

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DEL RECICLADO DE DOS PASTAS KRAFT DE PINO Y  
EUCALYPTO**

**por**

**Agustín BRITO ISLAS  
Casandra FERRAZZINI de FRUTOS  
Yonatan SIRI DURÁN**

**TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo.**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2013**

Tesis aprobada por:

Director:

---

Dr.Ing.Agr. Luis Soria

---

Ing.Agr. Sebastián Quagliotti

---

Dr. Ing.Agr. Gustavo Daniluk

Fecha:

5 de julio de 2013

Autores:

---

Agustín Brito Islas

---

Cassandra Ferrazzini de Frutos

---

Yonatan Siri Durán

## AGRADECIMIENTOS

- Al Dr. Ing. Agr. Luís Soria, director de nuestra tesis por el asesoramiento brindado a lo largo de la realización del presente trabajo.
- Al Ing. Agr. Sebastián Quagliotti co director del presente trabajo por la ayuda brindada día a día.
- Al LABORATORIO TECNOLOGICO DEL URUGUAY (LATU), por habernos cedido sus instalaciones y suministrarnos los materiales necesarios.
- Al personal del sector de productos forestales quien nos acompañó durante todo el proceso.
- A la empresa PAMER. S.A. por suministrarnos la materia prima fundamental para la realización del presente informe así como la información brindada.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
2.1 HISTORIA DE LA CELULOSA Y PAPEL .....	3
2.2 GENERALIDADES DEL RECICLADO .....	4
2.2.1 <u>Coyuntura</u> .....	4
2.2.2 <u>Etapas del proceso reciclado</u> .....	6
2.2.2.1 Recolección y clasificado .....	7
2.2.2.2 Pulpeado .....	9
2.2.2.3 Destintado y separación de impurezas .....	9
2.2.2.4 Refinación .....	11
2.2.3 <u>Sustentabilidad</u> .....	14
2.3 ANTECEDENTES.....	16
2.3.1 <u>Características anatómicas de coníferas</u> .....	16
2.3.2 <u>Características anatómicas de latifoliadas</u> .....	17
2.3.3 <u>Características del papel reciclado</u> .....	18
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	22
3.2 SECUENCIA DE TRABAJO .....	23
3.3 CONSISTENCIA.....	24
3.3.1 <u>Contenido de humedad de las planchas de celulosa</u> .....	24
3.3.2 <u>Consistencia de mezclas</u> .....	24
3.3.2.1 Embudo Büchner.....	24

3.5 REFINACIÓN .....	26
3.6 DRENABILIDAD .....	28
3.7 CLASIFICADOR DE FIBRAS .....	30
3.8 FABRICACIÓN DE HOJAS MANUALES.....	32
3.8.1 <u>Formación de las hojas</u> .....	32
3.8.2 <u>Prensado</u> .....	35
3.8.3 <u>Secado</u> .....	36
3.9 ACONDICIONAMIENTO DE LAS HOJAS.....	37
3.10 CORTADO DE PROBETAS .....	37
3.11 PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS.....	38
3.11.1 <u>Gramaje</u> .....	38
3.11.2 <u>Espesor</u> .....	39
3.11.3 <u>Resistencia a la tracción</u> .....	40
3.11.4 <u>Resistencia al desgarro</u> .....	42
3.11.5 <u>Resistencia al reventamiento – Mullen</u> .....	43
3.12 CONTENIDO DE HUMEDAD .....	45
3.12.1 <u>Equipos</u> .....	45
3.12.2 <u>Determinación de humedad del papel por secado en estufa</u> .....	46
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	48
4.1 REFINACIÓN .....	48
4.2 CLASIFICACIÓN DE FIBRAS .....	50
4.2.1 <u>Eucalyptus</u> .....	51
4.2.2 <u>Pino</u> .....	52
4.3 PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS.....	53
4.3.1 <u>Índice de tracción</u> .....	53
4.3.2 <u>Índice de desgarro</u> .....	54
4.3.3 <u>Índice de reventamiento</u> .....	56
4.3.4 <u>Densidad y volumen específico</u> .....	57

4.4 MEZCLAS.....	58
4.4.1 <u>Drenabilidad de las mezclas</u> .....	61
4.4.1.1 Mezclas de Eucalyptus.....	61
4.4.2 <u>Propiedades físico mecánicas Eucalyptus</u> .....	64
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	77
6. <u>RESUMEN</u> .....	79
7. <u>SUMMARY</u> .....	80
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	81
9. <u>ANEXOS</u> .....	86

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Variables que afectan el refinado.....	12
2. Principales tipos de papel que incluyen fibras recuperadas.....	12
3. Respuesta de la densidad a diferentes grados de refino .....	19
4. Propiedades físico mecánicas para diferentes especies de Eucalyptus	19
5. Propiedades físico mecánicas para diferentes especies de Eucalyptus	19
6. Propiedades físico químicas de la pulpa de Pino.....	21
7. Tamaño de los tamices .....	31
8. Drenabilidad en función de revoluciones para Eucalyptus.....	48
9. Drenabilidad en función de revoluciones para Pino .....	49
10. Datos población base punto óptimo (4000 r) Eucalyptus .....	58
11. Mezclas realizadas con pulpa de Eucalyptus.....	59
12. Datos población base punto óptimo (8000 r) Pino .....	59
13. Mezclas realizadas con pulpa de Pino .....	60
14. Drenabilidad de las mezclas y punto óptimo en pulpa de Eucalyptus....	61
15. Drenabilidad de las mezclas y punto óptimo para Pino.....	62
16. Propiedades físico mecánicas para las mezclas de Eucalyptus .....	64
17. Propiedades físico mecánicas para las mezclas de Pino.....	72
Gráfico No.	
1. Demanda mundial de pulpas desde 1980 hasta 2020 .....	5
2. Tasas de reciclado en distintas regiones del mundo.....	6
3. Índice de desgarró y reventamiento según del índice de tracción.....	20
4. Drenabilidad (°SR) en función del No. de revoluciones .....	49
5. Clasificación de fibra de Eucalyptus según grado de refinación .....	51
6. Clasificación de fibras de Pino según grado de refinación .....	52
7. Índice de tracción para Pino y Eucalyptus según grado de refino .....	53
8. Índice de desgarró para Pino y Eucalyptus según grado de refino .....	55
9. Índice de reventamiento para Pino y Eucalyptus según grado de refino	56
10. Volumen específico según drenabilidad en °SR.....	57
11. Índice de tracción para mezclas Eucalyptus- Fibra virgen .....	65

12. Índice de tracción para mezclas Eucalyptus- 4000 r .....	66
13. Índices de desgarro mezcla Eucalyptus – Pulpa virgen .....	67
14. Índice de desgarro mezcla Eucalyptus – 4000 r.....	68
15. Índice de reventamiento mezcla Eucalyptus – Pulpa virgen .....	70
16. Índice de desgarro mezcla Eucalyptus – 4000 r.....	71
17. Evaluación comparativa de índices de Tracción (Pino).....	73
18. Evaluación comparativa del índice de Desgarro (Pino).....	74
19. Evaluación comparativa de índices de reventamiento (Pino).....	75

#### Ilustración No.

1. Lavado (izq); Tamizado (der) .....	10
2. Depuración (izq) y Flotación (der) .....	11
3. Aspecto tridimensional de la madera de coníferas.....	17
4. Aspecto tridimensional de la madera de Latifoliadas .....	18
5. Micrografías de fibras de celulosa de Eucalyptus blanqueadas.....	19
6. Secuencia analítica de trabajo .....	23
7. Bücnher.....	24
8. Pulper.....	25
9. Refinador PFI.....	27
10. Fotos ilustrativas del proceso de refinado .....	28
11. Canadian Freeness Test.....	29
12. Clasificador de fibras Bauer Mc Nett.....	32
13. Standard Sheet Machine (formador de hojas manuales) .....	33
14. Pasos para la formación de hojas manuales.....	35
15. Prensa manual.....	36
16. Prensado de hojas manuales.....	36
17. Secado de hojas .....	37
18. Acondicionamiento de hojas en la cámara.....	37
19. Diagrama de cortado de probetas.....	38
20. Preparado de probetas para medición de gramaje .....	39
21. Micrómetro Messmer.....	40
22. Dinamómetro.....	41
23. Aparato de resistencia al desgarro.....	43
24. Aparato de resistencia al reventamiento .....	44
25. Esquema del ensayo de estallido.....	45
26. Desecador y balanza de alta precisión .....	46



## 1. INTRODUCCIÓN

El creciente interés por la protección del medio ambiente y fundamentalmente la relevancia de la conservación de los recursos renovables en el conocimiento actual, ha contribuido a introducir cada vez con más fuerza, la utilización o el uso de fibra reciclada en la manufactura del papel.

Las fuertes políticas implantadas en la Unión Europea y Estados Unidos, han puesto en valor el rol de la industria papelera en cuanto a que es capaz de ahorrar recursos renovables generando productos reciclables.

Esta consideración, hace de la industria papelera uno de los sectores mejor posicionados en el camino del desarrollo sostenible. Partiendo de una materia prima natural y renovable, fabrica productos reciclables mediante procesos de producción cada vez más sofisticados, en continuo avance y empleando tecnologías cada vez más limpias.

El desarrollo de dichos procesos de producción exitosos y sostenibles en el tiempo, conlleva una generación continua de conocimiento, de forma de poder acompañar la tendencia mundial de promoción del uso del papel reciclado. En este exigente marco internacional, Uruguay se inserta como joven productor, con la necesidad de transitar en la búsqueda del conocimiento de su propia realidad.

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo general del presente trabajo, consiste en evaluar y analizar la resistencia al reciclado de dos *pastas kraft*, fibra larga y fibra corta, mediante curvas de refinación, y ensayos físico mecánicos.

Los objetivos específicos incluyen:

- Realizar la curva de refinación para ambas especies.
- Evaluar y comparar las características físicas y mecánicas a través del índice de desgarro, índice de reventamiento e índice de tracción, para cada especie según el nivel de refinación.

- Elección del punto óptimo de refinación para ambos tipos de fibras según el comportamiento de las propiedades estudiadas.
- Evaluar el comportamiento físico mecánico de la “pulpa mezcla”, que surge del agregado de diferentes porcentajes de fibra virgen (Pulpa sin refinar) a la fibra altamente refinada (Pino: 12000 revoluciones (r) y Euclayptus: 6500 y 9000 r), simulando así, materiales que han sufrido varios ciclos de reciclado.
- Evaluar el comportamiento físico mecánico de la “pulpa mezcla”, que surge del agregado de diferentes porcentajes de fibra refinada al punto óptimo predefinido a pulpa altamente refinada.
- Comparar el comportamiento entre especies con respecto a las propiedades estudiadas.
- Evaluar la variación del largo de las fibras según el grado de refinación a partir de la clasificación realizada con el Bauer Mc net.

Los objetivos planteados se alcanzan mediante la realización de ensayos en el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (Departamento de Proyectos Forestales) y con el apoyo del Departamento Forestal de la Facultad de Agronomía.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 HISTORIA DE LA CELULOSA Y PAPEL

La fabricación de la celulosa y papel es una de las producciones más antiguas y más grande del mundo, debido a los múltiples usos y acumulación de valores a lo largo de la historia de la humanidad.

Desde el antiguo Egipto hasta el último cuarto de siglo XIX el conocimiento sobre papel es empírico, pero se lo obtiene, se lo utiliza y bajo distintas formas supo estar presente en la historia de la civilización.

El papiro fue el precursor del papel y se le atribuye a los egipcios su utilización 2400 AC. Se extraía las fibras gruesas dejándolas entrecruzadas sobre una superficie dura y lisa; comprimiéndolas hasta formar una hoja.

Por otra parte, existen registros sobre la existencia del papel que se atribuyen a China en el año 105 D.C., realizándose a partir del Bambú. Esta producción manual fue creciendo sucesivamente hasta expandirse por toda Europa hacia el 1500.

Dicho papel presentaba excelentes propiedades debido a que las fibras se orientaban en todas direcciones siendo el inconveniente principal el tamaño limitado de las mismas.

En 1750 se inventa la pila holandesa utilizada para la refinación. Años después, en 1798, surge el primer intento de máquina papelera por Louis Robert en Francia, produciéndose en longitudes de 12 a 15 metros. En 1804 se crea la máquina de papel Fourdrinier.

En 1884 se crea el procedimiento que permite obtener pasta al sulfato o pasta Kraft. Se trata de un proceso químico por el cual se disuelve la lignina y gran proporción de la hemicelulosa dejando la mayor parte de la celulosa en su forma intacta en las fibras.

Por su parte, el reciclado de productos papeleros es un hecho posterior que se vió impulsado en la segunda mitad del siglo XX. En los años '50, la utilización de productos papeleros reciclados como fuentes de fibras era una

actividad prácticamente desconocida. A partir de los años '60 se empieza a utilizar materiales celulósicos recuperados, sobretodo en pequeñas plantas.

En 1970 se promueve la utilización de papel recuperado para papeles gráficos y tissue que requieren un proceso de destintado.

Rápidamente crece su uso, hasta alcanzar valores superiores al 35% en la composición media de los papeles producidos mundialmente, los cuales están además compuestos por fibras vírgenes y aditivos no fibrosos.

En el último cuarto del siglo XX prosigue esta expansión, incentivada por razones socioeconómicas y medioambientales.

El siglo XXI coloca a este tema a la vanguardia valorizando el concepto de la conservación de los recursos naturales en la producción sustentable.

## 2.2 GENERALIDADES DEL RECICLADO

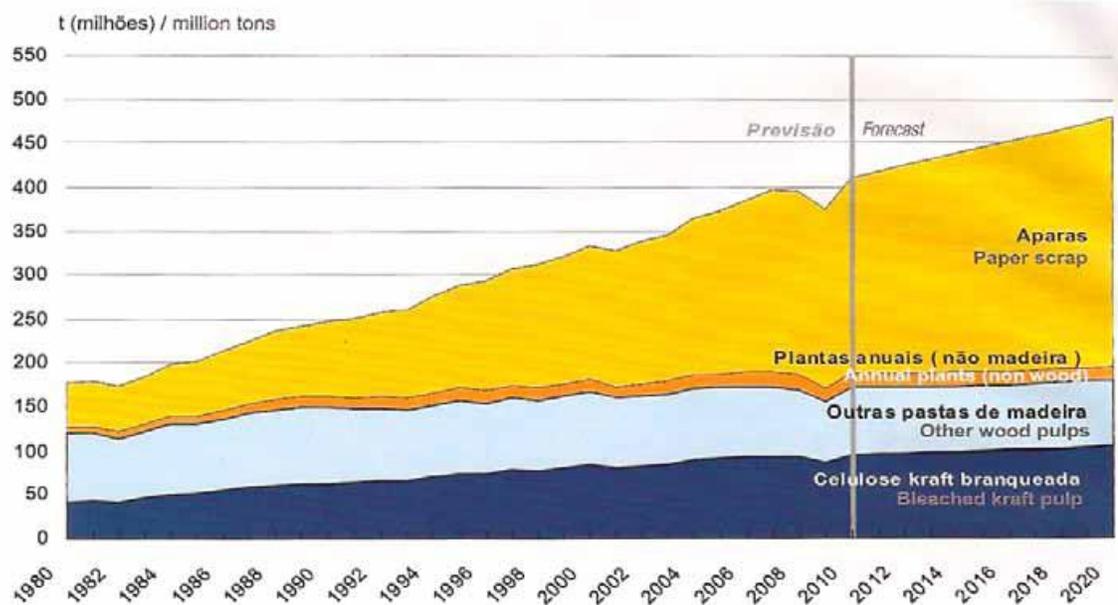
El reciclaje de papel es el proceso de recuperación de este material ya utilizado para transformarlo en nuevos productos. Las fibras secundarias se definen como cualquier material fibroso que, habiendo sido procesado, es reciclado como materia prima para la fabricación de otro producto.

### 2.2.1 Coyuntura

En el siglo XXI se enfatizan los conceptos sobre el cuidado del medio ambiente, por lo tanto en lo que concierne a este tema, se ve impulsado el uso de fibras recicladas sobre la utilización de papeles fabricados a partir de fibras vírgenes.

A continuación, en la gráfica 1, se puede observar la demanda mundial de pulpas en el período 1980 - 2011 y la proyección hacia el 2020 expresada en millones de toneladas.

Gráfico 1: Demanda mundial de pulpas desde 1980 hasta 2020



Fuente: Zanuttini et al. (2012)

Referencias: Fibras recicladas, Pulpas de plantas anuales, Otras pastas de madera, Celulosa kraft blanqueada.

Estudios realizados por Zanuttini et al. (2012) estiman que el consumo total de fibra para la industria del papel crecerá significativamente a nivel mundial en los próximos años. La demanda mundial actual de fibras para papel es de 420 millones de toneladas y crecerá a 480 millones de toneladas en el 2020.

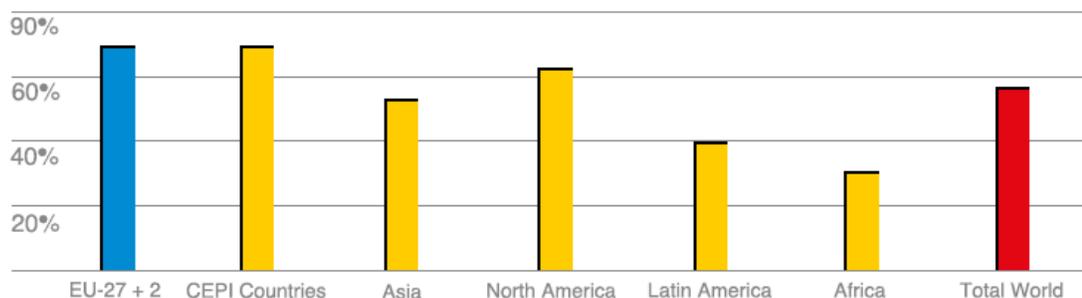
Se espera que la demanda de pulpas vírgenes crezca solamente para el caso de las pulpas kraft blanqueadas. El 61% del crecimiento total corresponderá a las fibras recicladas.

En la actualidad, el crecimiento está impulsado por el aumento de la demanda de papeles tissue, papeles para cartón corrugado y cartonés. En estos tres tipos de papeles, la participación de las fibras recicladas es muy alta.

El nivel de reciclado de un país o región se mide con las tasas de reciclado (tasa de utilización, recolección y reciclado). En el gráfico a

continuación se puede observar la tasa de reciclado en distintas partes del mundo.

Gráfico 2: Tasas de reciclado en distintas regiones del mundo



Fuente: Confederation of European Paper Industries (2011)

Referencias: EU-27 + 2 (Europeos), Países CEPI (Confederation of European Paper Industries, integrado por 17 países de la UE y Noruega.), Asia, Norte América, Latino América, África, Total.

Los tres continentes con mayor tasa de reciclado son Europa, América del Norte (con gran influencia de Estados Unidos) y Asia. Esta gran diferencia que se observa entre este conjunto de continentes es debida a las políticas establecidas para la promoción y desarrollo de la cadena de reciclado.

La tasa de reciclado en Latinoamérica es de 40%. En cuanto a la producción de papel reciclado, America del Sur aportó un 3% de la producción mundial en el año 2011, presentando un aumento de 4,8% del 2010 al 2011.

El papel reciclado es en general de calidad inferior, en cuanto a características físico mecánicas y aspecto, por razones ecológicas y económicas su desarrollo está siendo cada vez más importante. El papel reciclado se está empleando en usos donde no es imprescindible una gran calidad y acabado como en cuadernos, tissue, embalaje, cartón ondulado, papel para sobres, cartas, etc.

### 2.2.2 Etapas del proceso reciclado

El desarrollo de nuevas tecnologías en el área de destinado, separación de las impurezas, fraccionamiento, blanqueo y fabricación del papel incentiva a las industrias papeleras a aumentar el consumo de papel recuperado (Diesen, 1998).

El papel de desecho puede reciclarse de 5 a 6 veces pero en cada ciclo de reciclaje pierde del 15 al 20 por ciento de las fibras largas viéndose incrementado este valor en el caso de pulpa química. Por este motivo las fibras recicladas muchas veces son mezcladas con pulpa virgen para obtener papeles con mayores resistencias. Por lo tanto la relación teórica entre el consumo de fibra virgen y papel utilizado no es lineal (Zanuttini et al., 2012).

Esta disminución resulta muy importante, Mutjé et al. (2008) estiman que se pierde 19% por su uso (ej. papel de cigarrillo y tissue), 20% por motivos geográficos o dificultad de recolección, 20% por depuración y eliminación de contaminantes.

Las materias primas pueden sufrir diferentes procesos según las características de las mismas o las propiedades finales de la pasta que se quiera obtener.

El proceso consiste en desfibrar el papel o cartón en agua, separar contaminantes, acondicionar las fibras obtenidas por refinado y luego reagruparlas formando un nuevo papel o cartón.

#### 2.2.2.1 Recolección y clasificado

Existen tres categorías de papel que pueden utilizarse como materia prima para la producción de papel reciclado: molido, desechos de pre-consumo y desechos de post-consumo.

El papel molido consiste en recortes y trozos provenientes de la manufactura del papel.

Los desechos pre-consumo son materiales que ya han pasado por la fábrica de papel, y que han sido rechazados antes de estar preparados para el consumo.

Los desechos post-consumo son materiales de papel ya utilizados que el consumidor rechaza, tales como viejas revistas o periódicos, material de oficina, guías telefónicas, etc.

El cartón y el papel que ya han sido utilizados deben pasar por un sistema de clasificación, eliminándose en función de las propiedades que se quieran obtener.

El papel viejo proviene de muchas y diferentes fuentes. Por lo tanto, cuando se lo compara con fibras vírgenes, contiene las más variadas impurezas, también llamadas sustancias perturbadoras. Sterling (1986) clasifica estas sustancias en tres grandes grupos que se describen a continuación.

Sustancias perturbadoras específicas del papel, productos químicos como  $\text{CaCO}_3$  y pastas como caolín; las cuales debieron añadirse a la primera fabricación de cada papel con el objetivo de conseguir las propiedades requeridas.

Sustancias perturbadoras específicas de la elaboración como tintas de imprenta, recubrimientos plásticos, pegamentos, que se aplicaron sobre el papel con ocasión de la fabricación del producto final.

Sustancias perturbadoras específicas de la recogida como alambres y cuerdas, piedras y arena, plásticos, etc.

La calidad de los papeles reciclados, está determinada por la calidad de las fibras (tipo de papel recuperado) y su grado de contaminación (naturaleza y cantidad de sustancias contaminantes), esto hace que la clasificación sea un paso fundamental para una óptima reutilización de esta materia prima.

### 2.2.2.2 Pulpeado

El primer paso en cualquier proceso de reciclado de papel es la desintegración que tiene como objetivo conseguir una suspensión fibrosa apta para ser tratada posteriormente.

Durante la desintegración es necesario conseguir una buena individualización de las fibras y, al mismo tiempo, una separación eficiente de los contaminantes presentes (tintas de impresión, productos termofusibles, agentes de resistencia en húmedo, recubrimientos plásticos o metalizados, componentes del estucado, autoadhesivos y otros) utilizando la mínima energía posible y alcanzando la máxima eficacia (Zanuttini et al., 2012).

En el proceso de desintegración del papel recuperado, se da un efecto sinérgico entre variables térmicas, mecánicas y químicas.

En el proceso de pulpeado se debe evitar, en lo posible la reducción del tamaño de los contaminantes facilitando su posterior separación.

### 2.2.2.3 Destintado y separación de impurezas

La eliminación de contaminantes (partículas y tintas) es una etapa fundamental en el proceso de reciclado del papel.

Las materias primas pueden sufrir diferentes procesos según las características de las mismas o las propiedades finales de la pasta que se quiera obtener.

La materia prima formada por calidades más bajas (marrones), es reciclada mejorando las propiedades mecánicas de las fibras pero no pasan por el proceso de destintado, obteniendo un rendimiento del 95%.

El destintado es imprescindible en la fabricación de papeles de alta calidad. Estas fibras son recicladas y destintadas, los rendimientos oscilan entre 50% y 85%.

Todos aquellos componentes que pueden provocar una reducción del grado de blancura, principalmente las tintas, deben ser eliminados, pero

también los aditivos utilizados durante la impresión, conversión y uso final del papel.

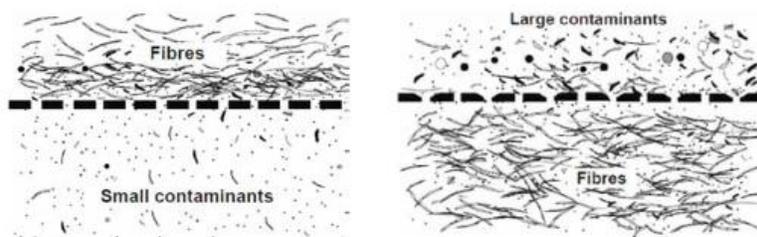
Los sistemas de reciclado y destintado a nivel industrial combinan de forma optimizada todas las operaciones de eliminación de contaminantes (tamizado, depuración, flotación y lavado) basándose en propiedades que los diferencian de las fibras, finos y cargas. A continuación se explican las operaciones realizadas para cumplir estos objetivos.

- Diferencias en tamaño

Las partículas más pequeñas que las fibras se pueden eliminar por lavado. El lavado consiste en depositar la suspensión de fibras y partículas de tinta sobre tamices con dimensiones de malla apropiadas que permiten el paso de las partículas de tinta, reteniendo las fibras.

Aquellos contaminantes mayores que las fibras, si son lo bastante rígidos, se pueden eliminar por tamizado.

Ilustración 1: Lavado (izq); Tamizado (der)



Fuente: adaptado de Zanuttini et al. (2012)

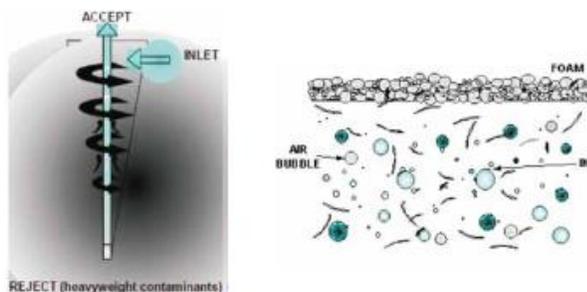
- Diferencias de densidad

Las etapas de depuración permiten eliminar partículas de alta densidad y también contaminantes ligeros.

Utilizando las diferencias de las propiedades superficiales se pueden eliminar partículas hidrofóbicas a través de la flotación. El objetivo principal de

este proceso en la industria papelera es el destintado o eliminación de las tintas de impresión.

