

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“INFLUENCIA DEL REFINADO SOBRE LAS PROPIEDADES DE LAS
PULPAS EN FIBRAS RECICLADAS DKL Y OCC”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL

JHONALY BRIGUITTE MARCHAND ARNADO

LIMA – PERÚ

2023

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

Turnitin Informe de Originalidad

Informe de Originalidad Turnitin

Jhonaly Marchand teiss por Hector GONZALES

Desde Jhonaly Marchand tesis (tesis de pregrado 2023)



- Procesado el 15-dic.-2023 7:38 a. m. -05
- Identificador: 2259820434
- Número de palabras: 67302

Índice de similitud

13%

Similitud según fuente

Internet Sources:

13%

Publicaciones:

3%

Trabajos del estudiante:

3%

fuentes:

- 1 1% match (Internet desde 24-abr.-2019)
http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009_Curso_Preparacion_Pasta.pdf
- 2 1% match (Internet desde 24-oct.-2019)
http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2008_Area_Panorama+Industria+Celulosa+Papel.pdf
- 3 1% match ()
[Lora Nieves, Ikeda Jhoseli. "Comportamiento al intemperismo de un material compuesto bambú-plástico elaborado con partículas de Guadua angustifolia Kunth y polipropileno". 'Baishideng Publishing Group Inc.', 2016](#)
- 4 1% match (Internet desde 16-ene.-2023)
<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/126533/000835580.pdf?sequence=1>
- 5 1% match ()
[Battistini, Matthew R., Shoji, Christopher, Handa, Sumit, Breydo, Leonid, Merkler, David J., "Mechanistic Binding Insights for 1-deoxy-D-Xylulose-5-Phosphate Synthase, the Enzyme Catalyzing the First Reaction of Isoprenoid Biosynthesis in the Malaria-causing Protists, Plasmodium falciparum and Plasmodium vivax". Scholar Commons, 2016](#)
- 6 < 1% match (Internet desde 30-sept.-2022)
https://www.eucalyptus.com.br/news/pt_jul2021.pdf
- 7 < 1% match (Internet desde 24-abr.-2019)
http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2011_Curso_Fabricacao_Celulose_Papel.pdf
- 8 < 1% match (Internet desde 27-feb.-2023)
https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2023_Relato+Vida+CFoelkel+O2+Delignification.pdf
- 9 < 1% match ()
[Molina Lovatón, Angela. "Efectos del intemperismo sobre las propiedades físico - mecánicas del tallo de bambú Guadua angustifolia Kunth, proveniente de Cajamarca, Perú". 'Baishideng Publishing Group Inc.', 2020](#)
- 10 < 1% match ()
[Cadena Chamorro, Edith Marleny. "Estudio del refinado de pastas de papel utilizando métodos biotecnológicos \(enzimas\)". Universitat Politècnica de Catalunya, 2009](#)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**“INFLUENCIA DEL REFINADO SOBRE LAS PROPIEDADES DE
LAS PULPAS EN FIBRAS RECICLADAS DKL Y OCC”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL

JHONALY BRIGUITTE MARCHAND ARNADO

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

*Ing. Manuel Chavesta Custodio, Dr.
Presidente*

*Ing. Elvito Fabian Villegas Silva, Dr.
Miembro*

*Ing. Agatha Estefanía Raquel Prado Gárate, Mg.Sc.
Miembro*

*Ing. Héctor Enrique Gonzales Mora, Ph.D.
Asesor*

*Ing. Aldo Joao Cárdenas Oscanoa, Mg.Sc.
Co-asesor*

DEDICATORIA

Con un profundo amor dedico esta investigación:

*A Dios, por todo su amor, misericordia y la fuerza espiritual
que me ha brindado durante el desarrollo de la tesis.*

*A mis queridos padres Lidia y Jorge, por inculcarme valores como la honestidad,
perseverancia y empatía; y por trabajar arduamente para que pueda recibir
una educación de calidad y ser la profesional que soy.*

*A mis hermanos Anny y Jolvy, por su apoyo incondicional y
motivación en los desafíos que he emprendido.*

*A mis pequeñas hijas perrunas Tota y Molly, por su amor desinteresado,
fidelidad y compañía desde que inicié este viaje de ser independiente.*

AGRADECIMIENTO

Esta tesis no hubiera sido posible sin la guía y motivación de varias personas que de una u otra forma contribuyeron y brindaron su valiosa ayuda en la preparación y finalización de esta investigación.

En primer lugar, deseo expresar un profundo agradecimiento a mi asesor PhD. Héctor Enrique Gonzáles Mora, por la confianza depositada en mí y la exigencia en el presente estudio, por su apertura en compartir sus conocimientos y proporcionar una visión crítica del estudio.

Extiendo mi más sincero aprecio y gratitud a mi coasesor Mg. Sc. Aldo Cárdenas Oscanoa, por su paciencia, consejos y exigencia en el desarrollo de la tesis.

Mi profundo respeto y agradecimiento a mi alma máter, la Universidad Nacional Agraria La Molina y a mi facultad de Ciencias Forestales por la formación profesional brindada.

Asimismo, quiero extender mi gratitud a la empresa TECH TRADE por permitirme adquirir experiencia en sus instalaciones y usar sus equipos en el laboratorio de Pulpa y Refinación para la parte experimental. Mi respeto y admiración a mi querido jefe Ing. César León García, quien me ha guiado durante el arduo proceso de redacción de tesis, por su sincera amistad y los constantes permisos que me brindó para finiquitar la investigación.

Mi más sincero agradecimiento y respeto al Ing. Salvador Leyva de ACOTEPAC, por su apoyo espiritual y profesional, quien me brindó su asesoría en la formulación de este estudio y compartió material de gran valor para la discusión de los resultados.

Un especial agradecimiento a mis queridos hermanos y hermanas de la Célula Puerta del Cielo de la Comunidad Católica Shalom, en especial a Jéssica Carhuamaca, Milena Santos, Mónica Sánchez y Sara Costa, por ser guías espirituales, por sus oraciones en todo momento y sus palabras de mucha esperanza para que pueda lograr este objetivo.

Gracias a mis mejores amigas Ángela Molina y Teresa Huamán por su amistad y apoyo en lo moral durante todos estos años. A Jordan por su gran apoyo y consejos durante todo este proceso. A Rosa, Elicia, Nathalie, Alexis, Sara y Grecia, por su amistad, consejos y oraciones. A Enrique, Marco y Alberto por su valioso apoyo en el laboratorio de Pulpa y Papel de la UNALM.

