

EVALUACIÓN FISICOMECAÁNICA DE LA PULPA KRAFT BLANQUEADA DE LA MADERA DE *Pinus douglasiana* Martínez

Rutiaga Quiñones José Guadalupe¹
Rivera Prado José de Jesús²
Sanjuán Dueñas Rubén³

RESUMEN

La madera de *Pinus douglasiana* Martínez se pulpeó mediante el proceso Kraft, usando 20% de reactivos sobre madera base seca y un licor con 20 % de sulfidez. El tiempo de cocción fue de 120 minutos a una temperatura de 168 °C.

Después de caracterizar la pulpa Kraft café, en cuanto a clasificación de fibras, Número de Kappa, viscosidad, blancura y opacidad, ésta fue blanqueada mediante la secuencia OD₁D₂. Para la etapa con oxígeno, la consistencia fue del 10 %, la temperatura de 100 °C, el tiempo 90 minutos y la presión de 4.0 Kg/m². Para las etapas con dióxido de cloro, la consistencia fue del 10 %, la temperatura de 70 °C y el tiempo de 180 minutos.

La pulpa Kraft blanqueada se refinó en un molino Jokro, haciendo cuatro puntos: 20, 40, 60 y 90 minutos y el grado de refinación fue medido en °Schopper-Riegler. De estos cuatro puntos, y uno más sin refinar, se formaron hojas estándar de 60 g/m², de acuerdo con el método relativo a ISO 5269/1 y T 205 om-88 en un equipo convencional TAPPI semiautomático.

Finalmente la evaluación fisicomecánica de las hojas estándar de pulpa Kraft blanqueada comprendió las siguientes propiedades: largo de ruptura, índice de rasgado, porosidad, drenabilidad, blancura y opacidad.

Palabras clave: *Pinus douglasiana*, pulpa Kraft, blanqueo de pulpa, propiedades físicas y mecánicas de la pulpa Kraft.

ABSTRACT

Wood of the species *Pinus douglasiana* Martínez was cooked according to the Kraft pulping process using 20 % reactivos on a dry wood based weight with a liquor sulfidity of 20 %. The cooking time was 120 minutes at a temperature of 168 °C.

After characterizing the properties of the brown Kraft pulp, such as fiber classification, Kappa number, viscosity, whiteness and opacity, this pulp was bleached using an OD₁D₂ sequence. The Oxygen stage was carried out under the following parameters: Consistency 10 %, Temperature 100°C, the bleaching time was of 90 minutes and the pressure was 4.0 Kg/m². For the chlorine dioxide stages, the consistency was of 10 %, the temperature of 70 °C and the bleaching time of 180 minutes.

The bleached Kraft pulp was refined in a Jokro mill, making 4 points at 20, 40, 60 and 90 minutes, the refining degree was measured in °Schopper-Riegler. With the samples refined at these four points and one more without refining, according with the ISO 5269/1 and T 205 om-88, sheets of 60 g/m² were formed in a semiautomatic conventional TAPPI equipment.

Finally, the physic-mechanical evaluation of the Kraft pulp sheets included the following properties: breaking length, tear index, porosity (air permeability), drainability, whiteness and opacity.

Key words. *Pinus douglasiana*, Kraft pulping, pulp bleaching, Kraft pulp physical and mechanical properties.

¹ Ingeniero en Tecnología de la Madera, M. C., Fac. en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

² Ingeniero Químico, M. C., Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara.

³ Ingeniero Químico, Dr., Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara.

INTRODUCCIÓN

Los bosques de coníferas, frecuentes en zonas templadas y frías del hemisferio boreal, caracterizan muchas regiones de México, donde presentan una amplia gama florística y ecológica. Se localizan prácticamente desde el nivel del mar hasta el límite de la vegetación arbórea. Sin embargo, la gran masa forestal de los pinos mexicanos se desarrolla entre 1500 y 3000 m, y con la posible excepción de la Península de Yucatán, existen bosques de pino en todos los estados de la República Mexicana (Rzedowski, 1978).

El *Pinus douglasiana* es una de las 69 especies de pinos que existen en México (Cruz de León, 1991), localizándose en los estados de Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Michoacán, México y Oaxaca formando masas puras, también se ha encontrado en Sonora, Chihuahua, Durango y Guerrero (Perry, 1991). Se ve asociado con *Pinus lumholtzii*, *P. leiophylla* y *P. oocarpa* (Martínez, 1948) y en Michoacán con *P. pseudostrobus*, *P. maximinoi*, *P. michoacana* y *P. herrerae* (Perry, *op. cit.*). Se encuentra a los 1300, 1700 y 2500 msnm (McVaugh, 1992).

Tomando en cuenta ese número de especies de pino, sin contar otras coníferas y las especies de latifoliadas, existen en México muchas maderas que demandan ser estudiadas, de ahí la importancia de realizar y continuar con estudios de caracterización, en todos los campos, buscando y promoviendo un aprovechamiento racional, basándose en las características propias de cada especie. Uno de los campos de estudio muy interesante, es lo relativo a la obtención de pulpa celulósica y su blanqueo para producir papel para impresión, ya que sería difícil imaginarnos una sociedad sin papel.

Dentro de los procesos de pulpeo se encuentra el Kraft, en el que sus reactivos químicos son recuperados en la misma planta industrial. En cuanto al proceso de blanqueo de la pulpa, si bien es cierto que la tendencia es a eliminar los blanqueadores de cloro o compuestos de él, el dióxido de cloro es uno de los menos contaminantes y es

noble hacia la celulosa (Yang, *et al.*, 1992; Otero, 1978).

El presente trabajo se realizó con la finalidad de evaluar las propiedades físico-mecánicas de la pulpa Kraft blanqueada, mediante la secuencia OD₁D₂, de la madera de *Pinus douglasiana*, buscando enriquecer el conocimiento en este campo de esta especie forestal importante del bosque templado - frío, y se llevó a cabo en el Departamento de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara.