Ilustración 2: Depuración (izq) y Flotación (der)



Fuente: adaptado de Zanuttini et al. (2012)

#### 2.2.2.4 Refinación

En el refinado, las fibras son sometidas a una acción mecánica para desarrollar sus propiedades papeleras óptimas con relación al producto que se desea fabricar. Los principales efectos del refinado sobre las fibras se pueden resumir en: efectos primarios y secundarios.

Los efectos primarios son: eliminación de la pared primaria (formación de finos), penetración del agua en la pared celular (hinchamiento), rotura de algunos enlaces de puente de hidrógeno intra fibra (hidratación), aumento de la flexibilidad de la fibra, fibrilación externa y acortamiento de fibras.

Los efectos secundarios consisten en: fracturas en la pared celular, alargamiento y/o compresión de la fibra, solubilización parcial de las hemicelulosas, enderezamiento de las fibras (baja consistencia) y ondulado de las fibras (alta consistencia).

Existen varios tipos de refinadores, entre ellos se puede encontrar refinadores a láminas como la pila holandesa y de fricción como refinadores cónicos o a discos. Estos últimos son los más utilizados debido a que permiten realizar un trabajo más controlado que los refinadores cónicos. Otras ventajas importantes son; menores requerimientos de energía en vacío, utilización de

mayor consistencia y mayor carga, diseños más compactos, que requieren menos espacio y menor inversión de capital.

En la tabla 1 se mencionan las variables que afectan el refinado.

Cuadro 1: Variables que afectan el refinado

<b>Variables que afectan el refinado</b>		
<b>Materias primas</b>	<b>Características del equipo</b>	<b>Variables del proceso</b>
Especie	Tamaño y forma de las cuchillas	Temperatura
Método de pulpeado	Área de las cuchillas y ranuras	pH
Grado de pulpeado	Profundidad de las ranuras	Consistencia
Tratamiento de blanqueo	Desgaste de las partes del equipo	Aditivos
Procesos previos	Ángulo de las cuchillas	Pre tratamientos
Distribución de longitud de fibra	Velocidad de rotación	Energía aplicada
Grosor de la fibra		
Composición química		

#### 2.2.2.5 Fabricación del papel

En la formación de la hoja, secado y acabado, son aplicadas idénticas tecnologías equivalentes a las que se utilizan en la fabricación de papel con pasta virgen.

Existen varios tipos de papel reciclado entre los cuales se encuentra:

Cuadro 2: Principales tipos de papel que incluyen fibras recuperadas

<b>Tipo de papel</b>	<b>Materia prima</b>
Papeles de embalaje *	Papeles mezclados y cartón recuperado
Papel periódico	Papel recuperado destintable
Papel impresión simples	Papel recuperado destintable
Papeles LWS/SC <sup>2</sup>	Papel recuperado destintable
Tissue	Papel recuperado destintable

Fuente: modificado de Zanuttini et al. (2012)

Papeles de embalaje\*: Testliner y papel corrugado.

Papeles LWS/SC<sup>2</sup>: Papeles de impresión y escritura de alto grado.

En la mayoría de los casos, el reciclado de papel recuperado implica inevitablemente una mezcla de diferentes tipos de fibras que lleva a la pérdida de propiedades específicas que pueden obtenerse en las pulpas vírgenes. En los procesos de reciclado existe además:

- Acumulación de fibras cortadas y finos, producidas en las sucesivas desintegraciones y operaciones de depuración y refino.
- Acumulación de cargas (carbonato de calcio, caolines, talcos, etc.), que aumentan el gramaje sin contribuir a la resistencia.
- Acumulación de materiales extraños (aceites, almidón seco, resina/alúmina, pigmentos de tintas, etc.) que recubren a las fibras interfiriendo con las uniones.

Debido a esto, la pulpa de reciclado generalmente presenta una reducción en drenabilidad que puede afectar a la velocidad de la máquina papelera.

Además de esto, la principal pérdida de propiedades papeleras es producida por la hornificación, es decir, el secado que sufren las fibras en ciclos de uso anteriores.

La disponibilidad y calidad del papel recuperado están limitadas. Aunque la recolección se realice por separado, una vez en la fábrica se producen pérdidas debido a los procesos de depuración y eliminación de contaminantes.

Por lo tanto, la tasa de recuperación tiene poco margen para el crecimiento ya que al volumen recuperado se le debe sumar una proporción de material que se pierde. Según Mutjé et al. (2008) las pérdidas pueden ser entre 10% y 45% en peso, dependiendo del papel que se vaya a producir.

En la fabricación de papel, las fibras celulósicas son alteradas por acciones físicas y procesos químicos siendo afectadas cada vez que son reutilizadas, es decir, en cada ciclo de reciclado.

El reciclaje genera reducción de la longitud media, menor flexibilidad y reduce la capacidad de hidratación y unión interfibrilar.

Según Zanuttini et al. (2012) se pueden destacar cuatro fenómenos:

- Hornificación: cuando una fibra se seca y luego se humedece nuevamente disminuye su capacidad de hincharse. El reciclaje de estas fibras aumenta este efecto, siendo más importante en los primeros ciclos de reciclado. Este se ve más claramente en fibras de origen químico.
- Cambios en la morfología: con el aumento del ciclo de reciclado se produce una disminución del espesor de la pared celular.
- Cambios en la flexibilidad: esto tiende a aumentar con el reciclaje probablemente debido a la fibrilación interna de las fibras.
- Cambios en la superficie química: los procesos de reciclado suelen utilizar agentes químicos que pueden causar cambios en la superficie de la fibra provocando variaciones en las fuerzas de unión y humectabilidad.

### 2.2.3 Sustentabilidad

El concepto de desarrollo sustentable consiste en el equilibrio entre tres aspectos generales, el desarrollo social, desarrollo económico y cuidado del medio ambiente.

En cuanto a lo social, la recolección selectiva, así como la industria y la distribución, generan una alta demanda de mano de obra (Foelkel, 2010).

Desde el punto de vista económico Foelkel (2010) opina que el papel recuperado ofrece una materia prima fibrosa a un precio menor que el de la fibra virgen, contribuyendo también a reducir los costos de mantenimiento de los vertederos urbanos.

Con respecto al cuidado del medio ambiente, y considerando el ciclo de vida del papel Zanuttini et al. (2012) incluye cuatro ejes de acción prioritaria: la gestión forestal sostenible, procesos productivos eficientes y responsables, liderazgo, recuperación, reciclaje y generación de riqueza y en cuarto lugar, contribución a la calidad de vida.

Ambientalmente este proceso genera ganancias importantes, como ser, reducción del consumo de árboles para la producción de papel, disminución en

el espacio en los vertederos, optimización de los ciclos de vida del papel mejorando su eficiencia y disminuyendo los impactos de la cadena productiva a largo plazo. Con el reciclado se prolonga la vida útil de las fibras de celulosa, favoreciendo el aprovechamiento de este recurso natural.

El papel es un producto asociado con el medio ambiente, ya que es natural, reciclable, reutilizable, proveniente de recursos renovables, biodegradable, incinerable, y limpio (Foelkel, 2010).

Su relación con el medio ambiente implica que puede tener un alto impacto, si su producción, utilización y disposición final no son efectuadas en forma adecuada y sustentable.

Entre las buenas razones que existen para reciclar, se puede destacar la protección de los recursos forestales, reducción de la cantidad de basura y disminución de los costos de tratamiento de la misma.

En cuanto a los recursos forestales, Zanuttini et al. (2012) estima que por cada tonelada de papel reciclado, se sustituyen unos 15 a 20 árboles de tamaño medio.

Si comparamos con los procesos que involucran pastas vírgenes la producción de papel a partir de fibras previamente utilizadas genera también importantes ahorros en energía y agua; menor emisión de dióxido de carbono, óxidos de azufre, óxido de nitrógeno y partículas.

Es importante aclarar que la industria del papel recuperado, como cualquier actividad humana, no es ambientalmente inocua por lo tanto cada caso particular debe de ser estudiado y evaluado con el fin de efectuar la mejor alternativa disponible.

Lo imprescindible es lograr una óptima gestión del fin de ciclo de vida de los productos forestales. Una vez utilizados, se puede reciclar las fibras varias veces, para obtener papel recuperado. Una vez que estas pierden las características deseadas pueden ser utilizadas para generar energía a través de la incineración.

Nuevas tendencias en el campo de la biotecnología del reciclado permiten utilizar enzimas para el destintado sustituyendo una gran cantidad de productos químicos necesarios en los procesos convencionales.

La implementación de tratamientos biológicos podría disminuir los costosos sistemas de tratamiento de aguas residuales.

No todos los tipos de papel se pueden destinar, por lo tanto, fortalecer esta técnica permitiría reutilizar mayor cantidad de fibras para producción de alta calidad.

Impulsar estos avances y lograr una óptima gestión va a permitir realizar una producción cada vez más sustentable.

## 2.3 ANTECEDENTES

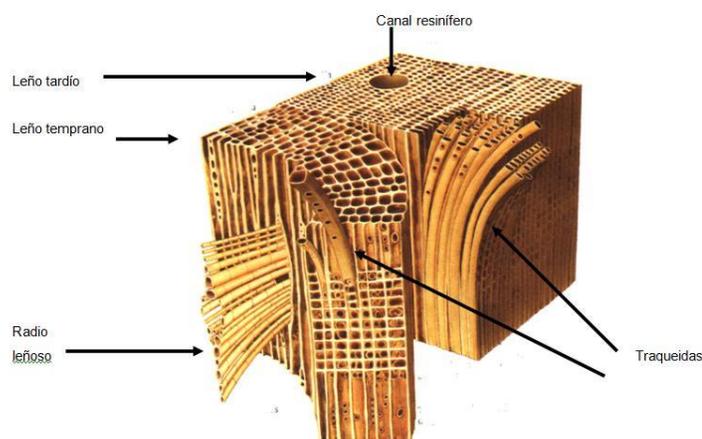
### 2.3.1 Características anatómicas de coníferas

La estructura de la madera en las coníferas difiere botánica y estructuralmente de las angiospermas (latifoliadas).

El leño de las coníferas es homogéneo y en él se encuentran los siguientes elementos estructurales:

- Traqueidas axiales (95% del volumen de la madera)
- Traqueidas radiales
- Parénquima transversal - radios
- Células epiteliales
- Canales resiníferos
- Traqueidas en series axiales

Ilustración 3: Aspecto tridimensional de la madera de coníferas



Fuente: Mantero<sup>1</sup>

### 2.3.2 Características anatómicas de latifoliadas

La estructura interna de las latifoliadas es más especializada y compleja que en las coníferas. Debido a su mayor complejidad estructural, ofrecen una gran variedad de aspectos que mucho auxilian a su identificación.

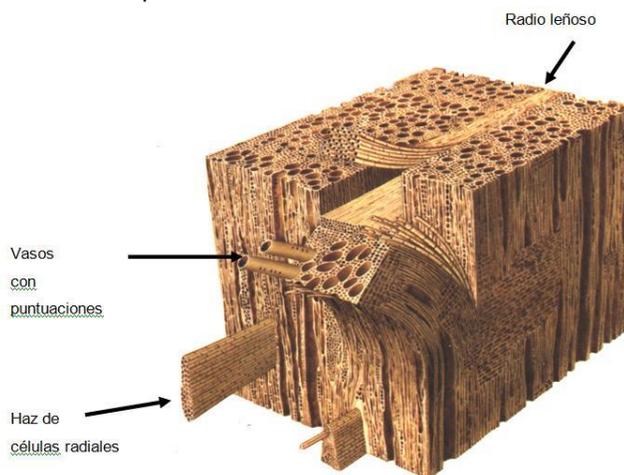
Las células del cambium de latifoliadas, son menores que las de las coníferas y también las células que origina. Esta diferencia de longitud va a ser la razón por la cual el papel realizado a partir de latifoliadas es, normalmente, de inferior resistencia que el de coníferas.

El leño de las latifoliadas es heterogéneo y en él se encuentran los siguientes elementos estructurales:

- Vasos (principal diferencia con las coníferas)
- Parénquima axial (mayor proporción que en coníferas)
- Fibras (solo existen en latifoliadas)
- Parénquima radial o radios
- Caracteres anatómicos especiales

<sup>1</sup> Mantero, C. 2011. Com. personal.

Ilustración 4: Aspecto tridimensional de la madera de Latifoliadas

Fuente: Mantero<sup>1</sup>

### 2.3.3 Características del papel reciclado

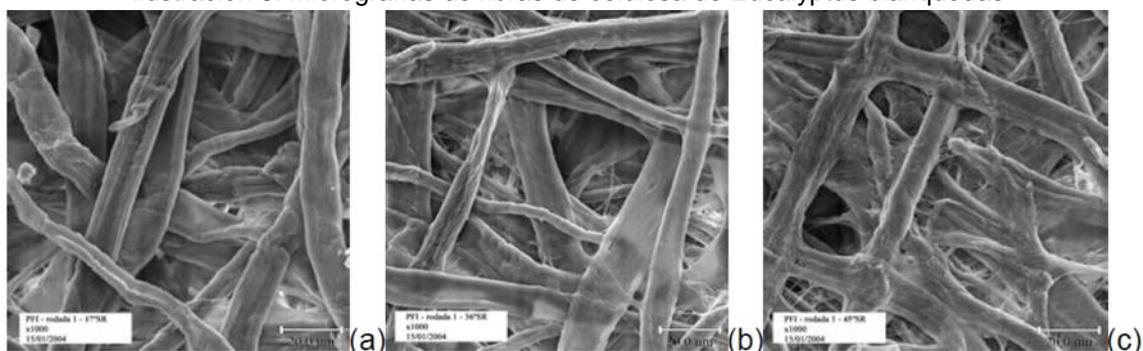
La diferencia esencial entre la fibra reciclada y la virgen es su pérdida de capacidad de adhesión entre fibras. Además del grado de acortamiento e inflexibilidad de las fibras cuando vuelve a tomar la forma de pliego. Esto afecta la resistencia final del papel producido y las condiciones óptimas para su utilización.

Las diferentes pulpas responden de diferentes maneras para un tratamiento de refinado dado. La fibra corta (menor a 2 mm), además de ser de menor tamaño, se fibrila más fácilmente, generando un mayor número de fibras, finos y partículas. Ello determinará que la formación de la hoja de papel sea superior con una pasta de fibra corta. Además, también denota una mayor aptitud al refinado, que se refleja en el menor número de revoluciones del molino PFI necesarias para conseguir grados de refinado similares (Universitat de Girona, 2003).

Agregado a esto, las pulpas crudas son más difíciles de refinar que las pulpas blanqueadas.

A continuación se presenta micrografías (1000 X) de fibras de celulosa de Eucalyptus blanqueadas con diferentes grados de refinación.

Ilustración 5: Micrografías de fibras de celulosa de Eucalyptus blanqueadas



(a) Sin refinar a 17°SR; (b) Refinadas a 36°SR; (c) Refinadas a 45°SR en PFI  
Fuente: YASUMURA (2004)

Experimentos similares realizados por Meersman (1991) como se observa en la Tabla 3, indican que a medida que aumenta el grado de refinación la densidad aumenta. Esto se debe al incremento del área de enlace.

Cuadro 3: Respuesta de la densidad a diferentes grados de refino

Respuesta de la densidad a diferentes grados de refino					
CSF (ml)	608	585	547	437	328
Densidad (g/cc)	0,512	0,528	0,551	0,6	0,643

Fuente: adaptado de Meersman (1991)

En las tablas 4 y 5 se muestran los resultados de ensayos realizados por Carrau y Oribe (2000), Crossa y Quagliotti (2004) para fibra corta blanqueada.

Cuadro 4: Propiedades físico mecánicas para diferentes especies de Eucalyptus

Propiedades físico mecánicas	E. globulus	E. maidenii	E. bicostata			
°SR	28	35	25	34	26	32
Índice de estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	4,21	5,25	4,13	5,35	4,11	4,77
índice de desgarro (mNm <sup>2</sup> /g)	10,19	10,21	10,24	10,79	8,75	10,44

Fuente: adaptado de Carrau y Oribe (2000)

Cuadro 5: Propiedades físico mecánicas para diferentes especies de Eucalyptus

Propiedades fisicomecánicas	E. grandis			E. maidenii		
°SR	21	25	36	18	26	34
Índice de tracción (Nm/g)	61,64	83,58	98,33	48,34	83,7	95,99
Índice de estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	4,39	6,48	8,2	3,07	5,92	7,3
Índice de desgarro (mNm <sup>2</sup> /g)	9,41	9,08	8,62	8,63	10,07	9,84

Fuente: adaptado de Crossa y Quagliotti (2004)

A medida que aumenta el grado de refinación, propiedades papeleras como la tracción y el reventamiento se ven incrementadas. A la vez, el índice de desgarro aumenta hasta cierto grado de refinación y luego disminuye.

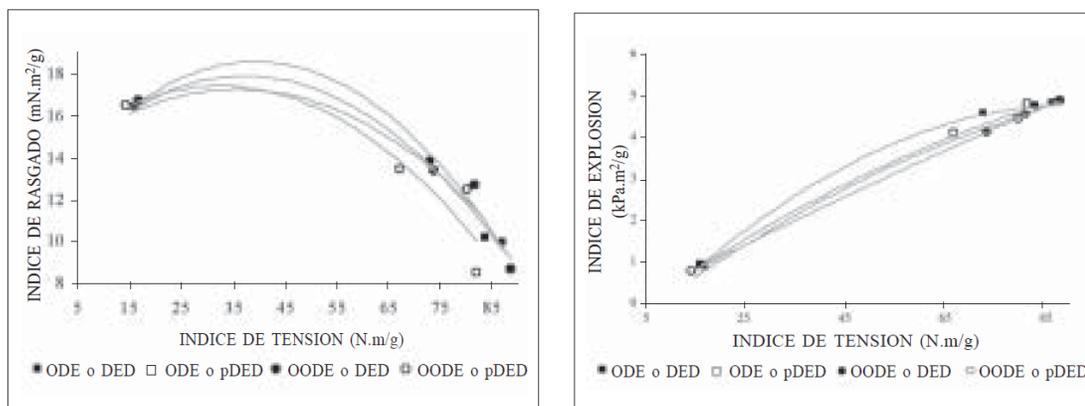
Según Repetti (1992), a medida que el grado de refino aumenta, el porcentaje de finos en la pasta se incrementa a causa del corte de las fibras, provocando la disminución de la resistencia al rasgado o desgarro.

Publicaciones realizadas por el Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad de Concepción, en pulpa de pino refinada a diferentes puntos, muestran los índices de reventamiento (explosión) y desgarro (rasgado) en función del índice de tracción. Este es escogido debido a que se trata de una de las propiedades más exigidas para producir papeles con diversas finalidades, haciendo énfasis en un valor determinado previamente (45 N.m/g).

La resistencia a la tracción, es controlada por varios factores, como la resistencia individual de las fibras, la longitud de la fibra, la formación y estructura de la hoja (Torres et al., 2005).

En el gráfico 3 se muestra el índice de desgarro e índice de reventamiento en función del índice de tracción (N.m/g), para las pulpas blanqueadas con cuatro secuencias.

Gráfico 3: Índice de desgarramiento y reventamiento según del índice de tracción



Fuente: Torres et al. (2005)

Los máximos valores en el índice de desgarramiento, son alcanzados rápidamente a bajos niveles de refinación. Esto implica que no es necesaria una refinación adicional para alcanzar los valores deseados (Torres et al., 2005).

El índice de reventamiento, aumenta en todas las secuencias de blanqueo, a medida que aumenta el índice de tracción y por lo tanto el grado de refinación.

Otros trabajos similares sobre la Caracterización preliminar tecnológica de *Pinus ponderosa* (Dougl.) creciendo en Chile (1998), realizados por la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile muestran la variación de las propiedades papeleras, en función del grado de refinación expresado en °SR.

Los resultados que se presentan en la Tabla 6 demuestran que el comportamiento de Pino Ponderosa a medida que se incrementa el grado de refino, es similar al de otras coníferas. Se registra un aumento de la densidad aparente, de la resistencia a la tracción (ruptura) y al reventamiento (explosión), y al mismo tiempo una disminución de la resistencia al desgarramiento (rasgado) (Jovanovski, 1998).

Cuadro 6: Propiedades físico químicas de la pulpa de Pino

Propiedades físico mecánicas de la pulpa de Pino					
<b>Drenaje</b> (°SR)	14	15	25	35	45
<b>Densidad aparente</b> (g/cm <sup>3</sup> )	0.44	0.54	0.75	0.84	0.87
<b>Índice de ruptura</b> (kNm/k)	32.1	42.7	76.5	92.5	101.5
<b>Índice de explosión</b> (MN/k)	4.68	6.34	8.95	10.25	11.10
<b>Índice de rasgado</b> (Nm <sup>2</sup> /k)	15.9	17.8	12.3	10.9	10.2

Fuente: Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales (1998)

Estos datos recabados de investigaciones similares realizadas previamente, sirven como guía para el análisis y comprensión de los resultados obtenidos en el presente trabajo.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se detalla la materia prima y los equipos y métodos analíticos de laboratorio utilizados a lo largo del trabajo.

#### 3.1 MATERIA PRIMA

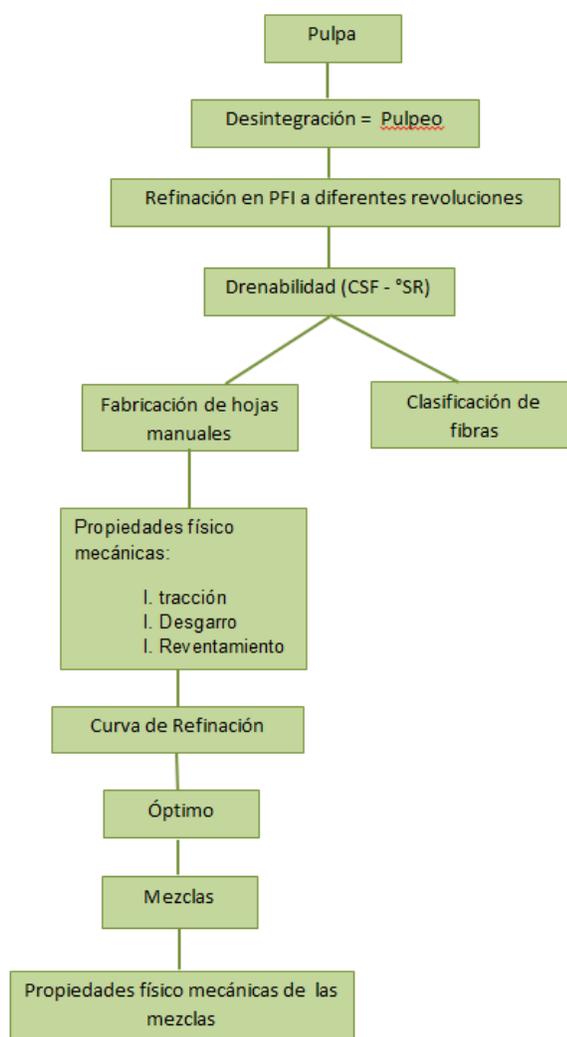
La materia prima utilizada consiste en dos tipos diferentes de fibra: fibra corta blanqueada proveniente de Eucalyptus y fibra larga de Pino sin blanquear.

La pulpa de Eucalyptus proviene de plantaciones nacionales mientras que la de Pino es importada de Brasil.

### 3.2 SECUENCIA DE TRABAJO

Los trabajos fueron realizados en el LATU, en el departamento de Proyectos Forestales siguiendo la siguiente secuencia.

Ilustración 6: Secuencia analítica de trabajo



### 3.3 CONSISTENCIA

#### 3.3.1 Contenido de humedad de las planchas de celulosa

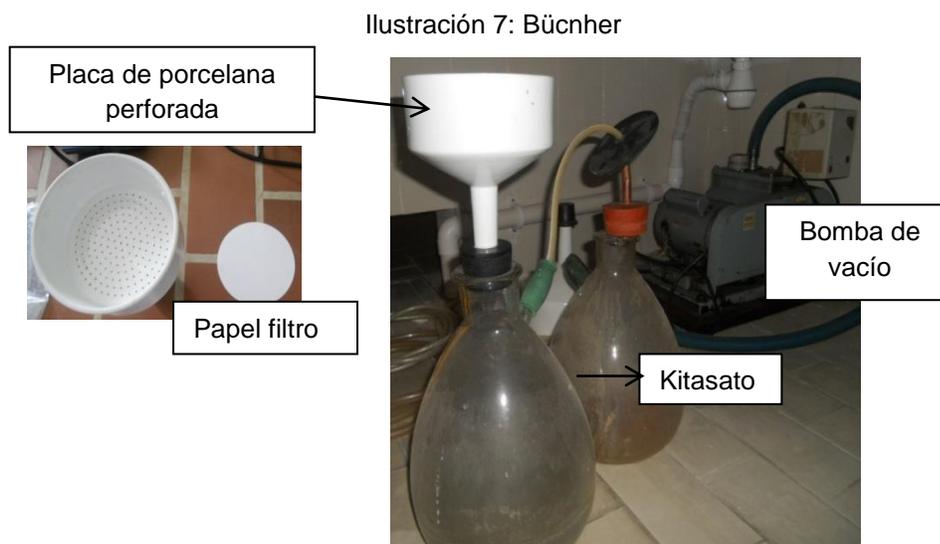
Para obtener los 30 gr de pulpa seca necesarios para los ensayos, se necesita saber el contenido de humedad de la misma, como indica la Norma TAPPI 412. Se pesan 50 gr de la pasta virgen original y se dejan secar en estufa con circulación de aire forzado a 105°C hasta peso constante.

Con estos datos se calcula el porcentaje de humedad de la pulpa. Este procedimiento se realiza por duplicado. Una vez conocido este valor se pesa la cantidad de pasta húmeda equivalente a 30 gr de pasta seca.

#### 3.3.2 Consistencia de mezclas

##### 3.3.2.1 Embudo Büchner

El embudo Büchner se utiliza para sacarle agua por vacío a una suspensión de agua y fibras y así obtener consistencias de soluciones acuosas.



### 3.3.2.2 Metodología

Sobre el embudo de porcelana perforado se coloca una cantidad conocida de solución, que es succionada mediante una bomba de vacío que extrae el agua.

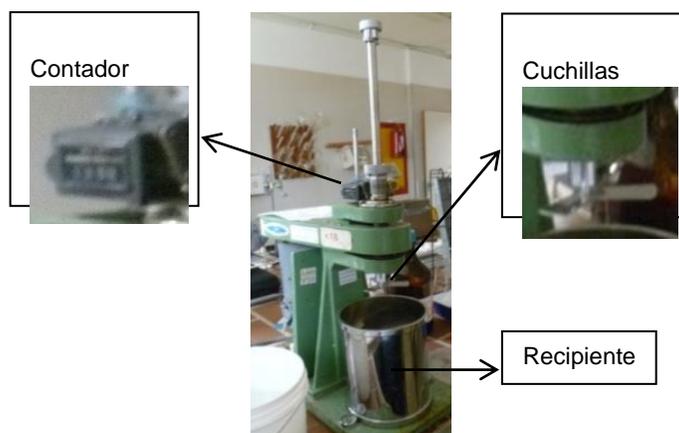
Sobre el filtro de papel quedan depositadas las fibras. Una vez terminado el ensayo se seca en estufa o Rapid dryer el filtro junto con la pasta y se pesan a 105 °C hasta peso constante. Luego con este peso y el volumen inicial de suspensión se calcula la consistencia.