Por último, pero no menos importante, expreso mi mayor agradecimiento a mis padres y hermanos. Gracias a Dios por responder a mis oraciones y brindarme esperanza para superar obstáculos en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
1. LA INDUSTRIA DE LA PULPA Y PAPEL	3
1.1. SITUACIÓN DEL SECTOR A NIVEL MUNDIAL	3
1.2. SITUACIÓN DEL SECTOR EN LATINO AMÉRICA Y PERÚ	5
2. EL RECICLADO DEL PAPEL Y CARTÓN	7
2.1. CONCEPTO DE RECICLADO	7
2.2. CONCEPTO DE FIBRAS RECICLADAS	7
2.3. CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS RECICLADAS	7
2.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS RECICLADAS	11
2.4.1. DKL: <i>CARTÓN NUEVO SIN USO</i>	12
2.4.2. OCC: <i>CARTÓN NACIONAL</i>	12
3. SISTEMA DE PREPARACIÓN DE PULPAS RECICLADAS	13
3.1. RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA	13
3.2. DESINTEGRACIÓN	14
3.3. DEPURACIÓN	14
3.4. REFINADO	14
3.4.1. CONCEPTO Y MECANISMO DE REFINADO	14
3.4.2. VARIABLES QUE AFECTAN AL REFINADO	15
3.4.3. EFECTOS DEL REFINADO	16
3.4.4. INFLUENCIA DEL REFINADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL PAPEL	17
3.4.4.1. Influencia de la materia prima reciclada	18
3.4.4.2. Influencia de la consistencia	20
3.4.4.3. Influencia del entrehierro	21
3.4.5. EQUIPOS DE REFINADORES	23
3.4.5.1. Pila holandesa	23
3.4.5.2. Refinador cónico	24
3.4.5.3. Refinador de disco	24
3.4.5.4. Refinadores de laboratorio	27
3.4.6. POTENCIAS EN EL REFINADO	28
3.4.7. CARGA ESPECÍFICA DEL BORDE: <i>INTENSIDAD DE REFINADO</i>	29
3.4.8. ENTREHIERRO DEL REFINADOR DE DISCOS	31
4. EVALUACIÓN DE FIBRAS CELULÓSICAS, PULPAS Y PAPELES	33
4.1. PROPIEDADES DE LAS PULPAS	33
4.1.1. COMPOSICIÓN FIBROSA Y CARACTERÍSTICAS	33
4.1.1.1. Clasificación por tamices: Clasificación Bauer	33
4.1.1.2. Clasificación morfológica: Analizador Morfi	33
4.1.2. DRENABILIDAD	38
4.1.3. CENIZAS	38
4.2. PROPIEDADES DEL PAPEL	39

4.2.1. PROPIEDADES GENERALES	39
4.2.1.1. Humedad	39
4.2.1.2. Gramaje	39
4.2.1.3. Espesor	40
4.2.1.4. Densidad relativa	40
4.2.2. PROPIEDADES DE SUPERFICIE	40
4.2.2.1. Permeabilidad al aire	40
4.2.3. PROPIEDADES ÓPTICAS	40
4.2.3.1. Blancura	40
4.2.3.2. Opacidad	41
4.2.4. PROPIEDADES DE RESISTENCIA FÍSICA	41
4.2.4.1. Resistencia a la tensión y al alargamiento	41
4.2.4.2. Resistencia al rasgado	41
4.2.4.3. Resistencia al doblado	41
III. METODOLOGÍA	42
1. MATERIALES	42
2. EQUIPOS	42
3. MÉTODOS	43
3.1. LUGAR DE ESTUDIO	43
3.2. MATERIAS PRIMAS	44
3.3. SISTEMA PROTOTIPO	44
3.4. ENSAYOS PRELIMINARES DE DESINTEGRADO	45
3.5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL ESTUDIO	45
3.6. COLECTA DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS Y CONTROL DE HUMEDAD	47
3.7. DEFINICIÓN DE MEZCLAS DE FIBRAS	47
3.8. PREPARACIÓN DE MEZCLAS DE FIBRAS	48
3.8.1. DESINTEGRADO Y OBTENCIÓN DE MEZCLAS	48
3.8.2. DEPURACIÓN DE LAS PULPAS	48
3.8.3. REFINADO DE LAS PULPAS	49
3.9. CONTROL DE LAS PULPAS	51
3.9.1. CONSISTENCIA	51
3.9.2. CLASIFICACIÓN DE FIBRAS	52
3.9.3. CARACTERIZACIÓN DE FIBRAS	52
3.9.4. DRENABILIDAD	52
3.9.5. CENIZAS	53
3.9.6. PREPARACIÓN DE LAS HOJAS DE ENSAYOS	53
3.9.7. ENSAYOS FÍSICOS DE LAS HOJAS DE PAPEL	54
3.10. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	56
3.10.1. DISEÑO EXPERIMENTAL	56
3.10.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	57
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS	59

2. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LAS PULPAS REFINADAS Y SUS MEZCLAS	62
2.1. CONSISTENCIA.....	62
2.2. COMPOSICIÓN FIBROSA Y CARACTERÍSTICAS.....	63
2.2.1. FRACCIONES DE FIBRAS CLASIFICADAS	63
2.2.2. LONGITUD DE FIBRA	66
2.2.2.1. Relación entre la clasificación por tamices y morfológica	68
2.2.3. ANCHO DE FIBRA.....	69
2.2.4. DENSIDAD LINEAL DE LA FIBRA.....	72
2.2.5. DOBLEZ DE FIBRA (<i>KINK</i>)	75
2.2.6. CURVATURA DE FIBRA (<i>CURL</i>)	77
2.2.7. EXTREMOS ROTOS DE FIBRA	80
2.2.8. FINOS	82
2.2.9. MACROFIBRILACIÓN (<i>FIBRILACIÓN EXTERNA</i>).....	85
2.3. DRENABILIDAD DE LA PULPA	88
2.4. CENIZAS.....	91
3. ENSAYOS EN PAPEL DE PULPAS ESTUDIADAS	94
3.1. HUMEDAD	94
3.2. GRAMAJE, ESPESOR Y DENSIDAD	96
3.3. PERMEABILIDAD AL AIRE	99
3.4. BLANCURA Y OPACIDAD	102
3.5. RESISTENCIA A LA TENSIÓN Y ALARGAMIENTO.....	106
3.6. RESISTENCIA AL RASGADO	109
3.7. RESISTENCIA AL DOBLADO	112
V. CONCLUSIONES	115
VI. RECOMENDACIONES	116
VII. BIBLIOGRAFÍA	117
VIII. ANEXOS	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de recolección de materiales papeleros recuperados.....	4
Tabla 2: Tasas de reciclado en el Perú para los años 2018 y 2019.....	6
Tabla 3: Resultados de los ensayos en pulpas mecánicas y químicas recicladas.	19
Tabla 4: Las propiedades del papel a partir de pulpas recicladas.....	20
Tabla 5: Consistencia recomendada para varios tipos de fibra.	20
Tabla 6: Variación de la longitud de fibras vírgenes según reducción del entrehierro.	21
Tabla 7: Variación de las propiedades del papel en el refinado de fibras recicladas.	22
Tabla 8: Rangos de Intensidad de refinado según tipo de pulpa.	31
Tabla 9: Rangos promedio de parámetros morfológicos en pulpa virgen y reciclada.....	37
Tabla 10: Rangos promedios de las propiedades de pulpas vírgenes y recicladas.	39
Tabla 11: Elección de la consistencia y tiempo de pulpado para el sistema prototipo.	45
Tabla 12: Contenido de humedad (%) para cada lote de cartones DKL y OCC.....	47
Tabla 13: Masa seca de cartones DKL y OCC según proporción de mezcla.....	47
Tabla 14: Amperaje en vacío y operación en pulpas según proporción de mezcla.	50
Tabla 15: Diseño experimental de los tratamientos empleados en el análisis estadístico de las propiedades de las pulpas en fibras recicladas DKL y OCC.	58
Tabla 16: Caracterización de las materias primas fibrosas DKL y OCC.....	59
Tabla 17: Resultados promedio y desviaciones estándar de la consistencia de pulpa durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	62
Tabla 18: Análisis de varianza de los resultados de la consistencia de pulpa.....	63
Tabla 19: Análisis de varianza de los resultados de la Clasificación de fibras.....	63
Tabla 20: Resultados promedio de las fracciones en clasificación de fibras para cada proporción de mezcla a diferentes niveles de entrehierro.	64
Tabla 21: Resultados promedio y desviaciones estándar de la longitud de fibra durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	67
Tabla 22: Análisis de varianza de los resultados de longitud de fibra.	68
Tabla 23: Relación de los resultados obtenidos entre las fracciones de fibras clasificadas y la longitud ponderada de fibra.	68
Tabla 24: Resultados promedio y desviaciones estándar del ancho de fibra durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	71
Tabla 25: Análisis de varianza de los resultados del ancho de fibra.....	71
Tabla 26: Resultados promedio y desviaciones estándar de densidad lineal de fibra durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	73
Tabla 27: Análisis de varianza de los resultados de la densidad lineal de fibra.	74
Tabla 28: Resultados promedio y desviaciones estándar del dobléz de fibra durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	76
Tabla 29: Análisis de varianza de los resultados del dobléz de fibra.....	77
Tabla 30: Resultados promedio y desviaciones estándar de la curvatura de fibra durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	78
Tabla 31: Análisis de varianza de los resultados de la curvatura de fibra.	79

Tabla 32: Resultados promedio y desviaciones estándar de extremos rotos de fibra durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	81
Tabla 33: Análisis de varianza de los resultados de extremos rotos de fibra.....	82
Tabla 34: Resultados promedio y desviaciones estándar de finos durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	84
Tabla 35: Análisis de varianza de los resultados de finos.....	84
Tabla 36: Resultados promedio y desviaciones estándar de la macrofibrilación de fibra durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	87
Tabla 37: Análisis de varianza de los resultados de la macrofibrilación de fibra.....	87
Tabla 38: Resultados promedio y desviaciones estándar de la drenabilidad durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	90
Tabla 39: Análisis de varianza de los resultados de la drenabilidad de pulpa.	90
Tabla 40: Resultados promedio y desviaciones estándar de las cenizas de pulpa durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	93
Tabla 41: Análisis de varianza de los resultados de cenizas de pulpa.	93
Tabla 42: Análisis de varianza de los resultados de humedad de las hojas.	95
Tabla 43: Resultados promedio y desviaciones estándar del gramaje, espesor y densidad durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	96
Tabla 44: Análisis de varianza de los resultados de gramaje, espesor y densidad.....	99
Tabla 45: Resultados promedio y desviaciones estándar de la permeabilidad de las hojas durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	101
Tabla 46: Análisis de varianza de los resultados de permeabilidad al aire de las hojas. ..	101
Tabla 47: Resultados promedio y desviaciones estándar de la blancura y opacidad de las hojas durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	103
Tabla 48: Análisis de varianza de los resultados de blancura y opacidad de las hojas.....	105
Tabla 49: Resultados promedio y desviaciones estándar de la resistencia a la tensión y alargamiento de las hojas durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	107
Tabla 50: Análisis de varianza de los resultados de resistencia a la tensión y alargamiento de las hojas.....	108
Tabla 51: Resultados promedio y desviaciones estándar de la resistencia al rasgado durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	110
Tabla 52: Análisis de varianza de los resultados de resistencia al rasgado de las hojas... ..	111
Tabla 53: Resultados promedio y desviaciones estándar de la resistencia al doblado de las hojas durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	113
Tabla 54: Análisis de varianza de los resultados de resistencia al doblado de las hojas. .	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Comparación entre el consumo aparente de pulpa virgen y papel recuperado a nivel mundial en el año 2005.....	3
Figura 2: Comparación entre el consumo aparente de pulpa virgen y papel recuperado para Latino América en el año 2005.....	5
Figura 3: Principales usos del papel y cartón recuperado.	10
Figura 4: Fibras recicladas. (a) Cartón DKL. (b) Cartón OCC.	13
Figura 5: Los flujos que participan en el posicionamiento de las fibras en el refinador. ...	15
Figura 6: El refinado como resultado de la fibrilación externa e interna de las fibras.	16
Figura 7: Comportamiento de las propiedades del papel frente al refinado.	17
Figura 8: Comportamiento de la densidad en diferentes tipos de pulpas.	18
Figura 9: Pila holandesa para el refinado de fibras de algodón, cáñamo y lino.	23
Figura 10: Refinadores cónicos. (a) Parason. (b) Jordan. (c) Valmet. (d) Claflin.	24
Figura 11: Refinador de discos. (a) Beloit doble disco. (b) Sprout Waldron simple disco. (c) Voith Sulzer doble disco. (d) Beloit simple disco.	25
Figura 12: Dimensiones de las cuchillas.	26
Figura 13: Diseño de barras en función de la consistencia. (a) Barras para trabajar a baja consistencia. (b) Barras para trabajar a alta consistencia.	27
Figura 14: Refinadores de laboratorio. (a) PFI. (b) Pila Valey. (c) Jokro. (d) De discos. .	28
Figura 15: Cálculo de la Longitud de corte para un refinador de discos simple.....	30
Figura 16: Entrehierro de un Refinador de discos simple.	31
Figura 17: Variación de la drenabilidad respecto al valor del entrehierro.	32
Figura 18: Evolución de la potencia útil en función del entrehierro.	32
Figura 19: Principio y funcionamiento del analizador óptico Morfi Compact.	34
Figura 20: Identificación de los parámetros morfológicos en las fibras papeleras.	37
Figura 21: (a) Fibras de pulpas vírgenes (largas). (b) Fibras recicladas (OCC).	38
Figura 22: Diagrama de flujo de la metodología a seguir para el presente estudio.	46
Figura 23: Pulper delta desintegrando la mezcla DKL y OCC.	48
Figura 24: Rotor y placa perforada en el fondo del pulper tipo delta.	48
Figura 25: (a) Juego de discos refinadores 2 mm x 3 mm x 6 mm. (b) Equipo refinador de discos simple.....	49
Figura 26: Regulación del entrehierro en el refinador de discos simple.	50
Figura 27: Mezcla 50% DKL - 50% OCC. (a) Pulpa desintegrada. (b) Pulpa refinada a 0,05 mm. (c) Pulpa refinada a 0,10 mm. (d) Pulpa refinada a 0,15 mm.	51
Figura 28: Equipo Morfi Compact para análisis de las pulpas antes y después del refinado.	52
Figura 29: (a) Formador de hojas. (b) Hojas de ensayos.	53
Figura 30: (a) Corte de probetas. (b) Probetas para ensayos físicos-mecánicos.	54
Figura 31: (a) Fibras DKL (1/50). (b) Fibras OCC (1/50).	61
Figura 32: Variación de la longitud de fibra promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	66