ANTECEDENTES

De los trabajos que sobre el pulpeo de la madera de *Pinus douglasiana* se han realizado, se tiene el de Fuentes (1980), quien en 1980 estudió la secuencia CEHEH para blanquear pulpas con diferentes contenidos de lignina.

Existen otros trabajos con esta especie, enfocados a aspectos anatómicos y tecnológicos, que son los siguientes:

En 1980 Guridi reporta que esta madera es usada en Pátzcuaro, Mich., para el labrado de plataformas para zapatos, marcos y cuadros; en Zirahuén, Mich., para hacer bateas al natural.

Bucio (1981), realizó un estudio de variación de traqueidas en esta madera, reportando que la variación de longitud, diámetro tangencial en madera temprana y madera tardía a los 15, 25 y 35 anillos de crecimiento es altamente significativa.

Romero (1986), llevó a cabo un estudio tecnológico de esta especie, recomendándola para madera estructural, fabricación de piezas decorativas, obtención de pulpa celulósica, así como para fabricar tableros contrachapados y aglomerados.

En 1991 Montes realizó un estudio sobre las propiedades biológicas y fisicotecnológicas de la madera del *P. douglasiana*, reportando también sus características químicas.

METODOLOGÍA

Pulpeo Kraft

El *Pinus douglasiana* fue recolectado en el predio denominado "Las Tasajeras" del Municipio de Mascota, Jalisco, México.

Las trozas descortezadas se redujeron a astillas en un equipo Bruks Tipo 980 AH, luego se clasificaron en un equipo OY Lorentzen Wettre AB Tipo F1 117. Las astillas clasificadas fueron sometidas a cocción mediante el proceso Kraft, en un digestor rotatorio tipo Jayme con calentamiento eléctrico. La sulfidez del licor blanco fue del 20 %, usando un 20 % de reactivos sobre madera base seca y una relación de baño de 5:1. El tiempo de cocimiento fue de dos horas a una temperatura máxima de 168 °C. El licor negro residual se analizó por el método potenciométrico determinando también la densidad (Sanjuán, 1986).

Blanqueo de la pulpa Kraft

La pulpa Kraft café, después de ser lavada, fue depurada en un equipo de diafragma AB Lorentzen Wettre tipo 2-1 con una platina de 0.25 mm. La pulpa depurada se caracterizó, en cuanto al tamaño de sus fibras, Número de Kappa, viscosidad, blancura y opacidad. Después la pulpa se blanqueó mediante la secuencia OD₁D₂. Las condiciones de las etapas de blanqueo aparecen en el Cuadro 1. Al término de cada etapa del blanqueo se determinó el rendimiento, viscosidad, la blancura y opacidad en hojas de 5.0 g. El Número de Kappa solamente se determinó después de la etapa con oxígeno.

Cuadro 1. Condiciones de operación del proceso de blanqueo.

Condiciones	Etapas		
	O	D ₁	D ₂
Presión (Kg/m ²)	4	---	---
Consistencia (%)	10	10	10
Temperatura (°C)	100	70	70
Tiempo (min)	90	180	180

Evaluación fisicomecánica de la pulpa Kraft blanqueada

La refinación de la pulpa blanqueada se efectuó en un molino Jokro, haciendo cuatro puntos: 20, 40, 60 y 90 minutos, y el grado de refinación se midió en Grados Schopper-Riegler. De los cuatro puntos de refinación, y uno sin refinar, se formaron hojas estándar de 60 g/m² (hojas de 1.2 g) de acuerdo con el método relativo a ISO 5269/1 (Escoto, 1996) y T 205 om-88 (Tappi, 1994) en un equipo convencional TAPPI semiautomático. Las técnicas para la caracterización de la pulpa café y blanqueada, y para la evaluación de las hojas así formadas se dan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Técnicas utilizadas para caracterizar la pulpa Kraft.

	Análisis
T 205 om-88	Formación de hojas estándar
T 221 om-93	Tiempo de drenado
T 230 om-89	Viscosidad
T 233 cm-82	Clasificación de fibras
T 236 cm-85	Número de Kappa
T 402 om-93	Acondicionamiento de las hojas
T 404 cm-92 / ISO 1924	Largo de ruptura
T 410 om-93	Gramaje
T 411 om-89	Espesor
T 412 om-94	Por ciento de humedad
T 414 om-88 / ISO 1974	Índice de rasgado
T 425 om-91	Opacidad
T 460 om-88 / ISO 3687	Porosidad Gurley
T 525 om-92	Blancura

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pulpeo Kraft de la madera de pino

Los resultados de los análisis del licor Kraft y del licor negro residual se dan en el Cuadro 3 y corresponden a un promedio de tres determinaciones. Con los resultados del análisis del licor negro residual, puede deducirse que hubo un buen consumo de álcali activo durante los cocimientos. La curva del proceso Kraft, mediante el cual se obtuvo la pulpa celulósica, aparece en la Figura 1.

Los datos de la caracterización de la pulpa Kraft café se muestran en el Cuadro 4, en

donde se observa que el rendimiento de madera a pulpa fue de 44.0 %. En la clasificación de fibras, una alta proporción fue retenida en la malla 30 (87.1 %), es decir fibras largas, y un bajo contenido de finos (1.4 %), y este resultado es un indicativo de que el proceso de pulpeo no fue tan drástico. La Figura 2 muestra la clasificación de las fibras. El número de Kappa que se pretendía lograr era de 20, sin embargo se trabajó con el Kappa alcanzado, que fue de 18.9. Aunque la viscosidad es aparentemente baja, 12.6 cp, la pulpa presenta buenas propiedades. Obviamente la "blancura" y la opacidad de la pulpa café son baja y alta, respectivamente, o sea, 32.90 y 99.54 %.