### 3.4 DESINTEGRACIÓN DE LA PASTA - PULPEO

Este proceso mecánico desintegra la pulpa de celulosa, formando una solución sin generar cambios apreciables en su estructura.

El pulper consiste en un recipiente cilíndrico de metal macizo con capacidad de 2000 ml. La pulpa es desintegrada por la acción de tres cuchillas que rotan en sentido horario a alta velocidad. Dicho pulper gira a 3000 rpm. En la ilustración No. 8 se puede observar el equipo con sus respectivas partes.

Ilustración 8: Pulper



La metodología consiste en hidratar una muestra de 30,0 gr secos de pulpa original durante un mínimo de 4 horas hasta un máximo de 24 horas. Una vez cumplido este tiempo se agrega la pulpa hidratada en el recipiente del Pulper y se completan los 2000 ml.

La pasta de Eucalyptus se pulpea durante 3 minutos 20 segundos lo que representa 10000 revoluciones, 400 lectura de contador (norma UNIT-ISO 5269-1:94). La pasta de Pino se pulpea a 37500 revoluciones (1500 lectura del contador). Esta diferencia entre las muestras es debido a que la pulpa de fibra larga es más difícil de desintegrar por lo que requiere más vueltas.

La solución obtenida luego de este proceso está apta para ser refinada o para la fabricación de hojas sin refinar.

### 3.5 REFINACIÓN

La refinación se define como la acción mecánica aplicada a la pulpa entre dos superficies paralelas, bajo una fuerza constante e igual dirección pero con velocidades diferentes una de la otra (Crosa y Quagliotti, 2004).

Este método de laboratorio se utiliza para confeccionar curvas de refinación de pastas celulósicas. Esta curva permitirá describir la evolución de las propiedades del papel, en función del grado de refinación aplicado.

El refinador PFI es el equipo de laboratorio en el cual se lleva a cabo la refinación de la pulpa de celulosa. Está constituida por una carcasa cilíndrica de 250 mm de diámetro interno donde se coloca la pulpa. Es un contenedor metálico de paredes lisas movido por un motor de 375 W.

Por encima se encuentra el rodillo de acero inoxidable de 200 mm con 33 dientes, cada uno de 50 mm de alto y 5 mm de ancho. Se encuentran uniformemente distribuidos a lo largo del rodillo y las cavidades tienen una profundidad de 30 mm. El motor que mueve el rodillo es de 750 W haciendo que las cuchillas giren a 1460 rpm.

Sobre el rodillo se encuentra el contador de vueltas. En la parte superior del aparato hay una palanca que al accionarla ejerce una presión de refinación de 3,4 kg/cm<sup>2</sup>.

La carcasa y el rodillo rotan en ejes verticales independientes en la misma dirección, con fuerza constante pero velocidades diferentes (el rodillo más rápido que la carcasa que gira a 710 rpm). En la imagen a continuación se ve el refinador utilizado y las partes que lo componen.

Ilustración 9: Refinador PFI



La refinación se realiza según la norma TAPPI T 248 sp 08 que consiste en pesar 30.0 gr de pulpa seca original, hidratarla por un mínimo de 4 horas y un máximo de 24 horas, diluirla en 2 litros de agua y desintegrarla en el pulper.

Esta solución se pasa por el formador de hojas donde se forma una “torta” de pasta. Una vez obtenida se pesa y se lleva a 300 gr. De esta forma se trabaja con 10% de consistencia como marca la norma mencionada.

La pulpa se coloca homogéneamente contra las paredes del contenedor del refinador, asegurándose que no queden espacios vacíos y que no quede pulpa en el fondo. Se inserta el rodillo en la carcasa y se aprieta la tapa hasta su posición.

Se pone a rotar la carcasa, lo que homogeniza la pulpa depositada en la pared y se prende el rodillo. Se deja pasar 30 vueltas del contador para que ambos elementos lleguen a la velocidad total de trabajo y una vez lograda se aplica la presión de refinación y se comienza la lectura del contador.

Para el presente estudio se realizaron 2 refinaciones por punto, una destinada a clasificación de largo de fibras y otra para la realización de hojas

manuales para su posterior análisis físico mecánico. Los puntos de refinación realizados fueron: 1500, 4000, 6500 y 9000 revoluciones para Eucalyptus. En el caso de Pino se refino a 4000, 8000, 12000 y 16000 revoluciones. Con los resultados obtenidos se confeccionan curvas de refinación para ambas especies.

Una vez cumplido el número de vueltas establecido, se centra el rodillo quitando la presión de refinado y se apagan los dos motores. Se destapa la carcasa y se levanta el rodillo. La pulpa se transfiere de la pared de la carcasa y de las cuchillas a otro contenedor. Se limpia meticulosamente para evitar posibles pérdidas de la muestra.

La pulpa refinada se desintegra nuevamente en el Pulper y se lleva a 10000 ml quedando pronta para la determinación de drenabilidad, clasificación de fibras por el método de Bauer Mc Net y formación de hojas manuales. En la ilustración 10 se puede observar el proceso de refinación realizado.

Ilustración 10: Fotos ilustrativas del proceso de refino

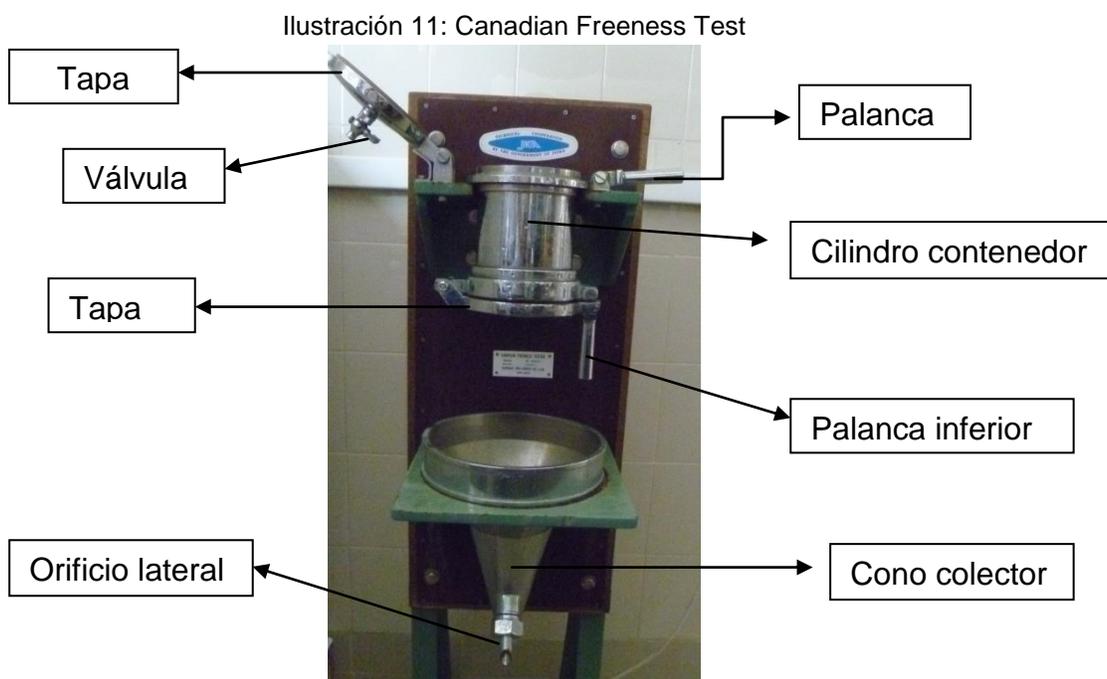


### 3.6 DRENABILIDAD

El drenado es la rapidez o lentitud de desagote de la pulpa. Las características de drenado de una pulpa se miden por medio de la

determinación de la velocidad con que el agua fluye a través de una capa de fibras formada sobre una malla.<sup>2</sup>

El instrumento utilizado fue el Canadian Freeness Tester que se muestra en la ilustración 11. Este equipo mide el grado de refino de la pulpa a través de la resistencia que ofrece la misma al pasaje de agua, la cual está determinada por el grado de unión de fibras. Este aparato está constituido por dos partes fundamentales, el depósito y el cono colector.



El depósito es un cilindro metálico con 1000 ml de capacidad. En la parte superior tiene una tapa que se abre y cierra con una palanca y una válvula. En la parte inferior, presenta una malla metálica y una tapa que se abre y cierra con una palanca. La drenabilidad se midió en ambas diluciones: Bauer Mc Net y hojas manuales, por duplicado y en cada punto de refino.

<sup>2</sup> Gavazzo, G. 2008. Fundamentos de la fabricación del papel; prensado (sin publicar).

Luego de que la pasta esta refinada y pulpeada se mide el nivel de refinación, mediante el Canadian Freeness Tester. La norma utilizada para medir la drenabilidad de la pulpa es la TAPPI T 227 om-09.

La medida que arroja el Canadian Freeness Tester es una medida empírica que da un valor arbitrario de la drenabilidad de 3 g de pasta contenidos en 1000 ml de agua.

Este método fue diseñado para controlar la fabricación de pasta mecánica y luego se adaptó para controlar los cambios producidos en la drenabilidad de otros tipos de pastas por efecto de la refinación (Repetti, 1992).

El procedimiento consiste en hacer dos tomas de 1000 ml de suspensión (pulpa refinada y agua), estas muestras se llevan a 20°C ( $\pm 0.5$ ). Se cierra la tapa inferior y la válvula, se agita la muestra asegurándose que se homogenice y se coloca en el cilindro contenedor cerrando la tapa superior asegurándola con la palanca.

Una vez lleno el contenedor, se libera la palanca inferior y se abre la tapa. Se posiciona la probeta debajo del orificio lateral y se abre la válvula. El agua recogida se mide con una apreciación  $\pm 5$  ml.

Para la determinación de consistencia, la pulpa se retira de la malla metálica y se seca en estufa de circulación de aire forzado a 105°C pesándose consecutivamente hasta alcanzar peso constante.

Se repite la operación con la otra toma de 1000 ml de solución.

Los datos se corrigen por temperatura y consistencia según las tablas de la norma TAPPI T 227 om-09 (Anexo 1 y 2). Una vez obtenidos se transformaron a grados Shopper Riegler ( $^{\circ}$ SR). Esta última corrección se hace a partir de la curva que relaciona los ml (Canadian) con  $^{\circ}$ SR que se observar en el anexo 3.

### 3.7 CLASIFICADOR DE FIBRAS

Mediante el clasificador de fibras Bauer Mc Nett que se aprecia en la ilustración 12 es posible clasificar una muestra de pasta celulósica en cinco fracciones de diferentes largos de fibra promedio.

Eso se logra mediante el pasaje de una suspensión de fibras por cuatro mallas metálicas pertenecientes al equipo y un quinto tamiz agregado a la última salida.

La primera es la malla más abierta y la última la más cerrada. La sexta fracción es la que pasa la malla más cerrada y se calcula como diferencia entre el peso de muestra y la suma de las otras cinco fracciones.

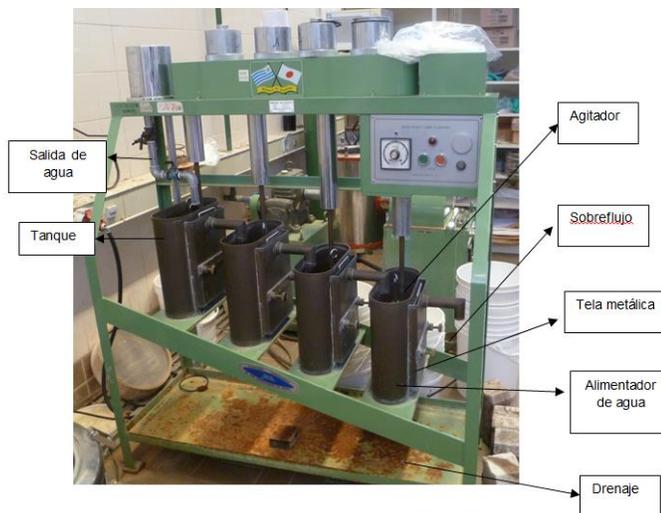
El clasificador tiene cuatro tanques dispuestos en cascada. La pasta desintegrada se coloca en el tanque superior y luego pasa por gravedad por los otros tres. Cada tanque tiene una malla metálica que retiene las fibras cuyo largo es mayor que la abertura de la malla. A la salida del último, se coloca un tamiz de malla de 200 mesh. Por lo tanto, la secuencia de mallas utilizadas en este método es la siguiente 28, 48, 100, 150 y 200 mesh (tamiz agregado). En la tabla a continuación se detalla el tamaño de los diferentes tamices.

Cuadro 7: Tamaño de los tamices

Tamiz	Mesh	mm
1	28	0,595
2	48	0,297
3	100	0,149
4	150	0,105
5	200	0,074
6	menor 200	menor 0,074

Cada tanque está equipado con un agitador desplazado hacia un lado, que hace circular a las fibras en forma paralela a la malla metálica. Esta acción permite que solo pasen las fibras más cortas por el caño de sobre flujo hacia el próximo tanque.

Ilustración 12: Clasificador de fibras Bauer Mc Nett



Este ensayo se realiza bajo la norma Tappi 233 – cm-06. Consiste en verter la suspensión de fibras en el primer tanque y se deja el equipo en funcionamiento durante 20 minutos. La alimentación de agua al equipo se lleva a cabo mediante una salida que permite tener un flujo de agua constante a través de los cuatro tanques. Este flujo es de 11,4 litros por minuto. Una vez cumplidos los 20 minutos se cierra el flujo de agua y se drena el contenido de cada tanque en un tamiz de 200 mesh. Las fibras obtenidas se secan en estufa a 105°C hasta peso constante y se pesan expresando el valor de cada fracción en porcentaje.

### 3.8 FABRICACIÓN DE HOJAS MANUALES

#### 3.8.1 Formación de las hojas

El equipo de laboratorio que se utiliza para la formación experimental de hojas manuales a partir de fibras de celulosa en suspensión, es el Formador de hojas Tappi Standard Sheet Machine.

Dicho equipo, como se aprecia en la Ilustración 13, está constituido por un cilindro metálico donde se vierte la solución. En el fondo del cilindro se

encuentra una malla metálica de  $200\text{ cm}^2$  donde se forma la hoja. Por debajo de la malla se encuentra una válvula que soporta la columna de agua.

Este equipo consta también de un agitador manual que cumple la función de homogeneizar la suspensión, un disco metálico de 172 mm de diámetro y 0.5 mm de espesor que ayuda a retirar la hoja de la malla y un rodillo de peso conocido que elimina los excesos de agua. Agregado a esto, se utilizan hojas de papel secante estándar de 200 mm x 200 mm.

Ilustración 13: Standard Sheet Machine (formador de hojas manuales)



También se utilizan discos metálicos de 160 mm de diámetro y anillos que sostienen las hojas durante el secado y acondicionamiento.

En este punto se describe la metodología para la formación de las hojas manuales según la Norma TAPPI T 205 sp-12. Estas serán utilizadas para realizar los ensayos físicos mecánicos y poder así describir las propiedades de las diferentes pulpas.

La solución llevada a 10000 ml se coloca en el agitador a 140 – 170 rpm para asegurar que la mezcla sea homogénea durante todo el proceso de elaboración de hojas.

En primera instancia se lava la malla del formador, pasando con cuidado los dedos sobre la misma, para retirar posibles fibras adheridas. Una

vez limpia, se baja el recipiente superior y se amordaza. Se cierra la válvula de descarga, se abre la salida de agua y se llena el recipiente hasta la mitad.

Las primeras dos hojas serán realizadas con una toma de 400 g de solución y serán destinadas a medir la consistencia y así poder ajustar la toma, con el objetivo de realizar hojas de  $60 \text{ gr/m}^2$  en cada punto de refinado.

Una vez formada la hoja, se retiran los secantes secundarios y se dobla el primer secante con la hoja manual adherida. Son llevadas al Rapid Dryer ( $170 \text{ }^\circ\text{C}$ ) donde son secadas, luego se pesan y se ajusta la toma.

Se realiza una toma ajustada en balanza de precisión y se vierte sobre el cilindro. Se abre la salida de agua hasta que la columna de esta llegue a la marca superior del recipiente.

Se introduce el agitador manual y se da 5 movimientos de ascenso y descenso en 6 segundos sin sacar el agitador del agua. En el último movimiento se toma la precaución de realizar una pequeña rotación, para evitar que queden fibras adheridas al agitador. Se espera 5 segundos y se abre la válvula de descarga. Antes que la columna se desagote es importante sacar el agitador, para evitar que la hoja se dañe por la caída de gotas provenientes del mismo. Una vez que se desagota el agua, se abre el recipiente y se colocan 3 papeles secantes centrados sobre la hoja, el primero con la cara lisa sobre la hoja formada.

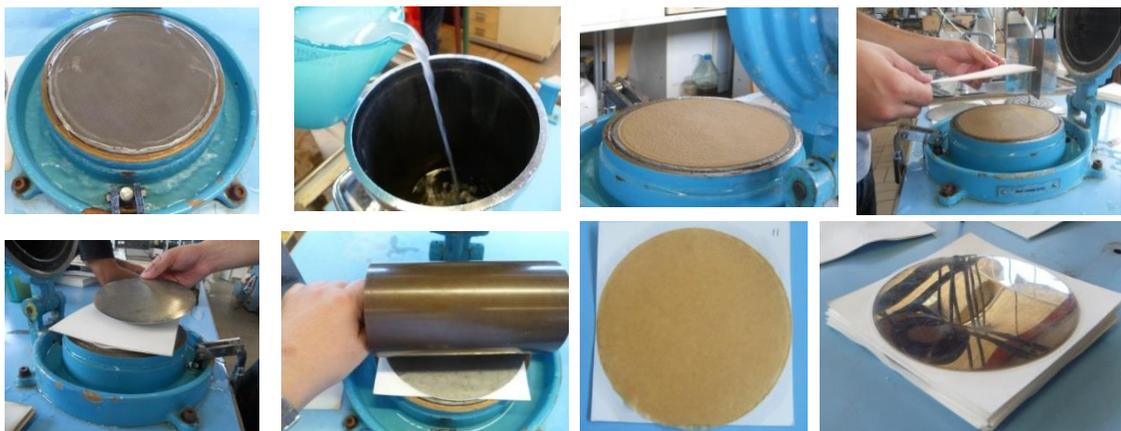
Se pone el disco metálico, también centrado sobre los secantes y con el rodillo metálico se efectúan 5 movimientos en 10 segundos, sin aplicar presión, comenzando del medio y llegando hasta aproximadamente 1 cm del borde de la placa, dicho rodillo se debe retirar en el último movimiento desde el centro de la misma.

Una vez pasado el rodillo y retirado el disco metálico, se levantan los secantes con la hoja manual adherida al primer secante. Se descartan los dos secantes inferiores y sobre la hoja manual fabricada se coloca un disco metálico.

Sobre este disco se agregan dos secantes nuevos que absorberán la humedad de la próxima hoja que se coloque en la pila. Las hojas se siguen colocando en este orden.

En la ilustración 14 se muestra el procedimiento realizado para la formación de hojas manuales.

Ilustración 14: Pasos para la formación de hojas manuales



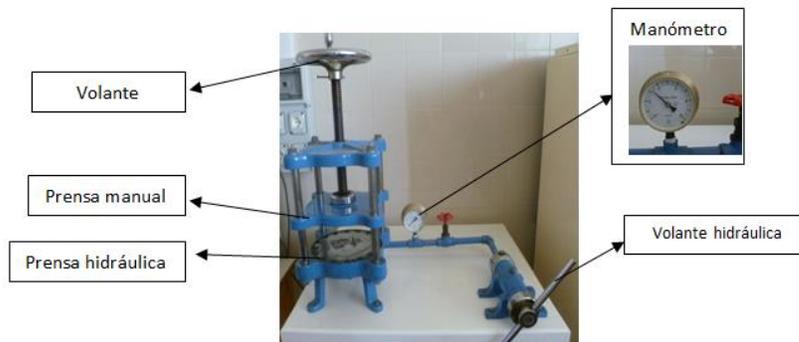
De izquierda a derecha se puede apreciar los pasos para la formación de hojas manuales: 1) limpieza de la malla, 2) colocación de la solución en el cilindro contenedor, 3) formación de la hoja sobre la malla, 4) colocación de los secantes, 5) ubicación del disco formador, 6) aplicación del rodillo, 7) cambio de hojas secantes y 8) formación de la pila para llevar a prensar.

### 3.8.2 Prensado

Según Gavazzo<sup>2</sup> el prensado de las hojas se realiza con el fin de extraer la mayor cantidad de agua posible y así consolidar la estructura de la misma. La remoción de agua y la compresión de las fibras contribuyen a aumentar la resistencia de la hoja una vez que esté seca.

Durante el trabajo se utilizó una prensa manual hidráulica que se muestra en la ilustración 15 y se detallan sus componentes más importantes.

Ilustración 15: Prensa manual



El prensado se hace en dos tiempos. Se coloca la pila de hojas en la prensa a  $3,4 \text{ kg/cm}^2$  durante 5 minutos. Luego se retira, se cambian los secantes y se da vuelta, es decir, se saca el disco con la hoja adherida hacia arriba y se coloca un nuevo secante sobre la primera hoja de la pila. La misma se instala nuevamente en la prensa y se aplica igual presión por dos minutos. Una vez cumplido el tiempo, se retiran los discos de la prensa, se separan los secantes y se colocan los discos sobre los anillos perforados con la hoja manual adherida hacia arriba, como se aprecia en la ilustración a continuación.

Ilustración 16: Prensado de hojas manuales



### 3.8.3 Secado

Las pilas de anillos perforados se colocan en el secador durante un período de dos horas como documenta la figura 17. Una vez secas, se llevan a la cámara climatizada para su acondicionamiento.

Ilustración 17: Secado de hojas



### 3.9 ACONDICIONAMIENTO DE LAS HOJAS

Posteriormente, las hojas son colocadas en el interior de una cámara de acondicionamiento por un mínimo de 4 horas a  $23 \pm 2$  °C y  $50 \pm 5$  % de humedad relativa. Una vez acondicionadas se retiran las hojas de los discos y se identifican según su grado de refinado. En la ilustración siguiente, se puede observar la cámara de acondicionamiento y las hojas en su interior.

Ilustración 18: Acondicionamiento de hojas en la cámara

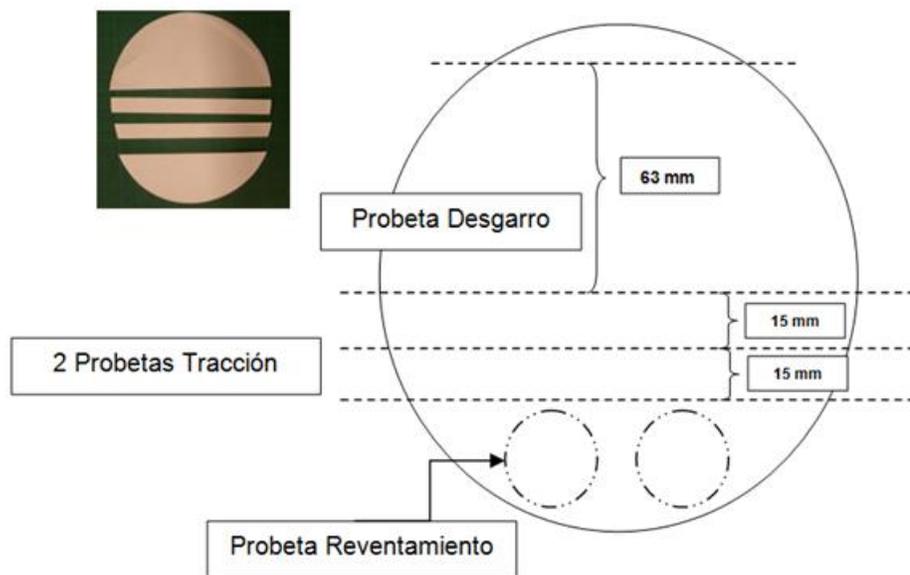


### 3.10 CORTADO DE PROBETAS

Para realizar los ensayos físicos mecánicos, se seleccionan las mejores 10 hojas, de aproximadamente 15 hojas formadas para cada punto. Se eliminan aquellas hojas mal formadas, con impurezas, rajaduras, marcas de aire, etc.

Las probetas para los ensayos que se presentan a continuación se confeccionan según la norma TAPPI T 220 sp-10 dentro de la cámara de acondicionamiento, siguiendo el diagrama que se muestra a continuación.

Ilustración 19: Diagrama de cortado de probetas



### 3.11 PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS

#### 3.11.1 Gramaje

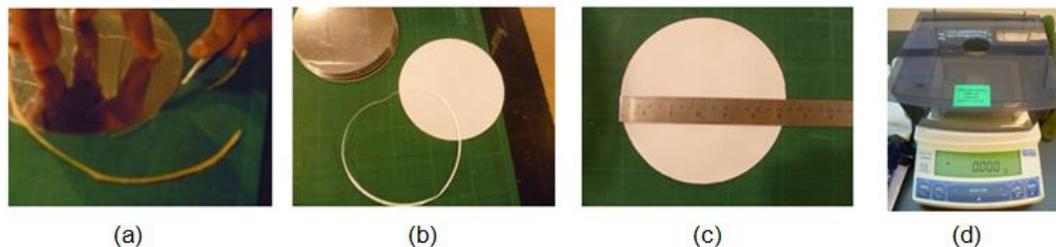
El gramaje se calcula según la norma TAPPI T 220 sp-10. Se cortan los bordes de las hojas, usando como molde, un disco de diámetro conocido dentro de la cámara de acondicionamiento. Se miden con regla metálica calibrada, dos diámetros por hoja, con los que luego se calculará el área promedio de las mismas y se pesan en mazos de a 5, en una balanza de precisión a la milésima de gramo (0,001g).

El cálculo de gramaje se realiza a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Gramaje} \left( \frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right) = \frac{\text{Peso promedio 5 hojas}}{5 \times \text{Área promedio}}$$

En la ilustración 20 se puede apreciar el preparado de probetas, el cortado de los bordes (ilustración a y b), determinación de diámetro (c) y pesada en balanza (d).

