

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA

ESTUDIO COMPARATIVO DE UNA PASTA KRAFT DE RALEOS Y
DESPUNTES DE *Pinus taeda* L. CON UNA PASTA KRAFT INDUSTRIAL

Por

Ronald BEARE DREVER

Tesis presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO

URUGUAY

2001

FACULTAD DE AGRONOMIA



DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACION Y
BIBLIOTECA

TESIS APROBADA POR.

Director: LUIS SORIA 
Nombre completo y firma

GUSTAVO DANILUK 
Nombre completo y firma

CARLOS MANIERO 
Nombre completo y firma

Fecha: _____

Autor: RONALD BEARE 
Nombre completo y firma

ES FOTOCOPIA FIEL DEL ORIGINAL
QUE TUVE A LA VISTA.

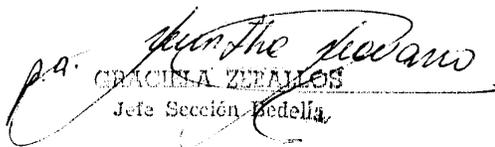

P.A. GRACIELA ZÚÑIGA
Jefe Sección Pedagogía

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACION	I
AGRADECIMIENTOS	IV
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	V
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1 PROCESO KRAFT	3
2.1.1 Descripción del proceso Kraft	3
2.1.2 Química del proceso Kraft	4
2.1.3 Propiedades y usos de las pastas Kraft	5
2.2 FACTORES DE LA MADERA QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DE PULPA	6
3. MATERIALES Y METODOS	16
3.1 Muestreo de árboles	16
3.2 PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS	16
3.2.1 Procesamiento de la madera pulpable	16
3.2.2 Extracción de muestras de alimentación planta	17
3.2.3 Procesamiento de muestras de chips en laboratorio	17
3.2.4 Condiciones de cocción en laboratorio	17
3.2.5 Refino de pastas en molino PFI	17
3.2.6 Extracción de muestras de pasta blanqueada de línea de Producción	17

3.2.7	Tratamiento estadístico de las muestras	19
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	20
5.	CONCLUSIONES	54
6.	RESUMEN	55
7.	SUMMARY	56
8.	BIBLIOGRAFIA	57

AGRADECIMIENTOS

- Al Ing. Agr. Luis Soria, director de mi tesis, por el asesoramiento para concretar el presente trabajo
- Al personal de ALTO PARANA S.A por su apoyo y laboratorio
- Al Depto Forestal de la Facultad de Agronomía, y en especial al Ing. Agr. Carlos Mantero por su orientación y empuje en la finalización de la tesis.
- A familiares, mi esposa y mis hijos, que de una forma u otra colaboraron para la conclusión de este trabajo.

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro	Pagina
No 1. Propiedades de la madera.	20
N° 2. Análisis de la pasta.	20
N° 3. Análisis del licor negro.	21
N° 4. Ensayo físico-mecánico de pasta marrón de laboratorio de madera de primer raleo de <i>Pinus taeda</i> L.	22
N° 5. Ensayo físico-mecánico de pasta marrón de laboratorio de madera media de alimentación a palnta.	24
N° 6. Ensayo físico mecánico a 25 SR.	26
N° 7. Ensayo físico-mecánico de pasta blanqueada de planta que corresponde a madera media de alimentación a planta.	30
N° 8. Ensayo físico-mecánico de pasta marrón de laboratorio de primer raleo de <i>Pinus taeda</i> L. extrapolada a pasta balnqueada de planta.	33
N° 9 Análisis de varianza unifactorial de propiedades físico-mecánicas de Pasta marrón de laboratorio.	37
N° 10. Análisis de diferencia de medias(prueba t) de propiedades Físico-mecánicas de pasta marrón de laboratorio.	43
N°11. Análisis de varianza de la correlación lineal de propiedades Físico-mecánicas entre valores de pasta marrón de laboratorio Y pasta blanqueada de planta.	49

1.- INTRODUCCION

La producción de papel a nivel mundial consume anualmente unos 120 millones de toneladas de pastas celulósicas de fibra corta y de fibra larga. De este volumen, 90 millones de toneladas se encuentran integradas industrialmente a la producción de papel y no se llegan a vender en el mercado. El volumen restante, aproximadamente 30 millones de toneladas se comercializan en el mercado y son compradas por empresas papeleras que no tienen su propia producción de celulosa.

El volumen de celulosa de mercado se divide a su vez en dos, aproximadamente 14 millones de toneladas corresponden a celulosa de fibra larga producida a partir de coníferas (softwood) y unos 16 millones de toneladas de celulosa de fibra corta se producen a partir de especies latifoliadas (hardwood).

Las áreas geográficas donde se produce celulosa de fibra larga a partir de coníferas son en general en el hemisferio Norte, fundamentalmente en los países Escandinavos donde los bosques de estos países están básicamente compuestos de coníferas de origen autóctono.

Otras áreas geográficas son Canadá, EE.UU, Nueva Zelandia. En Sudamérica, los países productores de celulosa de fibra larga de coníferas son Chile, a partir de *Pinus radiata*, Argentina y Brasil a partir de *Pinus taeda* y *elliottii*.

La pasta kraft de *Pinus taeda* y *elliottii* es ampliamente utilizada a nivel mundial para la producción de distintos tipos de papeles tanto marrones como blancos, encapados y sin encapar. (Smook, G. 1990)

En el caso de nuestro país, la ley forestal 15.939 del 28/12/87 y sus decretos reglamentarios, han desarrollado una política de promoción a la forestación. Esto ha llevado a un incremento del área forestada de *Pinus taeda* y *elliottii* que tiene como objetivo la producción de rollos aserrables. En sus distintas etapas de crecimiento así como en su etapa final de cosecha, las plantaciones de pino generarán una importante oferta de madera pulpable proveniente de los raleos de estas plantaciones. Esta madera pulpable podrá ser exportada o industrializada en el país para la fabricación de celulosa y papel.

Debido a esto, se ha considerado de interés efectuar un estudio comparativo con *Pinus taeda* L. de una pasta celulósica producida a partir de rollizos pulpables proveniente de raleos de plantaciones, con una pasta industrial, la cual es producida normalmente con una mezcla de madera de raleos y astillas de aserradero.

La madera de raleo tiene características específicas que difieren de una alimentación media de una planta de celulosa, básicamente en lo que se refiere a densidad de la madera. Esto a su vez influye en las propiedades de la pasta que se produce a partir de estos raleos.

Este trabajo tiene como objetivo predecir la calidad de la pasta totalmente blanqueada cuando se procesa madera de primer raleo en una planta industrial con proceso kraft y blanqueo D_0 E_{OP} D_1 E_P D_2 . Para esto se evalúa la drenabilidad a diferentes grados de refinación y las características de tracción, desgarró, explosión, resistencia al aire y elongación en la pasta marrón de madera de primer raleo obtenida en cocciones de laboratorio emulando las condiciones de una planta industrial y se extrapola estos valores a los de una pasta blanqueada industrial.

La extrapolación se realiza haciendo uso de la correlación de las propiedades físico mecánicas de la pasta marrón obtenida en laboratorio con la madera media de alimentación a planta y la pasta blanqueada obtenida en la planta industrial de Alto Paraná S.A. con esa misma madera.

En este ensayo se utilizaron árboles representativos de primer raleo de *Pinus taeda* pertenecientes a Alto Paraná S.A

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. PROCESO KRAFT

2.1.1 Descripción del proceso kraft

El proceso kraft se desarrolló hace casi 100 años a partir de la cocción a la sosa(hidróxido de sodio como especie química activa), cuando Carl S.Dahl introdujo sulfato de Sodio en el sistema químico de cocción. La conversión en sulfuro de sodio en el licor de cocción resultante produjo una mejora sustancial en la cinética de la cocción y en las propiedades de la pulpa cuando se procesaban coníferas. El hecho que, normalmente se utilice el sulfato de sodio como producto químico de reposición, es la razón por la que el proceso kraft se denomina también "proceso al sulfato".

El proceso kraft de cocción consiste en cocinar las astillas de madera en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na₂S). El ataque alcalino causa la rotura de la molécula de lignina en fragmentos mas pequeños, cuyas sales de sodio son solubles en el licor de cocción. El proceso se asocia con la emisión de gases malolientes, principalmente sulfuros orgánicos.

Existen actualmente dos métodos principales de separación de la lignina de la celulosa en la madera. Estos son el proceso kraft (alcalino) y el proceso al sulfito (ácido). El proceso kraft es superior en la recuperación de químicos y el el tratamiento a la fibra por lo que fue preferido frente al proceso al sulfito.

Smook, G. (1990), sostiene que el objetivo del pulpeado químico es degradar y disolver la lignina dejando la mayor parte de la celulosa y hemicelulosa en su forma intacta en las fibras. Los métodos de obtención de pulpas químicas también degradan una cierta cantidad de celulosa y hemicelulosa por lo que el rendimiento final en celulosa es menor a un 50 % de la madera original.

Repetti, R. (1992), menciona que la digestión en el proceso kraft puede llevarse a cabo tanto en digestores batch como continuos. En las cocciones batch el digestor se carga con los chips y suficiente licor como para cubrir los mismos. El contenido es luego calentado inyectando vapor directo por la parte inferior del digestor o mediante la circulación forzada del licor a través de un intercambiador de calor.

Los chips se impregnan del licor y la cocción se hace a aproximadamente 170 grados centígrados durante 1,5 a 2 horas para completar la reacción de la

lignina con el licor. Después de la cocción el contenido del digestor batch se descarga en un tanque de soplado (Blow-Tank) donde el cambio de presión hace que las fibras de celulosa se separen.

Luego la pulpa es enviada a un proceso de lavado donde se retira el licor en los filtros lavadores. La celulosa es luego almacenada en estanques de pasta marrón para luego pasar o no a un proceso de blanqueo.

2.1.2 Química del proceso kraft

Repetti, R.(1992) menciona que las reacciones que ocurren durante el proceso kraft indican que la lignina en el medio fuertemente alcalino es fragmentada por la cocción de los iones hidroxilos e hidrosulfuros presentes en la misma. La lignina fragmentada se disuelve como iones fenolato y carboxilato.

También son atacados las hemicelulosas y una parte de las celulosas. En una cocción típica se disuelve el 80 % de la lignina, el 50 % de las hemicelulosas y el 10 % de las celulosas.

La delignificación kraft comienza lentamente para luego acelerarse rápidamente. La remoción de la lignina residual se hace lentamente. Las pérdidas de hemicelulosa y celulosa se deben a la disolución de las fracciones de bajo peso molecular, la remoción de grupos ácidos y la degradación provocada por la reacción de "peeling"(causada por la soda), es una reacción de corte de la cadena de carbohidratos con alto grado de polimerización).

La baja pérdida de la celulosa (10%) comparado con las hemicelulosas se debe a la poca accesibilidad de los grupos OH dentro de la región cristalina de la celulosa. El 90 % de los extractivos son eliminados del licor residual en forma de jabón, del que se extrae talloil. Además se extrae trementina a partir del vapor de alivio del digestor. Ambos productos son bases para otras industrias.

Los factores que mencionados como variables determinantes en la calidad final de la pasta producida son los siguientes

- Especie y calidad de la madera

Las pulpas de fibra corta tienen propiedades distintas a las de fibra larga. En este punto es determinante la densidad de la misma.

- Tiempo y temperatura de cocción.

El tiempo de cocción está relacionado con otras variables de la misma como temperatura, cantidad y concentración del álcali efectivo, y sulfidez del licor. Cualquier aumento de estas variables tiene efecto en el tiempo de cocción y en la calidad de la pasta. La temperatura normal de cocción

de una fábrica al sulfato ronda los 170 grados centígrados. El factor H combina el efecto de la temperatura y el tiempo de cocción. Este factor es el área comprendida bajo la curva de velocidad relativa de reacción respecto al tiempo. El factor H es de utilidad si se desea cambiar el tiempo de cocción en un digestor, sin cambiar la calidad de la pasta producida.

- Sulfidez

La velocidad de cocción depende de la alcalinidad y de la cantidad de sulfuro. Los efectos indeseables de una alta alcalinidad(ataque químico a la celulosa) pueden compensarse usando sulfuro adicional, esto es hasta un límite en que no se obtiene un aumento de la velocidad de la reacción, ni un mejora en la calidad de pasta.

- Relación de productos químicos a madera

Adicionalmente a las astillas en el digestor se agrega la cantidad necesaria de productos químicos para disolver la lignina y poder cocer las astillas al grado conveniente. La relación de reactivos a madera y la relación de licor a madera es la que da los resultados deseados.

2.1.3 Propiedades y usos de la pasta kraft

Según Repetti, R(1992), la fuerte expansión en el uso de las pastas químicas al sulfato se debe a la economicidad en la producción de pastas y en la versatilidad de sus propiedades papeleras.

Así las pastas blanqueadas de fibras largas y cortas se mezclan para producir papeles de impresión y escritura de distintos tipos.

Las pastas semi blanqueadas se emplean en la fabricación de papel periódico.

Las pastas al sulfato sin blanquear se destinan a la fabricación de papeles liner, cartones y papeles marrones de embalaje, como por ejemplo papeles para bolsas multipliegos.

2.2. FACTORES DE LA MADERA QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO Y LAS CARACTERISTICAS DE LA PULPA KRAFT.