Figura 33: Variación del ancho de fibra promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	70
Figura 34: Variación de densidad lineal de fibra promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	72
Figura 35: Superficie de respuesta de densidad lineal según longitud y ancho de fibra para pulpas sin refinado de las diferentes proporciones de mezcla.....	74
Figura 36: Variación del dobléz de fibra promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	75
Figura 37: Variación de la curvatura de fibra promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	77
Figura 38: Relación de curvatura y dobléz de fibra en las pulpas antes y después del refinado según proporción de mezcla.	80
Figura 39: Variación de extremos rotos promedio de fibra durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	80
Figura 40: Variación de finos de fibra promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	83
Figura 41: Relación de finos y longitud de fibra en las pulpas antes y después del refinado según proporción de mezcla.	85
Figura 42: Variación de la macrofibrilación de fibra promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	86
Figura 43: Relación de macrofibrilación e intensidad de refinado en las pulpas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	88
Figura 44: Variación de la drenabilidad de pulpa promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	89
Figura 45: Relación entre la drenabilidad, macrofibrilación y finos en las pulpas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	91
Figura 46: Variación de las cenizas de pulpa promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	92
Figura 47: Relación de finos y cenizas en las pulpas antes y después del refinado según proporción de mezcla.....	94
Figura 48: Variación de la humedad de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	95
Figura 49: Variación del gramaje de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	97
Figura 50: Variación del espesor de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	97
Figura 51: Variación de la densidad de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	98
Figura 52: Relación entre el gramaje, espesor y densidad de las hojas durante el refinado.....	99
Figura 53: Variación de la permeabilidad al aire de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	100
Figura 54: Relación entre la permeabilidad, finos y drenabilidad de las pulpas durante el refinado.....	102

Figura 55: Variación de la blancura de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	104
Figura 56: Variación de la opacidad de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	104
Figura 57: Relación entre la blancura y opacidad de las hojas durante el refinado.	105
Figura 58: Variación de la resistencia a la tensión promedio de las hojas durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	106
Figura 59: Relación entre la resistencia a la tensión y alargamiento de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	108
Figura 60: Variación de la resistencia al rasgado promedio de las hojas durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	109
Figura 61: Relación entre la resistencia a la tensión y rasgado de las hojas durante el refinado.	111
Figura 62: Variación de la resistencia al doblado promedio de las hojas durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	112
Figura 63: Relación entre la resistencia al doblado, rasgado, alargamiento y tensión de las hojas durante el refinado.	114

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Instalación del Sistema Prototipo a escala laboratorio.....	130
Anexo 2: Esquema de preparación de pulpa a escala laboratorio.....	132
Anexo 3: Datos de las repeticiones y promedios de consistencias según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	133
Anexo 4: Distribución de la clasificación de fibras para la mezcla 100 % DKL - 0 % OCC a diferentes niveles de entrehierro.	136
Anexo 5: Distribución de la clasificación de fibras para la mezcla 75 % DKL - 25 % OCC a diferentes niveles de entrehierro.	136
Anexo 6: Distribución de la clasificación de fibras para la mezcla 50 % DKL - 50 % OCC a diferentes niveles de entrehierro.	137
Anexo 7: Distribución de la clasificación de fibras para la mezcla 25 % DKL - 75 % OCC a diferentes niveles de entrehierro.	137
Anexo 8: Distribución de la clasificación de fibras para la mezcla 0 % DKL - 100 % OCC a diferentes niveles de entrehierro.	138
Anexo 9: Datos de las repeticiones de clasificación de fibras según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	139
Anexo 10: Resultados promedios de los parámetros morfológicos para cada proporción de mezcla a diferentes niveles de entrehierro.....	142
Anexo 11: Datos de las repeticiones de parámetros morfológicos según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	143
Anexo 12: Datos de las repeticiones y promedios de drenabilidad según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	147
Anexo 13: Datos de las repeticiones y promedios de cenizas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	150
Anexo 14: Potencia, Velocidad de corte e Intensidad de refinado según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	152
Anexo 15: Datos de las repeticiones y promedios de humedad de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	153
Anexo 16: Datos de las repeticiones y promedios de gramaje de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	156
Anexo 17: Datos de las repeticiones y promedios de densidad de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	159
Anexo 18: Datos de las repeticiones y promedios de permeabilidad al aire de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	162
Anexo 19: Datos de las repeticiones y promedios de blancura y opacidad de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	164
Anexo 20: Datos de las repeticiones y promedios de resistencia a la tensión y al alargamiento de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	166
Anexo 21: Datos de las repeticiones y promedios de resistencia al rasgado de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.	171