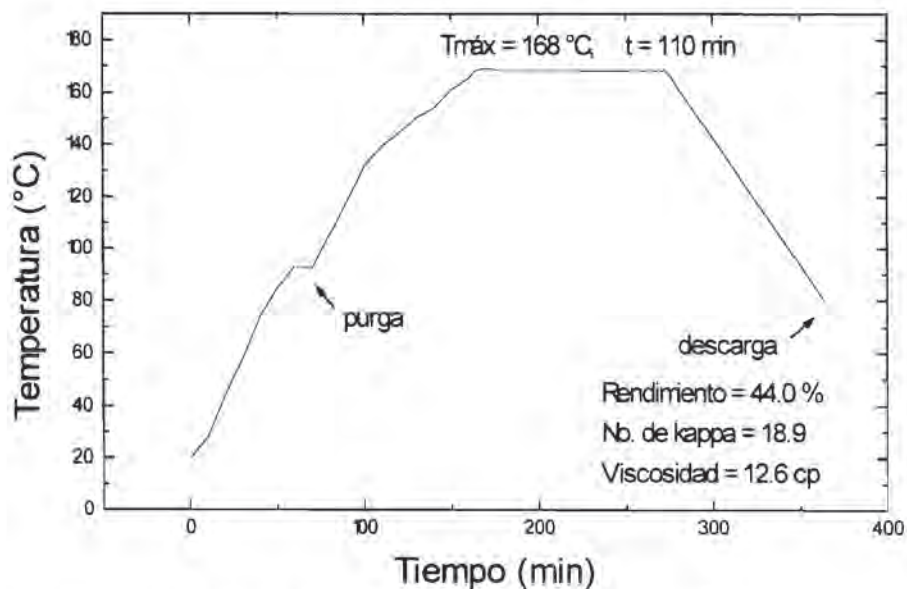


Figura 1. Curva de la cocción Kraft de la madera de *P. douglasiana*

Cuadro 3. Análisis de los licores blanco y negro residual *

Determinación	Licor blanco		Licor negro residual	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s
[Álcali efectivo]	92.41	0.12	5.49	0.49
[Álcali activo]	102.73	0.20	6.26	0.76
[Álcali total]	112.45	0.00	24.46	1.72
[Na ₂ S]	20.65	0.16	1.52	0.61
[NaOH]	82.10	0.04	4.74	0.30
[Na ₂ CO ₃]	9.73	0.20	18.20	1.25
Sulfidez (%)	20.10	0.11	23.64	6.58
Actividad (%)	91.36	0.17	25.59	0.15
Densidad (g/ml)	1.118	0.03	nd	nd

\bar{x} = promedio. s = desviación estándar. nd = no determinado.

* = las concentraciones están dadas en g/l como Na₂O.

Cuadro 4. Caracterización de la pulpa Kraft café.

Determinación	\bar{X}	s
HUMEDAD (%)	65.60	0.34
Rendimiento (%)	44.00	0.83
Clasificación de fibras (%)		
malla 30	87.10	0.28
malla 50	7.10	0.11
malla 100	3.90	0.25
malla 200	0.50	0.08
<200	1.40	0.15
No. de kappa	18.90	0.06
Viscosidad (cp)	12.60	0.42
Blancura (%)	32.90	0.65
Opacidad (%)	99.54	
R ₀	43.20	0.12
R?	43.40	0.14

\bar{x} = promedio. s = desviación estándar

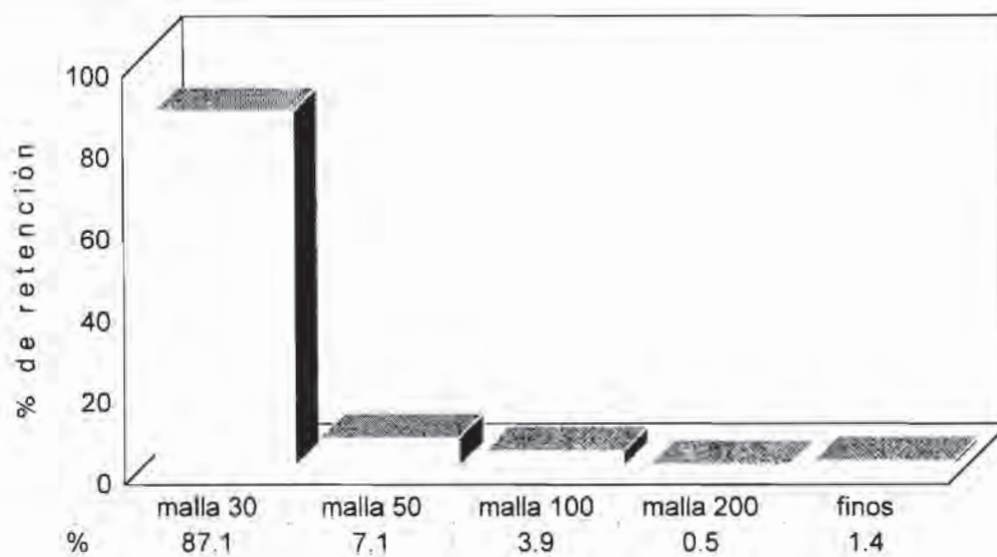


Figura 2. Clasificación de fibras de la pulpa Kraft café

Cuadro 5. Caracterización de la pulpa Kraft, después de cada etapa de la secuencia de blanqueo.

Determinación	Pulpa café	Etapas del blanqueo (x / s)		
		O	D ₁	D ₂
Rendimiento (%)		97.34 / 0.48	98.29 / 0.41	99.21 / 0.30
Blancura (%)	32.90	50.16 / 0.05	79.90 / 0.07	85.66 / 0.13
Opacidad (%)	99.54	99.85	94.29	93.76
R ₀	43.20	67.20 / 0.10	79.30 / 0.10	85.70 / 0.15
Representación en México?	43.40	67.30 / 0.19	84.10 / 0.12	91.40 / 0.14
Viscosidad (cp)	12.6	9.35 / 0.07	8.60 / 0.14	8.40 / 0.00
No. De Kappa	18.90	6.80 / 0.09	nd	nd

x = promedio. s = desviación estándar. nd = no se determinó.