Svedman, M; Tikka, P y ,Luhtanen, M (1998) , estudiaron el efecto de la edad de la madera pulpable en la calidad y propiedades físico mecánicas de la celulosa producida para *Pinus Sylvestris* , *Picea abies* y *Pinus taeda* . Estos autores afirman que, en general, la longitud y fortaleza de la fibra controlan la propiedad de rasgado en el papel, y el grosor de la pared celular y el ancho de la fibra determinan la calidad de los enlaces químicos que a su vez son responsables de la tracción. Por lo anterior, la madera más adulta con una mayor densidad y fibras mas largas, produce una celulosa de mayor rasgado y con un rendimiento mayor.

En contraste, madera pulpable juvenil con una densidad menor, con fibras mas cortas y finas promueve los enlaces químicos y consolidación de la hoja pero con rendimientos menores en pasta.

En la discusión estos autores establecen que la calidad y uniformidad de una pasta celulósica kraft depende en gran parte del origen y edad de la madera. La edad de la madera es lo que más afecta las propiedades y rendimiento en pasta celulósica.

Las principales conclusiones de su experimento son:

- El consumo de madera por tonelada de pasta producida fue mayor en comparación con madera mas adulta de la misma especie -
- La delignificación del *Pinus taeda* fue mas lenta que la de las otras especies.
- Celulosas kraft producidas con madera pulpable más joven con fibras más finas tienen propiedades de tracción mayor, pero propiedades de rasgado menor que las producidas con madera pulpable más adulta.
- Por el contrario, la celulosa producida a partir de madera pulpable más adulta tiene una propiedad de tracción menor, pero una propiedad de rasgado mayor y menor consumo de madera.

Nuset, T., Johnson, S. Barichelo, L. (1982) en la Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – Piracicaba – Brasil trabajaron sobre la Influencia del raleo en la calidad de la madera de *Pinus taeda* L. para producción de Celulosa Kraft

El trabajo analiza los efectos post-raleos sobre el incremento volumétrico y las repercusiones del ritmo de crecimiento en la calidad de la madera para la producción de celulosa. El material utilizado fue obtenido de 80 árboles de la especie *Pinus taeda* L. de 17 años. Fueron analizados los efectos de 3 intensidades de raleos siendo 25, 50 y 75% en comparación con un ensayo testigo.

Se observó un incremento volumétrico proporcional de los raleos siendo que la madera producida después de la aceleración del ritmo de crecimiento se mostró con mayor tenor de madera juvenil, más años de crecimiento y menor densidad básica.

Se constató la tendencia de reducción de la longitud media de la fibra en función de los tratamientos así como el aumento del ancho y diámetro del lumen.

El modo de extracción en alcohol benceno y agua caliente se presenta con tendencia al aumento en cuanto al tenor de la hemicelulosa, los rendimientos de las cocciones, el número kappa y la viscosidad de las celulosas que sufrieron reducciones en función de los raleos. La celulosa producida a partir de la madera de crecimiento acelerado presenta mayor resistencia a la tracción, mayor peso específico, mayor porosidad y menor resistencia al rasgado.

Para los mismos autores la práctica del raleo es bastante difundida, siendo su objetivo optimizar la rentabilidad de las forestaciones.

Los raleos concentran la capacidad potencial de producción de madera sobre un número limitado de árboles seleccionados. En consecuencia, se consigue un incremento volumétrico de esos árboles remanentes, más allá del aumento de la producción total de madera para la utilización de árboles dominados que no sobrevivirían la competencia.

Todavía surgen algunas interrogantes en cuanto a los posibles efectos de la aceleración metabólica sobre las características de los tejidos leñosos formados post-raleo.

Este tema es de fundamental importancia cuando se analiza la calidad de la madera para su industrialización y sobretodo la producción de celulosa.

Diversos autores han explorado exhaustivamente el tema y la opinión más generalizada propone que la tasa de crecimiento puede controlar en gran parte la calidad de la madera y consecuentemente las propiedades físico-mecánicas de la celulosa.

En cambio otros autores afirman que es un asunto muy polémico, justificando la necesidad de mayores estudios, teniendo en cuenta los criterios que se adoptan en la conceptualización de la calidad de la madera.

Kramer, P y Koslowsky, T(1972) proponen que la alteración ambiental en las forestaciones sometidas a raleos pueden influenciar en la calidad y cantidad de los elementos anatómicos formados.

La literatura especializada comprueba que la cantidad de material producido tiende a aumentar frente a la aplicación de raleos. Los efectos de aceleración del ritmo de crecimiento en las características de la madera, exigen aún mayores informaciones. En cuanto al aspecto fisiológico, los períodos favorables para el crecimiento, son producidos por estímulos hormonales responsables de la formación de células más largas, con paredes más delgadas, mayor diámetro del lumen.

Cown, D (1974) determinó los efectos del raleo leve y moderado en la tasa de crecimiento y las propiedades de la madera. No fueron detectadas diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo los árboles provenientes de las forestaciones que sufrieron raleos en cualquiera de las intensidades, presentan sus fibras reducidas en longitud hasta un 10%. A pesar que este autor no presenta valores relativos en el ancho de la fibra, se observa que este es el parámetro más fuertemente afectado por el ritmo del crecimiento.

Panshin, A y De Zeew, C (1970), muestran que en algunas especies de coníferas el tenor de la celulosa no es solamente mayor en términos de cantidad sino que se presenta con mayor grado de polimerización, mayor densidad y consecuentemente mayor cristalinidad que la madera juvenil. Se verifica que la madera tardía es producida de manera más lenta, lo que infiere mayor polimerización.

Según Meier, H (1964) la composición química de la madera está relacionada con el ritmo de crecimiento. El autor constató en sus estudios que el tenor de arabinogalactanos es más elevado para las fibras de madera inicial. Wakeley, G. (1969) observó mayores tenores de hemicelulosa para maderas provenientes de talas sin raleos.

Tanto los aspectos anatómicos como los químicos están relacionados con la densidad de la madera. sus variaciones en función del ritmo de crecimiento han

sido observadas por autores como Cown (1979), Kromhout (1968), Parker et al. (1976), Syde (1976), Savina e Yakimov (1976) que observaron reducciones de densidad en unidades cuyo ritmo de crecimiento fue acelerado por raleos.

La explicación más común para el fenómeno de ensanchamiento de los anillos de crecimiento es la alteración de la proporción entre las maderas y consecuentemente las proporciones entre las fibras de paredes gruesas y de paredes delgadas. Barrichelo, L (1979) presentó como resultados de sus estudios correlaciones lineales, estadísticamente significativas entre densidad básica y porcentaje de madera adulta, tanto en volumen como en peso.

Todos los parámetros relativos a las características anatómicas y químicas de la madera tienen especial interés en relación a la producción de celulosa.

Durante el proceso de deslignificación de la madera ocurre una interacción físico-química entre materia prima y licor de cocción donde influyen conjuntamente las variables del proceso y aquellas referentes a la madera. Están incluidas en ese contexto la densidad básica, regida por las características anatómicas y químicas de la madera, la composición química, el tamaño de las astillas.

Uno de los factores que rige la penetración del licor de cocción en el interior de las astillas es el porcentaje de espacios vacíos. Según Foelkel, C. (1977), la madera de leño juvenil es más fácilmente penetrada que la madera adulta porque tiene mayor lumen y mayor número de puntuaciones.

Las fibras tienden a ser más anchas y más cortas cuando provienen de madera de crecimiento acelerado, respectivamente según Kromhout, C (1968) y Cown, D (1974) lo que nos aproxima anatómicamente a las células de madera juvenil y estarían más aptos para favorecer la penetración de los agentes de deslignificación. Para una similitud de comportamiento, Rydholm, S. (1965) define como más flexibles las fibras de madera juvenil. Según el autor, este tipo de fibra, generalmente más ancha y con paredes más delgadas sería más apto para producir pulpas más resistentes a la tracción y a la explosión. La causa es que esas células tienden a colapsar y a promover una mayor área de contacto entre las fibras favoreciendo las propiedades de unión.

Las fibras provenientes de madera formadas en régimen de fuerte competencia tienden a formar hojas más voluminosas ya que serían más resistentes al colapso. Barrichelo y Brito (1978) citan que las fibras de leño adulto mantienen una forma tubular formando hojas con mayor volumen, menos peso específico y menor resistencia a la tracción y a la explosión y una mayor resistencia al rasgado en función de la estructura de cuerpo fibroso, basada en mayor espesor de pared.

Los autores concluyen:

Los raleos con intensidades de 25, 50 y 75% promoverán respectivamente incrementos volumétricos del orden de 47, 51 y 161 % en relación al testigo.

Los tratamientos promoverán incrementos en el ancho de los anillos de crecimiento siendo que para los niveles de 25, 50 y 75 % el ancho medido constatado es respectivamente de 53, 87 y 200%.

Los tratamientos de raleo con 25 y 50% de intensidad producen un crecimiento de 10% en volumen para el leño juvenil, respecto al tratamiento donde el nivel de raleo fue de 75%, el crecimiento llega al 30%.

Los valores de densidad básica media de los árboles sufren una reducción de 7% comparándose las parcelas testigo con aquellas sometidas a 75% de raleo. No fue constatada la influencia gradual y definida en función de los tratamientos. Se da una reducción de amplitud de variación en densidad básica en sentido longitudinal del tronco. En sentido radial, se constató que los raleos atenúan las variaciones de densidad de los leños en función de la edad. Los tratamientos inducen a una mayor amplitud de variación entre los valores de densidad del leño juvenil y adulto.

Respecto a las características anatómicas:

El tratamiento de raleo con 75% de intensidad presenta fibras con menor longitud. El fenómeno fue interpretado como una estabilización de la dimensión después de la fase juvenil, en contrario de lo que ocurre para las fibras originadas en unidades sometidas a regímenes de competencia. Se darán incrementos para los valores de ancho y diámetro del lumen en función de los raleos, pero el espesor de las paredes de la fibra no muestra variaciones definidas en función de los tratamientos. En relación a la composición química de la madera observaron:

Para los tratamientos de raleo con 50 y 75 % de intensidad se verificó un aumento de, respectivamente, 54 y 48% en el tenor de solubles en agua caliente.

El raleo más intenso, de 75% de intensidad, da lugar a una reducción de 2,4% en el tenor de hemicelulosa en relación al testigo

Los tratamientos nos muestran influencias en los tenores de cenizas, lignina y pentosanos.

Respecto al proceso de deslignificación:

Los valores de rendimiento bruto sufren una reducción de 4 a 7% para los tratamientos más intensos en relación al testigo.

El nivel de deslignificación obtenido, dado por el número kappa sufre una reducción de 9 a 13% para los tratamientos más intensos.

Confrontando los niveles extremos del experimento se constató una reducción en los valores de viscosidad de 6 a 10%.

Considerándose las propiedades físico-mecánicas de la celulosa producida:

Los raleos promueven mejoras en las propiedades de unión con aumento en la resistencia al rasgado, sin que existiesen nítidas diferencias entre los tratamientos.

La resistencia al rasgado presenta un grado decreciente a medida que los tratamientos de raleo fueron intensificados.

Para un mismo grado de refinación se dio un aumento progresivo de peso específico en función de los tratamientos asociados a reducción en el espesor y porosidad de la hoja

Gallardo, E. José Paz, P. y Carreño, S. (1989) en Chile trabajaron sobre la Deslignificación extendida Kraft.

En la actualidad, junto con mantener o mejorar el rendimiento y las características de la celulosa, hay gran preocupación por reducir los efluentes contaminantes y tóxicos de las plantas de celulosa.

Si se prolonga la deslignificación en el pulpaje para que menos lignina entre en la pulpa al área de blanqueo se puede reducir así el consumo de reactivos químicos y reducir la carga del efluente en términos de COD y toxicidad. Para esto se debe modificar el proceso de cocción para evitar que haya una reducción en el rendimiento y en la calidad de la pulpa final.

En este trabajo se estudia la opción de prolongar la deslignificación de una cocción discontinua (batch) hasta un kappa de 25 modificando el proceso de cocción convencional.

El objetivo de este trabajo es determinar si una pulpa de kappa 25 producida por el proceso modificado mantiene sus propiedades físico-mecánicas y su rendimiento con respecto a una pulpa convencional de kappa 30. Las pulpas resultantes se blanquearon hasta una blancura de 90% ISO. Se compara el rendimiento global, las propiedades físico-mecánicas, el consumo de reactivos de blanqueo, el color y COD de los efluentes del blanqueo y los costos directos de blanqueo de las pulpas convencionales con las obtenidas por el proceso modificado.

Obtuvieron los siguientes resultados:

Viscosidad intrínseca y rendimiento de las pulpas crudas.

En un proceso de deslignificación, la viscosidad intrínseca y el rendimiento son los dos índices más comúnmente utilizados para indicar el grado de selectividad del proceso.

El proceso modificado entrega una mayor viscosidad intrínseca, a un número de kappa dado, que el proceso convencional. Esta ganancia es de alrededor de 60 a 70 dm³/kg para todo el rango estudiado.

De los resultados de cocción se muestra que el proceso modificado, con deslignificación extendida, frente al proceso convencional presenta:

- una pulpa de mayor viscosidad intrínseca a igual kappa
- un mayor rendimiento a igual kappa
- propiedades físico-mecánicas similares o mejores, especialmente en rasgado.

En base a lo anterior, el proceso modificado presenta una selectividad de cocción mejorada con respecto al proceso convencional de cocción.

De los resultados de blanqueo se encontró:

- que la pulpa modificada es más fácil de blanquear que una pulpa convencional,
- que las propiedades físico-mecánicas de la pulpa blanqueada, son similares o mejores, especialmente en rasgado, que las de una pulpa convencional.

