica es el parámetro principal en lo que al rasgado se refiere, esta situación también era esperada, lo nuevo es la gran importancia relativa que tiene respecto de las otras variables, más del 70% del nivel que alcance el rasgado es responsabilidad sólo de la madera, dado que el rasgado depende fundamentalmente del largo de la fibra y del grosor de la pared es que este resultado tiene base teórica clara: mayor densidad de la madera, pared más gruesa, mayor rasgado. Pero no debemos olvidar el 25% aproximado de responsabilidad, por así decirlo, que tienen el resto de las variables en estudio, ya que un mal manejo de ellas puede significar disminuir el rasgado que potencialmente puede alcanzar la madera. Eliminemos del gráfico a la densidad, que ya sabemos es el parámetro más importante, y consideremos sólo las variables restantes.

Efectos Relativos de las Variables sobre el Rasgado.

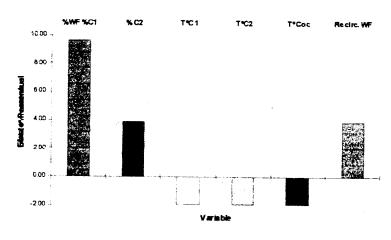


Fig. 8

Al retirar la densidad del análisis, y gráficar nuevamente (Fig.8), vemos como la segunda variable en importancia es la cantidad de álcali en la combinación WF - C1, luego tenemos el tiempo de recirculación en el WF y, por último, la cantidad de álcali en C2. Las temperaturas tienen efectos iguales , negativos sobre el rasgado, aunque despreciables frente a la combinación de los anteriores. Si consideramos todas las dosificaciones en conjunto, ya que recordemos que en la realidad cualquiera puede ser función de la otra , tenemos que casi un 15 % del rasgado depende de la forma en que el álcali sea distribuido en el proceso. El método sugiere disminuir la cantidad de álcali en C1, aumentando en WF y en C2, para potenciar el Rasgado.

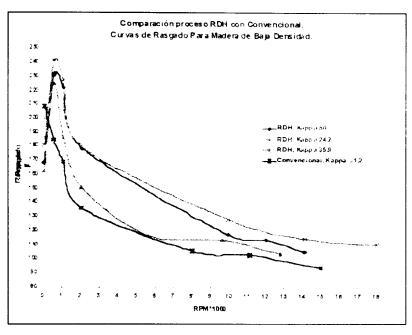


Fig. 9

De la Figura 9. se verifica que las cocciones RDH presentan mejores propiedades mecánicas, respecto del rasgado, que las cocciones convencionales, independiente del Kappa, incluso un Kappa bastante bajo como 25, (donde ya podrían verificarse efectos de degradación de la fibra, ya que si bien el rasgado no depende del Kappa lógicamente una deslignificación profusa degrada también a la celulosa y daña la pared de la fibra), tiene un comportamiento superior al de la pulpa convencional de Kappa 31, esto confirma las afirmaciones que apuntan a que el RDH permite deslignificar más, sin perder propiedades, con lo que se transforma en una buena alternativa para producir pulpas blanqueables, dado el ahorro posterior de reactivos blanqueantes, con la consiguiente disminución de la contaminación

Efectos de la dosificación de reactivos sobre el rasgado.

Los resultados anteriores muestran que la densidad básica es la variable más importante respecto del rasgado, dado que existe amplia literatura respecto de este hecho, y teniendo presente que en la operación industrial de un proceso RDH como en cualquier otro proceso de pulpaje Kraft, la densidad se mueve entre límites muy controlados, tratando que sea constante. Se decide estudiar la relación entre las dosificaciones y el Rasgado, para determinar un ruta de optimización del proceso RDH respecto de esta característica de la pulpa.

Metodología experimental

Se realizan cuatro cocciones RDH, con el mismo equipo, volúmenes y forma ya descrita, variando sólo la dosificación, las dosificaciones de las cuatro cocciones realizadas son las siguientes.

	СР	WF	C-1	C-2
Dosificación	% AE	% AE	% AE	% AE
Dos. 1	1,3	3,4	5,8	9,5
Dos. 2	1,3	5,8	3,4	9,5
Dos. 3	1.3	9,2	0	9,5
Dos. 4	0	0	12	8

Al analizar las mezclas de licor preparadas se obtienen los siguientes gráficos de concentración en las cargas.