Anexo 22: Datos de las repeticiones y promedios de resistencia al doblado de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.....	174
Anexo 23: Imágenes de las fibras en pulpas antes y después del refinado para la mezcla A (100 % DKL - 0 % OCC).....	176
Anexo 24: Imágenes de las fibras en pulpas antes y después del refinado para la mezcla B (75 % DKL - 25 % OCC).....	177
Anexo 25: Imágenes de las fibras en pulpas antes y después del refinado para la mezcla C (50 % DKL - 50 % OCC).....	178
Anexo 26: Imágenes de las fibras en pulpas antes y después del refinado para la mezcla D (25 % DKL - 75 % OCC).....	179
Anexo 27: Imágenes de las fibras en pulpas antes y después del refinado para la mezcla E (0 % DKL - 100 % OCC).....	180

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar la influencia del refinado sobre las propiedades de las pulpas en fibras recicladas DKL y OCC. Las variables analizadas fueron cinco proporciones de mezcla de fibras DKL y OCC (100/0, 75/25, 50/50, 25/75 y 0/100 %), las cuales pasaron por tres niveles de entrehierro, 0,15; 0,10 y 0,05 mm (los discos refinadores ajustados), y se compararon frente a una muestra patrón sin refinado (los discos refinadores abiertos a 1 mm), bajo condiciones de trabajo controladas. Como resultados se determinaron la consistencia, clasificación y caracterización morfológica de las fibras, drenabilidad y cenizas; además, se evaluaron las propiedades físico-mecánicas de las hojas, tales como humedad, gramaje, espesor, densidad, permeabilidad al aire, blancura, opacidad, alargamiento, resistencia a la tensión, rasgado y doblado. Los resultados obtenidos indicaron que, durante el refinado, la proporción de fibras DKL y OCC influyó significativamente en todas las propiedades de las pulpas; así como, el nivel de entrehierro, salvo en cenizas y humedad. Asimismo, en todas las propiedades se evidenciaron cambios significativos antes y después del refinado a un entrehierro de 0,15 mm; a excepción del gramaje y blancura, que registraron una influencia positiva a 0,10 mm. Por otra parte, para las hojas con mayor fracción de fibras OCC, la resistencia a la tensión, al alargamiento y doblado fueron influenciadas negativamente por los niveles de entrehierro de 0,10 mm y 0,05 mm. En términos generales, durante la etapa de refinado, las proporciones de mezcla con un porcentaje máximo del 50 por ciento de fibras OCC y nivel de entrehierro de 0,15 mm, presentaron un mejor comportamiento sobre las propiedades de las pulpas recicladas.

Palabras claves: refinado, proporción de mezcla, DKL, OCC, nivel de entrehierro, propiedades de las pulpas.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the influence of refining on pulp properties in recycled fibers DKL and OCC. The variables analyzed were five mixture proportions of DKL and OCC fibers (100/0, 75/25, 50/50, 25/75 and 0/100 %), which passed through three levels of gap, 0,15; 0,10 and 0,05 mm (adjusted refiner plates), and were compared against a standard sample without refining (open refiner plates to 1,00 mm), under controlled working conditions. As results, were determined the consistency, classification and morphological characterization of fibers, drainability and ash were determined. In addition, were evaluated the physical-mechanical properties of the handsheets, such as moisture, grammage, thickness, density, air permeance, whiteness, opacity, elongation, tensile, tear and folding strength. The results obtained indicated that, during the refining process, the proportion of DKL and OCC fibers had a significant influence on all the pulp properties, as well as the gap level, except for ash and moisture. Furthermore, significant changes were evidenced in all properties before and after refining at a gap of 0,15 mm, except for the grammage and whiteness, which registered a positive influence at 0,10 mm. On the other hand, for the sheets with the highest fraction of OCC fibers, the elongation strength, tensile and folding strength were negatively influenced by the gap levels of 0,10 mm and 0,05 mm. In general terms, during the refining stage, the mixture proportions with a maximum percentage of 50 percent of OCC fibers and gap level of 0,15 mm, presented a better behavior on the properties of the recycled pulps.

KeyWords: refining, mixture proportions, DLK, OCC, gap level, pulp properties.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, las fibras recicladas son un recurso muy importante para la industria papelera, en especial para elaborar papeles de uso industrial (sacos y cajas), porque representa el 59 por ciento como fibras reincorporadas en su sistema de producción. Las ventajas de estas fibras, básicamente son su accesibilidad y bajo costo, por lo que se ve además en la necesidad de utilizarlas. Esta práctica de reutilización se respalda frente a la demanda mundial actual de fibras cuyo crecimiento será de 480 millones de toneladas para el 2025, del cual la participación de fibras recicladas es muy alta, representando en conjunto más del 63 por ciento (Zanuttini, 2012).

Si bien en el Perú, no existe una clasificación formal del recurso durante el reciclado de las fibras papeleras para uso industrial, se identifican dos tipos: las fibras DKL (de proceso químico) conformada por fibras largas provenientes de madera de coníferas, se utilizan por su buena calidad en resistencia y durabilidad, garantizando condiciones óptimas para su reuso; de otro lado, las fibras OCC, están conformadas por fibras largas y cortas de madera de coníferas y latifoliadas (de proceso químico) que han sido muy recicladas, mezcladas con otros papeles de proceso mecánico, son consideradas de menor calidad y con una longitud promedio menor que las DKL, aunque su importancia radica en la magnitud de su consumo.

Estas fibras recicladas, DKL y OCC, ingresan dentro del proceso productivo en reemplazo a las fibras vírgenes, las cuales conducen a cambios tecnológicos y provocan la urgencia de un mejor conocimiento de los atributos físicos de las fibras y propiedades de las pulpas. Helsinki (citado por Prasetyo, 2012) afirma que, la refinación desempeña una función importante en la preparación de la pulpa y es el primer paso en el proceso de fabricación del papel. El uso de estas fibras repercute tanto en calidad como en economía, donde son mayores los requerimientos para usar pulpas más económicas que incluyan fibras recicladas DKL y OCC; y al mismo tiempo, mediante su uso seleccionado, la calidad de hoja producida se encuentre dentro de los estándares de resistencia y aceptación por el mercado.