Es técnicamente factible blanquear una pulpa modificada de kappa inicial 24-25, para producir una pulpa blanqueada de características similares a la de una pulpa convencional de kappa inicial 30.

De los resultados del rendimiento global del proceso de cocción y blanqueo, concluyen:

- que el proceso modificado entrega un rendimiento similar al del proceso convencional.

De la evaluación de los efluentes de blanqueo y de los efectos del mismo, encontraron que:

- el proceso modificado permite reducir el impacto ambiental, expresado en los parámetros Color y COD, en alrededor de 20 a 30 %.
- que la opción de deslignificación extendida con el proceso modificado es muy interesante ya que permite un ahorro de 1,7 millones de dólares al año por reducción de las cargas de reactivos de blanqueo.

Finalmente se recomienda para futuros trabajos efectuar un estudio de la composición de los hidratos de carbono que presenta la pulpa modificada cruda y blanqueada y su relación en el proceso. También es de interés estudiar la

deslignificación extendida mediante el proceso kraft modificado de la madera de latifoliada o "hardwood", especialmente para Eucalyptus

Rodríguez, S.; Torres, M. (1989) trabajaron en Chile sobre la Obtención de Pulpa Kraft a partir de *Pinus patula*, *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* crecidos en Chile.

Este trabajo tuvo como objetivo estudiar el comportamiento de estas especies frente al proceso kraft. Las muestras usadas correspondieron a árboles de raleo del Arboretum, ubicado en el Campus Isla Teja de la Universidad Austral de Chile.

Se determinó la composición química de las maderas y la densidad de las astillas. Se realizaron ensayos de pulpaje a diferentes condiciones, variando la concentración de álcali efectivo entre 18 y 20% y el tiempo a temperatura máxima entre 30 y 60 min., el resto de las variables permanecieron constantes.

Se obtuvieron pulpas con índices kappa entre 20 y 40, y rendimientos clasificados entre 40 y 46% respectivamente.

En general para las tres especies la elevación de tiempo a temperatura con álcali efectivo constante, produjo una disminución en el rechazo y en el índice kappa. Esta última tendencia se observó al aumentar la concentración de álcali manteniendo el tiempo a temperatura constante.

Comparando a índice kappa 30, el *Pinus elliottii* alcanzó rendimiento clasificado superior (42,5%) al de *Pinus patula* (41%) y *Pinus taeda* (40,5%).

El consumo de reactivo tuvo un comportamiento diferente entre las especies. En los pulpajes con *Pinus patula* y *Pinus elliottii* los consumos aumentaron en un 25% y un 12% respectivamente, al prolongar el tiempo a temperatura desde 30 a 60 minutos. En cambio con *Pinus taeda* el consumo de reactivo disminuyó aproximadamente un 4% al aumentar el tiempo.

Llegaron a las siguientes conclusiones:

La composición química de las especies no implicó ninguna dificultad en el pulpaje.

A índice kappa 30 *Pinus elliottii* alcanzó un rendimiento clasificado levemente superior (42,5%), a la de los *Pinus patula* (41%) y *Pinus taeda* (40,5%).

Las pulpas de *Pinus patula* requirieron tiempos de batido menores que *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* para un mismo grado de refinación.

Pinus elliottii y *Pinus taeda* tuvieron alto factor de rasgado. La longitud de ruptura y factor de explosión son similar en las tres especies.

En general, las pulpas de *Pinus patula*, *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* tienen buenas características para la fabricación de papeles

Soria, L; Inthamoussu, M y Ruiz, R (1987) trabajaron sobre la optimización del procedimiento Kraft usando Antraquinona con *Pinus elliottii*:

Realizaron un estudio del procedimiento kraft.- Antraquinona con madera de *Pinus elliottii* Var. *Elliottii* Engelm, a través de un plan factorial 2(4) identificándose el 5to factor con la interacción de mayor orden.

Se tomaron como factores variables: álcali activo, sulfidéz, antraquinona y tiempos de subida en temperatura y a temperatura constante.

Una experiencia kraft – testigo en condiciones convencionales se utilizó como elemento comparativo.

El álcali activo constituyó el parámetro más importante cuya variación al nivel superior permitió una reducción considerable del índice Kappa.

En función de los efectos principales y características físico-mecánicas, la cocción No. 10 se acercó a las condiciones óptimas, siendo posible sustituir el procedimiento kraft por el procedimiento Kraft-AQ (antraquinona) con una reducción importante en la carga de productos químicos y la obtención de pastas comparables.

En dicho trabajo se menciona que Holton, H (1977) patentó en diferentes países un procedimiento por el cual añadiendo pequeñas cantidades de determinados compuestos quinónicos (tipo Antraquinona), el proceso de pulpaje por vía alcalina se veía mejorado aumentando considerablemente la selectividad de la deslignificación de la madera por la soda.

Estas mejoras a su vez se correspondieron con una disminución en el porcentaje de los compuestos de azufre en las lejías responsables de la contaminación atmosférica y un aumento del rendimiento en pulpa, originando un gran interés.

Entre los aditivos que se han estudiado, la Antraquinona (AQ) ha demostrado cumplir con los objetivos señalados.

La mayoría de los investigadores de cocciones con Antraquinona proponen un mecanismo catalítico, basado en pequeñas cantidades, inferiores a 0.1 % en madera seca. necesarios para obtener una estabilización de las cadenas de hidratos de carbono y deslignificar más rápidamente.

Las cadenas de Hidratos de Carbono reaccionarán con la Antraquinona para llevarla a su forma reducida (Antrahidroquinona) y estos pasar a su forma oxidada logrando así su estabilización frente a la degradación.

Esta forma reducida de la Antraquinona (HAQ) reacciona posteriormente con unidades lignicas no solubles rompiendo las uniones de la lignina en medio alcalino y a alta temperatura, pasando éstas a su forma reducida y la Antranidroquinona de nuevo a su forma oxidada o sea Antraquinona, completando así el ciclo de óxido- reducción.)

En el balance final la Antraquinona no sería consumida jugando el rol de un catalizador, obteniéndose lignina despolimerizada y soluble al mismo tiempo que habría una estabilización de los hidratos de carbono respecto a la degradación.

La utilización de la Antraquinona se ha visto reflejada en tres aspectos :

Desarrollo del procedimiento Soda-Antraquinona en coníferas, latifoliadas y plantas anuales.

Aplicación al procedimiento Kraft (Kraft- Antraquinona)

Utilización en otros procedimientos de fabricación, fundamentalmente pastas semiquímicas y químico- mecánicas.

Finalmente, la aplicación de la Antraquinona al procedimiento Kraft se traduce en una aceleración de la deslignificación mejorando la selectividad y obteniéndose un número considerable de ventajas:

- Reducción del tiempo total de cocción para un mismo índice Kappa.
- Reducción de la carga de álcali para obtener un determinado índice Kappa.
- Mejora el rendimiento a igual índice kappa
- Posibilidades de reducir la sulfidez de la cocción y por lo tanto la contaminación atmosférica.

Una comparación con la experiencia testigo(Aa: 20% S: 25%) sin Antraquinona confirma lo antes mencionado, lográndose a través de estas experiencias y mediante el uso del procedimiento Kraft- Antraquinona, disminuir en un 2% el Alkali activo y en un 15% la sulfidez evitándose una mayor contaminación atmosférica y producción de olores desagradables (compuestos de azufre) con la obtención de pastas con buenas características físico-mecánicas.

Se confirma por lo tanto y en este caso para el Pinus elliotti que es posible técnicamente sustituir el procedimiento Kraft-convencional por el procedimiento

Kraft-AQ, con una disminución en la carga de productos químicos y por consecuencia en la contaminación, con la obtención de pastas cuyo Índice Kappa, rendimiento y características físico mecánicas pueden compararse a un procedimiento Kraft- convencional.

3.- MATERIALES Y METODOS

3.1 - Muestreo de arboles

Se utilizan 3 árboles representativos de primer raleo de *Pinus taeda* provisto por el área Forestal de la Unidad de Aprovechamiento 102005, Rodal 11, Lote 87, Sección 1, Municipio de Puerto Libertad, Departamento Iguazú, Provincia de Misiones, Argentina.

Estos arboles fueron plantados en 1992 y cortados en la primera quincena de julio de 1999.

3.2 – Procedimientos seguidos

3.2.1 – Procesamiento de la madera pulpable

Los tres árboles son trozados y descortezados en forma manual. Luego son procesados en el área de Preparación Madera donde son chipeados y clasificados en la zaranda industrial. En la línea de aceptados se toman muestras suficientes para realizar los distintos ensayos.

3.2.2 – Extracción de muestra de madera de alimentación planta

La muestra de madera media de alimentación a planta se extrae de la línea de chips que alimenta al digestor, posterior a la zaranda de disco. El muestreo se realiza cada 4 horas, durante 12 horas, mientras se está alimentando chips que representan la calidad media de la madera que se consume y las condiciones de operación de digestión y blanqueo son normales.

3.2.3 – Procesamiento de muestras de chips en laboratorio

Ambas muestras de chips se clasifican en la zaranda de laboratorio. Se separan las fracciones pasa malla con ranura de 8 mm y retenido en placa con orificio de 7 mm de diámetro y se sacan tres muestras para realizar

determinaciones de densidad básica y humedad y diez muestras del volumen del canasto del digestor de laboratorio para efectuar cocciones.

3.2.4 – Condiciones de cocción en laboratorio

Las condiciones de cocción se fijan de forma tal de obtener pasta con N° kappa 23 y se determina rendimiento total y depurado en pasta, cantidad de rechazos, viscosidad en pasta, álcali activo residual, álcali efectivo residual y sólidos secos en licor negro.

Condiciones de cocción de laboratorio

Factor H	2700
Temperatura máxima de cocción, °C	175
Carga alcalina, % álcali activo/madera	22.5
Relación líquido/madera	4/1
Sulfidez en licor blanco, %	35

3.2.5 - Refino de pastas en molino PFI

La pasta obtenida se refina en molino PFI a 0, 500, 2000, 4000 y 7000 revoluciones y se mide la drenabilidad como °SR (Shopper Riegler) para cada punto. Se preparan hojas a mano para cada punto de refinación y se determina índice de tracción, índice de desgarrar, índice de explosión, elongación, resistencia al aire y densidad aparente. Se adjunta al final de este capítulo una copia de las normas SCAN utilizadas para cada uno de los ensayos

3.2.6 – Extracción de muestra de pasta blanqueada de línea de producción.

Finalmente se toma muestra de pasta blanqueada de la línea final que se corresponde con la muestra de madera tomada al ingreso a la cocción. Para esto se tiene en cuenta la suma total de los tiempos de retención de los silos y equipos de toda la línea de fibra. Se muestrea una vez por hora durante 12 horas y se le realizan los ensayos físico mecánicos.

Condiciones de cocción y blanqueo de planta industrial

Cocción:	
Alcali activo en licor blanco, g/l como OHNa	128.7
Sulfidez del licor blanco, %	33.0
Relación líquido: madera	3.0
Temperatura de cocción, °C	170.5
N° Kappa de digestión	23.7
Viscosidad de pasta marrón, cm ³ /g	920
Sólidos secos en licor negro, %	17.8
Blanqueo:	
Etapa D ₀	
Carga de cloro activo, Kg/ADT	32.8
Relación de sustitución, %	74
Temperatura, °C	45
Consistencia, %	3.5
Etapa E _{OP}	
Carga de soda cáustica, Kg/ADT	20.0
Carga de peróxido de hidrógeno, Kg/ADT	1.6
Carga de oxígeno en, Kg/ADT	4.7
Temperatura, °C	80.3
Consistencia, %	10
N° Kappa	4.2
Blanco, % ISO	49.0
Etapa D ₁	
Carga de cloro activo, Kg/ADT	28.7
Temperatura, °C	73.4
Consistencia, %	10
Blanco, % ISO	80.6
Etapa E _P	
Carga de soda cáustica, Kg/ADT	4.8
Carga de peróxido de hidrógeno, Kg/ADT	3.0
Temperatura, °C	72.0
Consistencia, %	10
Etapa D ₂	
Carga de cloro activo, Kg/ADT	5.8
Temperatura, °C	74.5
Consistencia, %	10
Blanco final, % ISO	90
Viscosidad, cm ³ /g	781

3.2.7 – Tratamiento estadístico de las muestras

Los resultados de los distintos ensayos se someten a un tratamiento estadístico que consiste en análisis de varianza unifactorial (prueba F) para evaluar la influencia de la calidad de madera (madera de primer raleo versus madera media de alimentación a planta). Con los parámetros donde la calidad de madera en estudio presenta una influencia significativa se realiza el análisis de diferencia de medias (prueba t).

Con los valores de las propiedades físico mecánicas de pasta marrón de laboratorio de madera media de alimentación a planta y las propiedades de la pasta blanqueada de planta que se corresponde con esa madera, se efectúa el análisis de varianza de la correlación lineal. Luego con la ecuación de regresión se obtienen los valores de las propiedades para pasta blanqueada industrial de madera de primer raleo de *Pinus taeda* a partir de los valores de pasta marrón de laboratorio de esta misma madera.

Se grafican las propiedades físico mecánicas de pasta marrón de laboratorio de los dos tipos de madera que se estudia en función del número de revoluciones en el molino PFI y de la drenabilidad. También se presentan los gráficos de las propiedades de la pasta blanqueada de planta en función de la pasta marrón de laboratorio de la misma madera media de alimentación a planta indicando la ecuación de regresión. Finalmente se grafican las propiedades de la pasta marrón de primer raleo extrapolada a pasta blanqueada industrial y los valores de la pasta blanqueada de planta de madera media de alimentación a planta.