Ilustración 20: Preparado de probetas para medición de gramaje

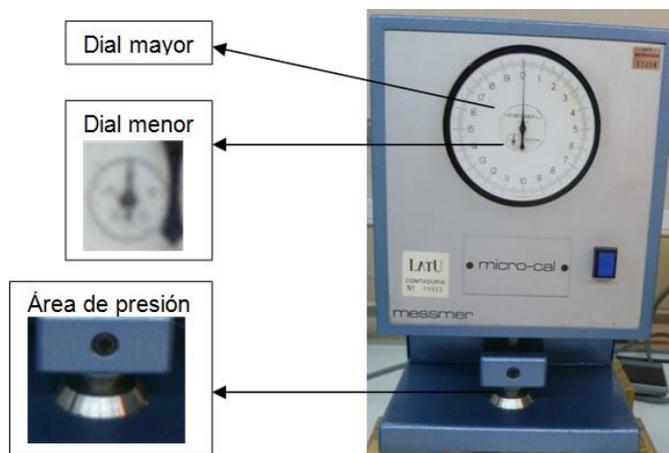


### 3.11.2 Espesor

Se utiliza un micrómetro de alta precisión de peso muerto, marca MESSMER, modelo MICRO-CAL, el cual cuenta con dos superficies planas, paralelas y circulares, entre las cuales se coloca el papel, como se observa en la figura 21. El área de presión es de  $203,6 \text{ mm}^2$ . La superficie inferior es fija mientras que la superior es accionada por un motor con una velocidad de aproximación constante. La presión ejercida entre las dos superficies durante la medida es de  $50 \pm 5 \text{ kPa}$ .

El dial mayor, de 113 mm de diámetro, tiene una escala de 200 micrómetros con divisiones de 1 micrómetro. El dial menor tiene 25 divisiones. Una revolución completa del dial mayor, equivale a una división del menor.

Ilustración 21: Micrómetro Messmer



El espesor es calculado según la norma TAPPI T411. Esta técnica consiste en poner 5 hojas con sus caras lisas todas hacia el mismo lado y se mide el espesor en 10 puntos diferentes seleccionados al azar. Estos puntos deben estar a más de 1 cm del borde de la hoja.

Una vez obtenidas las 10 medidas, se corrobora que la diferencia máxima entre las medidas no supere el 5% determinando así, que ninguna diferencia se deba a partículas. De ser este el caso, se toma una nueva muestra en otro punto al azar y se descarta la medida más alta.

Los resultados se expresan en micrómetros por hoja. A partir de esta medida y el gramaje se determinan la densidad y el volumen específico.

### 3.11.3 Resistencia a la tracción

Este ensayo mide la fuerza máxima de tensión que resiste la probeta, mientras se separan las mordazas que la sujetan por sus extremos, a una velocidad constante predeterminada y una distancia de mordazas, también determinada.

La resistencia que ofrece un papel a la ruptura por tracción, se define por la longitud de una banda o probeta de papel suspendida por sus extremos, que se rompe al someterla a una fuerza de tracción.

El equipo de laboratorio utilizado para este ensayo es un dinamómetro universal (Regmed D1-R1 versión 4) con celda de 500 N. Este aparato está diseñado para medir la fuerza tracción (KgF) y elongación (mm) estirando las probetas de dimensiones conocidas, con una velocidad de carga constante. A continuación se aprecia el dinamómetro y sus principales componentes.

Ilustración 22: Dinamómetro



El procedimiento se realiza bajo la Norma TAPPI T 494 om- 06 Una vez seleccionadas las 10 mejores hojas se cortan las 20 probetas, este número asegura un mínimo de 10 resultados válidos.

Las probetas no deberán tener, grietas, arrugas, impurezas o marcas de agua dentro.

Una vez cortadas, se llevan a la sala de ensayos en una bolsa de nylon para no perder el acondicionamiento.

En el Dinamómetro se fija la distancia de separación inicial entre mordazas de 100 mm y la velocidad de trabajo, con la cual se separarán las mordazas en 25 mm/min.

El ensayo se inicia colocando la probeta en forma horizontal entre las dos mordazas, el sensor óptico acciona automáticamente el cierre de las mismas. Una vez cerradas, la mordaza móvil se empieza a alejar sometiendo a la probeta a un esfuerzo de tracción hasta la ruptura.

La “carga de ruptura” se expresa en Kilogramos Fuerza (KgF) y es por lo tanto la fuerza necesaria para romper esa tira o banda de papel.

La resistencia a la tracción dependerá de las fuerzas de adhesión que presenten las fibras, que a la vez depende del grado de refinación, gramaje, largo de fibra y disposición de la estructura.

El índice de tracción es calculado según la siguiente ecuación.

$$\text{Índice de tracción} \left( \frac{Nm}{g} \right) = \frac{\text{Tracción media} \times 9.80665}{0.015 \times \text{Gramaje}}$$

#### 3.11.4 Resistencia al desgarro

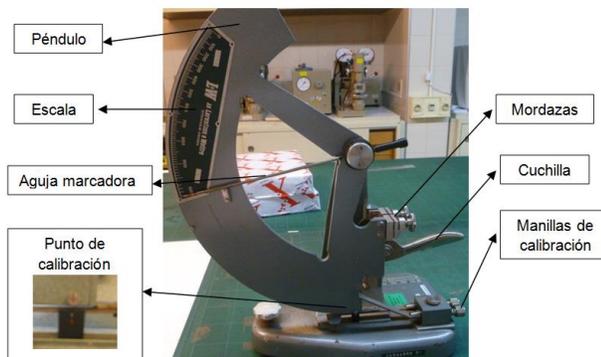
El desgarro es el trabajo necesario que hay que hacer para rasgar una hoja de papel. Según De Mello (2000) la resistencia al rasgado va a estar dado por diferentes factores como largo de fibra, grado de refino, humedad relativa del ambiente, sentido de fabricación y forma de constitución (mecánica, semi mecánica o química).

La resistencia al desgarro se entiende como la resistencia que ofrece la estructura de papel a la continuación de un corte previamente realizado en el mismo.

El equipo utilizado para el cálculo de resistencia al rasgado o desgarro (Elmendorf) cuenta con 4 péndulos intercambiables de diferente peso, identificados de la siguiente forma A/4, A, B y C. El utilizado en el presente informe es el A, este péndulo de caída continúa con el rasgado inicial que se realiza con la cuchilla. La muestra es sujeta con dos mordazas metálicas, una fija y la otra móvil, mientras la lectura se realiza sobre la escala que se encuentra en el péndulo.

Esta resistencia está relacionada con el largo de fibra. Después del corte de 20 mm, este aparato medirá el trabajo necesario para rasgar los 43 mm restantes.

Ilustración 23: Aparato de resistencia al desgarro



La metodología utilizada para realizar el ensayo se hace en base a la Norma Tappi T 414 om-12. El instrumento se debe calibrar previo a su uso y según el péndulo utilizado.

Para realizar este ensayo se amordazan cinco probetas a la vez, con el lado más corto hacia abajo y las caras brillantes hacia el equipo.

Una vez colocadas las probetas se realiza un corte de 20 mm con la cuchilla asegurando que la distancia de desgarro sea de 43 mm. Se pone la aguja en posición y se suelta el péndulo. Realizado el desgarro, se sujeta el péndulo y se lee el valor en la escala (Nm). Este procedimiento se repite cuatro veces por muestra.

Posteriormente se procede al cálculo del Índice de Desgarro utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de desgarro} \left( \frac{\text{Nm} \cdot \text{m}^2}{\text{g}} \right) = \frac{\text{Desgarro promedio}}{\text{Gramaje}}$$

### 3.11.5 Resistencia al reventamiento – Mullen

El Mullen Tester es indispensable para el control de calidad de papeles.

Se mide la resistencia de la hoja de papel a una fuerza ejercida en su superficie. Cuando esta resistencia es vencida, se provoca la ruptura de la hoja en forma simultánea.

El principio de funcionamiento del equipo Mullen tester se basa en la aplicación de presión hidráulica uniformemente creciente a través de una membrana elástica sobre el papel de ensayo, hasta que ocurra la ruptura del mismo. Esta membrana se deforma ante la presión hidráulica ejercida por un fluido (glicerina).

La resistencia máxima del papel, es registrada por un puntero de arrastre montado en el manómetro. En la figura a continuación se observa el Mullen tester y las principales partes que lo componen.

Ilustración 24: Aparato de resistencia al reventamiento

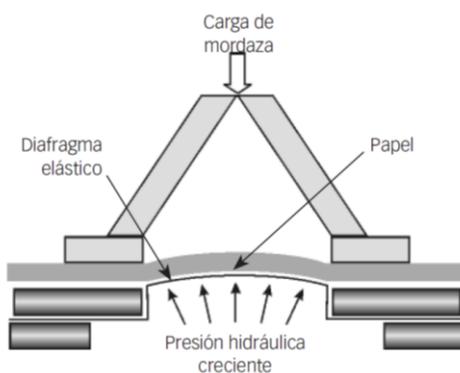


La norma utilizada para la realización de este ensayo TAPPI 403 om-10. Se determina sujetando la probeta sobre el diafragma de goma al que se le aplica una presión hidráulica a una velocidad específica, midiéndose el valor de la presión correspondiente a la ruptura. Cuando la hoja se rompe, la máxima presión alcanzada queda registrada por la aguja secundaria. Se realizan dos medidas por probeta, alcanzando 20 valores por punto expresados en kPa.

A continuación se muestra la ecuación utilizada para el cálculo del índice de reventamiento y en la ilustración No. 25 un esquema del ensayo explicado anteriormente.

$$\text{Índice de reventamiento} \left( \frac{\text{NPa} \cdot \text{m}^2}{\text{g}} \right) = \frac{\text{TReventamiento promedio}}{\text{Gramaje}}$$

Ilustración 25: Esquema del ensayo de estallido



Fuente: Zanuttini et al. (2012)

### 3.12 CONTENIDO DE HUMEDAD

Es la cantidad de agua que contiene un papel o cartón expresada como porcentaje. Se la considera como el cociente entre la pérdida de masa de una probeta cuando es secada y su masa en el momento de muestreo.

El contenido de humedad es de suma importancia, debido a que afecta las propiedades estudiadas principalmente al gramaje, las resistencias, espesor, la estabilidad dimensional, entre otras.

#### 3.12.1 Equipos

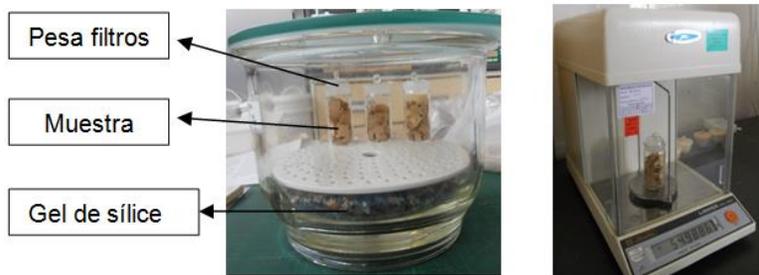
El desecador es un recipiente de vidrio, que se utiliza para mantener limpia y deshidratada una sustancia por medio del vacío.

Presenta dos partes, la primera más grande y superior que es por donde se colocan los pesa filtros y la otra inferior se usa para poner el desecante (gel de sílice) como se muestra en la ilustración 26 (izquierda).

Para el manipuleo del papel y de los pesa filtros, es indispensable utilizar guantes, evitando así la transferencia de humedad.

Las medidas se realizan en balanza analítica de alta precisión como se ve en la ilustración 26 (derecha), en este caso se utiliza la SHIMADZU AEL-200 con una precisión de 0.1 mg.

Ilustración 26: Desecador y balanza de alta precisión



### 3.12.2 Determinación de humedad del papel por secado en estufa.

El ensayo se basa en la norma UNIT-NM 105-98 y comienza con el cálculo del peso de los pesa filtros. Se calcula el peso inicial (pesa filtro seco) colocándolos en la estufa con circulación de aire forzado a una temperatura de 105 °C por 30 min. Luego, con guantes son instalados en el desecador hasta alcanzar una temperatura de equilibrio con la atmosférica. Se determina el peso seco de los pesa filtros.

Para la obtención de probetas, se pica 4 g de papel acondicionado para determinar el contenido de humedad de las muestras por duplicado.

Se introduce la muestra al pesa filtro, e inmediatamente después se pesa, obteniendo así el peso inicial de la muestra (masa húmeda).

Para el secado inicial, se colocan en la estufa los pesa filtros destapados. Se mantiene la temperatura del aire a 106 °C  $\pm$  2 durante una hora aproximadamente. Se debe tener el cuidado que durante este período, no ingresen nuevas probetas húmedas.

Luego de transcurrida una hora, se tapan los pesa filtros dentro de la estufa y se introducen al desecador siempre utilizando guantes. Se dejan hasta alcanzar una temperatura de equilibrio con la atmosférica.

Para la determinación del peso anhidro se equilibran las presiones de aire del pesa filtro, abriéndolo y cerrándolo rápidamente, procediéndose a pesarlos.

Los pesa filtros son nuevamente introducidos en la estufa destapados y se dejan por un período mínimo de 2 horas. Luego de ese tiempo se repite el paso anterior. El ensayo se da por concluido, cuando se alcanza peso constante o hasta que la muestra llegue a una diferencia porcentual menor a 0,1%.

El peso constante se define como la masa alcanzada por una probeta de papel, después de haber sido secada a una temperatura específica, hasta que la diferencia entre dos pesadas sucesivas no exceda 0,1% de la masa inicial de las probetas.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se documentan los resultados obtenidos durante la fase experimental del presente trabajo y su discusión pertinente.

##### 4.1 REFINACIÓN

En los siguientes puntos, se presentan los resultados de drenabilidad en ml obtenida para cada punto de refinación y su correspondiente valor °SR para ambas pulpas en estudio.

La curva de refinación se confecciona con el punto sin refinar (pulpa virgen) y cuatro puntos más de refinación. Se informan las revoluciones aplicadas con los correspondientes grados de refinación expresados en ml y su valor correspondiente en °SR. Las tablas completas para la pulpa de Eucalyptus y Pino se presentan en el Anexo 4 y No. 5.

En el cuadro No. 8 y No. 9 se presentan los resultados de drenabilidad, en función del número de revoluciones para la pulpa de Eucaliptus y Pino.

Cuadro 8: Drenabilidad en función de revoluciones para Eucalyptus

<b>Refinación</b>	<b>CSF</b>	<b>°SR</b>
<b>r</b>	<b>ml</b>	<b>°</b>
<b>0</b>	579	20
<b>1500</b>	445	29
<b>4000</b>	344	38
<b>6500</b>	197	52
<b>9000</b>	108	64

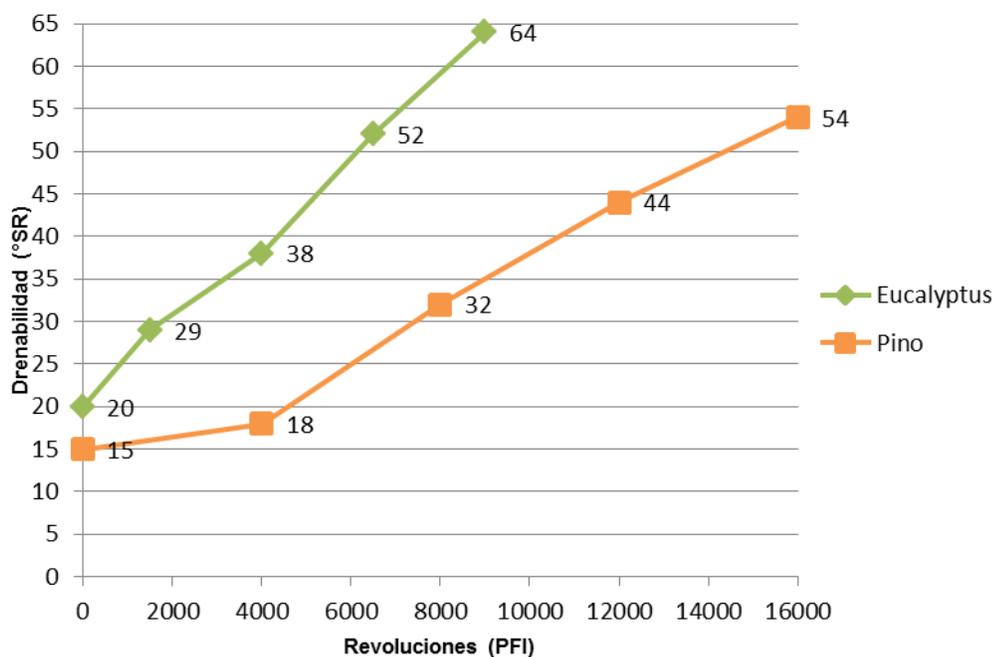
Cuadro 9: Drenabilidad en función de revoluciones para Pino

PINO	CSF	°SR
r	ml	°
0	762	15
4000	620	18
8000	390	32
12000	273	44
16000	180	54

El gráfico 4 muestra la variación de la drenabilidad, a medida que aumenta el grado de refinación de la pulpa, tanto para Pino como para Eucalyptus.

A medida que aumenta el número de revoluciones, por lo tanto el nivel de refinación, la drenabilidad en ml disminuye y los °SR aumentan. Durante el proceso de refinación, las fibras se fibrilan o “despeinan” disminuyendo su longitud. Esto provoca un aumento en la unión entre fibras, generando así una mayor resistencia al pasaje del agua.

Gráfico 4: Drenabilidad (°SR) en función del No. de revoluciones



La pulpa de Eucalyptus presenta mayor °SR, tanto para la pulpa virgen como en los diferentes puntos de refinación. Esta pulpa de menor tamaño se fibrila más fácilmente en el proceso de refinado. Se puede decir entonces, que la fibra corta presenta mayor respuesta al refinado que pulpas de fibra larga.

Las diferencias anatómicas existentes entre estas especies, como largo de fibra y componentes de la estructura mencionadas anteriormente, explican también los resultados obtenidos.

Esto se refleja claramente en la pulpa de Pino, donde se necesita un mayor número de revoluciones en el PFI, para obtener una drenabilidad expresada en °SR similar al de la pulpa de Eucalyptus.

Agregado a esto, la pulpa virgen de Pino muestra mayor drenabilidad (menor °SR) que la pulpa virgen de Eucalyptus. Esto se debe a que presenta fibras de mayor longitud, generando así, menor resistencia al pasaje de agua.

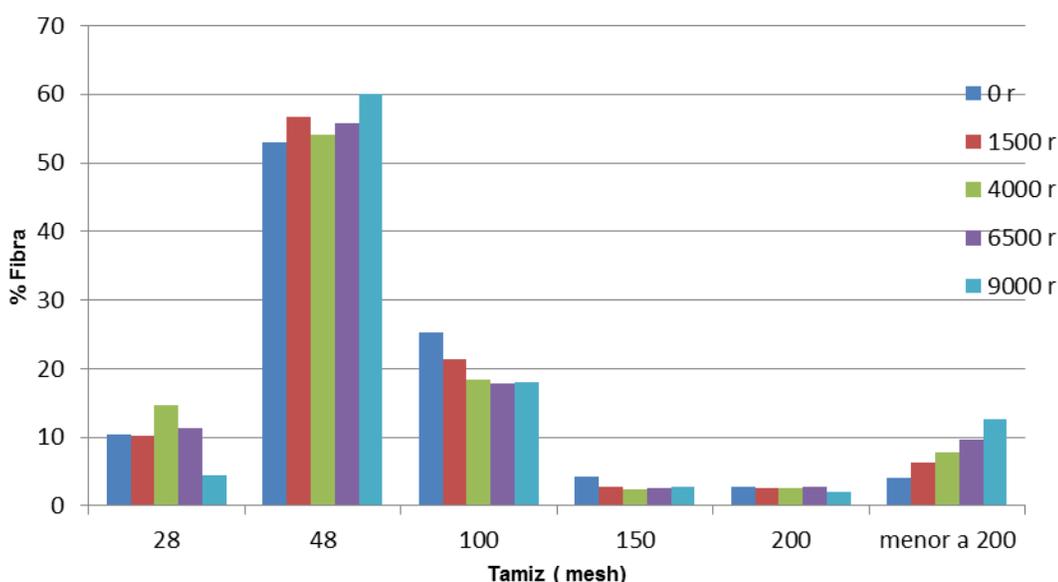
## 4.2 CLASIFICACIÓN DE FIBRAS

Partiendo de la clasificación de fibras realizada, en este punto, se presentan los resultados obtenidos y su correspondiente análisis. Agregado a esto, en los Anexos 6 y 7 se pueden observar los datos de drenabilidad de pulpa de Eucalyptus y Pino, para el ensayo Bauer Mc Nett y su respectiva corrección. También se presentan los datos obtenidos de la clasificación de fibras para Eucalyptus y Pino en los anexos 8 y 9.

#### 4.2.1 Eucalyptus

En el gráfico 5 se muestran los resultados obtenidos en cada tamiz mediante el método de clasificación de fibras Bauer Mc Nett para cada punto de refinación.

Gráfico 5: Clasificación de fibra de Eucalyptus según grado de refinación



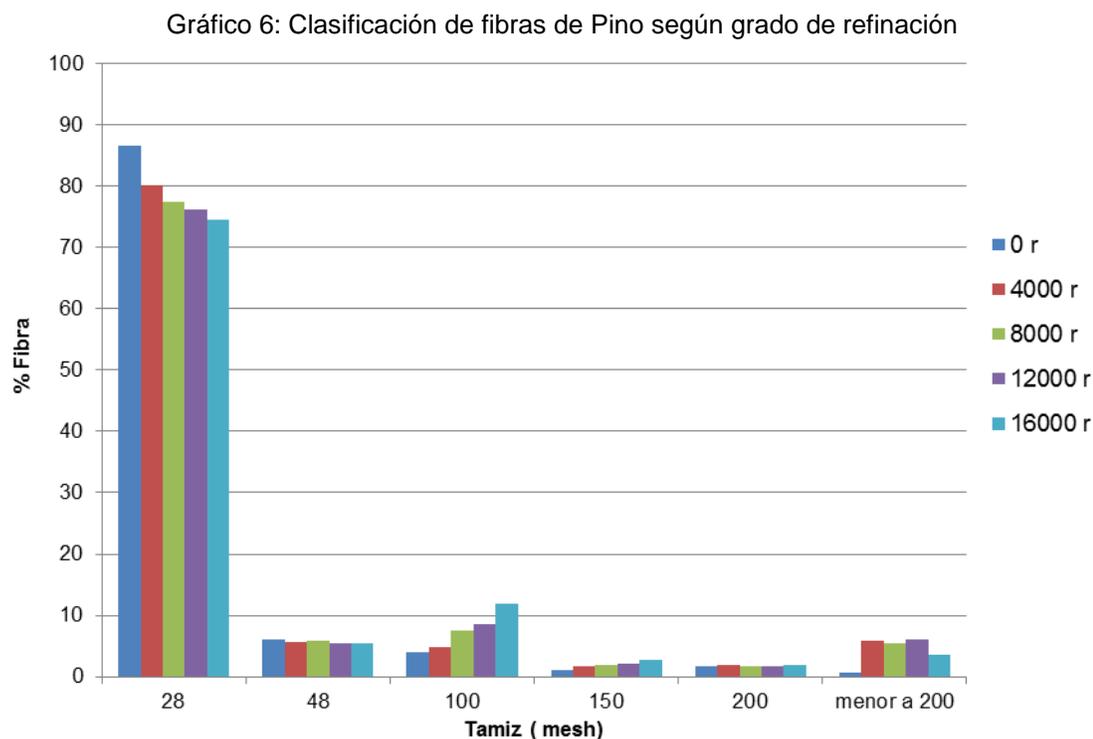
Sin considerar el grado de refinación, se puede apreciar que la mayor proporción de fibras se retiene en el tamiz de 48 mesh es decir una apertura de 0.297 mm.

A medida que aumenta el grado de refinación, el tamaño de las fibras tiende a disminuir, debido a que se van cortando. En la gráfica esta tendencia se aprecia en la fibra que no queda retenida en el tamiz de 200 mesh. En este punto se aprecia como aumenta la proporción de fibra con el aumento de refinación.

La menor proporción en el tamiz 28 mesh, corresponde a que la pulpa analizada es de fibra corta.

#### 4.2.2 Pino

En el gráfico 6 se muestran los resultados obtenidos en cada tamiz mediante el método de clasificación de fibras Bauer Mc Nett para cada punto de refinación.



En el tamiz 28 mesh se observa la mayor cantidad de fibra en todas las refinaciones, debido a que se trata de fibra larga. Sin embargo, podemos apreciar que a medida que aumenta el grado de refinación, disminuyen los porcentajes de fibras retenidas. En el tamiz de 100 mesh, se puede apreciar claramente, que a mayor grado de refinado las fibras se van acortando, quedando en tamices de menor tamaño.

Por el contrario, en Eucalyptus se puede ver la mayor proporción en el tamiz 48 mesh, debido a que la longitud de las fibras es menor.

El 86.7% de la pulpa virgen quedó retenida en el tamiz 28 mesh y el 0.55% menores a 200 mesh. Por el contrario, el 74.45% de la pulpa refinada a 16000 r es mayor a 28 mesh, mientras que el 3.5% es menor a 200 mesh.

Estos resultados son los esperados, ya que un mínimo refinado provoca que las fibras se acorten, generando esta variación en las proporciones.

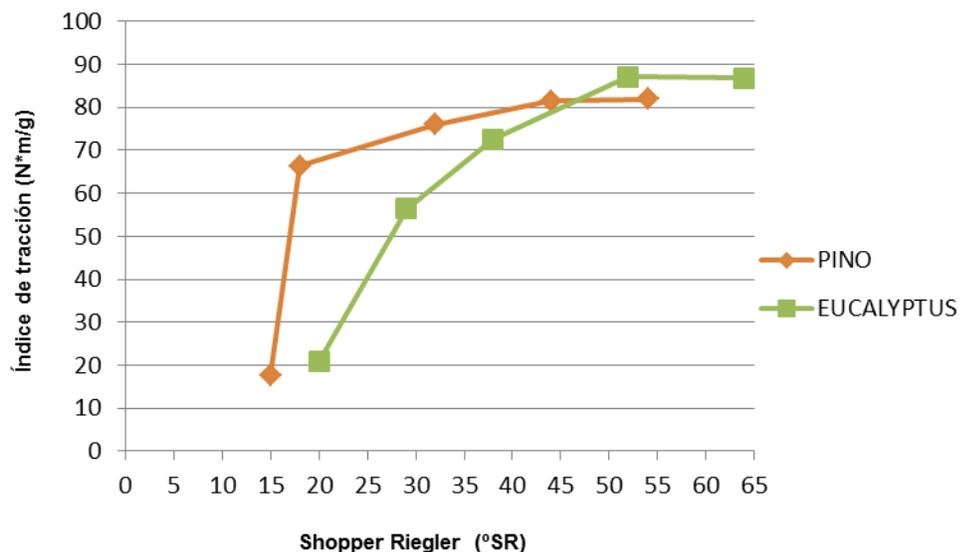
### 4.3 PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS

Los cuadros completos de datos se pueden observar en el anexo 10

#### 4.3.1 Índice de tracción

En el gráfico 7 se muestran los resultados obtenidos para el índice de tracción en ambas pulpas para los diferentes valores de °SR.