Los valores de resistencia son a su vez afectadas por el procesamiento de las fibras, donde destaca la operación de refinado y sus variables de control. Bortolan (2012) y Huang (2006) señalan que, una de las variables más relevantes en la operación de refinado es el entrehierro (abertura entre discos), el cual permite predecir el comportamiento de las fibras sometidas al refinado y establece posibles interrelaciones entre las características de las fibras y las propiedades físico-mecánicas de las hojas fabricadas a partir de pulpa.

La importancia del presente estudio se centró en evaluar la influencia del refinado sobre las propiedades de las fibras recicladas, que afecta la preparación del recurso fibroso al otorgarle mejores propiedades físicas y mecánicas para las siguientes etapas del proceso productivo del papel.

En este contexto, los objetivos del presente estudio fueron evaluar las pulpas celulósicas a partir de la mezcla de dos tipos de fibras recicladas DKL y OCC, procedentes de una planta papelera peruana, en función de las variables: proporción de mezcla y nivel de entrehierro, durante la etapa de refinado. De esta manera, se pretende contribuir con la información existente en el tema, la cual es insuficiente en la actualidad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. LA INDUSTRIA DE LA PULPA Y PAPEL

1.1. SITUACIÓN DEL SECTOR A NIVEL MUNDIAL

En la industria papelera, la mayor parte de la pulpa se hace de fibra virgen; sin embargo, la industria del procesamiento de fibras recicladas ha ido aumentando durante las últimas décadas, tanto que, algunas papeleras dependen casi completamente de esta materia prima (Molina, 2006).

RIADICYP (Red Iberoamericana de Docencia e Investigación en Celulosa y Papel, 2008) menciona que, las fibras recicladas han superado el 50 por ciento en la composición de los papeles y cartones producidos en el mundo, situándose por debajo de las fibras vírgenes.

En esta misma línea, la recolección de papeles y cartones usados tiene como objetivo, la posterior producción de pulpa para su utilización en la fabricación de papel y cartón. Para analizar lo que representa el reciclado, se observa en la figura 1 para el año 2005, la comparación de los consumos aparentes de pulpa virgen y papel recuperado agrupados por regiones a nivel mundial, observándose que el consumo aparente de papel recuperado es ligeramente superior a la pulpa virgen en Latino América, África y Asia.

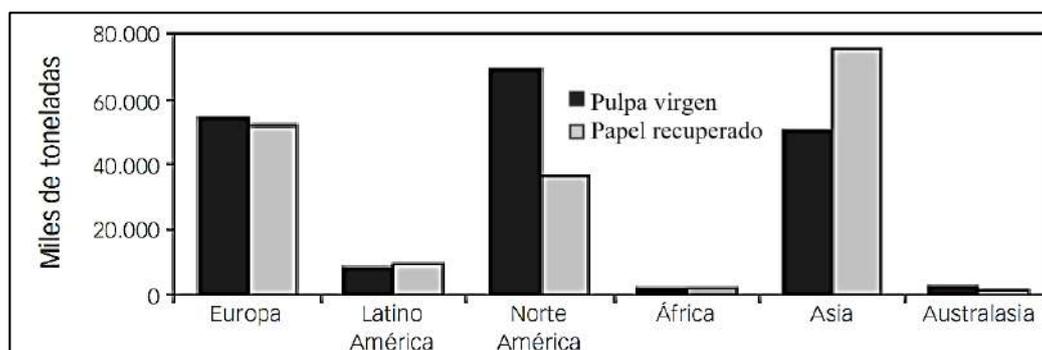


Figura 1: Comparación entre el consumo aparente de pulpa virgen y papel recuperado a nivel mundial en el año 2005.

FUENTE: Mutje, P.; Pèlach, A. y Barberà, L. (2008, p.215).

En la tabla 1, se refleja la recolección de materiales papeleros recuperados por regiones a nivel global, para los años 2005, 2020 y 2021, siendo aún los motores de este crecimiento: Europa, Norte América y Asia. Cabe destacar que, la recolección de materiales recuperados para la fabricación de papel y cartón en Latino América ha aumentado sensiblemente en los últimos años en relación al año 2005.

Tabla 1: Valores de recolección de materiales papeleros recuperados.

Países	Recolección (miles de toneladas métricas)		
	2005	2020	2021
Europa	56,491	38,343	41,056
Latino América	8,395	13,072	13,979
Norte América*	51,820	28,476	29,581
Asia	62,765	91,407	96,472
Australasia	2,466	1,808	1,732
GLOBAL	183,655	173,106	182,820

*USA y Canadá.

FUENTE: Mutje, P.; Pèlach, A. y Barberà, L. (2008, p.212). FAO (2020, 2021).

Según Mutje *et al.* (2008), las sociedades más avanzadas presentan una evolución significativa en recolección; por el contrario, los bajos valores de recolección en Latino América comparado con Europa y Norte América, se debe a que es importadora neta de papel reciclado. Los altos valores en la región de Asia, se rige por su gran consumo de materiales recuperados versus el consumo moderado de papel y cartón; y en Europa, debido a que más del 50 por ciento de los papeles y cartones consumidos son recolectados y reciclados.

De acuerdo al BIR (Bureau of International Recycling, 2022) en su informe sobre la «Visión General de las estadísticas mundiales - Reciclaje de papel y cartón en 2020»; la fibra recuperada tuvo un papel fundamental en la producción mundial de papel y cartón, pese a que la crisis sanitaria impactó la economía del mercado y las industrias. De todo el papel y cartón producido en el 2020, el 52,2 por ciento utilizó fibras recicladas, frente al 51,2 por ciento registrado para el 2019. En el consumo general se destaca que, mientras la producción de papel y cartón descendió 3,4 por ciento a nivel mundial, la producción de papel reciclado se redujo en 1,6 por ciento (\approx 240 millones de toneladas del 2019 al 2020); y a pesar de este descenso, el comportamiento del sector ha apuntado a un mayor uso de fibras recicladas como un componente ambientalmente ventajoso en la producción de papel y cartón.

Por lo antes expuesto, las fibras recicladas se están considerando como recurso papelerero para la preparación de la pulpa y han cobrado relevancia en el ámbito internacional desde el punto de vista ecológico, socio - económico y sostenible, convirtiendo un producto usado y/o desechado en una materia prima utilizable para convertirse nuevamente en papel (ASPAPEL [Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón], 2015).