4.- RESULTADOS Y DISCUSION

En la Cuadro 1 se presentan los valores obtenidos de las características físicas de la madera de *Pinus taeda* de primer raleo y de la madera media de alimentación a la planta industrial.

Cuadro 1: Propiedades de la madera

Madera de *Pinus taeda* de primer raleo

	1	2	3	\bar{x}
Humedad, %	58.5	58.8	58.0	58.5
Densidad básica, Kg/m ³	390	373	374	381

Madera media de alimentación a planta

	1	2	3	\bar{x}
Humedad, %	47.4	47.4	47.5	47.7
Densidad básica, Kg/m ³	476	476	470	474

La madera de primer raleo de *Pinus taeda* tiene una densidad básica de 381 Kg/m³, como es de esperar, menor que la madera media de alimentación a planta que es de 474 Kg/m³. En cambio el contenido de humedad de la madera de primer raleo es mayor (58.5 %) que la de madera media de alimentación a planta (47.7 %). Esto indica que, con la madera de primer raleo, ingresa mas agua por unidad de madera seca.

Cuadro 2: Análisis de la pasta

Madera de *Pinus taeda* de primer raleo

	1	2	3	\bar{x}
N° kappa	25	21.2	23.1	23.1
Viscosidad, cm ³ /g	819	700	781	767
Rendimiento depurado, %	42.1	39.7	42.5	41.4
Rendimiento total, %	42.1	39.7	42.5	41.5
Rechazos, %	0.05	0	0.02	0.02

Madera media de alimentación a planta

	1	2	3	\bar{X}
N° kappa	23.2	23.0	23.4	23.8
Viscosidad, cm ³ /g	848	858	821	842
Rendimiento depurado, %	42.4	42.5	43.2	42.8
Rendimiento total, %	42.6	42.9	43.3	42.9
Rechazos, %	0.14	0.06	0.14	0.12

En la cocción de laboratorio (Cuadro 2) se observa que a igual N° kappa con la madera de primer raleo se tiene menor rendimiento en pasta (41,5% y 42.9%) y una menor viscosidad (767 y 842). Con la madera de primer raleo se tiene menos pasta por unidad de madera seca, en consecuencia un mayor consumo de madera (3.4 %).

El análisis de licor negro muestra también el menor rendimiento de la madera de primer raleo. Esto se ve reflejado en una mayor cantidad de sólidos secos y en los valores de álcali residual más bajos. (Cuadro 3)

Cuadro 3: Análisis de licor negroMadera de *Pinus taeda* de primer raleo

	1	2	3	\bar{X}
Alcali efectivo residual, g/l	3.0	4.0	0.7	2.6
Alcali activo residual, g/l	10.4	9.8	8.4	9.5
Sólidos secos, %	16.0	16.9	16.8	16.6

Madera media de alimentación a planta

	1	2	3	\bar{X}
Alcali efectivo residual, g/l	7.0	6.3	6.8	6.0
Alcali activo residual, g/l	13.6	13.0	15.0	13.9
Sólidos secos, %	15.7	16.6	16.7	16.3

El comportamiento de la pasta marrón de madera de primer raleo en el refino es típica a la de una madera de baja densidad básica. A igual número de revoluciones en el molino PFI la pasta de primer raleo presenta valores mayores, comparado con la pasta de madera media de alimentación a planta, en drenabilidad, índice de tracción, elongación, resistencia al aire y densidad. En cambio presenta valores más bajos en desgarro. Estas diferencias no difieren mucho para los distintos grados de refino con excepción de la resistencia al aire en donde esa diferencia se incrementa considerablemente a mayor número de revoluciones en el molino PFI. (Cuadros 4y 5).

Cuadro 4: Ensayo físico mecánico de pasta marrón de laboratorio de madera de primer raleo de *Pinus taeda*

Revoluciones en molino PFI, N°						0					
Drenabilidad, °SR						17.0					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
Índice de Tracción, Nm/g	59.5	58.8	59.0	57.4	52.8	58.1	59.2	56.7	56.5	53.7	57.2
Índice de Desgarro, miliNm ² /g	17.0	17.5	18.2	18.5	18.5						17.9
Elongación, %	4.05	4.13	4.20	3.86	3.58	3.96	4.15	3.59	3.75	3.63	3.89
Resistencia al Aire, s/100ml	7.6	8.4	6.5	7.9	7.8						7.6
Densidad, g/cm ³	707	707	698	699	702						703

Revoluciones en molino PFI, N°						500					
Drenabilidad, °SR						15.0					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
Índice de Tracción, Nm/g	63.6	69.6	65.7	65.2	63.0	65.1	68.7	64.6	66.5	64.8	65.7
Índice de Desgarro, miliNm ² /g	14.0	14.5	15.0	15.4	15.8						14.9
Elongación, %	3.54	3.96	3.85	3.71	3.76	3.74	3.62	3.52	3.57	3.99	3.73
Resistencia al Aire, s/100ml	7.2	6.6	7.5	6.9	7.8						7.2
Densidad, g/cm ³	725	721	702	718	738						721

Revoluciones en molino PFI, N°							2000				
Drenabilidad, °SR							19.0				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
Indice de Tracción, Nm/g	86.3	92.2	91.6	94.2	88.9	88.6	90.7	89.7	91.7	83.2	89.7
Indice de Desgarro, miliNm ² /g	12.1	12.5	13.0	13.0	13.8						12.9
Elongación, %	4.13	4.05	4.06	4.03	4.35	3.84	4.42	4.27	4.27	4.13	4.16
Resistencia al Aire, s/100ml	17.7	19.8	19.4	15.6	15.9						17.7
Densidad, g/cm ³	788	782	794	773	775						782

Revoluciones en molino PFI, N°							4000				
Drenabilidad, °SR							25.0				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
Indice de Tracción, Nm/g	88.4	90.0	92.7	96.0	92.7	90.1	100.3	92.9	91.7	94.1	92.9
Indice de Desgarro, miliNm ² /g	10.4	10.8	11.5	11.7	11.7						11.2
Elongación, %	4.13	4.05	4.06	4.03	4.35	3.84	4.42	4.27	4.18	4.14	4.16
Resistencia al Aire, s/100ml	31.2	20.4	43.6	36.7	50.1						36.4
Densidad, g/cm ³	800	806	807	801	791						801

Revoluciones en molino PFI, N°							7000				
Drenabilidad, °SR							47.0				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
Indice de Tracción, Nm/g	106.6	95.7	103.5	102.4	101.4	99.2	105.9	107.7	105.0	106.7	103.4
Indice de Desgarro, miliNm ² /g	10.1	10.8	11.5	11.5	11.5						11.1
Elongación, %	4.26	3.61	3.77	3.84	4.10	4.11	4.15	3.83	4.36	4.13	4.02
Resistencia al Aire, s/100ml	278	215	280	289	213						255
Densidad, g/cm ³	837	829	840	831	829						833

Cuadro 5: Ensayo físico mecánico de pasta marrón de laboratorio de madera media de alimentación a planta

Revoluciones en molino PFI, N°							0				
Drenabilidad, °SR							12.0				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
Indice de Tracción, Nm/g	41.9	42.5	40.0	39.3	42.0	40.2	40.6	43.8	41.8	42.6	41.5
Indice de Desgarro, miliNm ² /g	20.4	22.3	23.4	22.5	22.5						22.2
Elongación, %	2.63	3.14	2.69	3.02	2.58	2.35	2.67	3.13	3.08	2.63	2.79
Resistencia al Aire, s/100ml	0.8	1.0	1.2	0.6	0.5						0.8
Densidad, g/cm ³	548	562	550	607	589						571

Revoluciones en molino PFI, N°							500				
Drenabilidad, °SR							13.0				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
Indice de Tracción, Nm/g	56.9	64.3	65.6	59.4	58.0	60.8	67.4	66.8	58.1	61.4	61.8
Indice de Desgarro, miliNm ² /g	18.2	21.4	18.7	19.5	19.4						19.4
Elongación, %	2.89	2.84	2.87	2.63	2.99	2.91	2.77	2.82	2.41	2.97	2.81
Resistencia al Aire, s/100ml	1.1	1.3	1.2	1.4	0.7						1.1
Densidad, g/cm ³	631	628	626	647	624						631

Revoluciones en molino PFI, N°							2000				
Drenabilidad, °SR							15.0				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
Indice de Tracción, Nm/g	81.6	72.7	73.0	78.3	78.0	75.6	80.7	74.5	76.5	77.4	76.8
Indice de Desgarro, miliNm ² /g	13.8	14.9	15.1	15.0	14.8						14.7
Elongación, %	2.89	2.84	2.87	2.63	2.99	2.91	2.77	2.82	2.41	2.97	2.81
Resistencia al Aire, s/100ml	2.4	2.0	1.8	2.7	2.9						2.4
Densidad, g/cm ³	689	691	691	685	688						689

Revoluciones en molino PFI, N°							4000				
Drenabilidad, °SR							16.0				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
Índice de Tracción, Nm/g	77.9	75.6	79.2	79.5	77.6	82.8	76.9	81.0	78.8	79.7	78.9
Índice de Desgarro, miliNm ² /g	13.8	14.9	15.1	15.0	14.8						14.7
Elongación, %	3.23	3.28	3.24	3.09	3.48	3.27	3.45	3.03	2.87	3.25	3.22
Resistencia al Aire, s/100ml	2.4	2.0	1.8	2.7	2.9						2.4
Densidad, g/cm ³	689	691	691	685	688						689

Revoluciones en molino PFI, N°							7000				
Drenabilidad, °SR							26.0				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
Índice de Tracción, Nm/g	87.8	89.4	83.5	81.7	93.2	85.7	91.8	80.7	93.8	82.2	87.0
Índice de Desgarro, miliNm ² /g	14.4	14.3	15.4	14.8	14.9						14.8
Elongación, %	3.61	3.86	3.70	3.83	3.79	3.25	3.86	3.35	3.55	3.74	3.65
Resistencia al Aire, s/100ml	15.1	13.8	12.6	17.1	9.5						13.6
Densidad, g/cm ³	746	659	756	760	751						732

En el rango de refinación entre 2000 y 7000 revoluciones en PFI, el índice de tracción de la pasta de primer raleo supera a la pasta de madera media en un 18 % mientras que el índice de desgarro es inferior en un 20 %.

En la Cuadro 6 se observan los resultados para tracción, desgarro y viscosidad de la pasta de primer raleo y la pasta media de alimentación a planta a 25 SR°.

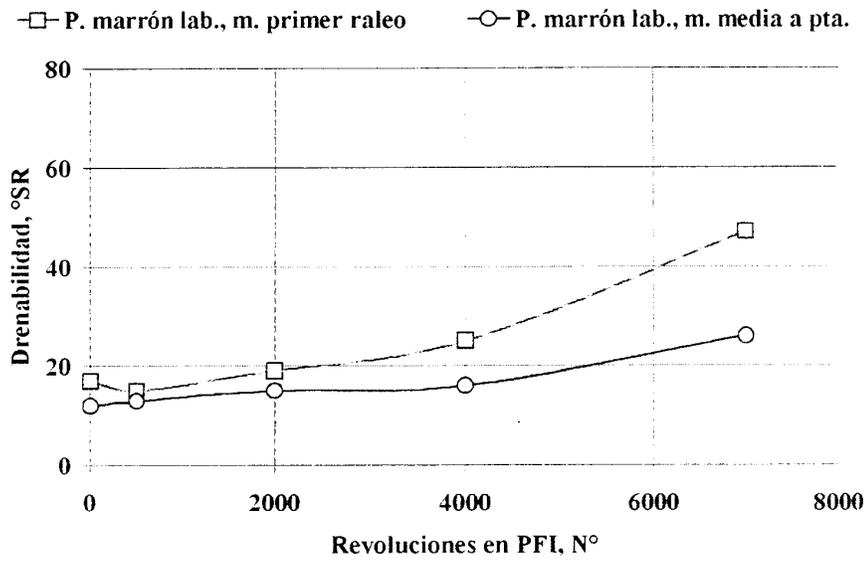
Cuadro 6: Ensayo físico-mecánico a 25 SR°.

	I Tracción Nm/g	I Desgarro mNm2/g	Viscosidad cm3/g
Pasta Lab. 1er raleo	92.9	11.2	767
Pasta med. alim. Planta	87.0	14.8	860

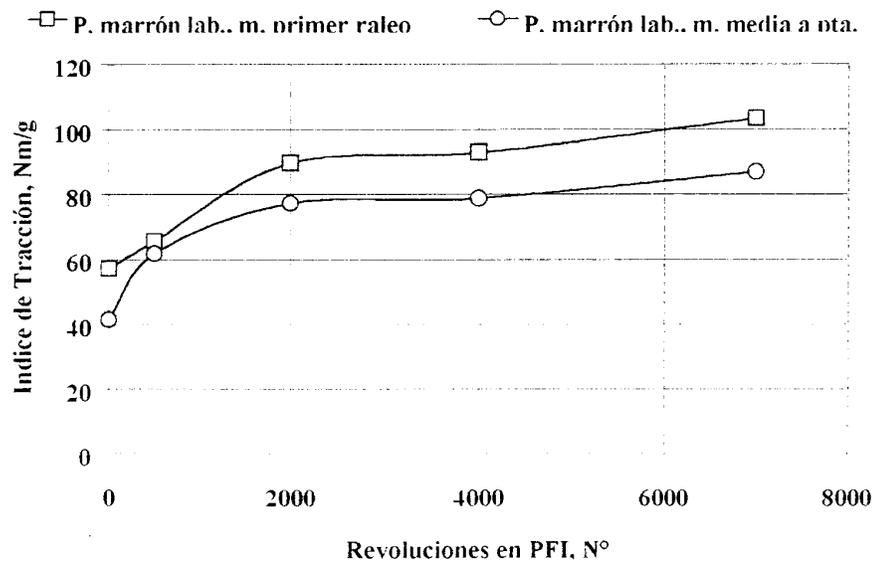
Se confirman claramente los resultados obtenidos con un mayor índice de tracción para la pasta de laboratorio de 1er raleo y un mayor desgarro y viscosidad para la pasta media de alimentación a la planta.