Gráfico 7: Índice de tracción para Pino y Eucalyptus según grado de refinado



La resistencia a la tracción en ambas pulpas, aumenta a mayor grado de refinación. A medida que aumentan los °SR, las fibras se fibrilan y se acortan, mejorando la unión interfibrilar, aumentando así este índice.

En el caso de Eucalyptus, el índice de tracción aumenta hasta 87.17 N\*m/g en el punto de refinado 6500 r correspondiente a 52 °SR. Una vez que se supera este número de revoluciones, la resistencia a la tracción comienza a estabilizarse. Aumentando aún más la refinación, las fibras se degradarían generando una disminución en el índice de tracción.

Por otro lado, la pulpa virgen de Pino presenta una drenabilidad de 15 °SR y un índice de tracción de 17.58 N\*m/g. Una refinación de 4000 r sube notoriamente esta característica llevándola a 66.32 N\*m/g aumentando solo 3 °SR, de 15 a 18 °SR. El máximo se puede observar en 16000 r correspondiente a una drenabilidad de 54 °SR y un índice de tracción de 81.92 N\*m/g.

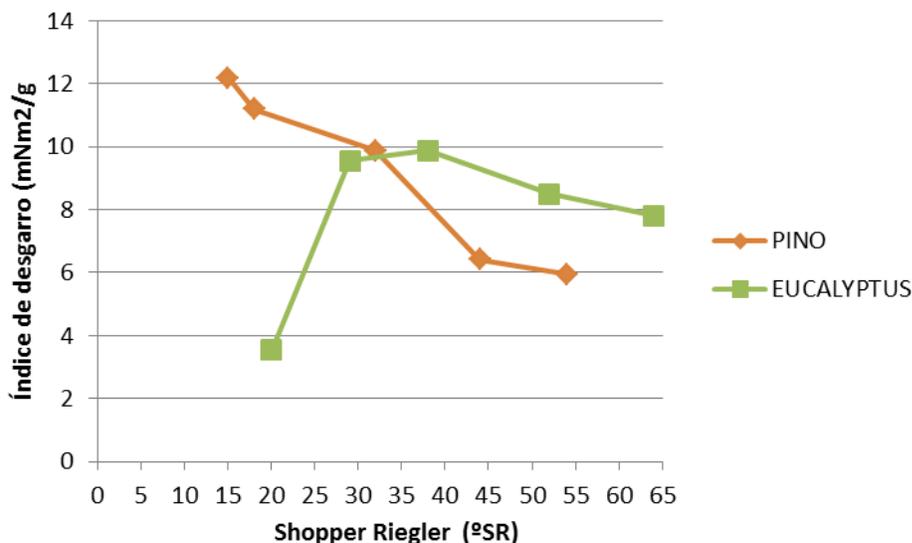
Con esta información se puede observar claramente el importante efecto de la refinación sobre la resistencia a la tracción, por ende, el rol de la refinación en la obtención de mejores propiedades papeleras.

En comparación, la pulpa de Pino mostró mayor resistencia a la fuerza de tracción que la pulpa de Eucalyptus, hasta el nivel de refinación correspondiente a los 44 °SR. Desde este punto en adelante, la pulpa de Eucalyptus supera los valores de resistencia de la pulpa de Pino.

#### 4.3.2 Índice de desgarro

El gráfico 8 muestra el comportamiento del índice de desgarro a medida que aumenta el grado de refinación para ambas pulpas. En el mismo se observa un comportamiento diferente en fibra corta y larga.

Gráfico 8: Índice de desgarró para Pino y Eucalyptus según grado de refino



De los resultados obtenidos para la pulpa de Eucalyptus, se puede apreciar que una vez superados los 38 °SR, la resistencia ofrecida por las fibras comienza a disminuir significativamente de 9.88 mNm<sup>2</sup>/g a 7.82 mNm<sup>2</sup>/g. Esto se debe a que el porcentaje de fibras cortas aumenta con la refinación, provocando una disminución en la resistencia al desgarró.

Estos resultados acompañan la curva de desgarró esperada, donde el índice aumenta al principio con una leve refinación y luego disminuye.

Para la pulpa de Pino, el índice de desgarró se ve afectado negativamente a medida que aumenta la refinación, debido a que las fibras son cortadas. Este descenso en la resistencia al desgarró se produce de forma gradual. Las hojas formadas a partir de la pasta virgen, presentaron un índice de desgarró de 12,19 mNm<sup>2</sup>/g el cual disminuye a 5.94 mNm<sup>2</sup>/g para el punto de refinación de 16000 r correspondiente a 54 °SR.

En ambos casos se puede visualizar que el largo de fibra afecta más la resistencia al desgarró que la unión entre las fibras.

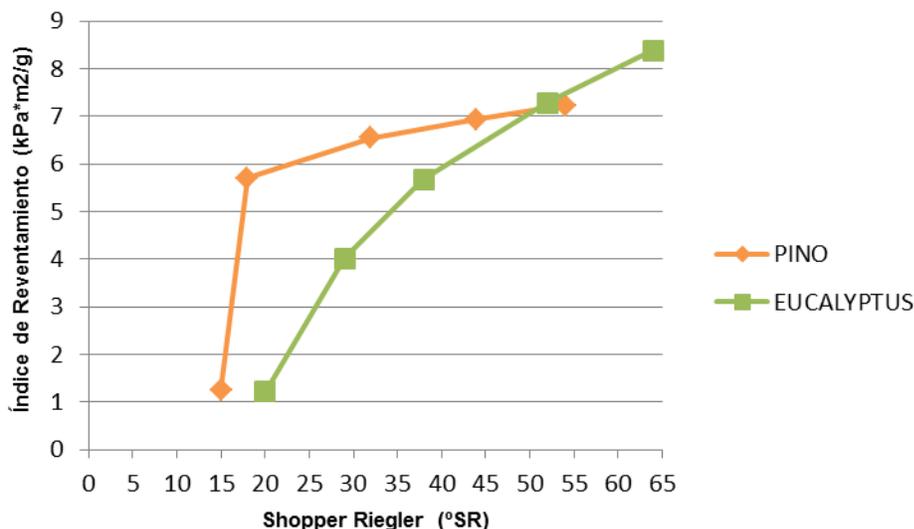
Comparando ambas pulpas, la resistencia al desgarró en Pino presenta un continuo descenso. En Eucalyptus, se ve un aumento de aproximadamente 170% con el primer grado de refinación, pasando de 3.54 mNm<sup>2</sup>/g en pulpa

virgen a  $9.55 \text{ mNm}^2/\text{g}$  en la refinación a 1500 r ( $29^\circ\text{SR}$ ). El aumento de la resistencia es solo de  $0.43 \text{ mNm}^2/\text{g}$  cuando se refina a 4000 r ( $38^\circ\text{SR}$ ). Desde este punto en adelante, el aumento en el grado de refinación disminuye la resistencia de la pulpa al desgarro.

### 4.3.3 Índice de reventamiento

En último lugar, pero no menos importante, se muestra en el gráfico a continuación, el índice de reventamiento para ambas fibras.

Gráfico 9: Índice de reventamiento para Pino y Eucalyptus según grado de refino



A mayor grado de refino, aumenta el índice de reventamiento debido a que las fibras mejoran su capacidad de unión entre sí, aumentando la resistencia al estallido.

La fibra virgen de Eucalyptus, presenta un índice de reventamiento de  $1.21 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$  correspondiente a  $20^\circ\text{SR}$ . La refinación a 1500 r ( $29^\circ\text{SR}$ ) aumenta este índice en  $2.8 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$  llevándolo a  $4.01 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ . En el punto máximo de refinación este parámetro alcanza  $8.38 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ .

En el caso de Pino, también se ve el significativo aumento que genera la primera refinación sobre esta característica. La pulpa virgen ( $15^\circ\text{SR}$ ) presenta un índice de reventamiento de  $1.26 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ , este aumenta a  $5.7$

$\text{kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$  una vez que la pasta es refinada a 4000 r (18 °SR). El mayor valor alcanzado es de  $7.23 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$  con una refinación de 16000 r que representa una drenabilidad de 54 °SR.

Una vez más, se denota la influencia de la refinación sobre esta característica papelera, cuando se compara pulpa virgen con pulpa refinada a diferentes puntos.

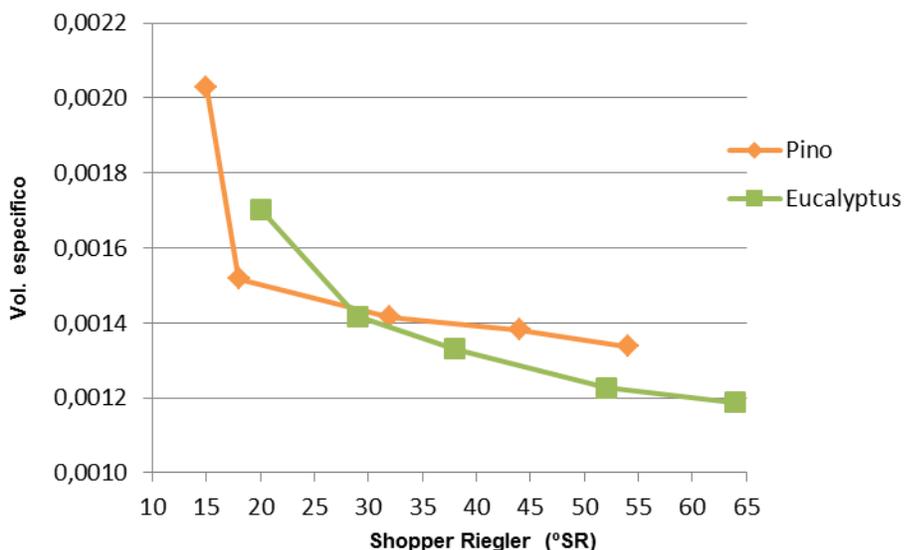
La pulpa de Pino presenta mayores resistencias que la pulpa de Eucalyptus hasta los 52 °SR. En este punto las resistencias son muy similares siendo para Eucalyptus  $7.28 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$  y para la pulpa de Pino  $7.23 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ .

Luego de este punto, con un notorio aumento de los °SR la pulpa de Eucalyptus muestra mayor resistencia al reventamiento con 64 °SR llegando a  $8,38 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ .

#### 4.3.4 Densidad y volumen específico

En el gráfico 10 se muestra el volumen específico para la pulpa de Pino y Eucalyptus, según el grado de drenabilidad expresado en °SR.

Gráfico 10: Volumen específico según drenabilidad en °SR.



La refinación provoca una subdivisión de las fibras, aumentando la unión de agua en los conductos capilares (más número y más finos), lo que

genera mayor superficie y flexibilidad de la fibra y mayor unión cuando se seca la hoja, provocando papeles más densos con menor porosidad.

#### 4.4 MEZCLAS

Para los ensayos mezcla de Eucalyptus, se selecciona un punto óptimo a partir de la curva de refinación y el rango, donde las tres propiedades presentan su mejor comportamiento. El punto seleccionado fue 4000 r y en el cuadro 10 se presentan los resultados obtenidos de tres repeticiones para realizar ensayos.

Cuadro 10: Datos población base punto óptimo (4000 r) Eucalyptus

Refinación	CSF corregido	°SR
R	ml	°
4000	268	44
4000	253	46
4000	304	41

Se eligen dos puntos de refinación 6500 r y 9000 r, la primera muy refinada y la segunda altamente refinada, creando sus respectivas poblaciones bases que van a ser utilizadas en los ensayos mezcla explicados a continuación en el Cuadro 11.

Cuadro 11: Mezclas realizadas con pulpa de Eucalyptus

6500 r	20% pulpa virgen	6500 r	20% pulpa a 4000 r
	30% pulpa virgen		30% pulpa a 4000 r
	50% pulpa virgen		50% pulpa a 4000 r
9000 r	20% pulpa virgen	9000 r	20% pulpa a 4000 r
	30% pulpa virgen		30% pulpa a 4000 r
	50% pulpa virgen		50% pulpa a 4000 r

Con estas mezclas, se fabrican hojas manuales que serán utilizadas para analizar sus propiedades papeleras y así determinar cuánto se acercan o alejan de las propiedades del punto óptimo definido.

En el caso de la pulpa de Pino, se siguió el mismo procedimiento. Se seleccionó un óptimo de refinación en 8000 r y se realizaron dos repeticiones de la población base para efectuar los ensayos obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro 12: Datos población base punto óptimo (8000 r) Pino

Refinación	CSF corregido	°SR
r	ml	°
8000	473	26
	467	27
8000	397	33
	397	33

El cuadro 13 que se muestra a continuación, esquematiza las mezclas realizadas sobre las cuales se estudiarán las propiedades papeleras.

Cuadro 13: Mezclas realizadas con pulpa de Pino

12000 r	20% pulpa virgen	12000 r	20% pulpa a 8000 r
	30% pulpa virgen		30% pulpa a 8000 r
	50% pulpa virgen		50% pulpa a 8000 r

En los puntos a continuación se presentan los datos obtenidos de estos ensayos y su análisis correspondiente.

#### 4.4.1 Drenabilidad de las mezclas

##### 4.4.1.1 Mezclas de Eucalyptus

En el cuadro 14 que se presenta a continuación, y como se explica en puntos anteriores, los °SR van aumentando a medida que aumenta el grado de refinación, pasando de 20 °SR para la pasta virgen a 64 °SR para la pulpa refinada a 9000 r.

Cuadro 14: Drenabilidad de las mezclas y punto óptimo en pulpa de Eucalyptus

<b>Ensayos mezcla Eucalyptus</b>	<b>CSF</b>	<b>°SR</b>
<b>r</b>	<b>ml</b>	<b>°</b>
0	579	20
4000	344	38
6500	197	52
9000	108	64
20% pulpa virgen y 80% 6500	299	41
30% pulpa virgen y 70% 6500	323	38
50% pulpa virgen y 50% 6500	389	32
20% 4000 y 80% 6500	255	46
30% 4000 y 70% 6500	256	46
50% 4000 y 50% 6500	267	45
20% pulpa virgen y 80% 9000	283	43
30% pulpa virgen y 70% 9000	317	38
50% pulpa virgen y 50% 9000	376	34
20% 4000 y 80% 9000	226	49
30% 4000 y 70% 9000	241	47
50% 4000 y 50% 9000	251	46

En la primer y tercer mezcla, se observa que el agregado de pulpa virgen aumenta los valores de drenabilidad expresados en ml, disminuyendo los °SR. A medida que se aumenta las proporciones de pulpa virgen en la

población refinada a 6500 r, la drenabilidad baja de 41 °SR a 32 °SR. El mismo comportamiento se aprecia en la población refinada a 9000 r, donde la disminución es de 43 °SR a 34 °SR. Esto se debe a la mayor proporción de fibras vírgenes, no fibriladas, menos unidas entre sí, que permiten un mayor pasaje de agua obteniendo así una mayor drenabilidad.

Si se compara entre las dos poblaciones base, se observa que en la mezcla de pulpa virgen con pasta refinada a 9000 r los valores de Canadian son menores con respecto a la misma mezcla para la población de 6500 r. Esto se debe a que las fibras refinadas a 9000 r, se encuentran más fibriladas generando una mayor unión entre las mismas, permitiendo un menor pasaje de agua.

La segunda y cuarta mezcla, mantienen la misma tendencia. En las mezclas de diferentes proporciones de pulpa en el punto óptimo (4000 r) con la población base de 6500 r la drenabilidad casi no varía, siendo de 46 °SR para 20% y 30% de pulpa refinada a 4000 r y de 45 °SR para la mezcla de 50% 4000 r y 50% población a 6500 r. La poca diferencia entre estos valores de drenabilidad se adjudica a que el grado de refinación de las fibras es similar.

Sin embargo, en la cuarta mezcla donde existe mayor diferencia en los puntos de refinación de las pastas (de 4000 r a 9000 r), la variación se ve más marcada disminuyendo de 49 °SR en la mezcla 20% 4000 r + 80% 9000 r a 46 °SR en la mezcla 50% 4000 r + 50% 9000 r.

#### 4.4.1.2 Mezclas de Pino

Cuadro 15: Drenabilidad de las mezclas y punto óptimo para Pino

Ensayos mezcla Pino	CSF	°SR
Revoluciones PFI	ml	°
0	762	15
8000	390	32
12000	273	44
20% pulpa virgen y 80% 12000	407	31
30% pulpa virgen y 70% 12000	455	27
50% pulpa virgen y 50% 12000	567	21
20% 8000 y 80% 12000	320	39
30% 8000 y 70% 12000	344	36
50% 8000 y 50% 12000	379	33

Como se muestra en el cuadro anterior, la drenabilidad en el punto de refino 12000 r es de 273 ml, lo que corresponde a 44 °SR. A medida que se agrega pulpa virgen la drenabilidad va aumentando progresivamente mostrando valores desde 31 °SR con 20% hasta 21 °SR con 50%.

Como en el caso de Eucalyptus, estos resultados son los esperados ya que hay mayor porcentaje de fibras vírgenes, menos unidas entre sí, permitiendo un mayor pasaje de agua, por lo tanto obteniendo un menor °SR.

En el caso de la mezcla entre el punto óptimo (8000 r) y la población base de 12000 r se aprecia claramente como aumenta la drenabilidad como ocurre en la mezcla con pulpa virgen. A medida que aumenta la proporción de fibra 8000 r agregada la drenabilidad va aumentando de 39°SR a 33°SR ya que cada vez hay más porcentaje de pulpa menos fibrilada. Como es de esperar, cualquiera de estas mezclas presenta una drenabilidad acorde con la del punto óptimo.

#### 4.4.2 Propiedades físico mecánicas Eucalyptus

En este punto se presentan las tablas de propiedades físico mecánicas para la pulpa de Eucalyptus y sus respectivas mezclas.

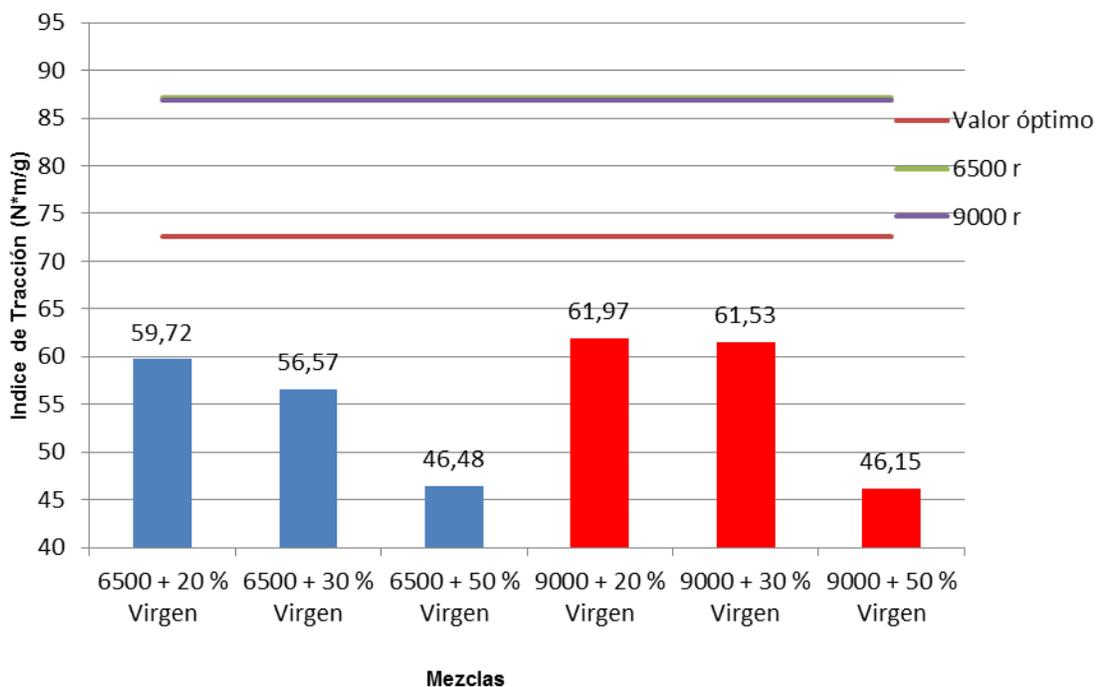
Cuadro 16: Propiedades físico mecánicas para las mezclas de Eucalyptus

Curva de refinación	I. Tracción	I. Desgarro	I. Reventamiento
Revoluciones PFI	N*m/g	mNm <sup>2</sup> /g	kPa*m <sup>2</sup> /g
4000	72,65	9,88	5,67
6500	87,17	8,51	7,28
9000	86,86	7,82	8,38
<b>Mezclas 6500</b>	<b>I. Tracción</b>	<b>I. Desgarro</b>	<b>I. Reventamiento</b>
Revoluciones PFI	N*m/g	mNm <sup>2</sup> /g	kPa*m <sup>2</sup> /g
6500 con 20% virgen	59,72	9,37	4,81
6500 con 30% virgen	56,57	9,78	4,24
6500 con 50% virgen	46,48	9,62	3,36
6500 con 20% 4000 r	74,48	9,37	5,95
6500 con 30% 4000 r	73,81	8,57	5,95
6500 con 50% 4000 r	72,01	9,17	5,80
<b>Mezcla 9000</b>	<b>I. Tracción</b>	<b>I. Desgarro</b>	<b>I. Reventamiento</b>
Revoluciones PFI	N*m/g	(mNm <sup>2</sup> /g)	kPa*m <sup>2</sup> /g
9000 con 20% virgen	61,97	9,92	4,68
9000 con 30% virgen	61,53	9,46	4,28
9000 con 50% virgen	46,15	8,37	3,39
9000 con 20% 4000 r	72,33	9,11	5,74
9000 con 30% 4000 r	76,27	9,06	6,07
9000 con 50% 4000 r	74,54	9,08	6,19

El punto óptimo para la pulpa de Eucalyptus se definió a 4000 revoluciones en PFI con una drenabilidad de 38 °SR. Los resultados obtenidos para el índice de tracción fue de 72.65 N\*m/g, índice de desgarro de 9.88 mNm<sup>2</sup>/g y un índice de reventamiento de 5.67 kPa\*m<sup>2</sup>/g

En el gráfico 11 se muestra el comportamiento del índice de tracción para dos puntos de refinación, mediante el agregado de diferentes porcentajes de pulpa virgen.

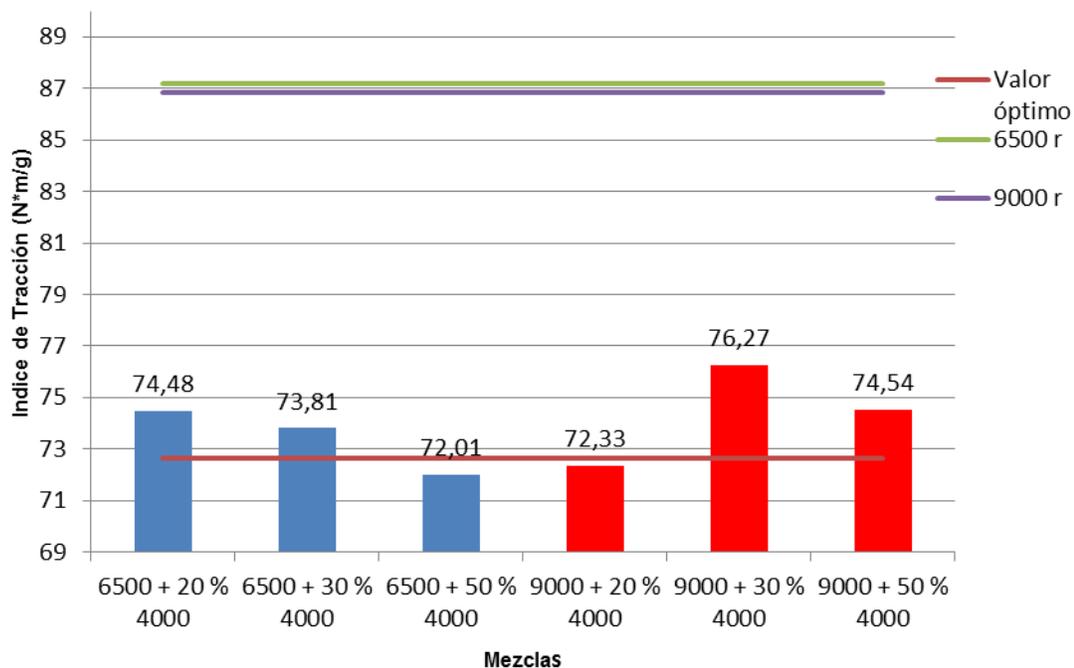
Gráfico 11: Índice de tracción para mezclas Eucalyptus- Fibra virgen



En este gráfico se puede observar la separación del índice de tracción del óptimo definido con el agregado de pulpa virgen. Se ve en ambas mezclas que a medida que aumenta la proporción de pasta sin refinar, la tracción disminuye de 59.72 N\*m/g a 46.48 N\*m/g para la población de 6500 r y de 61.97 N\*m/g a 46.15 N\*m/g en la población base refinada a 9000 r. Se puede apreciar que no sirve agregar pulpa virgen ni siquiera en un 20% ya que la tracción se comporta siempre mejor en el punto óptimo con un valor de 72,65 N\*m/g.

En la gráfica 12 se muestran los resultados obtenidos para las mezclas realizadas con el punto óptimo.