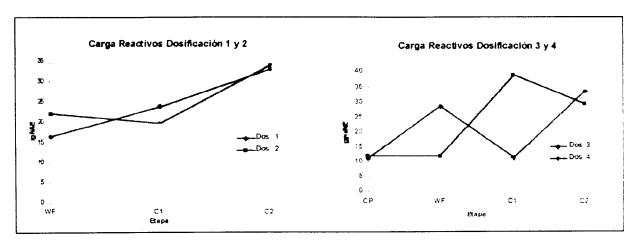


Fig. 10

La Dosificación 4 corresponde a la forma que adopta la dosificación utilizada en Planta Constitución. la Dosificación 3 es del tipo que proponen los resultados anteriores, y las dosificaciones 1 y 2 corresponden a situaciones intermedias.

Se evalúan las mismas respuestas ya indicadas en los experimentos anteriores, menos la Luminosidad. Además, se toman muestras de licor para construir los perfiles de AE y sulfidez. Las muestras se toman de acuerdo al siguiente programa.

Muestras de los licores cargados. 1 c/u
Muestras WF: 4
Muestras C1: 2
Muestras C2, TTT y TAT 4

Los parámetros restantes de las cocciones son:

Etapa	Temperatura °C	Tiempo en Ilgar a Tº min	Tiempo min
СР	80		-
WF	126		
Recirculación WF	126	16	20
C1	135		-
C2	150		_
TAT			20
TTT	170		40

Resultados

Las Características de las madera utilizada fueron las siguientes.

Tipo Madera	Promedic	0	
Alimentación	Seco	Humedad	Densidad Básica
Digestores	%	%	Kg/m3
	51,8	48,2	400

Perfil AE Dosificaciones 1,2,3 y 4

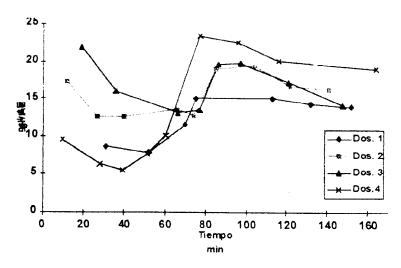


Fig.11

Perfil Sulfidez Dosificaciones 1,2,3 y 4

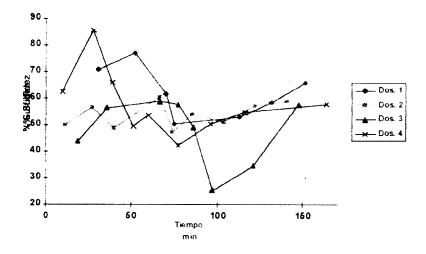


Fig. 12

Las diferentes dosificaciones llevan a las siguientes curvas de rasgado.

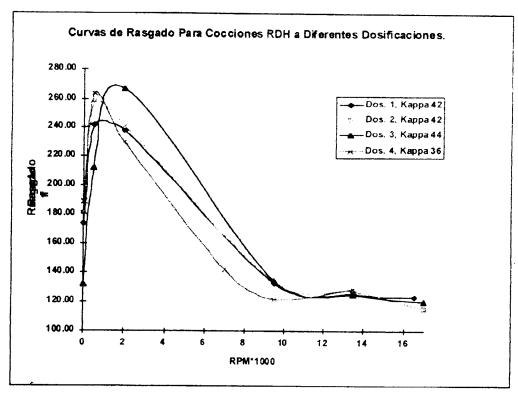


Fig. 13

Al comparar las dosificaciones cargadas (Fig. 10) y las curvas de rasgado obtenidas (Fig.13), se observa que en la medida que se disminuye el AE en C1, en beneficio de WF, las curvas de rasgado se desplazan hacia arriba en una gran zona. Así la dosificación 4, que no tiene licor blanco ni en CP ni en WF, y posee una gran carga en C1, genera la pulpa con características de rasgado inferiores, actualmente la operación en planta se parece más al tipo 4 que a las otras.

La explicación de lo ocurrido parece encontrarse en la forma que adoptan los perfiles de AE y Sulfidez para cada dosificación, el perfil de AE (Fig. 11) no presenta una gran diferencia entre una y otra dosificación en cuanto a la forma, todas tienden a asemejarse a un perfil RDH, si presentan diferencias en lo marcado o no de la distancia entre la zona de bajo AE y la de alto AE. Distinto es el caso de los perfiles de Sulfidez (Fig.12), cambian radicalmente de una cocción a otra, las Dosificaciones 1 y 3 presentan perfiles tipo RDH, 2 y 3 tienen un comportamiento distinto, sin embargo 1, 2 y 4 generan perfiles de sulfidez que siempre están por sobre el 40%, se sabe que para un proceso Kraft, durante la etapa de cocción a alta temperatura, no son favorables porcentajes de sulfidez que superen el 40%, puesto que inducen recondensaciones de ligínina. Sólo la dosificación 3 se mantuvo muy por debajo del 40% de sulfidez durante la etapa de cocción propiamente tal, sobrepasando el límite sólo hacia el final de la misma.