Las figuras que siguen muestran también estos resultados, apreciándose las variaciones de las características físico-mecánicas en función de las revoluciones del refinador PFI:

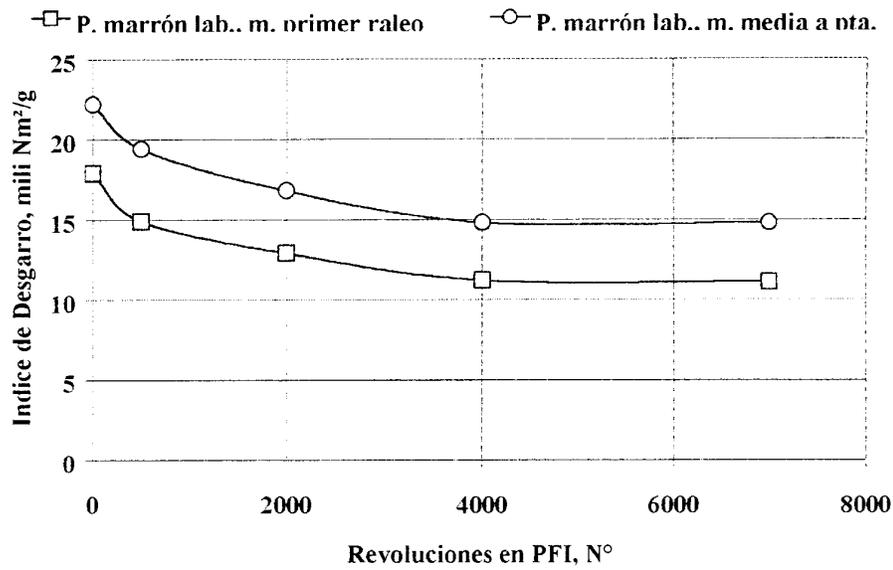
Drenabilidad y Revoluciones en PFI



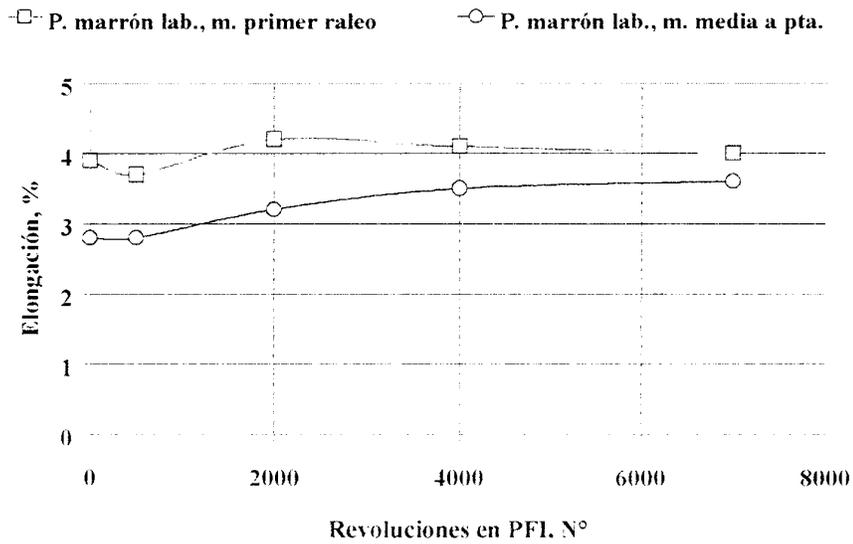
Indice de Tracción y Revoluciones en PFI



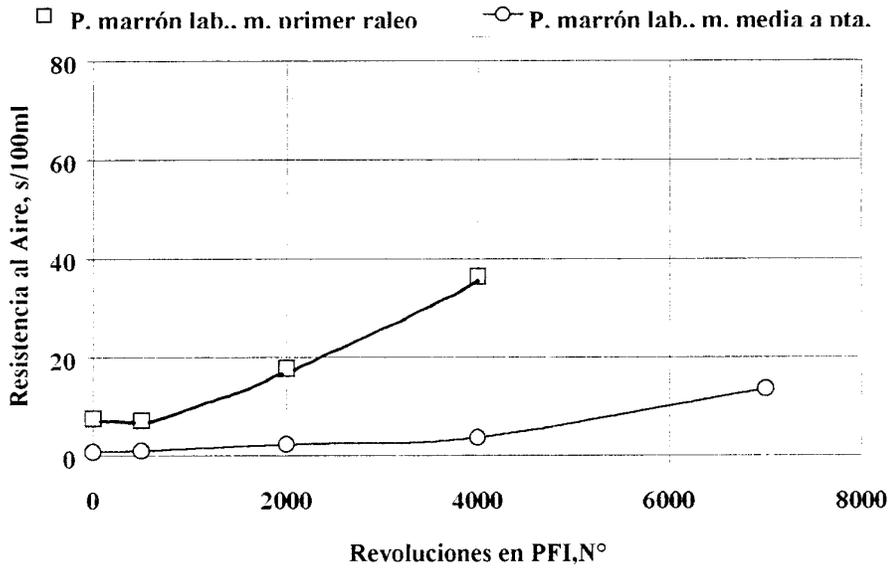
Indice de Desgarro y Revoluciones en PFI



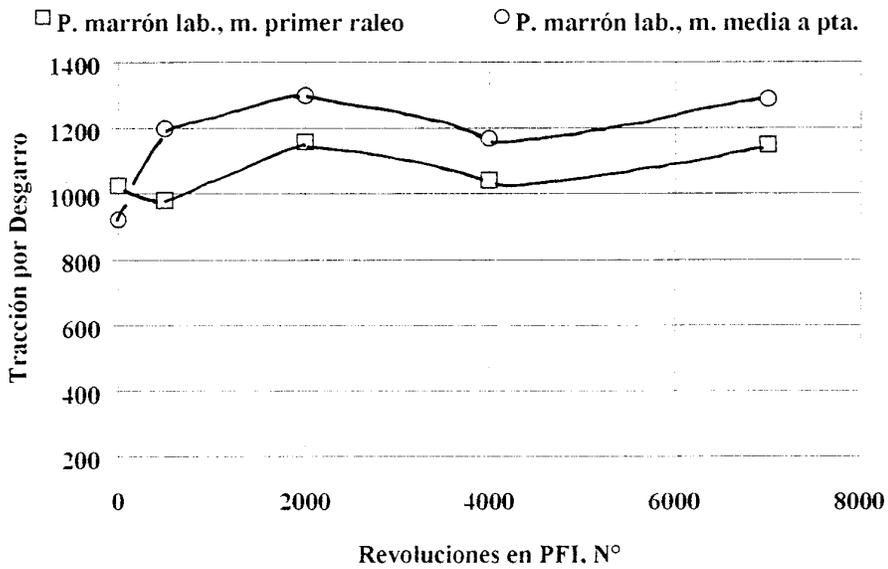
Elongación y Revoluciones en PFI



Resistencia al Aire y Revoluciones en PFI



Tracción por Desgarro y Revoluciones en PFI



Para pasta marrón, el índice de calidad tracción por desgarro también se ve reflejado el tipo de madera donde para refinaciones entre 2000 y 7000 revoluciones en molino PFI la diferencia está en el orden de 120 puntos a favor de la pasta de madera media de alimentación a planta, que equivale un 11 % mas.

En las Cuadros 7 y 8 se pueden observar los resultados de los ensayos físico-mecánicos entre 0 y 7000 revoluciones del refinador PFI de la pasta blanqueada, correspondiente a la madera media de alimentación a la planta y de la madera de 1er raleo extrapolada a pasta blanqueada.

Cuadro 7: Ensayo físico mecánico de pasta blanqueada de planta que corresponde a madera media de alimentación a planta

Revoluciones en molino PFI, N°							0				
Drenabilidad, °SR							13.1				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
Indice de Tracción, Nm/g	23.1	19.9	20.9	22.4	21.1	20.9	22.7	21.5	22.2	21.4	21.7
Indice de Desgarro, miliNm ² /g	13.0	14.2	14.0	14.0	13.8						13.8
Indice de Explosión, Kpa m ² /g	1.8	1.3	1.6	1.5	1.7						1.6
Elongación, %	1.80	1.79	1.62	1.80	1.83	1.85	1.81	1.75	1.61	1.94	1.78
Resistencia al Aire, s/100ml	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4						0.4
Densidad, g/cm ³	496	490	508	521	495						502

Revoluciones en molino PFI, N°							500				
Drenabilidad, °SR							12.9				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
Indice de Tracción, Nm/g	38.7	39.2	38.3	40.7	40.5	41.2	41.5	40.1	39.1	40.7	40.0
Indice de Desgarro, miliNm ² /g	20.7	19.8	19.0	20.7	20.3						20.1
Indice de Explosión, Kpa m ² /g	2.7	2.8	2.9	2.7	2.4						2.7
Elongación, %	2.56	2.96	2.71	2.76	2.80	3.03	2.76	2.91	2.67	2.93	2.81
Resistencia al Aire, s/100ml	0.4	0.4	0.7	0.5	0.5						0.5
Densidad, g/cm ³	584	587	596	589	606						592

Revoluciones en molino PFI, N°	2000										
Drenabilidad, °SR	14.7										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
Indice de Tracción, Nm/g	69.1	61.4	71.2	65.6	72.5	59.8	69.0	71.6	69.2	74.9	68.4
Indice de Desgarro, miliNm ² /g	17.0	18.3	16.7	16.8	17.2						17.2
Indice de Explosión, Kpa m ² /g	5.0	4.5	4.9	4.8	4.7						4.8
Elongación, %	3.61	3.62	3.32	3.31	3.67	3.48	3.30	3.39	3.79	3.49	3.50
Resistencia al Aire, s/100ml	1.8	1.0	1.2	0.6	0.9						1.1
Densidad, g/cm ³	664	660	665	678	679						669

Revoluciones en molino PFI, N°							4000				
Drenabilidad, °SR							19.6				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
Indice de Tracción, Nm/g	80.3	75.0	75.2	76.6	86.0	81.0	86.4	75.9	86.6	78.6	80.2
Indice de Desgarro, miliNm ² /g	14.4	13.8	14.7	13.9	14.7						14.3
Indice de Explosión, Kpa m ² /g	5.9	6.0	6.0	6.1	5.7						5.9
Elongación, %	3.52	3.45	3.74	3.60	3.43	3.76	3.67	3.66	3.65	3.73	3.57
Resistencia al Aire, s/100ml	3.2	3.1	3.6	4.1	2.3						3.26
Densidad, g/cm ³	704	702	716	711	708						708

Revoluciones en molino PFI, N°							7000				
Drenabilidad, °SR							37.7				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
Indice de Tracción, Nm/g	87.7	90.6	84.6	95.9	81.2	90.8	88.4	86.5	88.9	77.6	87.2
Indice de Desgarro, miliNm ² /g	12.0	13.2	12.8	12.5	12.5						12.6
Indice de Explosión, Kpa m ² /g	6.3	6.8	6.5	6.8	6.3						6.6
Elongación, %	3.18	3.86	3.52	3.45	3.39	3.39	3.37	3.68	3.31	3.25	3.44
Resistencia al Aire, s/100ml	24.8	19.2	19.7	18.8	21.6						20.8
Densidad, g/cm ³	737	733	745	738	735						738

Cuadro 8: Ensayo físico mecánico de pasta marrón de laboratorio de madera de primer raleo de *Pinus taeda*, extrapolada a pasta blanqueada de planta

Revoluciones en molino PFI, N°	0	500	2000	4000	7000
Drenabilidad, °SR	20,7	17,0	24,4	35,5	76,3
Indice de Tracción, Nm/g	41,2	54,0	90,3	95,1	110,9
Indice de Desgarro, miliNm ² /g	18,1	13,8	10,8	8,3	8,2
Elongación, %	4,2	3,8	4,6	4,5	4,3
Resistencia al Aire, s/100ml	1,8	1,7	4,2	8,6	60,2
Densidad, g/cm ³	691	717	805	830	876

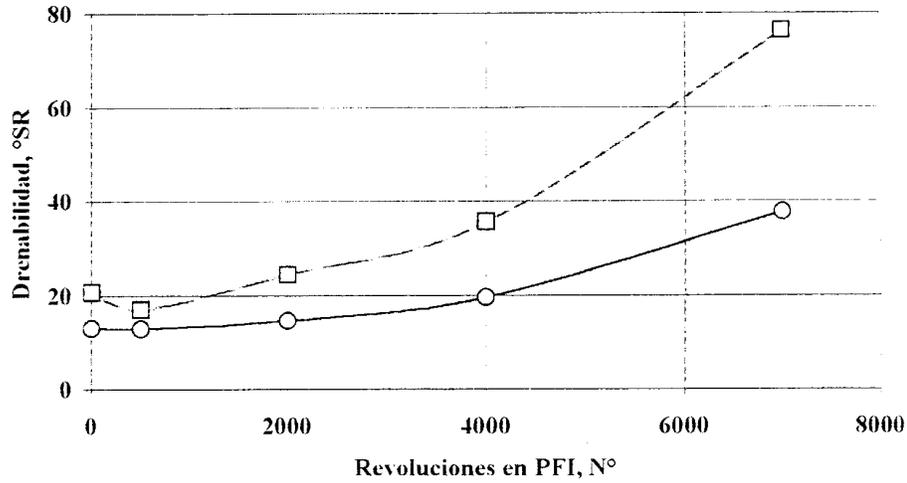
De la comparación de los valores de las propiedades físico mecánicas de la pasta marrón de primer raleo, extrapolada a pasta blanqueada, con las propiedades de la pasta blanqueada de la madera media de alimentación a planta, se tienen los mismos comentarios realizados anteriormente en la comparación de pasta marrón, aunque las diferencias son mayores. Cuadros 7 y 8.