Gráfico 12: Índice de tracción para mezclas Eucalyptus- 4000 r



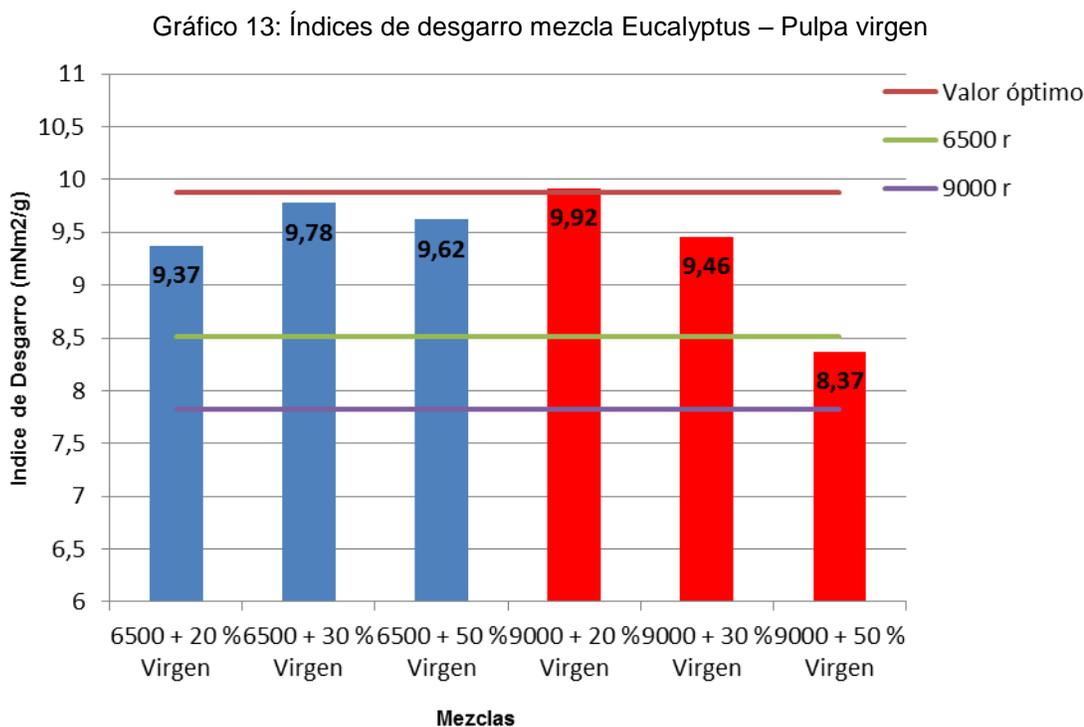
El valor de tracción para la pulpa refinada a 6500 r es de 87.17 N\*m/g que se ve disminuido con el agregado de pulpa menos refinada a 4000 r en cualquiera de las tres proporciones. Al agregar fibra menos fibrilada, el índice de tracción disminuye, pero sin presentar diferencias significativas con este mismo índice para el punto óptimo en 4000 r. Por lo tanto, se podría decir que la adición de 20% de pulpa refinada a 4000 r tiene el mismo efecto que agregar 50%.

Para la segunda mezcla con 9000 r, el comportamiento observado es similar al de la muestra explicada anteriormente.

El punto óptimo seleccionado presenta un índice de tracción de 72,65 N\*m/g. Este valor tiende a incrementarse a medida que aumenta el grado de

refinación, debido a la mayor fibrilación de las fibras, siendo de 86.86 N\*m/g cuando se refina a 9000 r. Por lo tanto, el agregado de pulpa menos refinada no mejora este valor. Se puede decir entonces, que en ninguno de los casos, el agregado de pulpa virgen o refinada a 4000 r mejora el índice de tracción.

En segundo lugar, se estudió el índice de desgarro como se visualiza en el gráfico 13.



Con el agregado de pulpa virgen a la población refinada a 6500 r se ve un incremento en el índice de desgarro, pasando de 8.51 mNm<sup>2</sup>/g (6500 r) a valores de 9.37 mNm<sup>2</sup>/g 9.78 mNm<sup>2</sup>/g y 9.62 mNm<sup>2</sup>/g con el agregado de 20% 30% y 50% respectivamente.

Sin embargo, nunca se alcanza el valor óptimo definido de resistencia al desgarro que es de 9.88 mNm<sup>2</sup>/g para la pulpa refinada a 4000 r.

Los ensayos realizados con la población base refinada a 9000 r, muestra similar comportamiento con el agregado de pasta virgen. Las mezclas con proporciones de 20%, 30% y 50% de pulpa sin refinar dan valores de resistencia al desgarro de 9.92 mNm<sup>2</sup>/g, 9.46 mNm<sup>2</sup>/g y 8.37 mNm<sup>2</sup>/g

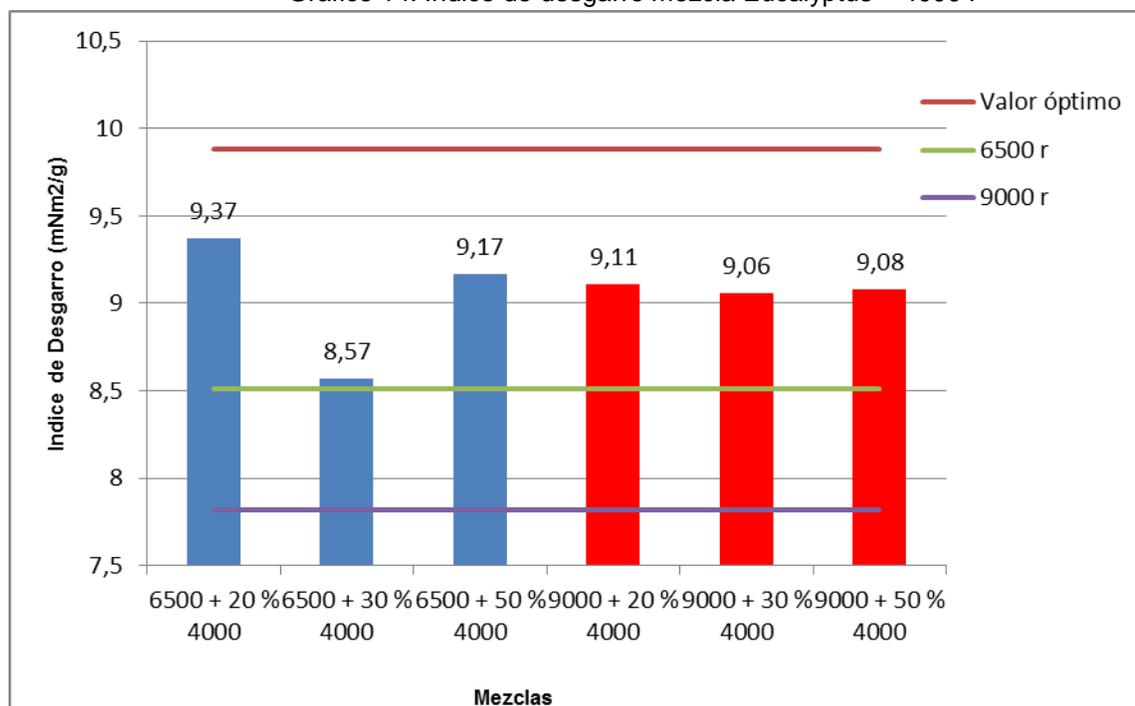
respectivamente. Estos valores son superiores a los registrados en el punto 9000 r ( $7.82 \text{ mNm}^2/\text{g}$ ).

Comparando con el punto óptimo, se puede observar que cuando se agrega 20% de pulpa virgen los valores superan  $9.88 \text{ mNm}^2/\text{g}$  obtenidos para la refinación a 4000 r. Para esta característica únicamente, el agregado en bajas proporciones de pulpa sin refinar alcanza los valores definidos como óptimos.

Por lo tanto se puede decir que la mezcla de pulpa virgen con pulpa refinada 6500 r y a 9000 r muestra una tendencia a aumentar el índice de desgarrado de estas poblaciones, acercándose a los valores en el punto óptimo. En cuanto a los porcentajes, la diferencia no es significativa por lo que el agregado de 50% de pulpa virgen no es recomendado en ninguno de los casos.

En el gráfico a continuación se evalúan los resultados obtenidos en el índice de desgarrado para las mezclas de Eucalyptus realizadas con pulpa refinada al punto óptimo, 4000 revoluciones.

Gráfico 14: Índice de desgarrado mezcla Eucalyptus – 4000 r



Como se ve en el gráfico, el agregado de diferentes porcentajes de fibra refinada a 4000 r a fibra refinada a 6500 r, nunca alcanza los valores óptimos, sin embargo mejora los valores de este índice, obtenidos en un refinado 6500 r. En este caso los valores son de 9.37  $\text{mNm}^2/\text{g}$  con 20% agregado, 8.57  $\text{mNm}^2/\text{g}$  con 30% y 9.17  $\text{mNm}^2/\text{g}$  con 50%.

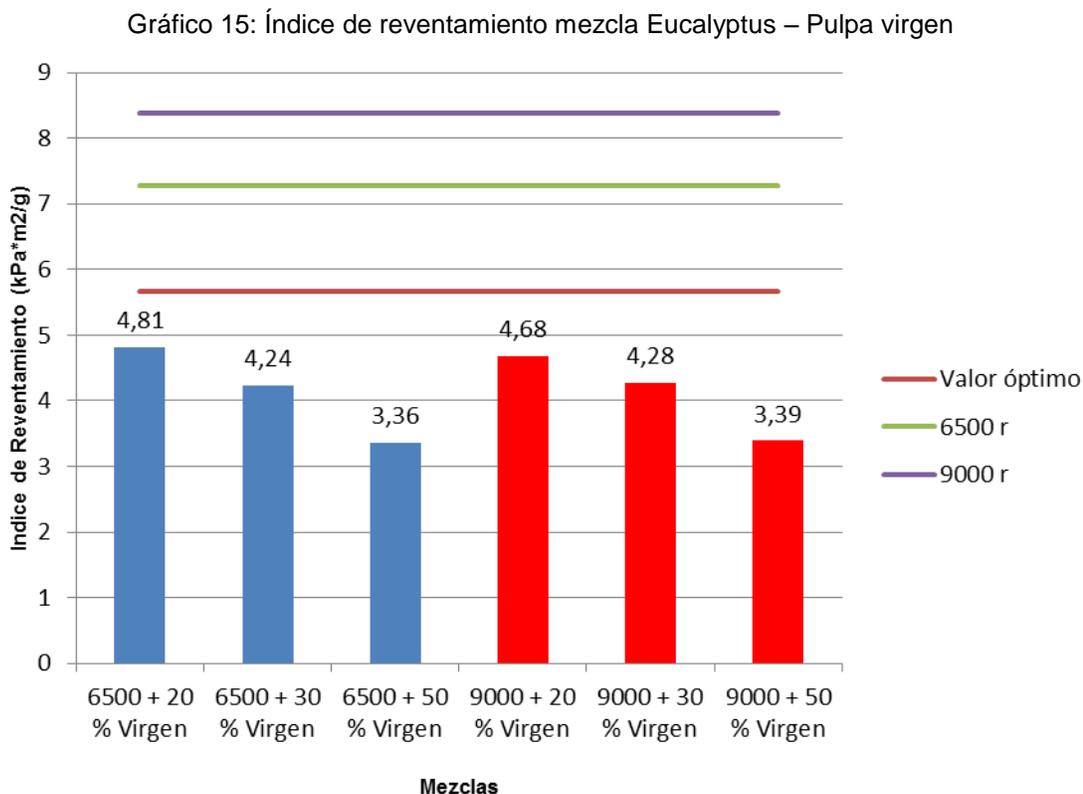
Este mismo efecto se repite cuando a la población refinada a 9000 r se le agrega pulpa refinada a 4000 r.

Los valores de desgarro se ven aumentados de 7,82  $\text{mNm}^2/\text{g}$  en la pulpa a 9000 r a 9.11  $\text{mNm}^2/\text{g}$  con 20% de fibra refinada a 4000 r. El agregado de 20% de pulpa refinada a 4000 r incrementa el indicador en 1.29  $\text{mNm}^2/\text{g}$ .

Aumentar la proporción de pulpa refinada al punto óptimo mejora los valores de esta población base, pero no alcanza los esperados en el punto óptimo.

El tercer parámetro analizado fue el índice de reventamiento. Este se ve aumentado a medida que las fibras se encuentran más fibriladas.

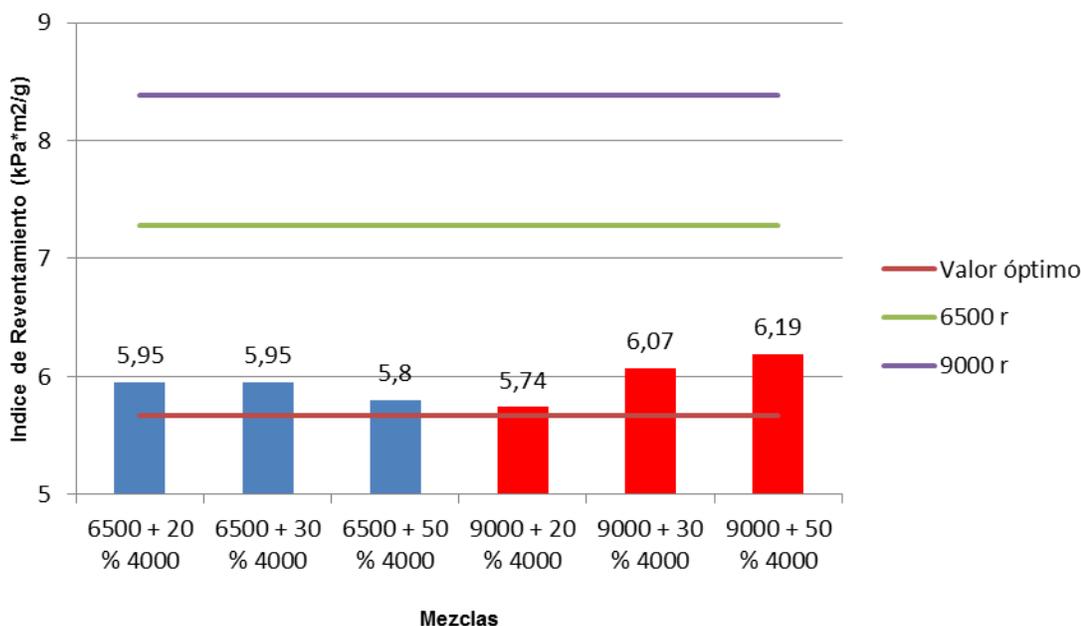
La gráfica 15 presenta los resultados obtenidos para las mezclas con pulpa virgen.



Tanto para la población de 6500 r como para la refinada a 9000 r, el agregado de pulpa virgen en diferentes proporciones disminuye el índice de reventamiento. Este indicador baja de 7.28 kpa\*m<sup>2</sup>/g a 3.36 kpa\*m<sup>2</sup>/g en los ensayos realizados con pulpa a 6500 r y de 8.38 kpa\*m<sup>2</sup>/g a 3.39 kpa\*m<sup>2</sup>/g para la población base a 9000 r. Por lo tanto el agregado de pulpa virgen no mejora estos valores.

La gráfica 16 presenta los resultados obtenidos para las mezclas con pulpa refinada a 4000 r.

Gráfico 16: Índice de desgarro mezcla Eucalyptus – 4000 r



El agregado de fibra refinada al punto óptimo (4000 r), disminuye los valores de reventamiento con respecto a los valores de 6500 r y de 9000 r que presenta cada punto individual en la curva de refinación. Esto se debe a que las proporciones de fibras menos fibriladas se van incrementando. Como lo analizado para el índice de tracción, el agregado de pulpa fibrilada al punto óptimo establecido, no mejora esta propiedad en comparación con los valores obtenidos para 6500 r y 9000 r.

A pesar de esto, todas las mezclas, tanto de la población de 6500 r como la población a 9000 r, con pulpa refinada a 4000 r presentan valores mayores de reventamiento al alcanzado en el punto óptimo.

En conclusión, y analizando las tres características papeleras ensayadas en conjunto, agregar en cualquier proporción pulpa virgen a pulpas refinadas no mejora las propiedades estudiadas, debido a que si bien los valores de desgarro se ven incrementados, los índices de tracción y reventamiento disminuyen notoriamente.

Por el contrario, la mezcla de fibras refinadas con fibras altamente refinadas permite, como en el caso de la mezcla 9000 r con 4000 r, levantar las

propiedades hasta valores similares al punto óptimo. De este modo se puede reutilizar fibras mezclándolas de modo de optimizar las propiedades a los puntos deseados.

En las mezclas realizadas con el punto óptimo se logra mejorar el índice de desgarro, sin disminuir la tracción ni el reventamiento. El agregado de 20% es suficiente para mejorar estas características sin necesidad de agregar 30% o 50%.

#### 4.4.3 Propiedades físico mecánicas Pino

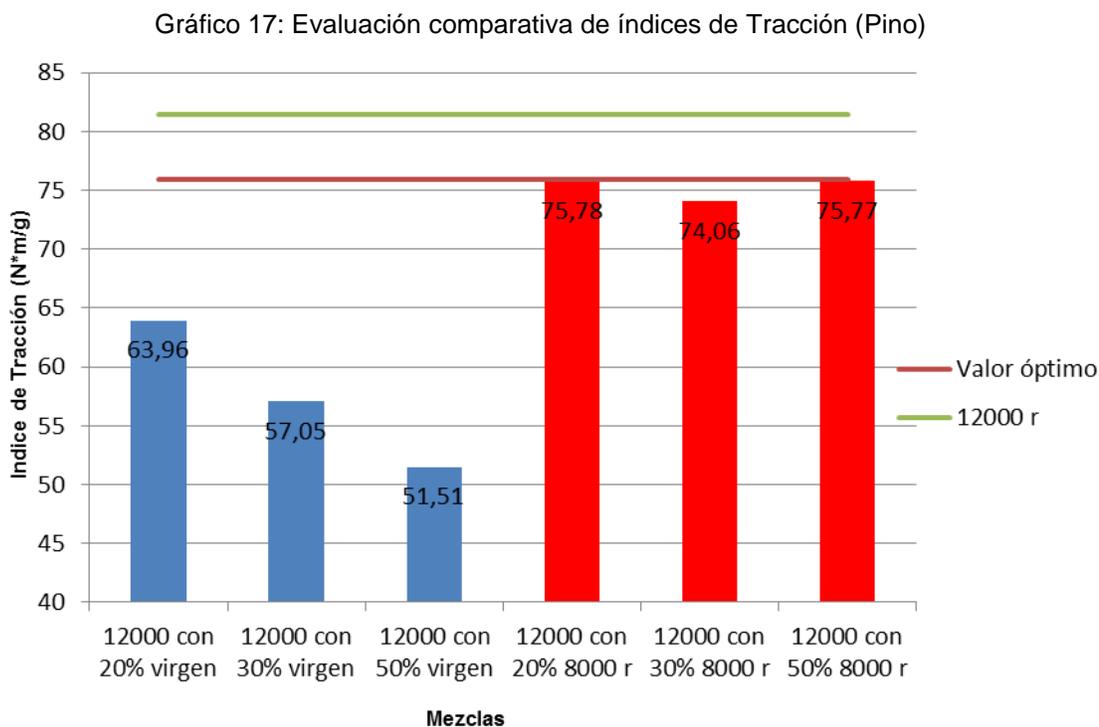
El cuadro 17 muestra los resultados de las propiedades físico mecánicas estudiadas para la pulpa de Pino y sus correspondientes mezclas.

Cuadro 17: Propiedades físico mecánicas para las mezclas de Pino

Curva de refinación	I. Tracción	I. Desgarro	I. Reventamiento
Revoluciones PFI	N*m/g	mNm <sup>2</sup> /g	kPa*m <sup>2</sup> /g
8000	75,94	9,88	6,55
12000	81,45	6,42	6,93
Revoluciones PFI	I. Tracción	I. Desgarro	I. Reventamiento
12000 con 20% virgen	63,96	10,37	5,43
12000 con 30% virgen	57,05	12,18	5,1
12000 con 50% virgen	51,51	15,49	4,25
Revoluciones PFI	I. Tracción	I. Desgarro	I. Reventamiento
12000 con 20% 8000 r	75,78	10,11	6,11
12000 con 30% 8000 r	74,06	9,56	6,05
12000 con 50% 8000 r	75,77	9,33	5,88

El punto óptimo definido para la pulpa de Pino, fue de 8000 r con una drenabilidad de 32 °SR. Los valores obtenidos fueron los siguientes: índice de tracción de 75.94 N\*m/g, índice de desgarro de 9.88 mNm<sup>2</sup>/g y un índice de reventamiento de 6.55 kPa\*m<sup>2</sup>/g.

En el gráfico 17 se observan los resultados discutidos anteriormente para los ensayos de tracción realizados.

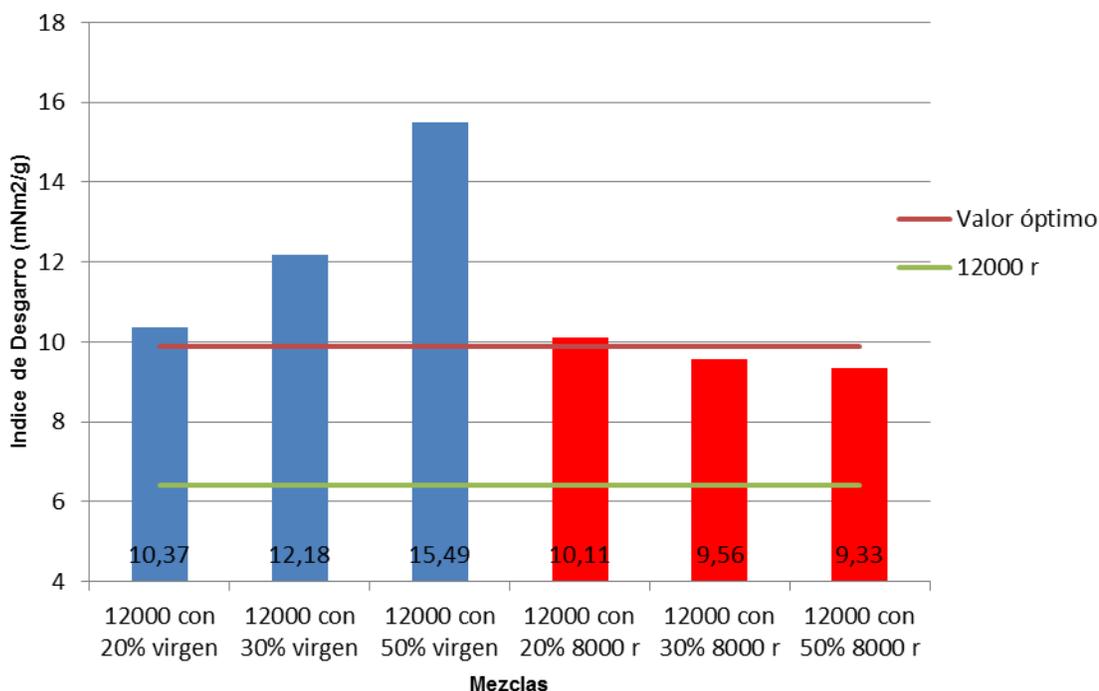


El índice de tracción disminuye a medida que se aumenta la proporción de pulpa virgen, pasando de 63.96 N\*m/g con una proporción de 20% a 51.51 N\*m/g con 50% de pulpa virgen. Todos los valores son menores al obtenido para el punto óptimo (75.94 N\*m/g).

El agregado de pulpa menos refinada (8000 r) a 12000 r, provoca también, un descenso del índice de tracción con respecto a ese punto en la curva de refinación, que presentaba una resistencia a la tracción de 81.45 N\*m/g. Si se compara con el punto óptimo, esta mezcla alcanza los valores obtenidos en 8000 r sin presentar diferencias entre los diferentes porcentajes.

El próximo índice estudiado fue el de desgarro. En el gráfico 18 se comparan los resultados obtenidos para las diferentes mezclas con los valores obtenidos en el punto óptimo y en 12000 r.

Gráfico 18: Evaluación comparativa del índice de Desgarro (Pino)



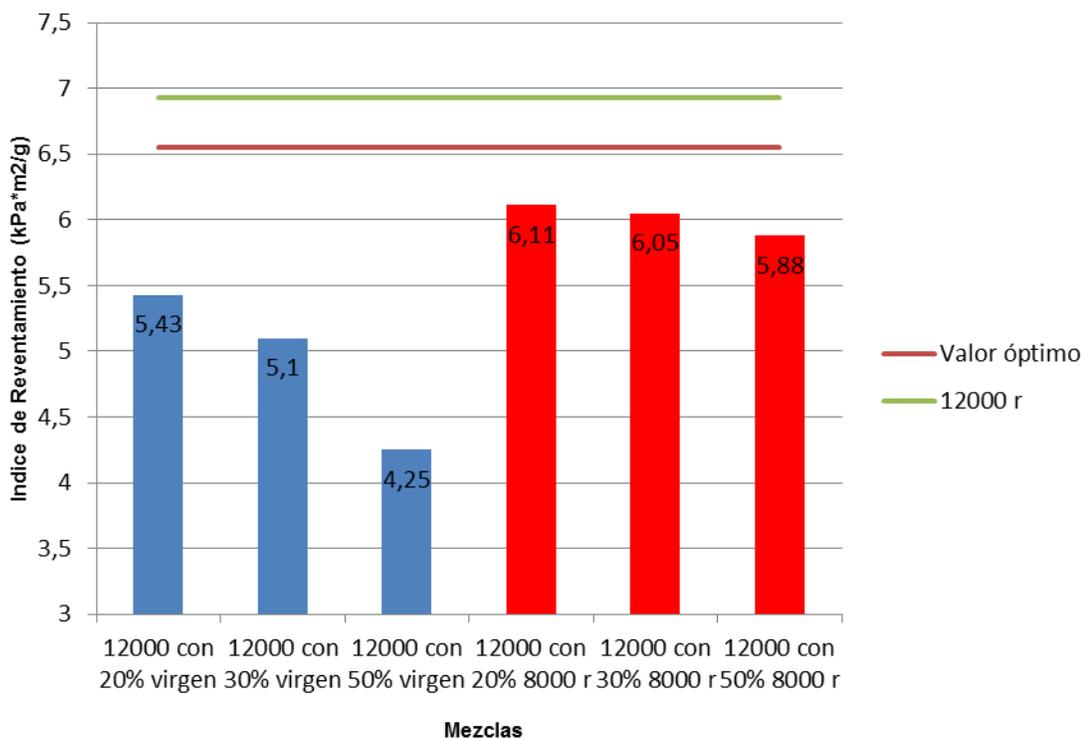
La respuesta del índice de desgarro al agregado de fibra virgen a la pulpa refinada a 12000 r es favorable, aumentando de 6,42 N\*m/g para la pulpa refinada a 12000 r a 15,49 N\*m/g en la mezcla 50% virgen y 50% 12000 r.

Los resultados cuando se agrega fibra a 8000 r, también aumentan logrando valores de 10.11 mNm<sup>2</sup>/g en la mezcla de proporción de 20%.

Comparando las dos mezclas, se obtienen mejores resultados con el agregado de fibra virgen.

El último parámetro estudiado, fue el índice de reventamiento y los resultados comparativos se detallan en la gráfica que se presenta a continuación.