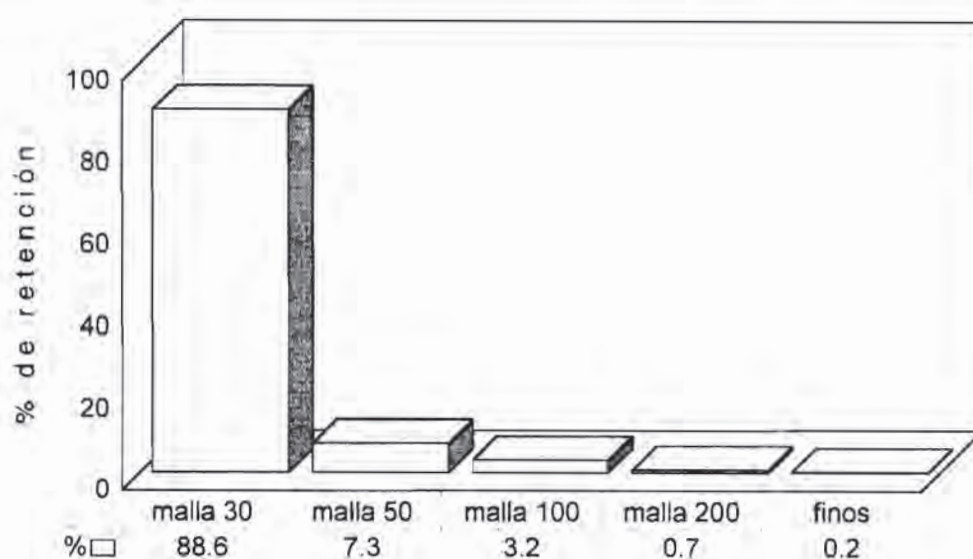


Figura 3. Clasificación de fibras de la pulpa Kraft blanqueada.

Blanqueo de la pulpa Kraft café mediante la secuencia OD₁D₂

Con los resultados de la caracterización de la pulpa, durante el proceso de blanqueo, reportados en el Cuadro 5, puede observarse que las etapas con dióxido de cloro no fueron tan severas, ya que tanto el rendimiento como la viscosidad no fueron castigadas; los rendimientos en D₁ y en D₂ fueron de 98.29 y 99.21 %, respectivamente; las viscosidades en D₁ y en D₂ fueron de 8.6 y 8.4 cp, respectivamente.

Evaluación fisicomecánica de la pulpa Kraft blanqueada

La clasificación de las fibras de la pulpa Kraft blanqueada fue parte de la caracterización fisicomecánica, cuyo resultado se observa en

la Figura 3, e indica que la alta proporción de fibras largas retenidas en la malla 30, es decir, fibras largas, lo que supone, como ya se ha mencionado, que el proceso de blanqueo no fue drástico y que se pueden esperar resultados satisfactorios en las propiedades de resistencia.

Los cuatro puntos de refinación de la pulpa Kraft blanqueada, y un punto más sin refinar, están graficados en la Figura 4 y la ecuación de regresión, con sus coeficientes, aparece en el Cuadro 6, donde se observa que tiene una buena correlación. El Cuadro 7 presenta un condensado de las propiedades fisicomecánicas de la pulpa Kraft blanqueada.

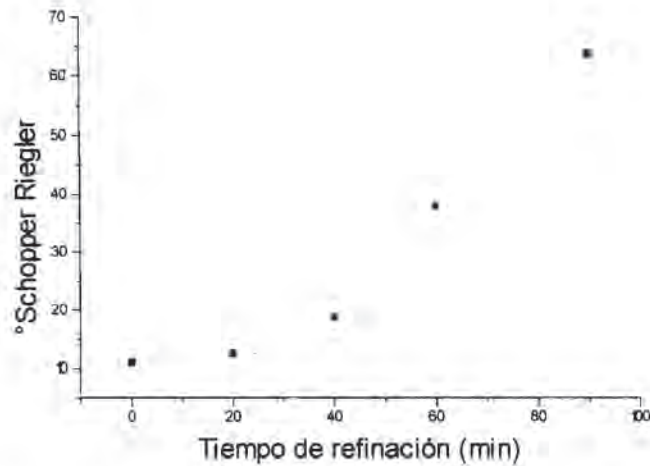


Figura 4. Curva de refinación de la pulpa Kraft blanqueada del *Pinus Douglasiana*.

Cuadro 6. Ecuación de regresión para la curva de de refinación de la pulpa Kraft.

Regresión polinomial para la Curva de refinación. $y = A0 + A1 x + A2 x^2 + A3 x^3 + \dots$		
Parámetro	Valor	sd
A0	11.383830	2.80081
A1	-0.33814978	0.32804
A2	0.017640374	0.00947
A3	-8.2183694E-5	0.00007
R = 0.99799		
R ² = 0.99598		
SD = 2.82699		

Cuadro 7. Propiedades físicas de la pulpa Kraft blanqueada de pino.

Refinación	Unidades	punto 1	punto 2	punto 3	punto 4	punto 5
Tiempo de refinación	min	0	20	40	60	90
Tiempo de drenado	s	6.33	8.77	22.28	52.70	61.32
° Schopper Riegler	°SR	11.0	12.5	18.75	38.0	63.75
Determinación						
Gramaje	g/m ²	62.401	61.502	61.800	59.310	58.608
Largo de ruptura	m	911.60	5041.32	6292.13	7032.00	7132.24
Índice de rasgado	mN.m ² /g	11.944	13.713	12.060	8.599	7.698
Porosidad	s/100 cc	0	0	1.84	11.06	352.01
Drenabilidad	s	4.18	4.18	4.25	4.52	7.47
Opacidad (5.0 g)	%	93.76				
Blancura ISO (5.0 g)	%	85.66				
Opacidad (1.2 g)	%	74.75	64.38	61.0	59.36	56.78
Blancura ISO (1.2 g)	%	83.96	82.46	81.72	81.03	78.68

Efecto del grado de refinación de la pulpa Kraft blanqueada sobre sus propiedades

A continuación se presentan los resultados en gráficas, que indican el efecto del grado de refinación de la pulpa Kraft blanqueada sobre sus propiedades. Cada curva tiene su ecuación de regresión y se observa que todas tienen un buen coeficiente de correlación. Dichas ecuaciones son aplicables únicamente a las condiciones específicas utilizadas en estos experimentos.