En el índice de calidad tracción por desgarro también se ve reflejado el tipo de madera donde para refinaciones entre 2000 y 7000 revoluciones en molino PFI la diferencia está en el orden de 250 puntos a favor de la pasta de madera media de alimentación a planta, que equivale a un 22 % menos.

Las figuras que siguen de las propiedades físico-mecánicas en función de las revoluciones en el PFI para la pasta blanqueada, confirman y muestran claramente los resultados antes expresados.

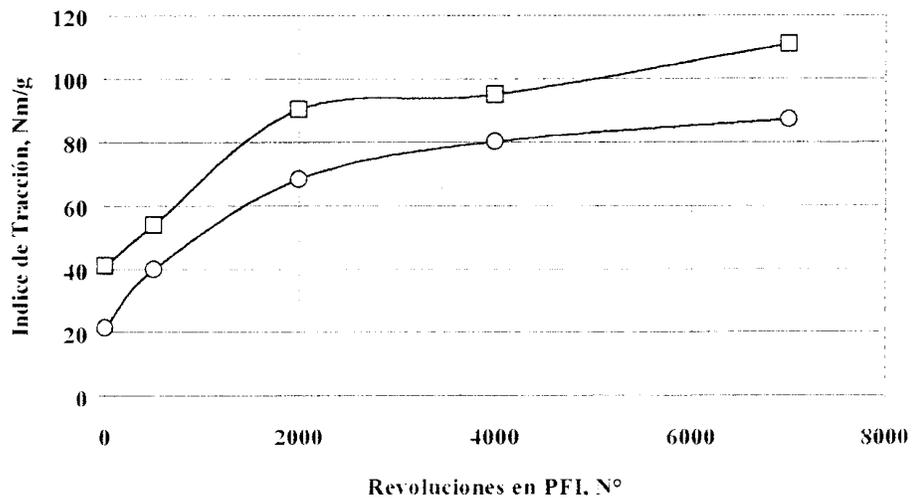
Drenabilidad y Revoluciones en PFI

- P. marrón lab., m. primer raleo, corregida a blanqueada
- P. blanqueada pta., m. media a pta.



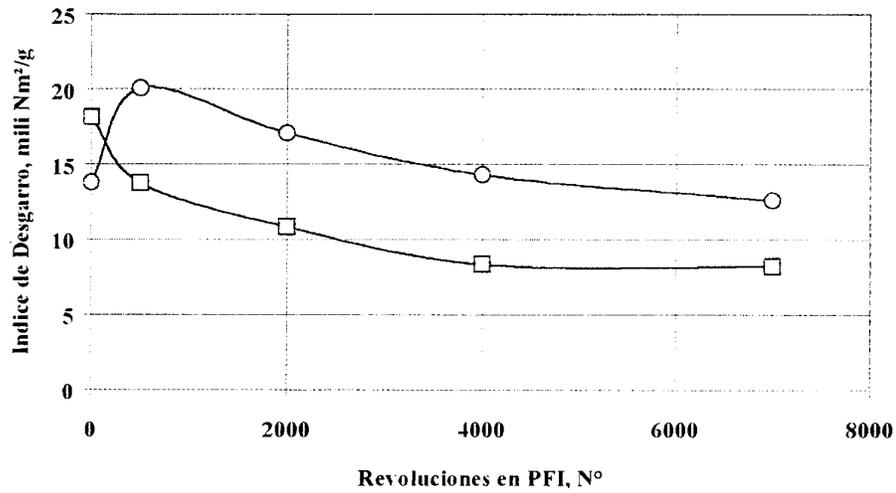
Indice de Tracción y Revoluciones en PFI

- P. marrón lab., m. primer raleo, corregida a blanqueada
- P. blanqueada pta., m. media a pta.



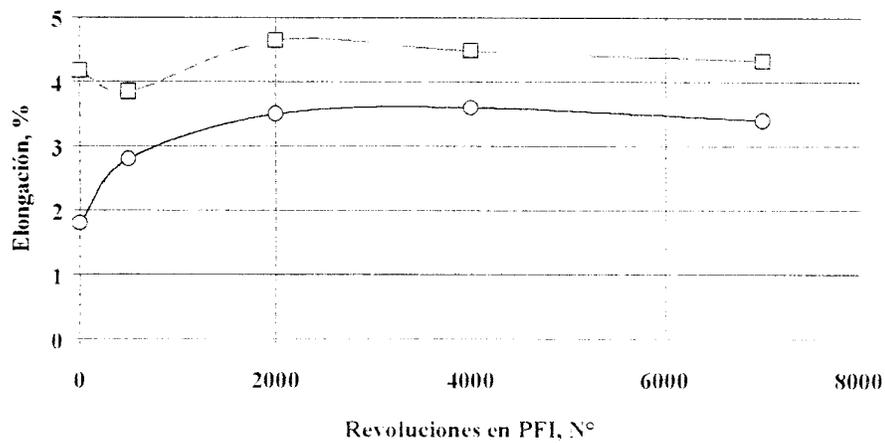
Indice de Desgarro y Revoluciones en PFI

- P. marrón lab., m. primer raleo, corregida a blanqueada
- P. blanqueada pta., m. media a pta.

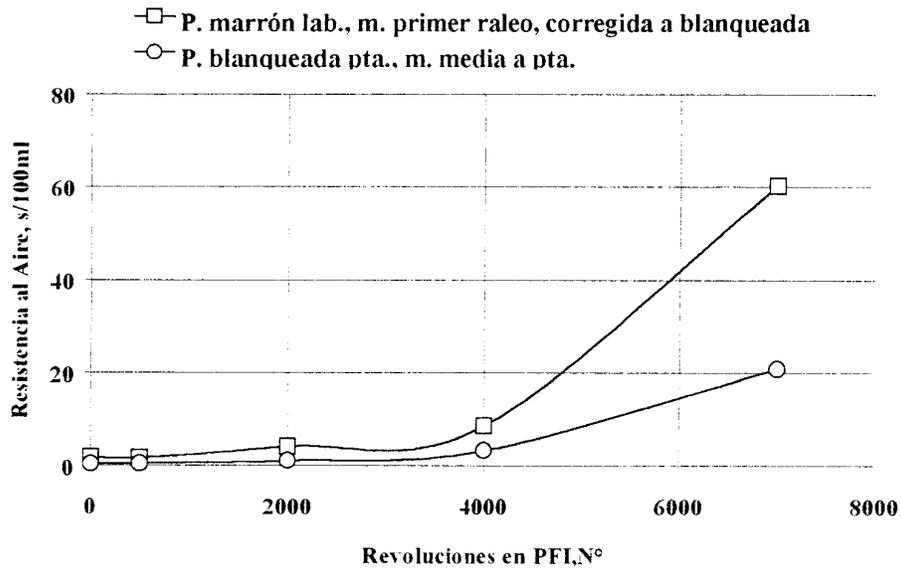


Elongación y Revoluciones en PFI

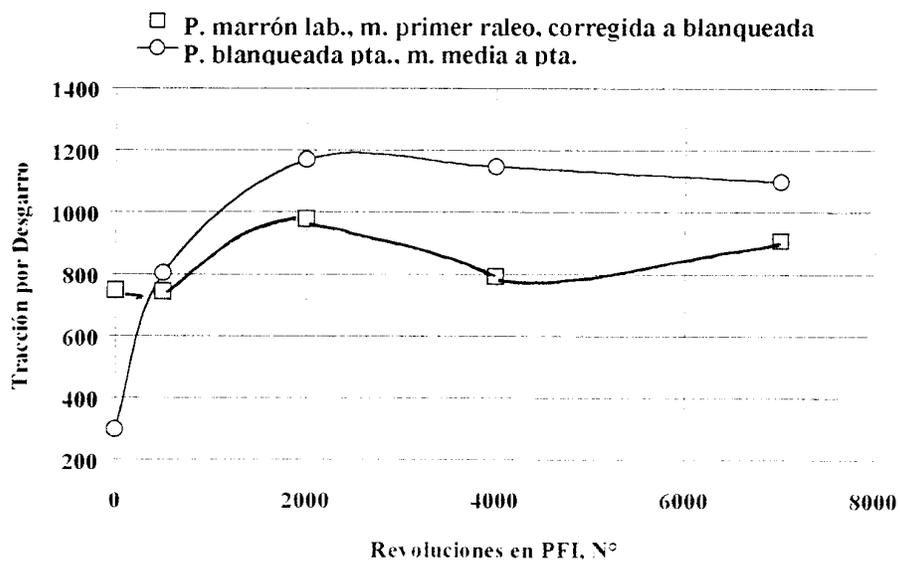
- P. marrón lab., m. primer raleo, corregida a blanqueada
- P. blanqueada pta., m. media a pta.



Resistencia al Aire y Revoluciones en PFI



Tracción por Desgarro y Revoluciones en PFI



El índice típico de calidad de pasta "tracción por desgarro" para la pasta de madera de primer raleo es menor en todos los puntos de refinado con excepción del punto sin refinado (cero revoluciones en PFI). En el rango de 2000 a 7000 revoluciones en PFI es inferior en un 22 %.

En el Cuadro 9 se muestran los resultados de la varianza unifactorial (prueba F) para las propiedades físico-mecánicas de la pasta estudiada:

Cuadro 9: Análisis de varianza unifactorial de propiedades físico mecánica de pasta marrón de laboratorio.

Factor: madera

Nivel 1: madera de *Pinus taeda* de primer raleo

Nivel 2: madera media de alimentación a planta

Propiedad físico mecánica: Índice de Tracción, Nm/g

Revoluciones en molino PFI, N°				0	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	1232.450	1	1232.450	336.827	0.0000
Dentro grupos	65.862	18	3.659		
Total	1298.312	19			

Revoluciones en molino PFI, N°				500	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	73.728	1	73.728	7.542	0.0133
Dentro grupos	175.960	18	9.7755		
Total	249.688	19			

Revoluciones en molino PFI, N°				2000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	829.472	1	829.472	87.247	0.0000
Dentro grupos	171.130	18	9.50722		
Total	1000.602	19			

Revoluciones en molino PFI, N°				4000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	978.600	1	978.600	123.932	0.0000
Dentro grupos	142.129	18	7.896		
Total	1120.730	19			

Revoluciones en molino PFI, N°				7000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	1317.060	1	1317.060	69.791	0.0000
Dentro grupos	339.680	18	18.870		
Total	1656.686	19			

Comentarios: En todos los casos se detecta que el factor madera influye significativamente sobre la variable de Propiedad físico mecánica Índice de Tracción.

Propiedad físico mecánica: Índice de Desgarro, mNm²/g

Revoluciones en molino PFI, N°				0	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	45.790	1	45.790	55.176	0.0010
Dentro grupos	6.640	8	0.830		
Total	52.430	9			

Revoluciones en molino PFI, N°				500	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	50.625	1	50.625	50.854	0.0010
Dentro grupos	7.946	8	0.995		
Total	58.571	9			

Revoluciones en molino PFI, N°				2000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	8.464	1	8.464	24.749	0.0011
Dentro grupos	2.736	8	0.342		
Total	11.200	9			

Revoluciones en molino PFI, N°				4000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	71.289	1	71.289	269.015	0.0000
Dentro grupos	2.120	8	0.265		
Total	73.409	9			

Revoluciones en molino PFI, N°				7000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	33.856	1	33.856	115.747	0.0000
Dentro grupos	2.340	8	0.290		
Total	36.196	9			

Comentarios: En todos los casos se detecta que el factor madera influye significativamente sobre la variable de Propiedad físico mecánica Índice de Desgarro.

Propiedad físico mecánica: Elongación, %

Revoluciones en molino PFI, N°				0	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	6.028	1	6.028	89.351	0.0000
Dentro grupos	1.214	18	0.067		
Total	7.243	19			

Revoluciones en molino PFI, N°				500	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	4.195	1	4.195	143.281	0.0000
Dentro grupos	0.527	18	0.029		
Total	4.722	19			

Revoluciones en molino PFI, N°				2000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	4.608	1	4.608	114.630	0.0000
Dentro grupos	0.723	18	0.040		
Total	5.331	19			

Revoluciones en molino PFI, N°				4000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	2.457	1	2.457	71.902	0.0000
Dentro grupos	0.615	18	0.034		
Total	3.072	19			

Revoluciones en molino PFI, N°				7000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	0.666	1	0.666	12.817	0.0021
Dentro grupos	0.935	18	0.519		
Total	1.601	19			

Comentarios: En todos los casos se detecta que el factor madera influye significativamente sobre la variable de Propiedad físico mecánica Elongación.