Gráfico 19: Evaluación comparativa de índices de reventamiento (Pino)



El índice de reventamiento se ve afectado de modo negativo con el agregado de pulpa virgen bajando de 6.93 kPa\*m<sup>2</sup>/g para la población a 12000 r a 4.25 kPa\*m<sup>2</sup>/g en la mezcla 50-50%.

Con el agregado de pulpa 8000 r, el índice se ve incrementado en comparación con la adición de pulpa virgen. De todos modos no alcanza los valores obtenidos, ni para el punto óptimo ni para la refinación a 12000 r sin mezclas.

En conclusión, agregar fibras con menos grado de refinación a fibras altamente refinadas favorece las propiedades estudiadas en su conjunto. Es importante encontrar una mezcla donde todas las propiedades sean favorecidas, es decir, donde se aumente el índice de desgarro sin disminuir el índice de reventamiento ni de tracción. Se propone realizar una mezcla de fibra refinada a 12000 r con alta tracción y reventamiento, con una refinada entre 2000 r y 4000 r que proporcione a la mezcla un alto índice de desgarro.

## 5. CONCLUSIONES

En base a los objetivos y a las condiciones en las que se realizó el trabajo se extraen las siguientes conclusiones.

- Se realizaron las curvas de refinación para la pulpa de Eucalyptus y Pino. Tal como se esperaba para ambos casos, a medida que aumenta el grado de refino disminuye la drenabilidad (aumenta el valor de °SR). Comparando ambas especies, se puede ver que la pulpa de Eucalyptus presenta una mayor respuesta a la refinación que la pulpa de Pino, atribuibles a las características anatómicas.
- En cuanto a la clasificación del largo de fibras por el método Bauer Mc Net, se comprueba las diferencias entre las especies. En Eucalyptus, en promedio el 55,93% se colecta en el segundo tamiz (0.297 mm) mientras que el 78.97% de la pulpa de Pino queda retenida en el primer tamiz (0.595 mm). Este efecto se debe fundamentalmente a la diferencia en el largo de fibra.
- A medida que aumenta el grado de refinación, aumenta el porcentaje de fibra cortada. En Eucalyptus se ve un aumento de 4,1% a 12,55% de pulpa en los tamices inferiores, menor a 0.074 mm. Para el caso de Pino el 86.7% de la pulpa virgen quedó retenida en el primer tamiz y el 3.95% en el tamiz de 0.149 mm. Sin embargo, el 74.45% de la pulpa refinada a 16000 r quedó retenida en el primer tamiz, mientras que el 11.9% queda retenida en el tamiz de 0.149 mm (Gráficos 5 y 6).
- La pulpa de Eucalyptus muestra un aumento en el índice de tracción e índice de reventamiento, con una disminución del índice de desgarrado a pesar de presentar al inicio un aumento (Gráficos 7, 8 y 9). Estos resultados concuerdan los valores encontrados por otros autores.
- En el caso de Pino, la tendencia en los índices de tracción y reventamiento es similar al mencionado para la pulpa de Eucalyptus. El índice

de desgarro se comporta de modo diferente, disminuyendo con el aumento del grado de refinación (Gráficos. 7, 8 y 9).

- El agregado de fibra virgen (sin refinar) para cualquiera de las mezclas no permite alcanzar los valores del punto óptimo de las propiedades analizadas.
- Para el caso de pulpa de Eucalyptus, el agregado del 20% de fibra refinada a 4000 r a fibra altamente refinada (9000 r) permite mantener elevados los índices de tracción y reventamiento, aumentando el índice de desgarro con valores comparables al óptimo definido.
- Para las mezclas de pulpa de Pino, el agregado de fibra virgen a fibra altamente refinada como en el caso de Eucalyptus, no permite obtener los valores óptimos de los índices analizados en su conjunto.
- El agregado de 20% de fibra refinada a 8000 r a fibra altamente refinada (12000 r) favorece las propiedades estudiadas con valores similares al óptimo definido.
- La simulación de fibra virgen reciclada con cuatro puntos de refinación, permite identificar la degradación de la pasta utilizada.
- Del trabajo surge claramente que el agregado de 20% de fibra refinada al punto óptimo es suficiente para obtener las características deseadas. El agregado de un porcentaje mayor de fibra refinada, no aporta valor a las características físico mecánicas estudiadas.

## 6. RESUMEN

Se evalúan las resistencias de dos pastas kraft de Eucalyptus y Pino al reciclado, a través de curvas de refinación, y ensayos físicos-mecánicos. Se analizan las propiedades físicas mecánicas: índice de tracción, índice de desgarrado e índice de reventamiento para ambas especies y se selecciona un punto óptimo de refinación, el cual muestra el mejor comportamiento entre las tres propiedades. Se analiza también, a través del ensayo Bauer Mc Net, los porcentajes de fibra retenida para ambas pulpas a diferentes grados de refino. La simulación de fibra virgen reciclada con cuatro puntos de refinación, permite identificar la degradación de la pasta utilizada. El agregado de 20% de fibra refinada al punto óptimo, es suficiente para obtener las características deseadas. Un porcentaje mayor de fibra refinada no aporta valor a las características físico mecánicas estudiadas.

Palabras clave: Pulpa Kraft; Refinación; Propiedades físico mecánicas; Reciclado.

## 7. SUMMARY

This paper studies the resistance of two kraft pulps of Eucalyptus and Pine to recycling through the estimation of refining curves, and physical-mechanical evaluations. Physical and mechanical properties, such as tensile index, tearing index and bursting index, were compared in order to select the optimum refining point where optimum performances are observed for the three analyzed properties. Percentages of fiber lengths on both pulps were analyzed and it was verified that, due to the applied process (Bauer Mc Net), the fiber lengths dropped. In order to improve the properties of fibers that went through several recycling cycles, mixes of highly refined pulps and pulps in good conditions, both virgin and optimally refined pulps, were made. Finally, indexes responses to the optimal parameters previously defined were gathered.

Keywords: Kraft Pulp; Refining; Mechanical and physical properties; Recycling.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. ÁREA, M. C. 2008. Panorama de la industria de celulosa y papel en iberoamérica 2008. (en línea). Buenos Aires, Red Iberoamericana de Docencia e Investigación en Celulosa y Papel. 568 p. Consultado 15 ene. 2013. Disponible en <http://www.riadicyp.org.ar>
2. BUSTAMANTE, L.; SANTOS, J.A. 1983. Aptitudes de diferentes especies del género *Eucalyptus* como materia prima celulósica. Madrid, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. 378 p.
3. CARRAU, D.; ORIBE, M. 2000. Aptitud papelera en *Eucalyptus dlobulus* Labill. ssp *globulus*, *Eucalyptus globulus* Labill. ssp *maidenii* (F. Muell) Kirkpatrick., *Eucalyptus globulus* ssp *bicostata*. ( Maiden, Blakely et Simmons) Kirk. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 54 p.
4. CARRIQUIRY, J. 1993. Aptitud papelera en tres especies de *Eucalyptus* (*E. viminalis*, *E. globulus* y ssp *maidenii*). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 66 p.
5. CONFEDERATION OF EUROPEAN PAPER INDUSTRIES (CEPI). 2011. CEPI sustainability report. (en línea). Bruselas, s.e. 74 p. Consultado 25 feb. 2013. Disponible en [http://www.cepi-sustainability.eu/uploads/Sustainability\\_Report\\_WEB.pdf](http://www.cepi-sustainability.eu/uploads/Sustainability_Report_WEB.pdf)
6. CROSA, M.; QUAGLIOTTI, S. 2004. Fabricación de pastas Kraft blanqueadas de plantaciones comerciales de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden y *Eucalyptus globulus* Labillardiere ssp. *maidenni* (F. Mueller) Kirkpatrick. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 83 p.

7. DE MELLO, J. C.; FERNANDEZ, R. 2000. Aptitud papelera en 4 especies de *Eucalyptus* (*E.globulus*, *E. dunnii*, *E. viminalis*, *E. badjensis*). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 71 p.
8. FAO. 2012. FAOSTAT. (en línea). Rome. s. p. Consultado 5 dic. 2012. Disponible en <http://faostat3.fao.org/home/index.html#DOWNLOAD>
9. FOELKEL, C. 2010. Papéis reciclados e papéis de fibras virgens. *Info@tecnicelpa*. 31: 10-11.
10. GODOY, N. 1996. Diferentes mezclas de papel reciclado para la fabricación del liner en el cartón corrugado. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 50 p.
11. JOVANOVSKI, A.; POBLETE, H.; TORRES, M.; FERNANDEZ, A. 1998. Caracterización preliminar tecnológica de *Pinus ponderosa* (Dougl.) creciendo en Chile. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. pp.71- 76.
12. LIBBY, E. 1979. Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. México, CECSA. t.1, 534 p.
13. MANTERO, C.; CELONE, M.; FRANCO, J. 2000. Caracterización físico mecánicas de las principales especies forestales cultivadas en Uruguay. In: Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural (29as., 2000, Montevideo, Uruguay). Memorias. Montevideo, Uruguay, s.e. pp. 3-15.
14. MEERSMAN, T. 1991. Impact of recycled fibers and their contaminants on paper making. In: Papermakers Conference (1991, Portland, Oregon). Proceedings. Oregon, s.e. pp. 559 – 567

15. REINOSO, E. 1981. Utilización de las pastas de Eucalyptus en la fabricación de papel. In: Congreso Latinoamericano de Celulosa y Papel (2º, 1981, Torremolinos, España). Trabajos presentados. Torremolinos, s.e. pp. 210-241.
16. REPETTI, R. 1992. Introducción a la tecnología de fabricación de pastas celulósicas. Buenos Aires, ATIPCA. 196 p.
17. RESQUIN, F.; DE MELLO, J.; FARIÑA, I.; MIERES, J.; ASSANDRI, L. 2005. Caracterización de la celulosa de especies del género Eucalyptus plantadas en Uruguay. Montevideo, Uruguay. 84 p. (Serie Técnica no. 152).
18. SIMPOSIO SOBRE PULPA DE CELULOSA Y PAPEL (19º, 1978, Montevideo). 1979. Trabajos presentados. Montevideo, LATU. 84 p. (Cuaderno técnico no. 39).
19. STERING, R. 1986. Papel nuevo a partir de papel viejo. Revista Técnica Sulzer. feb.: 31 - 35.
20. TAPPI. 2004. Tappi test methods. Atlanta, GA. 16 p.
21. TORRES, L.; MELO, R.; COLODETTE, J. 2005. Pulpa kraft blanqueada a partir de *Pinus tecunumanii*. Concepción, Laboratorio de Productos Forestales. pp. 115-122.

22. UNIVERSITAT DE GIRONA. ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR. LABORATORI D'ENGINYERIA PAPERERA I MATERIALS POLIMERS. 2003. Evolución morfológica de las fibras celulósicas durante su refinado. Girona. 6 p.
  
23. YASUMURA, K.P. 2004. Avaliação de propriedades físicas de pastas celulósicas refinadas em moinho PFI. Dissertação de Mestrado. Engenharia Química. São Paulo, Brasil. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. 39 p.
  
24. ZANUTTINI, M.; PÉLACH, M.; MUTJÉ, P.; VILLAR, C.; LOSSADA, A.; ABRIL, A.; MOGOLLÓN, G.; DOVALE, A.; GIL, A.; AREA, M.; MASTRANTONIO, G.; VELEZ, H.; D'ALMEIDA, M.; VELÁSQUEZ, J. 2012. Reciclado celulósico 2012. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 25 feb. 2013. Disponible en <http://www.riadicyp.org.ar>

## 9. ANEXOS

## Anexo 1: Corrección del freeness a 20 °C de temperatura

Lect. CSF mL	Temperatura de la pasta en la prueba °C													Puntos a restar						Lect. CSF mL		
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28		29	30
	Puntos a agregar																					
30	11	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	30
40	12	10	9	8	7	6	5	3	2	1	0	1	2	3	5	6	7	8	9	10	12	40
50	14	12	11	10	8	7	6	4	3	1	0	1	3	4	6	7	8	10	11	12	14	50
60	15	14	12	11	9	8	6	4	3	1	0	1	3	4	6	8	9	11	12	14	15	60
70	17	15	13	12	10	8	7	5	3	2	0	2	3	5	7	8	10	12	13	15	17	70
80	19	17	15	13	11	9	8	6	4	2	0	2	4	6	8	9	11	13	15	17	19	80
90	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	90
100	21	19	17	15	13	10	8	6	4	2	0	2	4	6	8	10	13	15	17	19	21	100
110	23	21	18	16	14	11	9	7	5	2	0	2	5	7	9	11	14	16	18	21	23	110
120	25	22	20	17	15	12	10	7	5	2	0	2	5	7	10	12	15	17	20	22	25	120
130	26	23	21	18	16	13	11	8	5	3	0	3	5	8	11	13	16	18	21	23	26	130
140	27	24	22	19	16	14	11	8	5	3	0	3	5	8	11	14	16	19	22	24	27	140
150	29	26	23	20	17	14	11	9	6	3	0	3	6	9	11	14	17	20	23	26	29	150
160	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	160
170	31	28	25	22	18	15	12	9	6	3	0	3	6	9	12	15	18	22	25	28	31	170
180	32	29	26	22	19	16	13	10	6	3	0	3	6	10	13	16	19	22	26	29	32	180
190	33	30	26	23	20	16	13	10	6	3	0	3	6	10	13	16	20	23	26	30	33	190
200	34	31	27	24	20	17	13	10	7	3	0	3	7	10	13	17	20	24	27	31	34	200
210	35	31	28	24	21	18	14	10	7	3	0	3	7	10	14	18	21	24	28	31	35	210
220	36	32	29	25	22	18	14	10	7	4	0	4	7	10	14	18	22	25	29	32	36	220
230	37	33	30	26	22	19	15	11	7	4	0	4	7	11	15	19	22	26	30	33	37	230
240	38	34	31	27	23	19	15	11	8	4	0	4	8	11	15	19	23	27	31	34	38	240
250	39	35	31	27	23	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	23	27	31	35	39	250
260	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	260
270	41	37	33	29	24	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	24	29	33	37	41	270
280	42	38	34	29	25	21	17	13	8	4	0	4	8	13	17	21	25	29	34	38	42	280
290	42	38	34	29	25	21	17	13	8	4	0	4	8	13	17	21	25	29	34	38	42	290
300	43	39	34	30	25	21	17	13	8	4	0	4	8	13	17	21	25	30	34	39	43	300
310	43	39	34	30	25	21	17	13	8	4	0	4	8	13	17	21	25	30	34	39	43	310
320	43	39	34	30	25	21	17	13	8	4	0	4	8	13	17	21	25	30	34	39	43	320
330	44	40	35	31	26	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	26	31	35	40	44	330
340	44	40	35	31	26	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	26	31	35	40	44	340
350	44	40	35	31	26	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	26	31	35	40	44	350
360	44	40	35	31	26	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	26	31	35	40	44	360
370	45	41	36	31	26	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	26	31	36	41	45	370
380	45	41	36	31	27	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	27	31	36	41	45	380
390	45	41	36	31	27	23	18	14	9	4	0	4	9	14	18	23	27	31	36	41	45	390
400	46	41	37	32	28	23	18	14	9	4	0	4	9	14	18	23	28	32	37	41	46	400
420	46	41	36	31	27	23	18	14	9	4	0	4	9	14	18	23	27	31	36	41	46	420
440	46	41	36	31	27	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	27	31	36	41	46	440
460	44	40	35	31	27	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	27	31	35	40	44	460
480	43	39	34	30	25	21	17	13	8	4	0	4	8	13	17	21	25	30	34	39	43	480
500	42	38	34	29	25	21	17	13	8	4	0	4	8	13	17	21	25	29	34	38	42	500
520	42	38	33	29	24	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	24	29	33	38	42	520
540	42	37	33	28	24	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	24	28	33	37	42	540
560	41	37	32	28	24	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	24	28	32	37	41	560
580	41	36	32	28	24	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	41	580
600	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	600
620	39	35	31	27	23	19	16	12	8	4	0	4	8	12	16	19	23	27	31	35	39	620
640	37	33	29	25	21	18	14	11	7	4	0	4	7	11	14	18	21	25	29	33	37	640
660	36	32	28	25	21	17	14	10	7	3	0	3	7	10	14	17	21	25	28	32	36	660
680	35	31	27	24	20	17	13	10	6	3	0	3	6	10	13	17	20	24	27	31	35	680
700	33	30	26	23	20	16	13	9	6	3	0	3	6	9	13	16	20	23	26	30	33	700

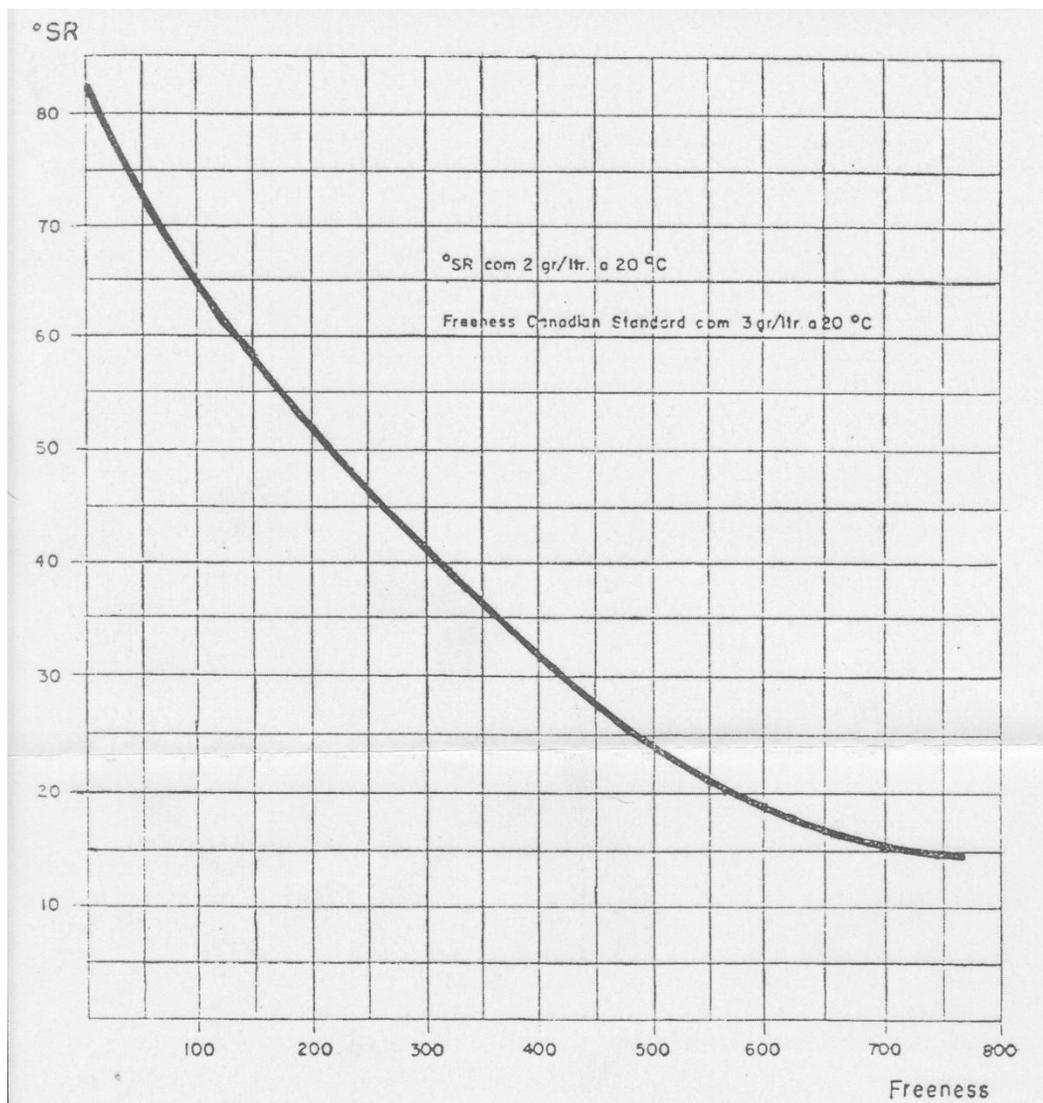
Fuente: Quagliotti<sup>3</sup><sup>3</sup>Quagliotti, S. 2012. Com. personal.

## Anexo 2: Corrección del freenes a 0,30% de consistencia

Lect. CSF mL	Consistencia de la pasta en la prueba														Lect. CSF mL							
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33		34	35	36	37	38	39	40
	Puntos a agregar												Puntos a restar									
20	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0	2	3	5	7	9	11	13	15	17	19	20	
30	--	--	--	--	--	--	8	6	4	2	0	2	4	6	8	10	13	15	17	19	21	30
40	22	20	18	16	13	11	9	7	5	2	0	3	5	7	9	12	14	17	19	21	23	40
50	25	23	20	18	15	13	10	8	6	3	0	3	6	8	10	13	16	18	21	23	25	50
60	28	25	22	19	17	14	11	9	6	3	0	3	6	9	11	14	17	19	22	25	27	60
70	31	27	23	20	18	15	12	9	5	3	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	29	70
80	33	29	25	22	19	16	13	9	6	3	0	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31	80
90	36	31	27	24	21	17	13	10	7	3	0	4	7	10	13	16	20	23	26	29	32	90
100	38	33	29	26	22	18	14	10	7	3	0	4	7	11	14	17	21	24	27	30	34	100
110	40	35	31	27	23	19	15	11	7	3	0	4	8	11	14	18	22	25	28	31	35	110
120	42	37	33	29	24	19	15	11	7	3	0	4	8	11	15	19	23	26	29	33	36	120
130	44	39	35	30	25	20	16	12	8	4	0	4	8	12	15	20	24	27	31	35	38	130
140	46	41	36	31	26	21	17	12	8	4	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	140
150	48	42	37	32	27	22	17	12	8	4	0	4	8	12	16	21	25	30	34	38	42	150
160	50	44	39	33	28	23	18	13	9	4	0	4	8	13	17	22	26	31	35	39	43	160
170	52	46	40	34	29	24	19	14	10	5	0	5	9	14	18	23	27	32	36	41	45	170
180	34	48	42	36	30	25	20	15	10	5	0	5	10	15	19	24	28	33	37	42	46	180
190	56	49	43	37	31	26	20	15	10	5	0	5	10	15	19	24	28	33	38	43	47	190
200	58	51	45	38	32	26	21	15	10	5	0	5	10	15	20	25	29	34	39	44	48	200
210	60	53	46	39	33	27	21	15	10	5	0	5	10	16	21	26	30	35	40	45	49	210
220	61	54	47	40	34	28	22	16	10	5	0	5	11	16	21	26	31	36	41	46	50	220
230	62	55	48	41	35	28	22	17	11	5	0	6	12	17	22	27	32	37	42	47	51	230
240	63	56	49	42	36	29	23	17	11	5	0	6	12	17	23	28	33	38	43	48	53	240
250	64	57	50	43	37	30	23	17	11	5	0	6	12	18	23	29	34	39	44	49	54	250
260	65	58	51	44	37	30	24	18	12	6	0	7	13	19	24	30	35	40	45	50	55	260
270	67	59	52	45	38	31	25	19	12	6	0	7	13	19	25	31	36	41	46	51	56	270
280	66	60	53	46	39	32	25	19	12	6	0	7	13	19	25	31	36	41	47	52	57	280
290	70	62	54	47	40	33	26	19	13	6	0	7	13	19	25	31	36	42	47	52	57	290
300	72	64	56	48	41	34	27	20	13	6	0	7	13	19	25	31	36	42	48	53	58	300
310	73	65	57	49	41	34	27	20	13	7	0	7	13	19	25	31	37	43	48	53	58	310
320	75	66	58	50	42	35	27	20	13	7	0	7	13	19	25	31	37	43	48	53	58	320
330	77	58	59	51	43	35	27	20	13	7	0	7	13	19	25	32	38	43	48	53	58	330
340	78	69	60	52	43	35	27	20	13	7	0	7	14	20	28	32	38	44	49	54	59	340
350	79	70	61	52	43	35	27	20	13	7	0	7	14	20	26	32	38	44	49	54	59	350
360	80	70	61	52	43	35	28	21	14	7	0	7	14	20	26	32	38	44	49	54	59	360
370	81	71	61	52	44	36	28	21	14	7	0	7	14	20	26	32	38	44	49	54	59	370
380	81	71	61	52	44	36	29	21	14	7	0	7	14	20	26	32	38	44	49	54	59	380
390	82	72	62	53	45	37	29	21	14	7	0	7	14	20	26	32	38	44	49	54	59	390
400	82	72	62	53	45	37	29	21	14	7	0	7	14	20	26	32	38	44	49	54	59	400
420	83	72	62	54	45	37	29	21	14	7	0	7	14	20	26	32	38	44	49	54	59	420
440	83	73	63	54	45	37	29	21	14	7	0	7	14	20	26	32	38	44	49	54	59	440
460	83	73	63	54	45	37	29	21	14	7	0	7	14	20	26	32	38	44	49	53	58	460
480	83	73	63	54	46	37	29	21	14	7	0	7	14	20	26	32	38	42	47	52	57	480
500	83	73	63	54	46	37	29	21	14	7	0	7	14	20	26	32	36	41	46	51	56	500
520	82	72	62	53	44	36	28	21	14	7	0	7	13	19	25	30	35	40	45	50	55	520
540	80	71	62	53	44	36	28	21	14	7	0	6	12	18	24	29	34	39	44	49	54	540
560	78	79	60	51	43	35	28	21	14	7	0	6	12	17	22	27	32	37	42	47	52	560
580	76	67	58	50	42	34	27	20	13	6	0	6	12	18	22	27	32	37	42	46	50	580
600	75	66	58	50	42	34	27	20	13	6	0	6	11	16	21	26	31	36	40	44	48	600
620	74	65	57	49	41	33	26	19	12	6	0	5	10	15	20	25	30	34	38	42	47	620
640	73	64	56	48	40	32	25	18	12	6	0	5	10	15	20	25	29	33	37	41	46	640
660	71	63	55	47	39	31	24	17	11	6	0	5	9	14	19	24	28	31	35	39	45	660
680	70	63	55	46	39	31	24	16	11	5	0	4	9	13	18	23	27	30	34	38	44	680
700	69	62	54	46	38	30	23	16	11	5	0	4	8	13	18	22	26	29	33	37	42	700

Fuente: Quagliotti<sup>3</sup>

Anexo 3: Gráfico de corrección entre ml y °SR



Fuente: Quagliotti<sup>3</sup>

Anexo 4: Datos de CSF de pulpa de Eucalyptus para fabricación de hojas manuales y su respectiva corrección

Refinación	CSF	Temperatura	Consistencia	Corrección	Corrección	CSF corregido		°SR
r	ml	°C	%	Temp (ml)	Cosnsit (ml)	ml	ml	°
<b>0</b>	580	19,7	0,285	2	-11	571	579	20
	590	18,6	0,286	6	-10	586		
<b>1500</b>	450	20,5	0,308	-3	6	453	445	29
	430	18,8	0,298	8	-2	436		
<b>4000</b>	340	19	0,308	7	7	354	344	38
	330	19,7	0,303	2	2	334		
<b>6500</b>	190	20,5	0,302	-2	1	189	195	52
	200	20	0,301	0	1	201		
<b>9000</b>	105	20,5	0,305	-1	2	106	108	64
	110	21,4	0,306	-3	2	109		

Anexo 5: Datos de CSF de pulpa de Pino para fabricación de hojas manuales y su respectiva corrección.