De esta manera, no sólo logrando la forma de un perfil RDH mejoran las propiedades, sino que también se deben cuidar los valores máximos y mínimos de dichos perfiles. Por ejemplo, alta sulfidez al comienzo del proceso para disminuir al final es una condición positiva y recomendada, pero si el valor mínimo alcanzado por la curva, supera los valores máximos recomendados para pulpajes Kraft, ciertamente que la sulfidez resultaría excesiva durante la cocción.

Efecto del cambio de dosificación en otras respuestas.

Prueba	Pulpa seca	Rechazo Seco	Rendimient	Rechazo	Kappa	Ruptura	Explosión
	gr	gr	%	%	N°	km	f
Dos. 1	384.3	5.237	49.5	0 67	44.50	11	86
Dos. 2	376.7	10.2404	48,5	1,32	44.10	10,8	85
Dos. 3	384.0	2.9133	49.4	0.37	45.21	10.6	84
Dos. 4	370,0	6.9982	47.6	0,90	36.37	11.3	88

* Todas las propiedades mecánicas expresadas a 30° SR Tabla 2.

Respecto de las otras propiedades mecánicas, se observa en la Tabla 2, que no sufren variaciones importantes, las Rupturas se presentan cerca o sobre 10.8 km y la Explosión siempre se sitúa sobre 80 f. alcanzándose de esta manera valores que están siempre por sobre los requerimientos industriales para este tipo de pulpa. Las cocciones 1,2 y 3 presentan altos Kappa, comparados con la cocción 4 que entrega un Kappa inferior, dado que la cocción 4 concentra todo el álcali en las etapas C1 y C2 este resultado era esperado, coincidiendo con los resultados del estudio anterior.

Por último, como consecuencia de la disminución de álcali en WF o en C2, las cocciones 2 y 4 tienen los mayores rechazos.

Conclusiones.

- Las propiedades de la pulpa se ven fuertemente afectadas por la forma como una cocción RDH sea conducida, en particular el rasgado potencial de la fibra, dado por una alta densidad básica, puede ser muy distinto al obtenido si el proceso es incorrectamente operado.
- Las condiciones que genera un proceso RDH para las reacciones químicas, mejoran efectivamente las propiedades de la pulpa, en particular la resistencia al Rasgado.
- El resto de las propiedades de la pulpa, si bien se ven afectadas al modificar las condiciones del proceso, presentan siempre valores aceptables para el tipo de producto. Lo que hace del Rasgado la propiedad limitante.
- La característica de un proceso RDH, es decir, su perfil de concentración, se obtiene cuando la concentración de álcali en la primera etapa de licor caliente es menor que la siguiente e incluso menor que la anterior. También se presenta cuando las dosificaciones son siempre ascendentes (caso particular de la situación anterior).
 - Dichos perfiles, mantenidos entre niveles recomendados, son la causa del mejor rasgado en la pulpa.

Bibliografía.

- [1] Mera, F.E. Beloit Pulping Systems (Portland:OR:USA), Chamberlin J.L. Beloit Pulping Systems (Pittsfield: MA: USA), Extended delignification, an alternative to conventional kraft pulping, Tappi J. 71 no.1: 132-136 (Jan. 1988).
- [2] Sezgi, U., Bebit Coldette, S., U. Federal de Viscosa, Rapid Displacement Heating (RDH) Kraft Pulping and ECF Bleaching of Brazilian Eucalyptus Urograndis, (1). 30° Congreso anual de Celilose e Papel (ABTCP): 137 148 (1997;ABTCP).
- [3] Sezgi, U., et all, 2 A combined discrete continuous simulation model of an RDH tank farma, Tappi J. 77 no.7 (Julio 1994).
- [4] Andrews, E.K., RDH kraft pulping to extend delignification, decrease efluent, and improve producivity and pulp properties, Tappi J. 72 no.11: 55-61 (Nov. 1989).
- [5] Matheison, B. A., et. all., RDH pulping of Southern [USA] Hard Woods, Tappi J. 79 no.5: 180-187 (May. 1996)
- [6] Wizani, W., Shubert, H., Brood, D., Sesgi, U., Setteig Expectation for Extended Cooking yield, Bleachability, and Strength, Papier 51, no 6a: V46-V50 (June 1997).
 - [7] Plackett, R. I., Diseño óptimo de experimentos multifactoriales, Biometrika 33, 305-325 (1946).