La Figura 5 muestra que el largo de ruptura alcanza un máximo entre unos 30 - 40 °SR pero luego tiende a bajar. Esta ganancia en el largo de ruptura en los primeros grados de refinación se debe a que con la refinación se aumenta el área de contacto (Swanson, 1959), es decir, la superficie dispuesta para la unión (Young, 1991), ya que se promueve una separación de capas concéntricas del interior de la pared de la fibra (Page, 1967; McIntosh, 1967), desarrollando así mayor número de enlaces. Pero, a alta refinación se provoca un corte de las fibras (Page, *op. cit.*; Becerra, 1989; Young, *op. cit.*) y en una pulpa refinada ellas son precisamente las que influyen desfavorablemente en la resistencia (Van Den Akker, *et al.* 1985).

La Figura 6 ilustra el comportamiento del índice de rasgado según el grado de refinación de la pulpa, donde el valor máximo se observa a un bajo grado de refinación (12 °SR), disminuyendo drásticamente alrededor de los 20 °SR. Rodríguez (1991), indica que la resistencia al rasgado aumenta con el grado de refinación, pero esto no sucede en todos los casos. Recordar que el trabajo implícito en la prueba de rasgado está formado por dos componentes, una que es el trabajo requerido para separar las fibras y la otra para romperlas. En la pulpa sin refinar, la resistencia al rasgado se debe al trabajo necesario para superar la resistencia friccional de las fibras que son separadas de la hoja, donde prácticamente no se rasgan, y como el área total de contacto de la fibra es pequeña, la resistencia friccional disminuye.

Con la refinación, la unión interfibrilar se incrementa y como la resistencia friccional al separar estas fibras en la hoja aumenta, el

rasgado es mayor. Pero, a altos valores de refinación las fibras ya no se deslizan fácilmente entre sí y la acción tiende a ser ya de corte, más que una acción de tiro, y como el trabajo implícito para romper una fibra es mucho menor que la energía que se requiere para separar una fibra en la hoja, la energía para rasgar disminuye. Es decir, debido a la refinación la hoja aumenta su unión y rigidez, y esto tiende a concentrar la resistencia al rasgado en una zona más pequeña, obteniendo finalmente valores más bajos de rasgado (Brandon, 1991). Para lograr valores máximos de rasgado, la cantidad de energía necesaria en la refinación varía dentro de un amplio rango. Hay pulpas que en el primer punto de refinación, con poca energía, alcanzan el valor máximo de rasgado, tan rápido que éste no aparece en la curva convencional de refinación, de tal manera que el segundo punto de refinación presenta un valor cercano, o inferior, al de la pulpa sin refinar. Al observar la Figura 4, vemos que la tendencia es muy similar a lo anteriormente expuesto.

Las hojas hechas con pulpa con grado de refinación de 11, 12.5 y 18.75, es decir, de los primeros tres puntos de refinación se comportan como material "poroso", o sea, la resistencia al aire es muy baja. Esto se debe a que las fibras son aún rígidas, no se flexionan ni se conforman entre sí, teniendo gran volumen abierto en la hoja (Young, *op. cit.*). Luego, a mayor grado de refinación, la porosidad, es decir, la resistencia al paso del aire, tiende a aumentar debido a que el área de contacto entre las fibras aumenta (Swanson, *op. cit.*), teniendo entonces una red más cerrada que opone mayor resistencia al paso del aire, Figura 7.

Para el tiempo de drenado en el formador TAPPI se tiene una tendencia similar que para la porosidad, aumentando cuando la pulpa está más refinada, figura 8, ya que también al tener mayor superficie específica dispuesta a participar en la unión, mayor será el tiempo de drenado (Young, *op. cit.*). Pero no es fácil interpretar las pruebas de drenado

solamente en función del efecto ocasionado por la refinación en las fibras, ya que este proceso tiene diversos efectos, muchos de los cuales afectan la drenabilidad (McIntosh, *op. cit.*; Young, *op. cit.*).

En las Figuras 9 y 10 se presenta el efecto del grado de refinación sobre la blancura ISO y la opacidad, respectivamente. Ahí se observa que en términos generales presentan en mismo comportamiento. La opacidad del papel se ve afectada por muchos factores, y tomando en cuenta la teoría de Kubelka-Munk, cualquier cosa que aumente la fuerza de dispersión o la de absorción, aumentará la opacidad. Cada vez que la luz pasa de un material con un índice de refracción a otro material con distinto índice de refracción, se dispersa. Por lo tanto, la dispersión de la luz por una hoja de papel depende del número de veces que esa luz pasa de un índice refractivo a otro y de la diferencia de esos índices de refracción. En una hojas de papel, la mayoría de las fibras están separadas unas de otras por una capa de aire, de modo que la luz se dispersa al pasar del aire a la fibra y de nuevo al pasar de la fibras al aire.

Sin embargo, al estar dos fibras tocándose, sin dejar pasar aire entre ellas, la luz pasará de una fibra a otra sin dispersión y en este punto se dice que las fibras están en contacto óptico. Como la refinación, que es uno de tantos factores que afectan la opacidad, provoca un aumento del área de contacto óptico, el número de veces que la luz pasa del aire a la fibra y de la fibra al aire, se reduce fuertemente, reduciendo también tanto la blancura como la opacidad. En cuanto a la fuerza de absorción, ésta es directamente proporcional a la distancia que recorre la luz en el material absorbente. Debido a que la fuerza de dispersión aumenta la longitud de recorrido que realiza la luz, un aumento en la fuerza de dispersión aumentará también la fuerza de absorción. Sin embargo, el factor principal que afecta la fuerza de absorción es la composición química de todo lo que integra la hoja de papel, en sí la celulosa absorbe muy poca luz, y la mayor parte de la fuerza de absorción del papel corresponde a los aditivos o bien a los materiales no celulósicos como la lignina (Brandon, *op. cit.*).