Refinación	CSF	Temperatura	Consistencia	Corrección	Corrección	CSF corregido		°SR
r	ml	°C	%	Temp (ml)	Cosnsit (ml)	ml	ml	°
0	760	21,3	0,307	-3	3	760	762	15
	760	21	0,312	-2	5	763		
4000	630	20	0,293	0	-4	626	620	18
	620	18,5	0,277	6	-12	614		
8000	385	19,5	0,308	2	6	393	390	32
	380	19,5	0,307	2	5	387		
12000	260	19	0,296	4	-2	262	273	44
	280	19,2	0,299	3	0	283		
16000	180	18,2	0,290	5	-5	180	180	54
	175	18,2	0,301	5	0	180		

Anexo 6: Datos de CSF de pulpa de Eucalyptus para ensayo Bauer Mc Nett y su respectiva corrección.

Refinación	CSF	Temperatura	Consistencia	Corrección	Corrección	CSF corregido		°SR
r	ml	°C	%	Temp (ml)	Cosnsit (ml)	ml	ml	°
0	590	18,8	0,284	5	-11	584	579	20
	580	19,5	0,286	3	-10	573		
1500	405	20	0,307	0	6	411	419	31
	415	19,8	0,311	1	10	426		
4000	290	20	0,305	0	4	294	298	42
	300	20	0,302	0	1	301		
6500	190	19,8	0,299	1	0	191	197	52
	200	19,7	0,302	1	1	202		
8000	160	20,4	0,308	-1	3	162	160	56
	155	20,1	0,308	0	3	158		
9000	85	20,9	0,307	-2	3	86	86	66
	85	19,6	0,301	1	0	86		

Anexo 7: Datos de CSF de pulpa de Pino para ensayo Bauer Mc Nett y su respectiva corrección.

Refinación	CSF	Temperatura	Consistencia	Corrección	Corrección	CSF corregido		°SR
r	ml	°C	%	Temp (ml)	Cosnsit (ml)	ml	ml	°
<b>0</b>	755	19	0,320	2	9	766	762	15
	745	19,2	0,326	2	11	758		
<b>4000</b>	625	20,9	0,310	-4	5	626	623	18
	620	21	0,307	-4	4	620		
<b>8000</b>	395	19,7	0,303	1	-2	394	388	33
	385	20	0,305	0	-4	381		
<b>12000</b>	275	19,8	0,301	1	0	276	274	44
	270	20,2	0,295	-1	3	272		
<b>16000</b>	175	20,2	0,299	-1	0	174	173	55
	170	20,4	0,297	-1	2	171		

## Anexo 8: Resultados completos de la clasificación de fibras de Eucalyptus

<b>0 r</b>													
Retención en tamices:													
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)
Tamiz 1 (28)	0,595	32,18	31,69	0,49	4,9	Tamiz 1 (28)	0,595	35,28	35	0,28	2,8	0,385	3,85
Tamiz 2 (48)	0,297	44,22	39,04	5,18	51,8	Tamiz 2 (48)	0,297	44,55	39,12	5,43	54,3	5,305	53,05
Tamiz 3 (100)	0,149	41,77	39,26	2,51	25,1	Tamiz 3 (100)	0,149	41,46	38,93	2,53	25,3	2,52	25,2
Tamiz 4 (150)	0,105	118,73	118,25	0,48	4,8	Tamiz 4 (150)	0,105	31,27	30,88	0,39	3,9	0,435	4,35
Fino (200)	0,074	118,81	118,52	0,29	2,9	Fino (200)	0,074	34,09	33,82	0,27	2,7	0,28	2,8
menor a 200	menor a 0,074			1,05	10,5	menor a 200	menor a 0,074			1,1	11	1,075	10,75
			Total	10	100				Total	10	100	10	100

<b>1500 r</b>													
Retención en tamices:													
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)
Tamiz 1 (28)	0,595	40,22	38,94	1,28	12,8	Tamiz 1 (28)	0,595	32,53	31,75	0,78	7,8	1,03	10,3
Tamiz 2 (48)	0,297	37,22	31,7	5,52	55,2	Tamiz 2 (48)	0,297	35,52	29,7	5,82	58,2	5,67	56,7
Tamiz 3 (100)	0,149	41,43	39,29	2,14	21,4	Tamiz 3 (100)	0,149	35,59	33,46	2,13	21,3	2,135	21,35
Tamiz 4 (150)	0,105	34,07	33,85	0,22	2,2	Tamiz 4 (150)	0,105	39,46	39,14	0,32	3,2	0,27	2,7
Fino (200)	0,074	39,32	39,04	0,28	2,8	Fino (200)	0,074	27,91	27,66	0,25	2,5	0,265	2,65
menor a 200	menor a 0,074			0,56	5,6	menor a 200	menor a 0,074			0,7	7	0,63	6,3
			Total	10	100				Total	10	100	10	100

<b>4000 r</b>													
Retención en tamices:													
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)
Tamiz 1 (28)	0,595	120,01	118,45	1,56	15,6	Tamiz 1 (28)	0,595	34,4	33,04	1,36	13,6	1,46	14,6
Tamiz 2 (48)	0,297	123,96	118,6	5,36	53,6	Tamiz 2 (48)	0,297	71,37	65,91	5,46	54,6	5,41	54,1
Tamiz 3 (100)	0,149	120,16	118,35	1,81	18,1	Tamiz 3 (100)	0,149	44,8	42,93	1,87	18,7	1,84	18,4
Tamiz 4 (150)	0,105	118,15	117,93	0,22	2,2	Tamiz 4 (150)	0,105	62,8	62,52	0,28	2,8	0,25	2,5
Fino (200)	0,074	114,46	114,15	0,31	3,1	Fino (200)	0,074	72,55	72,33	0,22	2,2	0,265	2,65
menor a 200	menor a 0,074			0,74	7,4	menor a 200	menor a 0,074			0,81	8,1	0,775	7,75
			Total	10	100				Total	10	100	10	100

<b>6500 r</b>													
Retención en tamices:													
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)
<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	30,09	29,35	0,74	<b>7,4</b>	<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	31,21	29,68	1,53	<b>15,3</b>	1,135	<b>11,35</b>
<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	125,21	119,34	5,87	<b>58,7</b>	<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	32,9	27,63	5,27	<b>52,7</b>	5,57	<b>55,7</b>
<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	41,17	39,38	1,79	<b>17,9</b>	<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	33,54	31,76	1,78	<b>17,8</b>	1,785	<b>17,85</b>
<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	30,64	30,33	0,31	<b>3,1</b>	<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	34,05	33,84	0,21	<b>2,1</b>	0,26	<b>2,6</b>
<b>Fino (200)</b>	0,074	116,3	116,01	0,29	<b>2,9</b>	<b>Fino (200)</b>	0,074	39,55	39,29	0,26	<b>2,6</b>	0,275	<b>2,75</b>
<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			1	<b>10</b>	<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			0,95	<b>9,5</b>	0,975	<b>9,75</b>
			Total	10	<b>100</b>				Total	10	<b>100</b>	10	<b>100</b>

<b>8000 r</b>													
Retención en tamices:													
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)
<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	34,13	33,04	1,09	<b>10,9</b>	<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	39,98	39,38	0,6	<b>6</b>	0,845	<b>8,45</b>
<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	119,69	114,11	5,58	<b>55,8</b>	<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	35,77	29,7	6,07	<b>60,7</b>	5,825	<b>58,25</b>
<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	31,12	29,35	1,77	<b>17,7</b>	<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	31,93	30,14	1,79	<b>17,9</b>	1,78	<b>17,8</b>
<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	33,62	33,34	0,28	<b>2,8</b>	<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	32,04	31,76	0,28	<b>2,8</b>	0,28	<b>2,8</b>
<b>Fino (200)</b>	0,074	118,52	118,3	0,22	<b>2,2</b>	<b>Fino (200)</b>	0,074	118,76	118,57	0,19	<b>1,9</b>	0,205	<b>2,05</b>
<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			1,06	<b>10,6</b>	<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			1,07	<b>10,7</b>	1,065	<b>10,65</b>
			Total	10	<b>100</b>				Total	10	<b>100</b>	10	<b>100</b>

<b>9000 r</b>													
Retención en tamices:													
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)
<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	33,38	32,93	0,45	<b>4,5</b>	<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	33,5	33,04	0,46	<b>4,6</b>	0,455	<b>4,55</b>
<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	35,33	29,35	5,98	<b>59,8</b>	<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	45,51	39,47	6,04	<b>60,4</b>	6,01	<b>60,1</b>
<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	29,58	27,74	1,84	<b>18,4</b>	<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	120,15	118,37	1,78	<b>17,8</b>	1,81	<b>18,1</b>
<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	31,05	30,78	0,27	<b>2,7</b>	<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	39,4	39,13	0,27	<b>2,7</b>	0,27	<b>2,7</b>
<b>Fino (200)</b>	0,074	30,56	30,35	0,21	<b>2,1</b>	<b>Fino (200)</b>	0,074	31,89	31,7	0,19	<b>1,9</b>	0,2	<b>2</b>
<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			1,25	<b>12,5</b>	<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			1,26	<b>12,6</b>	1,255	<b>12,55</b>
			Total	10	<b>100</b>				Total	10	<b>100</b>	10	<b>100</b>

## Anexo 9: Resultados completos de la clasificación de fibras de Pino

<b>0 r</b>														
Retención en tamices:														
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)	
<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	39,07	30,34	8,73	<b>87,3</b>		<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	81,11	72,5	8,61	<b>86,1</b>	8,67	<b>86,7</b>
<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	39,67	39,06	0,61	<b>6,1</b>		<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	31,42	30,8	0,62	<b>6,2</b>	0,615	<b>6,15</b>
<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	39,68	39,29	0,39	<b>3,9</b>		<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	33,88	33,48	0,4	<b>4</b>	0,395	<b>3,95</b>
<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	39,05	38,93	0,12	<b>1,2</b>		<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	33,43	33,35	0,08	<b>0,8</b>	0,1	<b>1</b>
<b>Fino (200)</b>	0,074	31,86	31,76	0,1	<b>1</b>		<b>Fino (200)</b>	0,074	24,59	24,36	0,23	<b>2,3</b>	0,165	<b>1,65</b>
<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			0,05	<b>0,5</b>		<b>menor a 200</b>	0,045			0,06	<b>0,6</b>	0,055	<b>0,55</b>
			<b>Total</b>	10	<b>100</b>				<b>Total</b>	10	<b>100</b>	10	<b>100</b>	
<b>4000 r</b>														
Retención en tamices:														
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)	
<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	126,7	118,6	8,1	<b>81</b>		<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	126,22	118,3	7,92	<b>79,2</b>	8,01	<b>80,1</b>
<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	114,97	114,45	0,52	<b>5,2</b>		<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	29,82	29,23	0,59	<b>5,9</b>	0,555	<b>5,55</b>
<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	116,53	116,04	0,49	<b>4,9</b>		<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	33,03	32,54	0,49	<b>4,9</b>	0,49	<b>4,9</b>
<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	114,28	114,09	0,19	<b>1,9</b>		<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	30,78	30,65	0,13	<b>1,3</b>	0,16	<b>1,6</b>
<b>Fino (200)</b>	0,074	62,71	62,53	0,18	<b>1,8</b>		<b>Fino (200)</b>	0,074	32,72	32,51	0,21	<b>2,1</b>	0,195	<b>1,95</b>
<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			0,52	<b>5,2</b>		<b>menor a 200</b>	0,045			0,66	<b>6,6</b>	0,59	<b>5,9</b>
			<b>Total</b>	10	<b>100</b>				<b>Total</b>	10	<b>100</b>	10	<b>100</b>	
<b>8000 r</b>														
Retención en tamices:														
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)	
<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	47,16	39,28	7,88	<b>78,8</b>		<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595			7,62	<b>76,2</b>	7,75	<b>77,5</b>
<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	31,09	30,51	0,58	<b>5,8</b>		<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	31,25	30,65	0,6	<b>6</b>	0,59	<b>5,9</b>
<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	33,91	32,91	1	<b>10</b>		<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	33,55	33,04	0,51	<b>5,1</b>	0,755	<b>7,55</b>
<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	24,66	24,45	0,21	<b>2,1</b>		<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	32,39	32,2	0,19	<b>1,9</b>	0,2	<b>2</b>
<b>Fino (200)</b>	0,074	72,52	72,33	0,19	<b>1,9</b>		<b>Fino (200)</b>	0,074	31,05	30,9	0,15	<b>1,5</b>	0,17	<b>1,7</b>
<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			0,14	<b>1,4</b>		<b>menor a 200</b>	0,045			0,93	<b>9,3</b>	0,535	<b>5,35</b>
			<b>Total</b>	10	<b>100</b>				<b>Total</b>	10	<b>100</b>	10	<b>100</b>	

<b>12000 r</b>														
Retención en tamices:														
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)	
<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	37,97	30,34	7,63	<b>76,3</b>		<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	46,52	38,93	7,59	<b>75,9</b>	7,61	<b>76,1</b>
<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	39,81	39,28	0,53	<b>5,3</b>		<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	24,92	24,36	0,56	<b>5,6</b>	0,545	<b>5,45</b>
<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	39,91	38,93	0,98	<b>9,8</b>		<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	33,63	32,91	0,72	<b>7,2</b>	0,85	<b>8,5</b>
<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	33,27	33,04	0,23	<b>2,3</b>		<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	114,29	114,09	0,2	<b>2</b>	0,215	<b>2,15</b>
<b>Fino (200)</b>	0,074	114,26	114,09	0,17	<b>1,7</b>		<b>Fino (200)</b>	0,074	31,06	30,9	0,16	<b>1,6</b>	0,165	<b>1,65</b>
<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			0,46	<b>4,6</b>		<b>menor a 200</b>	0,045			0,77	<b>7,7</b>	0,615	<b>6,15</b>
			Total	10	<b>100</b>				Total	10	<b>100</b>	10	<b>100</b>	
<b>16000 r</b>														
Retención en tamices:														
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)	
<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	121,52	114,09	7,43	<b>74,3</b>		<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	121,55	114,09	7,46	<b>74,6</b>	7,445	<b>74,45</b>
<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	39,82	39,28	0,54	<b>5,4</b>		<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	24,92	24,36	0,56	<b>5,6</b>	0,55	<b>5,5</b>
<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	31,54	30,34	1,2	<b>12</b>		<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	32,08	30,9	1,18	<b>11,8</b>	1,19	<b>11,9</b>
<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	39,18	38,93	0,25	<b>2,5</b>		<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	39,22	38,93	0,29	<b>2,9</b>	0,27	<b>2,7</b>
<b>Fino (200)</b>	0,074	33,24	33,04	0,2	<b>2</b>		<b>Fino (200)</b>	0,074	33,1	32,91	0,19	<b>1,9</b>	0,195	<b>1,95</b>
<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			0,38	<b>3,8</b>		<b>menor a 200</b>	0,045			0,32	<b>3,2</b>	0,35	<b>3,5</b>
			Total	10	<b>100</b>				Total	10	<b>100</b>	10	<b>100</b>	



4000 r		Diámetro hoja 1	Diámetro hoja 2	Diámetro promedio	Área	Peso (5 hojas)	Gramaje (B.H)	Espesor			Tracción			Desgarro		Reventamiento		
Muestra	mm	mm	mm	m2	g	g/m2	micras	micras	kgf	mm	mm	Nm	Nm corregido	kPa				
1	157	158	157,5	0,0195	6,319	64,66	433	429	7,448	7,185	4,988	4,575	656	643	350	370		
2	158	158	158	0,0196			431	430	7,816	6,923	4,831	4,794	410	656	643	350	350	
3	158	158	158	0,0196			434	432	7,385	7,396	4,831	4,625	410	656	643	340	360	
4	157	158	157,5	0,0195			430	432	6,902	7,112	4,769	4,662	400	640	627	360	390	
5	158	157	157,5	0,0195			432	431	7,396	6,802	4,888	4,250	400	640	627	340	370	
6	158	158	158	0,0196			Gramaje (B.S)	429	429	7,448	6,785	5,281	4,519	390	624	612	360	370
7	157	158	157,5	0,0195			g/m2	431	428	7,459	7,553	5,094	5,563	420	672	658	385	380
8	158	158	158	0,0196			58,67	431	431	6,471	7,038	4,131	4,544	420	672	658	360	390
9	157	158	157,5	0,0195				431	431	7,238	7,480	4,850	5,331	420	672	658	370	370
10	158	158	158	0,0196				432	431	7,017	6,839	4,831	4,662				390	380
			Área promedio (m2)	0,0195									Promedio	639				
												Indice desgarro	9,88					
												(mNm <sup>2</sup> /g)		Promedio	367			
Cont. Humedad	1,25	1,12	10,4	9,3			Promedio (micras)	431	Promedio	7,185	Promedio	4,801				Indice reventamiento	5,67	
Hojas (%)	1,23	1,13	8,1				Espesor de una hoja en mm	0,086	Indice Tracción	72,65						kPa·m <sup>2</sup> /g		

6500 r		Diámetro hoja 1	Diámetro hoja 2	Diámetro promedio	Área	Peso (5 hojas)	Gramaje (B.H)	Espesor			Tracción			Desgarro		Reventamiento		
Muestra	mm	mm	mm	m2	g	g/m2	micras	micras	kgf	mm	mm	Nm	Nm corregido	kPa				
1	158	158	158	0,0196	6,394	65,30	417	421	8,047	8,047	5,131	5,144	410	656	643	430	440	
2	158	158	158	0,0196			418	416	8,751	7,490	5,925	4,925	430	688	674	430	440	
3	158	158	158	0,0196			416	417	7,269	7,847	5,031	5,406	430	688	674	440	450	
4	158	158	158	0,0196			420	418	7,469	8,183	4,613	4,840	420	672	658	440	440	
5	158	158	158	0,0196			420	416	8,604	8,488	5,813	5,069	410	656	643	445	430	
6	157	157	157	0,0194			Gramaje (B.S)	420	416	8,225	8,499	5,250	5,444	420	672	658	440	450
7	158	158	158	0,0196			g/m2	418	420	7,858	8,078	4,719	5,356	420	672	658	430	450
8	158	158	158	0,0196			58,19	417	418	7,459	8,488	4,6	5,431	420	672	658	430	440
9	158	158	158	0,0196				420	418	8,204	7,963	5,281	5,194	420	672	658	450	460
10	158	158	158	0,0196				418	417	8,824	7,837	5,956	5,263				450	440
			Área promedio (m2)	0,0196									Promedio	658				
												Indice desgarro	10,08					
												(mNm <sup>2</sup> /g)		Promedio	441			
Cont. Humedad	1,25	1,11	11,2	10,9			Promedio (micras)	418	Promedio	8,082	Promedio	5,220				Indice reventamiento	6,76	
Hojas (%)	1,23	1,1	10,6				Espesor de una hoja en mm	0,084	Indice Tracción	80,91						kPa·m <sup>2</sup> /g		

9000 r		Diámetro hoja 1	Diámetro hoja 2	Diámetro promedio	Área	Peso (5 hojas)	Gramaje (B.H)	Espesor			Tracción			Desgarro		Reventamiento		
Muestra	mm	mm	mm	m2	g	g/m2	micras	micras	kgf	mm	mm	Nm	Nm corregido	kPa				
1	158	158	158	0,0196	6,192	63,16	375	381	8,572	8,887		330	528	518	520	530		
2	158	158	158	0,0196			373	380	8,740	8,057			325	520	510	530	530	
3	158	158	158	0,0196			372	382	6,776	8,036			320	512	503	535	510	
4	158	158	158	0,0196			373	380	8,362	8,709			300	480	472	500	520	
5	158	158	158	0,0196			372	381	7,532	8,362			315	504	495	550	535	
6	158	158	158	0,0196			Gramaje (B.S)	374	381	9,118	9,255			305	488	479	525	560
7	158	158	158	0,0196			g/m2	372	381	8,215	8,698			305	488	479	515	525
8	158	158	158	0,0196			56,28	370	382	8,929	8,215			315	504	495	515	460
9	158	158	158	0,0196				376	382	7,206	8,782						575	
10	158	158	158	0,0196				372	379	8,782	8,593						590	
			Área promedio (m2)	0,0196									Promedio	494				
												Indice desgarro	7,82					
												(mNm <sup>2</sup> /g)		Promedio	529			
Cont. Humedad	1,25	1,11	11,2	10,9			Promedio (micras)	377	Promedio	8,391	Promedio	#jDIV/0!				Indice reventamiento	8,38	
Hojas (%)	1,23	1,1	10,6				Espesor de una hoja en mm	0,075	Indice Tracción	86,86						kPa·m <sup>2</sup> /g		

## Anexo 11: Resultados obtenidos para las propiedades físico mecánicas estudiadas para Eucalyptus

<b>0 r</b>														
Retención en tamices:														
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)	
<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	39,07	30,34	8,73	<b>87,3</b>		<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	81,11	72,5	8,61	<b>86,1</b>	8,67	<b>86,7</b>
<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	39,67	39,06	0,61	<b>6,1</b>		<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	31,42	30,8	0,62	<b>6,2</b>	0,615	<b>6,15</b>
<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	39,68	39,29	0,39	<b>3,9</b>		<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	33,88	33,48	0,4	<b>4</b>	0,395	<b>3,95</b>
<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	39,05	38,93	0,12	<b>1,2</b>		<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	33,43	33,35	0,08	<b>0,8</b>	0,1	<b>1</b>
<b>Fino (200)</b>	0,074	31,86	31,76	0,1	<b>1</b>		<b>Fino (200)</b>	0,074	24,59	24,36	0,23	<b>2,3</b>	0,165	<b>1,65</b>
<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			0,05	<b>0,5</b>		<b>menor a 200</b>	0,045			0,06	<b>0,6</b>	0,055	<b>0,55</b>
			Total	10	<b>100</b>				Total	10	<b>100</b>	10	<b>100</b>	

<b>4000 r</b>														
Retención en tamices:														
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)	
<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	126,7	118,6	8,1	<b>81</b>		<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	126,22	118,3	7,92	<b>79,2</b>	8,01	<b>80,1</b>
<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	114,97	114,45	0,52	<b>5,2</b>		<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	29,82	29,23	0,59	<b>5,9</b>	0,555	<b>5,55</b>
<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	116,53	116,04	0,49	<b>4,9</b>		<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	33,03	32,54	0,49	<b>4,9</b>	0,49	<b>4,9</b>
<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	114,28	114,09	0,19	<b>1,9</b>		<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	30,78	30,65	0,13	<b>1,3</b>	0,16	<b>1,6</b>
<b>Fino (200)</b>	0,074	62,71	62,53	0,18	<b>1,8</b>		<b>Fino (200)</b>	0,074	32,72	32,51	0,21	<b>2,1</b>	0,195	<b>1,95</b>
<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			0,52	<b>5,2</b>		<b>menor a 200</b>	0,045			0,66	<b>6,6</b>	0,59	<b>5,9</b>
			Total	10	<b>100</b>				Total	10	<b>100</b>	10	<b>100</b>	

<b>8000 r</b>														
Retención en tamices:														
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)	
<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	47,16	39,28	7,88	<b>78,8</b>		<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595			7,62	<b>76,2</b>	7,75	<b>77,5</b>
<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	31,09	30,51	0,58	<b>5,8</b>		<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	31,25	30,65	0,6	<b>6</b>	0,59	<b>5,9</b>
<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	33,91	32,91	1	<b>10</b>		<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	33,55	33,04	0,51	<b>5,1</b>	0,755	<b>7,55</b>
<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	24,66	24,45	0,21	<b>2,1</b>		<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	32,39	32,2	0,19	<b>1,9</b>	0,2	<b>2</b>
<b>Fino (200)</b>	0,074	72,52	72,33	0,19	<b>1,9</b>		<b>Fino (200)</b>	0,074	31,05	30,9	0,15	<b>1,5</b>	0,17	<b>1,7</b>
<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			0,14	<b>1,4</b>		<b>menor a 200</b>	0,045			0,93	<b>9,3</b>	0,535	<b>5,35</b>
			Total	10	<b>100</b>				Total	10	<b>100</b>	10	<b>100</b>	

<b>12000 r</b>														
Retención en tamices:														
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)	
<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	37,97	30,34	7,63	76,3		<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	46,52	38,93	7,59	75,9	7,61	76,1
<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	39,81	39,28	0,53	5,3		<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	24,92	24,36	0,56	5,6	0,545	5,45
<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	39,91	38,93	0,98	9,8		<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	33,63	32,91	0,72	7,2	0,85	8,5
<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	33,27	33,04	0,23	2,3		<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	114,29	114,09	0,2	2	0,215	2,15
<b>Fino (200)</b>	0,074	114,26	114,09	0,17	1,7		<b>Fino (200)</b>	0,074	31,06	30,9	0,16	1,6	0,165	1,65
<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			0,46	4,6		<b>menor a 200</b>	0,045			0,77	7,7	0,615	6,15
			Total	10	100				Total	10	100	10	100	

<b>16000 r</b>														
Retención en tamices:														
	Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)		Abertura (mm)	PS+placa (g)	Pplaca (g)	PS (g)	Retenido (%)	PS (g)	Retenido (%)	
<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	121,52	114,09	7,43	74,3		<b>Tamiz 1 (28)</b>	0,595	121,55	114,09	7,46	74,6	7,445	74,45
<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	39,82	39,28	0,54	5,4		<b>Tamiz 2 (48)</b>	0,297	24,92	24,36	0,56	5,6	0,55	5,5
<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	31,54	30,34	1,2	12		<b>Tamiz 3 (100)</b>	0,149	32,08	30,9	1,18	11,8	1,19	11,9
<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	39,18	38,93	0,25	2,5		<b>Tamiz 4 (150)</b>	0,105	39,22	38,93	0,29	2,9	0,27	2,7
<b>Fino (200)</b>	0,074	33,24	33,04	0,2	2		<b>Fino (200)</b>	0,074	33,1	32,91	0,19	1,9	0,195	1,95
<b>menor a 200</b>	menor a 0,074			0,38	3,8		<b>menor a 200</b>	0,045			0,32	3,2	0,35	3,5
			Total	10	100				Total	10	100	10	100	