1.2. SITUACIÓN DEL SECTOR EN LATINO AMÉRICA Y PERÚ

En la figura 2, se refleja la posición que han ocupado los materiales celulósicos recuperados frente al consumo de pulpa virgen. Una visión global denota que, a principios del siglo XXI, Brasil, Chile, Uruguay y Perú consumían más cantidad de pulpa virgen que materiales celulósicos recuperados. Mientras que, en México, Ecuador y Colombia se consume más material recuperado que pulpa virgen. Argentina y Venezuela presentan una situación más equilibrada, aunque ligeramente favorable a los materiales celulósicos recuperados.

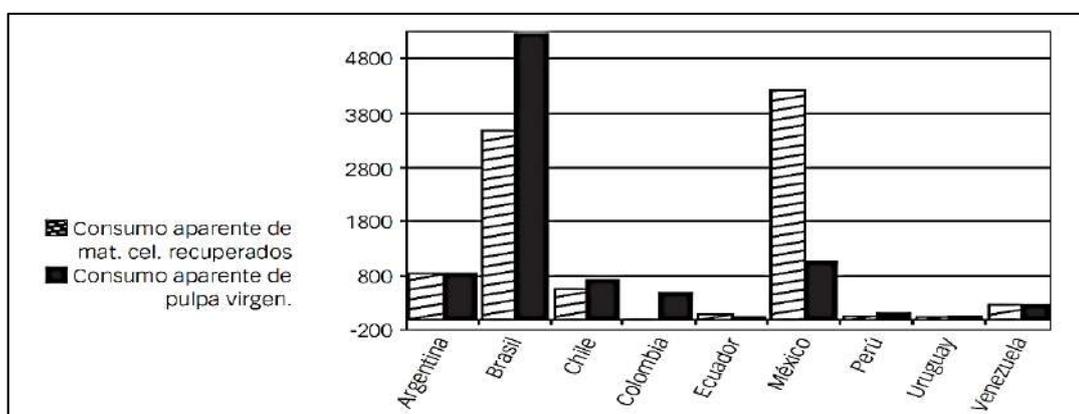


Figura 2: Comparación entre el consumo aparente de pulpa virgen y papel recuperado para Latino América en el año 2005.

FUENTE: Mutje, P.; Pèlach, A. y Barberà, L. (2008, p.230).

La industria papelerera en el Perú no ha mejorado sustancialmente respecto al año 2000, ya que, aún no está preparada para competir con una serie de productos importados debido a bienes de capital obsoleto, baja productividad, poco conocimiento de nuevas tecnologías y altos costos de financiamiento; por tanto, en busca de satisfacer la demanda del mercado, se requiere de una disponibilidad creciente de materia prima a un bajo costo. A consecuencia de esta crítica situación, la industria ha optado por el uso de un gran porcentaje de fibras recicladas como materia prima, cuya procedencia es nacional, pero eventualmente importa en pequeñas cantidades.

La situación del reciclado en los países se visualiza analizando la tasa de recolección y reciclaje; mientras que, la tasa de recolección representa el porcentaje del papel consumido que se recolecta; la tasa de reciclaje se refiere al porcentaje del papel recolectado utilizado como materia prima en la industria papelera (Mutje *et al.*, 2008).

Mutje *et al.* (2008) revelan que en Latino América, Argentina, Brasil, Chile y Uruguay muestran los valores más altos en tasas de recolección y reciclaje (40 - 50 por ciento) entre los años 2003 - 2005; mientras que, Perú y Ecuador presentan los valores más bajos en el rango de 10 al 20 por ciento. En esa misma línea afirman que, el esfuerzo recolector en el Perú es muy bajo comparado a los demás países de Latino América y se puede deber a factores como: el entorno geográfico, aspectos legislativos del tipo medioambiental, densidad de población, coste del transporte, conciencia ciudadana, desarrollo de la industria, predisposición de los consumidores, entre otros.

Según la información especificada en el Anuario de la FAO «Estadística de productos forestales» (2019), para el caso de Perú, las tasas de recolección y reciclaje presentan valores muy bajos (tabla 2). Esta situación crítica resalta la débil conciencia del reciclado entre los diferentes agentes, tales como: la ciudadanía, estado, empresas privadas, industrias del papel y cartón, etc.; por lo que se requiere de la implementación y cumplimiento de políticas referentes al reciclado, específicamente en el sector papelero.

Tabla 2: Tasas de reciclado en el Perú para los años 2018 y 2019.

Datos	Unidad	2018	2019
Consumo aparente de papel y cartón	miles de	980	1125
Recolección de materiales celulósicos recuperados	toneladas	72	72
Consumo aparente de papel recuperado	métricas	103	114
Tasa de recolección	%	7,35	6,40
Tasa de reciclaje	%	10,51	10,13

FUENTE: FAO (2019, p.288-292, 296-302).

En el Perú desde el año 2015 solo se producen dos tipos de papel: Tissue (papel higiénico, papel toalla absorbente, papel servilleta y papel facial) y marrón (papel liner, papel Kraft y cartón corrugado; para envases y embalajes), mientras que los demás tipos de papel, por ejemplo, papel para impresión y escritura, cartulinas, recubiertos, etc., se importan en su totalidad por rollos y cuando llegan al país solamente se cortan y embalan (Boluarte *et al.*, 2019).

2. EL RECICLADO DEL PAPEL Y CARTÓN

2.1. CONCEPTO DE RECICLADO

El término reciclado se refiere a la utilización de materiales usados para ser transformados en materia prima nuevamente (Avijit *et al.*, 1995).

En el reciclado del papel y cartón se utilizan los papeles recuperados para fabricar nuevos papeles reciclados, siendo los agentes de la cadena, los productores de papel y cartón (fábricas) y los productos generados: pulpa reciclada y papel reciclado (Gavazzo, 2021).

Por otro lado, los papeles recuperados son aquellos papeles y cartones usados que han sido recolectados, limpiados y clasificados para la producción de materia prima; del cual solo un porcentaje se recicla, ya que una vez situado en fábrica, se producen pérdidas debido a las operaciones de depuración y eliminación de contaminantes (Mutje *et al.*, 2008).

2.2. CONCEPTO DE FIBRAS RECICLADAS

Aguilar (2004) define las fibras recicladas como «cualquier material fibroso que ha sufrido un proceso de manufactura previo y son susceptibles de reutilizarse» (p.54).