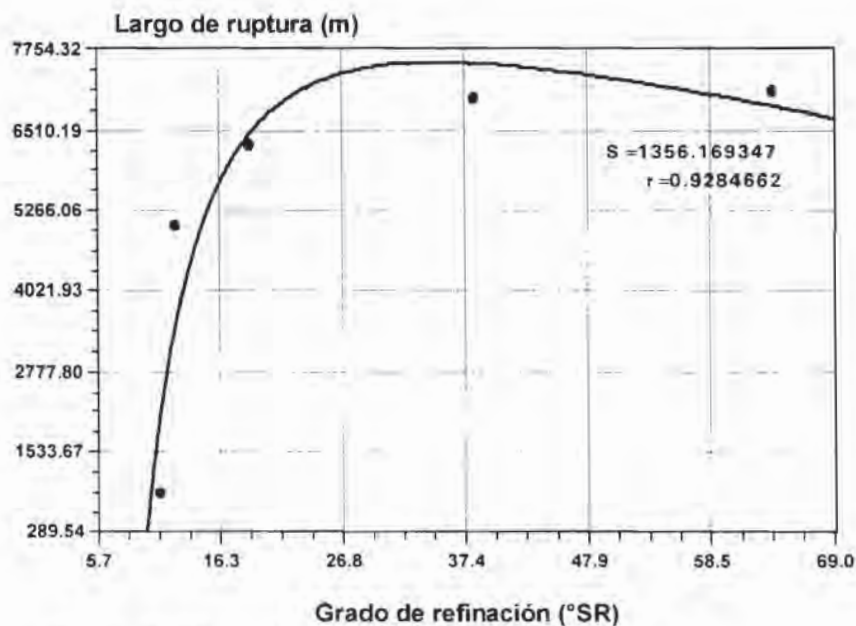


Figura 5. Efecto de la refinación sobre el largo de ruptura.

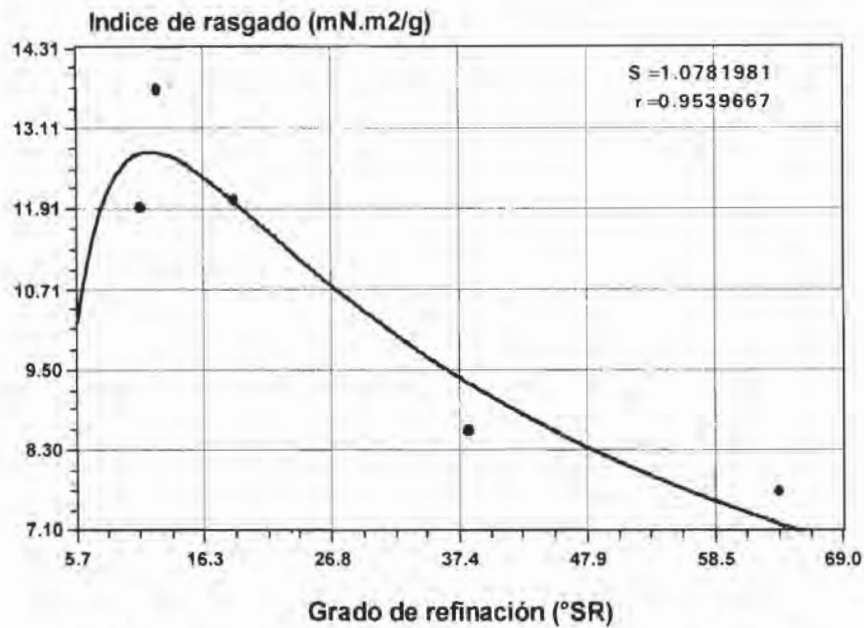


Figura 6. Efecto de la refinación sobre el índice de rasgado.

Ecuación para el Largo de ruptura

Modelo capacidad calorífica: $y = a + bx + c/x^2$

Coefficientes:

a = 9722.123
 b = -41.060085
 c = -882975.15

Ecuación para el Índice de rasgado

Modelo Hoerl modificado: $y = a \cdot b^{(1/x)} \cdot x^c$

Coefficientes:

a = 124.91877
 b = 0.0004178693
 c = -0.65746042

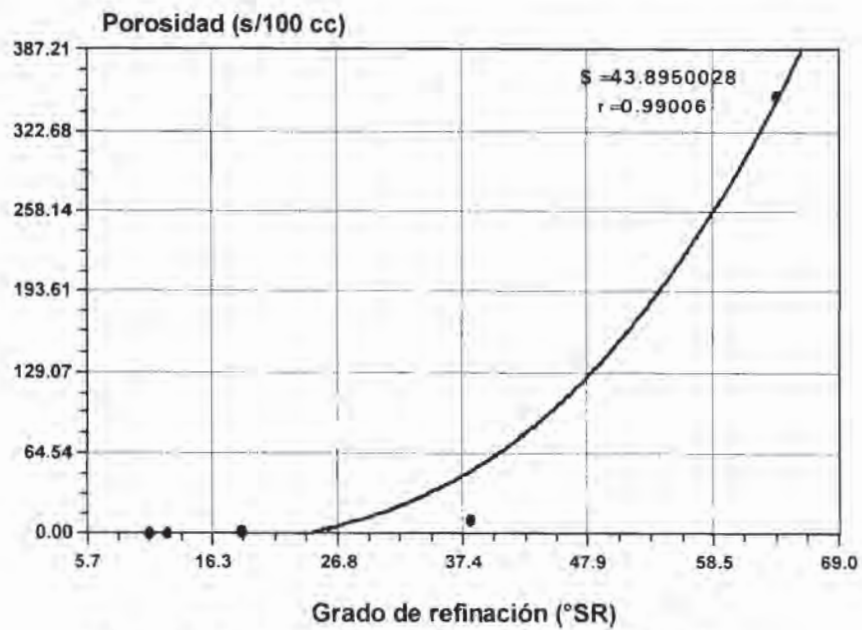


Figura 7. Efecto de la refinación sobre la porosidad.