Propiedad físico mecánica: Resistencia al Aire, s/100ml

Revoluciones en molino PFI, N°				0	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	116.281	1	116.281	404.453	0.0000
Dentro grupos	2.300	8	0.287		
Total	118.581	9			

Revoluciones en molino PFI, N°				500	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	91.809	1	91.809	616.168	0.0000
Dentro grupos	1.192	8	0.149		
Total	93.001	9			

Revoluciones en molino PFI, N°				2000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	586.756	1	586.756	297.092	0.0000
Dentro grupos	15.800	8	1.975		
Total	602.556	9			

Revoluciones en molino PFI, N°				4000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	2663.424	1	2663.424	40.710	0.0002
Dentro grupos	523.392	8	65.424		
Total	3186.816	9			

Revoluciones en molino PFI, N°				7000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	145660.760	1	145660.760	204.209	0.0000
Dentro grupos	5706.350	8	713.290		
Total	151367.110	9			

Comentarios: En todos los casos se detecta que el factor madera influye significativamente sobre la variable de Propiedad físico mecánica Resistencia al Aire.

Propiedad físico mecánica: Densidad, Kg/m³

Revoluciones en molino PFI, N°				0	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	43164.900	1	43164.900	125.845	0.0000
Dentro grupos	2744.000	8	343.000		
Total	45908.900	9			

Revoluciones en molino PFI, N°				500	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	20070.400	1	20070.400	188.409	0.0000
Dentro grupos	1013.600	8	126.700		
Total	21084.000	9			

Revoluciones en molino PFI, N°				2000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	21902.400	1	21902.400	524.608	0.0000
Dentro grupos	334.000	8	41.700		
Total	22236.400	9			

Revoluciones en molino PFI, N°				4000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	17056.900	1	17056.900	628.247	0.0000
Dentro grupos	217.200	8	27.150		
Total	17274.100	9			

Revoluciones en molino PFI, N°				7000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	24403.00	1	24403.600	26.690	0.0090
Dentro grupos	7318.000	8	914.750		
Total	31721.600	9			

Comentarios: En todos los casos se detecta que el factor madera influye significativamente sobre la variable de Propiedad físico mecánica Densidad.

En dicho análisis de varianza unifactorial (prueba F) de las propiedades físico mecánicas de pasta marrón de laboratorio, se detecta que el tipo de madera (madera de primer raleo y madera media de alimentación a planta) influye significativamente en las cinco propiedades estudiadas, índice de tracción, índice de desgarrar, elongación, resistencia al aire y densidad. Cuadro 9 .

En el Cuadro 10 se presentan los resultados del análisis de diferencia de medias(prueba t):

Cuadro 10: Análisis de diferencia de medias (prueba t) de propiedades físico mecánica de pasta marrón de laboratorio.

Factor: madera

α : 0.05

Nivel 1: madera de *Pinus taeda* de primer raleo

Nivel 2: madera media de alimentación a planta

NOTA: * indica diferencia estadística significativa.

Propiedad físico mecánica: Índice de Tracción, Nm/g

Revoluciones en molino PFI, N°			0
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	10	41.47	X
1	10	57.17	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		15.70	1.798 *

Revoluciones en molino PFI, N°			500
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	10	61.84	X
1	10	65.68	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		3.84	2.940 *

Revoluciones en molino PFI, N°			2000
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	10	76.83	X
1	10	89.71	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		12.88	2.897 *

Revoluciones en molino PFI, N°			4000
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	10	78.90	X
1	10	92.89	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		13.99	2.640 *

Revoluciones en molino PFI, N°			7000
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	10	86.98	X
1	10	103.21	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		16.23	4.080 *

Propiedad físico mecánica: Índice de Desgarro, mNm²/g

Revoluciones en molino PFI, N°			0
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
1	5	17.94	X
2	5	21.22	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		-4.28	1.329 *

Revoluciones en molino PFI, N°			500
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
1	5	14.94	X
2	5	19.44	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		-4.50	1.455 *

Revoluciones en molino PFI, N°			2000
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
1	5	12.88	X
2	5	14.72	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		-1.84	0.853 *

Revoluciones en molino PFI, N°			4000
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
1	5	11.22	X
2	5	16.56	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		-5.34	0.751 *

Revoluciones en molino PFI, N°			7000
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
1	5	11.08	X
2	5	14.76	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		-3.68	0.789 *

Propiedad físico mecánica: Elongación, %

Revoluciones en molino PFI, N°			0
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	10	2.79	X
1	10	3.89	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		1.098	0.244 *

Revoluciones en molino PFI, N°			500
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	10	2.81	X
1	10	3.73	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		0.916	0.160 *

Revoluciones en molino PFI, N°			2000
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	10	3.22	X
1	10	4.18	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		0.960	0.188 *

Revoluciones en molino PFI, N°			4000
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	10	3.45	X
1	10	4.16	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		0.701	0.174 *

Revoluciones en molino PFI, N°			7000
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	10	3.65	X
1	10	4.02	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		0.365	0.214 *

Propiedad físico mecánica: Resistencia al Aire, s/100ml

Revoluciones en molino PFI, N°			0
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	5	0.82	X
1	5	7.64	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		6.82	0.78 *

Revoluciones en molino PFI, N°			500
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	5	1.14	X
1	5	7.20	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		6.06	0.56 *

Revoluciones en molino PFI, N°			2000
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	5	2.36	X
1	5	17.68	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		25.32	2.05 *

Revoluciones en molino PFI, N°			4000
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	5	3.76	X
1	5	36.40	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		32.64	11.80 *

Revoluciones en molino PFI, N°			7000
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	5	13.62	X
1	5	255.00	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		241.38	32.96 *

Propiedad físico mecánica: Densidad, g/cm³

Revoluciones en molino PFI, N°			0
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	5	571.2	X
1	5	702.6	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		131.4	27.0 *

Revoluciones en molino PFI, N°			500
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	5	631.2	X
1	5	720.8	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		89.6	16.4 *

Revoluciones en molino PFI, N°			2000
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	5	688.8	X
1	5	782.4	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		93.6	9.4 *

Revoluciones en molino PFI, N°			4000
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	5	718.4	X
1	5	801.0	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		82.6	7.6 *

Revoluciones en molino PFI, N°			7000
Nivel	N° datos	Media	Grupos homogéneos
2	5	734.4	X
1	5	833.2	X
		Diferencia	± Límites
Contraste 1 – 2		98.8	44.1 *

Estos resultados del análisis de diferencia de medias (prueba t) de las propiedades físico mecánicas de pasta marrón de laboratorio se corresponden con el de análisis de varianza unifactorial mencionado anteriormente. En todas las propiedades y para los cinco puntos de refinado en molino PFI la diferencia de medias es significativa. Cuadro 10.

El análisis de varianza de la correlación lineal de propiedades físico mecánicas entre valores de pasta marrón de laboratorio y pasta blanqueada de planta, indican que las correlaciones son significativas, con excepción de la elongación. El nivel de significancia de estas correlaciones corroboran la extrapolación de los valores de las propiedades de la pasta marrón de primer raleo a pasta blanqueada de planta industrial. Cuadro 11.

Cuadro 11: Análisis de varianza de la correlación lineal de propiedades físico mecánicas entre valores de pasta marrón de laboratorio y pasta blanqueada de planta.

Propiedad físico mecánica: Drenabilidad, °SR

r^2 : 0.9798	Estimado	Error standard	Valor t	Nivel de Probabilidad	
Intercepto	6.0362	0.9518	6.3417	0.0079	
Pendiente	0.5287	0.0438	12.0679	0.0012	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	122.673	1	122.673	145.63	0.0012
Dentro grupos	2.527	3	0.842		
Total	125.200	4			

Propiedad físico mecánica: Índice de Tracción, Nm/g

r^2 : 0.9570	Estimado	Error standard	Valor T	Nivel de Probabilidad	
Intercepto	31.390	5.003	6.314	0.0080	
Pendiente	0.633	0.077	8.169	0.0038	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	1242.675	1	1242.675	66.73	0.0038
Dentro grupos	55.865	3	18.622		
Total	1298.540	4			

Propiedad físico mecánica: Índice de Desgarro, miliNm/g

r^2 : 0.9423	Estimado	Error standard	Valor t	Nivel de Probabilidad	
Intercepto	6.137	1.832	3.349	0.0787	
Pendiente	0.643	0.112	5.717	0.0292	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	16165.691	1	16165.691	27.80	0.0133
Dentro grupos	1744.309	2	58.436		
Total	17910.000	3			

Propiedad físico mecánica: Densidad Aparente, Kg/m³

r^2 : 0.9026	Estimado	Error standard	Valor t	Nivel de Probabilidad	
Intercepto	216.815	11.720	18.500	0.0003	
Pendiente	0.703	0.018	38.836	0.0000	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	16165.691	1	16165.691	27.80	0.0133
Dentro grupos	1744.309	3	58.436		
Total	17910.000	4			

Propiedad físico mecánica: Elongación, %

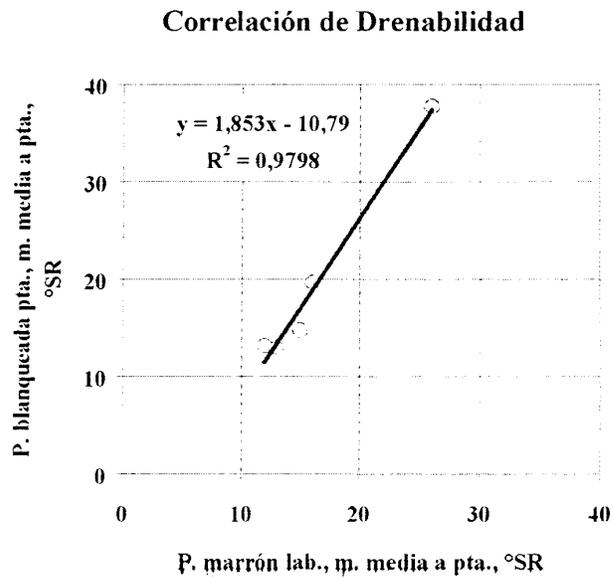
r^2 : 0.6372	Estimado	Error standard	Valor t	Nivel de Probabilidad	
Intercepto	1.968	0.540	3.639	0.0357	
Pendiente	0.401	0.175	2.295	0.1054	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	0.361	1	0.361	5.268	0.1000
Dentro grupos	0.206	3	0.068		
Total	0.568	4			

Propiedad físico mecánica: Resistencia al Aire, s/100 ml

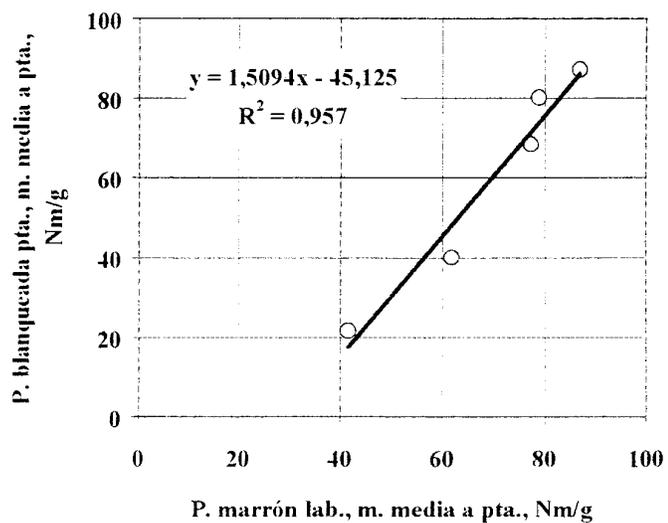
r^2 : 0.9937	Estimado	Error standard	Valor t	Nivel de Probabilidad	
Intercepto	0.046	0.295	0.158	0.8844	
Pendiente	4.209	0.194	21.689	0.0002	
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Nivel de significancia
Entre grupos	112.117	1	112.117	470.433	0.0002
Dentro grupos	0.715	3	0.238		
Total	112.832	4			

Comentarios: A excepción de la Propiedad físico mecánica Elongación, se detectan correlaciones lineales significativas en los demás parámetros evaluados.