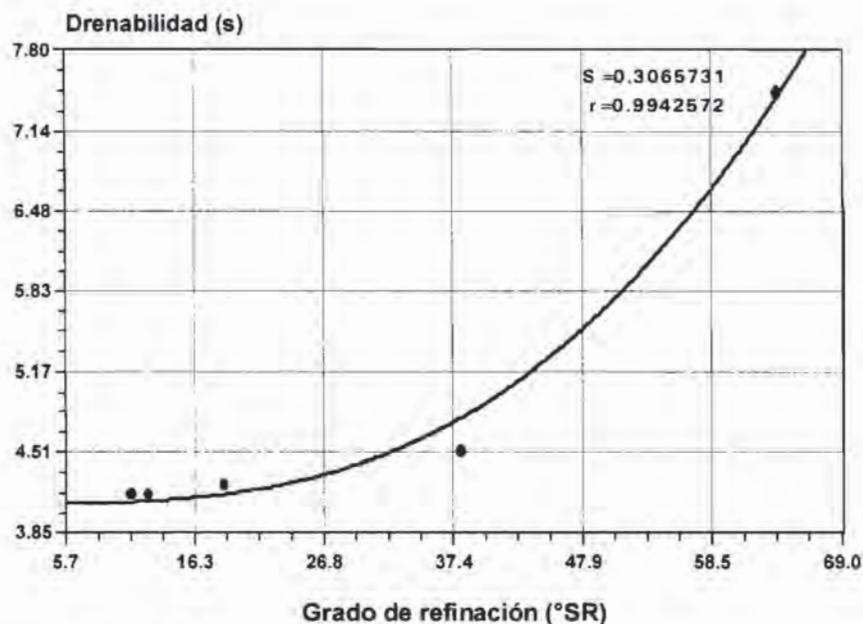


Figura 8. Efecto de la refinación sobre la drenabilidad.

Ecuación para la Porosidad

Modelo MMF: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$

Coefficientes:

- a = -12.653198
- b = 24317150
- c = 4722.6103
- d = 3.4923172

Ecuación para la Drenabilidad

Modelo MMF: $y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d)$

Coefficientes:

- a = 4.092805
- b = 5314925.1
- c = 46.863079
- d = 3.1328973

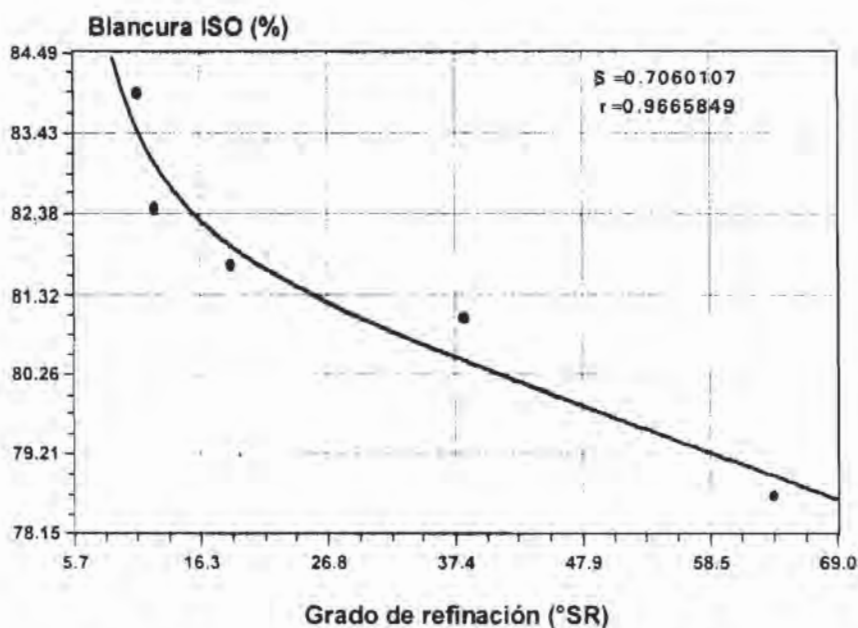


Figura 9. Efecto de la refinación sobre la blancura.

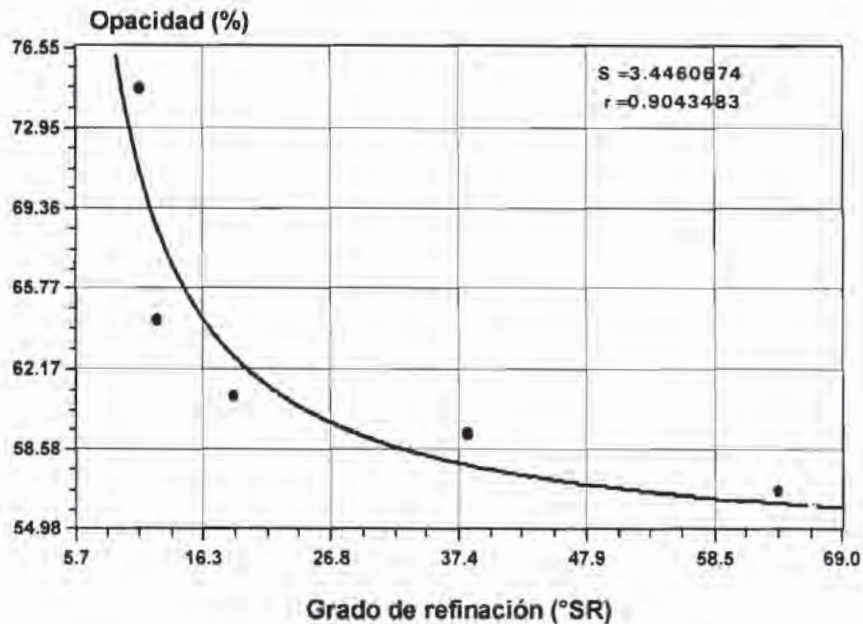


Figura10. Efecto de la refinación sobre la opacidad.

Ecuación para la Blancura ISO

Modelo capacidad calorífica: $y = a + bx + c/x^2$

Coefficientes:

- a = 82.462973
- b = -0.056344413
- c = 197.79017

Ecuación para la Opacidad

Modelo crecimiento o saturación: $y = ax/(b+x)$

Coefficientes:

- a = 53.829795
- b = -2.6626612

CONCLUSIONES

1. Con el proceso de pulpeo Kraft aplicado se obtuvo un buen rendimiento de madera a pulpa, 44 %, con un alto porcentaje de fibras largas, 87.10 % y pocos finos, 1.4 %.
2. La secuencia de blanqueo OD₁D₂ arrojó buenos resultados de rendimiento y viscosidad, logrando una blancura final de aproximadamente 84 % y una opacidad del 75 %. También la proporción de fibras largas en la pulpa blanqueada fue alta, 88.6 % y pocos finos, 0.2 %.
3. La curva de refinación de la pulpa blanqueada mostró la tendencia típica, con muy buen ajuste matemático, R = 0.99.
4. El largo de ruptura de las hojas estándar de pulpa blanqueada logró su máximo desarrollo en el punto 5 de la refinación (63.75 °SR), con un valor de 7132.24 m.
5. El índice de rasgado se desarrolló al máximo en el segundo punto de la refinación (12.5 °SR), alcanzando un valor de 13.713 mN.m²/g.
6. La resistencia al paso del aire en las hojas de prueba se vio incrementada a partir del punto 4 de la refinación (38 °SR), con un valor de 11.06 s/100 cc.

7. El tiempo de drenado al formar las hojas de pulpa no se vio influenciado en los primeros grados de refinación, sino hasta en el punto 5 (63.75 °SR), con un valor de 7.47 s.
8. En general, las propiedades ópticas de la pulpa, por efecto de la refinación, mostraron la tendencia típica; y tanto para las propiedades ópticas como de resistencia los ajustes matemáticos fueron buenos.

REFERENCIAS

- Becerra A., B. *Antología del sistema de preparación de pastas*. Universidad de Guadalajara. Guadalajara. México, 1989. 159 p.
- Brandon, C. E. *Propiedades del papel*. En: Pulpa y papel química y tecnología química. James P. Casey, ed., Vol. III, Cap. 21, LIMUSA. México, 1991. Pp 321-601.
- Bucio S., Y. H. *Determinación de la variación de las traqueidas en Pinus douglasiana*. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México, 1981. 33 p.
- Cruz de León, J. *Untersuchung des technologischen Gebrauchswertes der mexicanischen Kiefernart Pinus pseudostrobus Lindley*. Dissertation, Forstliche Fakultät der Universität Göttingen. Alemania, 1991. 186 p.
- Escoto G., T., B. *Manual metodológico para la evaluación de pulpas mediante la curva de refinación*. Departamento de Madera, Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. Guadalajara. México, 1996. 78 p.
- Fuentes T., F. J. *Estudio de la secuencia de blanqueo CEHEH en pulpas Kraft de Pinus douglasiana con diferentes contenidos de lignina*. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Guadalajara. Guadalajara. México, 1980. 108 p.
- Guridi G., L. I. *La madera en las artesanías del Estado de Michoacán*. Bol. Div. N° 50, Inst. Nac. Invest. For. México, 1980. 132 p.
- Martínez, M. *Los pinos mexicanos*. 2da Edición. Ediciones Botas. México, 1948. 367 p.
- McIntosh, D. C. The effect of refining on the structure of the fiber wall. *Tappi Journal*, 1967, **50** (10): 482-488.
- Montes R., E. *Propiedades biológicas y fisico-tecnológicas de las maderas de Pinus leiophylla y Pinus douglasiana de México*. Tesis Doctoral. Universidad de Guadalajara. Guadalajara. México, 1991. 92 p.
- Otero D'Ameida. *Blanqueamiento de pastas celulósicas*. Centro Técnico em Celulose e Papel. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A - IPT. São Paulo, Brasil. 66 p.
- Page, D. H. The collapse behavior of pulp fibers. *Tappi Journal*, 1967, **50** (9): 449-455.
- Perry, J. P. Jr. *The pines of Mexico and Central America*. Timber Press. Portland, Oregon, 1991. 231 p.
- Rodríguez Jiménez, J. *Los controles en la fabricación de papel*. Blume, Madrid, España, 1970. 359 p.
- Romero Hinojosa, J. A. *Estudio tecnológico de Pinus douglasiana y Pinus leiophylla para proponer usos racionales*. Tesis profesional. Escuela de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México, 1986. 55 p.
- Rzedowski, J. *Vegetación de México*. LIMUSA. México, 1978. 432 p.

Sanjuán Dueñas, R. *Guía práctica para la especialidad en celulosa y papel*. Departamento de Ingeniería Química. Departamento de Madera, Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. Guadalajara. México, 1986.

Swanson, J. W. and A. J. Steber. Fiber surface area and bonded area. *Tappi Journal*, 1959. **42** (12): 986-994.

TAPPI *Test Methods (1994-1995)*. TAPPI Press. Atlanta, 1994.

Van Den Akker, J. A.; A. L. Lathrop; M. H. Voelker and L. R. Dearth. Importance of fiber strength to sheet strength. *Tappi Journal*, 1958. **41** (8): 416-425.

Young, J. H. *Preparación de la fibra y flujo de alimentación de pasta*. En: *Pulpa y papel química y tecnología química*, James P. Casey, ed., Vol. II, Cap. 6, LIMUSA. México, 1991. Pp 25-136.

Yang, J. L.; G. Lou and K. E. L. Eriksson. The impact of xylanase on bleaching of kraft pulps. *Tappi Journal*, 1992. **75** (12): 95-101.