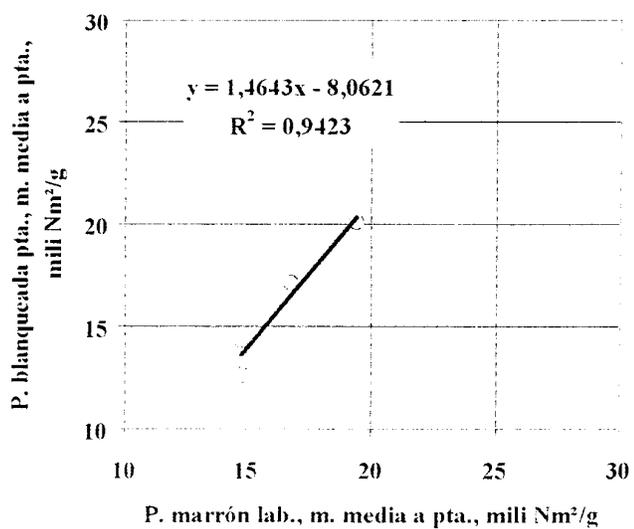
En las siguientes figuras se muestran las correlaciones para las propiedades estudiadas:



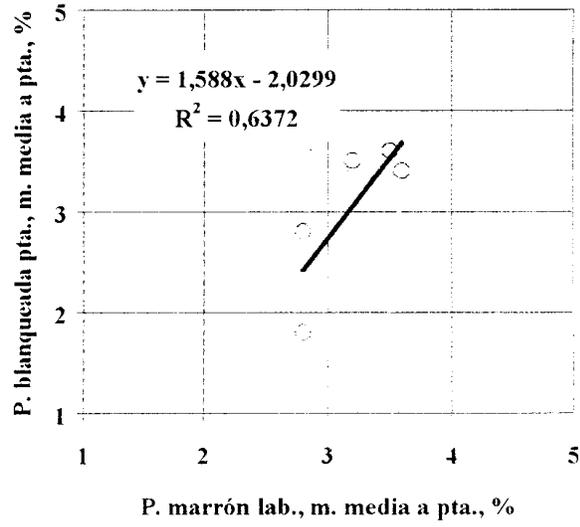
Correlación de Índice de Tracción



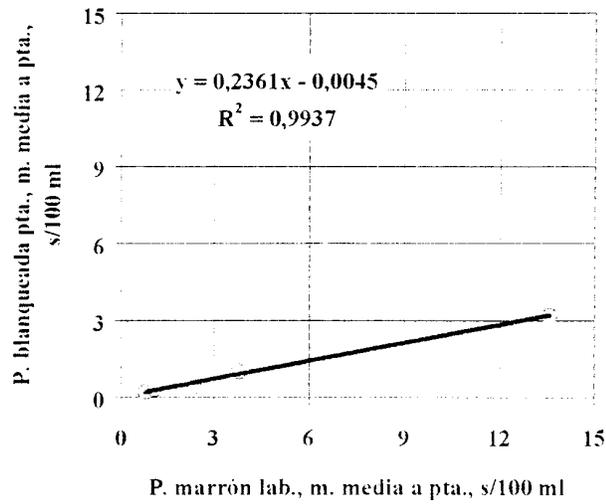
Correlación de Índice de Desgarro



Correlación de Elongación



Correlación de Resistencia al Aire



5.- CONCLUSIONES

- De la comparación de la madera de primer raleo con la madera media de alimentación a planta se destaca que la primera presenta menor densidad básica, mayor contenido de humedad, menor rendimiento en pasta y menor índice de calidad tracción por desgarro.
- De este análisis se deduce que con madera de primer raleo el consumo de madera se incrementa en el orden de un 6 % (considerando solo el menor rendimiento) y que la calidad de la pasta blanqueada cuantificada en el índice tracción por desgarro, decrece aproximadamente en un 22 % y en pasta marrón un 11 % .
- Esto significa que una celulosa producida solamente con madera juvenil de raleo de bosques va a tener una pérdida muy importante en las propiedades físico mecánicas además de un aumento del costo de producción de la celulosa por el mayor consumo de madera pulperable por tonelada de celulosa producida.
- El mercado de la celulosa tiene ciertos estándares mínimos de propiedades físico mecánicas para las distintas fibras largas, ya sean de Canadá, USA, Escandinavia, Chile o Argentina. Esto significa que se debería pensar en industrializar toda esta nueva oferta de madera de pino pulperable que se va a dar con mezclas de madera adulta para poder obtener las características deseadas en una fábrica de celulosa de fibra larga. Por supuesto que esto será un tema importante a desarrollar, encontrando las proporciones óptimas, además de hacer una proyección de la oferta de madera de las plantaciones de pino de nuestro país.
- El análisis de varianza unifactorial (prueba F) detecta que el tipo de madera influye significativamente en las cinco propiedades estudiadas. Respecto al análisis de diferencia de medias (prueba t) existe correspondencia con el análisis unifactorial y en todas las propiedades para los cinco puntos de refinado, la diferencia de medias es significativa. La correlación lineal de las propiedades entre pasta marrón y pasta blanqueada son significativas y el nivel corroboró la extrapolación realizada.
- Otro uso industrial para la madera pulperable de pino es en una fábrica de tableros ya sea MDF (Medium Density Fibreboard) o OSB (Oriented Strand Board). análisis que escapa al objetivo de este estudio.

6.- RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo predecir la calidad de la pasta totalmente blanqueada cuando se procesa madera de primer raleo en una planta industrial con proceso kraft y blanqueo D_0 E_{OP} D_1 E_P D_2 .

Para esto se evalúa la drenabilidad a diferentes grados de refinado y las propiedades de desgarro, índice de tracción, explosión, resistencia al aire y elongación de la pasta marrón de madera de primer raleo obtenida en cocciones de laboratorio emulando las condiciones de una planta industrial y se extrapola estos valores a los de una pasta blanqueada industrial.

La extrapolación se realiza haciendo uso de la correlación de las propiedades físico mecánicas de la pasta marrón obtenida en laboratorio con la madera media de alimentación a planta y la pasta blanqueada obtenida en la planta industrial con esa misma madera.

De la comparación de la madera de primer raleo con la madera media de alimentación a planta se destaca que la primera presenta menor densidad básica, mayor contenido de humedad, menor rendimiento en pasta y menor índice de calidad tracción por desgarro.

Para pasta marrón, el índice de calidad tracción por desgarro también se ve reflejado el tipo de madera donde para refinaciones entre 2000 y 7000 revoluciones en molino PFI la diferencia está en el orden de 120 puntos a favor de la pasta de madera media de alimentación a planta, que equivale a un 11 % más.

Para pasta blanqueada el índice de calidad de pasta "tracción por desgarro" para la pasta de madera de primer raleo es menor en todos los puntos de refinado con excepción del punto sin refinado (cero revoluciones en PFI). En el rango de 2000 a 7000 revoluciones en PFI es inferior en un 22 %.

Adicionalmente, se deduce que con madera de primer raleo el consumo de madera se incrementa en el orden de un 6 % (considerando solo el menor rendimiento).

7.- SUMMARY

The objective of this work was to predict the quality of Bleached Kraft pulp obtained from thinings of Taeda Pine Forests and compare it to a pulp produced from the normal pulpmill chip intake. The pulp mill has a kraft process with a sequence Do Eop D1 Ep D2.

The experiment consisted of

- 1 . Obtaining unbleached kraft pulp from chips produced from the Taeda thinings(young trees) in a Laboratory kraft process.
- 2.- Obtaining unbleached kraft pulp from normal mill chips in the same lab process.
- 3.- Obtaining the normal production bleached pulp
- 4.- Measure pulp properties - Drainability, Tensile strength, Tear strength, Burst and air resistance of both unbleached kraft pulp obtained from the Lab.
- 5.- By means of correlation obtain the properties that could be obtained at the pulp mill if it processed 100 % chips obtained from the young trees.

From the results we can conclude that the kraft pulp produced from thinings uses more pulpwood / ton of pulp and that the overall quality measurement Tear x Tensile is

For Unbleached kraft pulp – 11 % lower for pulp produced form thinings
For Bleached Kraft pulp – 22 % lower for pulp produced from thinings

The increase in pulpwood use per ton of pulp when using chips from thinings is equivalent to 6 %.

BIBLIOGRAFIA

SVEDMAN, M; TIKKA, P and LUHTANEN, M 1998 Effects of softwood morphology and chip thickness on pulping with a displacement kraft batch process - Tappi Journal 81(7)98.

SMOOK, G. 1990. Manual para técnicos de pulpa y papel. Tappi. Georgia, Editorial Atlanta. 396 p.

REPETTI, R 1992 Introducción a la tecnología de fabricación de pastas celulósicas. Buenos Aires, ATIPCA. 258 p

MUNER, T 1983 Influencia de desbaste na qualidade da madeira de Pinus taeda L. Para produção de celulose Kraft. III Congreso Latinoamericano de Celulose e Papel. 21-26 Novembro Sao Paulo Brasil . pp 93-112.

SORIA, L; INTHAMOUSSU, M; RUIZ, R. 1989 Optimización del procedimiento Kraft-Antraquinona con Pinus elliottii. V Congreso Latinoamericano de Celulosa y Papel. 27 setiembre . Santiago de Chile. pp 57-70.

RODRIGUEZ, S; TORREZ, M 1989 Obtención de Pulpa Kraft a partir de Pinus patula crecidos en Chile. V Congreso Latinoamericano de Celulosa y Papel. 27 de setiembre Santiago de Chile. Pp 173-185

BARRICHELO, L. 1979. "Estudo das características físicas, anatómicas e químicas de madeira de pinus caribaea var. hondurensis para produção de celulose kraft."

BARRICHELO, L. e FOELKEL, C 1982. "Processo nítrico acético para maceração de madeira." Sao Paulo 8 (28): 732-742.

BARRICHELO, L. e BRITO, J. "A madeira de pinus taeda como matéria prima para celulose kraft. Influência sobre teores de lenhos. Congresso Florestal Brasileiro, Manaus (3):1-18

BARRICHELO, L.; BRITO, J e MIGLIORINI, A. 1982. "Estudo da variação longitudinal da densidade básica de euclyptus spp. Silvicultura. S. Paulo (8) 28:726-731

BROWN, H. PANSHIN, A FORSAITH. C 1952. "Textbook of Wood Technology. N. York. Mc Graw Hill v.2.

CASEY, J.P. 1960. "Pulp and paper chemistry and chemical technology. New York. Interscience publishers. v. II.

COWN, D. 1974. "Comparison of the effects of two thinings regimes on some wood properties. New Zealand, Journal of Forestry Science, Rotowa, 4 (13):540-51.

FERRAZ, E. 1976. Determinacao da densidade de madeira por atenuacao de radiacao gama de baixa energia. IEF, Piracicaba, (12): 61-8.

FOELKEL, C.E.B. 1977 "A penetracao dos licores de cozimento no interior da madeira." Ipatinga CENIBRA

FOELKEL, C. et al, 1976. "Celulose kraft de madeira juvenil e adulta de pinus elliottii." IPEF, Piracicaba, (12): 127-42

FOELKEL, C. BARRICHELO, L. 1975. Tecnologia de Celulose e papel. Piracicaba, USP-ESALQ-CALQ, 207 p.

GALVAO, A. 1967. Dendrometria e inventario floretal. Piracicaba, ESALQ. 100p.

KRAMER, P., KOLZLOWSKI, T 1972. Fisiologia das arvores. Lisboa, Calouste Gulbenkian. 745 p.

KROMOUT, C., 1968. Th influence of stand density on certain anatomical wood properties of pinus pinaster in two C.C.T. stands. Apud: Forestry Abstracts, Oxford, 31:163. 1970

KOCH, 1972. Utilization of the southern puines. Washington, Us. Department of Agriculture Forest Service.

LOBZANidze, 1968. Change in the cambial activity and wood structure of oak in relation to thinnings. Apud Forestry Abstracts, Oxford, 31:382.

MEIER, H., 1964. General chemistry of cell walls and distribution of the chemicals constituents across the walls. In: ZIMERMANN, MH. The formation of wood in forest trees, N.York, Academic Press, p. 137-152.

MELLO, H. 1974 Silvicultura Geral e Dendrologia. Piracicaba, USP-ESALQ-CALQ. 207 p.

PANSHIN, AJ DE ZEEW, C 1970. Textbook of wood. Technology 3 ed. N.York, Mc Graw Hill. 705 p.

PARKER, H; WARREN, K 1976. Effects of thinnings and fertilization on intraring characteristics and kraft pulp yield of Douglas fir. Apud. Forestry Abstracts, Oxford, 39:62. 1978.

POLGE, H, 1978. Fifteen years of wood radiation densiometry. Wood Science Technology, Berlin, 12:187-96.

SAVINA, A. e YAKIMOV, I. 1976. Effect of tending feelings on the growth and development of pine. Apud: Forestry Abstracts. Oxford, 38: 231, 1977.

HA VAN DER, S 1976. Resin infiltrated heart shakes in pinus elliottii grown in Trnsvaal. Apud: Forestry Abstracts, oxford, 38:166, 1977

SJOBLOM, K. HARTLER N, MLOBERG J. y SJODIN, I 1983 "A new technique for pulping to low kappa numbers in batch pulping: results in mills trials", Tappi Journal. 66(9), 97-102 .

SJOBLOM, K., MJOBERG, J y HARTLER, N 1983 "Extended delignification in kraft cooking through improved selectivity", Paperi ja Puu, 65 (4), 227-240 .

JOHANSSON, H. MJOBERG, B. SANDSTROM, H. y TEDER, A. "Modified continuous kraft pulping – now a reality", Svensk Papperstid, 87 (10), 30-35 (1984).

DILLNER , B 1987. "Modified continuous cooking", "Low Chlorine Bleaching Seminar, mimeógrafo, Atlanta, 6.

DILLNER, B. 1987 "Bleaching properties of kraft pulps from modified continuous cooking", Kamyr. Karlstad, Suecia, mimeógrafo, 6.

HOLTON, H. 1977 Canadian Industries LTD. Delignificación of Lingnocelulosic material with an alkaline liquor in the presence of a cicle keto comtound, U.S. Pat 4 0,12, 2,80.

HOLTON, H.; CHAPMAN, F. 1977 Kraft Pulping with Antraquinona TAPPI 60-11.

POTTI CUERVO, J. 1981 Mecanismo de acción de la Antraquinona en cocciones alcalinas a la sosa y Kraft. Numeración decimal 676423 111.2 España.

INGRUBER, O.; STRADAL, N. HISTED, J. 1982 Alkaline sulphite Antraquinone pulping of eastern Canadian woods. Pulp and Paper 83 12 79-38.

RYDHOLM, S 1967 Pulping Processes. Interscience Publishers. N York 1269 p.