Sagástegui (2016) indica que, «la fibra reciclada es aquel material fibroso que se obtiene de papeles y cartones usados. Esto no significa que tenga fórmula y composición química diferente a la fibra virgen; la diferencia radica en el nombre, puesto que ambas son la misma fibra en dos momentos de su ciclo de vida» (p.8).

Coellar (2005) menciona que, «las fibras recicladas son aquellas que están constituidas por materiales como cartones y papeles originados en máquinas productoras de papel, los cuales bajo determinadas condiciones pueden reutilizarse nuevamente en un proceso de producción» (p.23).

2.3. CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS RECICLADAS

Smook (1990) expone que, en la industria papelera se utiliza una amplia variedad de materiales fibrosos lignocelulósicos como materia prima, los cuales son:

- **Fibras madereras provenientes de:** tallos de gimnospermas (coníferas) y tallos de angiospermas dicotiledóneas (latifoliadas).
- **Fibras no madereras provenientes de:** tallos de angiospermas monocotiledóneas (gramíneas), tallos de angiospermas dicotiledóneas herbáceas (lino, cáñamo), frutos de angiospermas dicotiledóneas (algodón) y hojas de angiospermas monocotiledóneas (sisal).
- **Fibras secundarias provenientes de:** recursos papeleros reciclados post-consumo y recursos papeleros reciclados pre-consumo.

Las fibras madereras se destinan para elaborar papeles de escritura e impresión y papeles sanitarios, los cuales utilizan principalmente fibras cortas (latifoliadas), obtenidas por proceso químico, blanqueadas y combinadas con alguna proporción de fibras largas. En otros productos como, papeles industriales, bolsas, sacos y cajas de cartón, se utilizan preferentemente fibras largas (coníferas) de proceso químico, y también de procesos semiquímicos (papel para corrugar) o mecánicos (papel periódico) (Paulapuro, 2000).

De la amplia variedad de especies posibles a utilizar, las fibras madereras son la principal fuente de materia prima virgen, alrededor del 93 por ciento; mientras que, las fibras no madereras como bagazo, pajas de cereales y bambú suministran el porcentaje restante. Cabe recordar que, en los últimos años debido a cuestiones ambientales, se ha incrementado el uso de fibras secundarias (Smook, 1990).

Las fibras secundarias o recicladas provienen de materiales papeleros recuperados, por lo que, su composición es altamente heterogénea tanto fibroso como no fibroso, debido a que provienen de distintas especies, procesos de fabricación, aditivos y contaminantes de diversa procedencia (Gavazzo, 2021).

Aguilar (2004) indica que, «las fibras recicladas más comercializadas son los corrugados, los cuales se utilizan para la fabricación de cajas corrugadas, sacos y empaques; en segundo lugar, están el papel periódico y el papel para revistas, que son utilizados en la fabricación de papeles blanqueados y semiblanqueados; y finalmente, otras categorías menores que se utilizan para la fabricación de cartulinas, cartones y otros productos» (p.54).

De La Cruz *et al.* (2013) y Sanjuán (1997) coinciden en la utilización eficiente de los papeles y cartones como fuente de fibras recicladas, clasificando los materiales de acuerdo a su calidad y tipo, en algunas de las siguientes categorías:

- **Fibras oscuras y fuertes de pulpas Kraft:** OCC, DKL y Kraft.
- **Fibras débiles de blancura media, mezcla de pulpa mecánica y química:** Periódicos, revistas y directorios telefónicos.
- **Fibras blancas y fuertes de pulpas químicas:** Papeles blancos de escritura e impresión.

Asimismo, Hurtado (2018) califica las fibras recicladas según sus características y usos en:

- **DKL (Double Lined Kraft) o Cartón nuevo sin uso:** Son cajas o recortes de cajas, procedentes de la industria cartonera, que no han tenido ningún tipo de uso para el que fue fabricado y no han salido al comercio.
- **OCC (Old Corrugated Containers) o Cartón nacional:** Son cajas de cartón usadas procedentes de supermercados y/o procesos industriales o comerciales. Este material se denomina OCC porque sus propiedades de resistencia son bajas (muy estropeado).
- **Bond blanco de 1ra.:** Son recortes, pedazos u hojas de papeles bond, tipo papel fino y escritura, sin uso y que no han sido impresas.
- **Bond blanco de 2da.:** Son papeles blancos con impresión, de colores tenues (tonos pastel) y coloreados con sustancias químicas solubles al agua.
- **Mixto:** Mezcla de varios materiales como cartón, papeles impresos, Kraft, revistas, y corrugados.
- **Kraft:** Recortes, pedazos, bolsas enteras o rotas elaboradas con papel Kraft, a excepción de bolsas para cemento.
- **Periódico:** Periódicos, revistas de papel periódico, directorios telefónicos sin pastas.
- **Plegadiza:** Cajas, recortes, pedazos y otros artículos (impresos o no) a partir de cartulinas dúplex. WPC, cajas de farmacia, dentífrico, cerveza, galletas y envases Tetrapak.
- **Archivo:** Papeles de editoriales como libros y cuadernos.

Mutje *et al.* (2008) agrupan las calidades de papel recuperado que se emplean, para fabricar distintas calidades de nuevos productos papeleros en:

- **Papel periódico y revistas:** Una vez destintados se utilizan para la fabricación de nuevos periódicos y para algunas calidades de impresión/escritura y Tissue. Por otra parte, si son sometidos a procesos de dispersión de la tinta, pueden utilizarse en la fabricación de cartoncillo y algunas capas de cartón ondulado.
- **Papeles de oficina:** Con grados de blancura elevados, se utilizan para la fabricación de papeles de impresión/escritura y Tissue (higiénicos).
- **Papeles y cartones sin pulpa mecánica:** Se realizan tratamientos de destintado, dispersión y/o blanqueo antes de utilizarse en la fabricación del papel periódico, impresión/escritura y Tissue, en función del grado de calidad requerido, principalmente el grado de blancura a alcanzar.
- **Cartón y mezclas:** El cartón se utiliza para la fabricación de cartones; y las mezclas, para la tripa del cartón sin destintiar, pero con un cierto grado de dispersión de la tinta. Asimismo, las mezclas mediante tratamientos de dispersión, blanqueo y/o destintado pueden ser utilizadas para algunas calidades de papel (Tissue, periódico, revista, impresión, escritura, etc.).

La figura 3 muestra la clasificación de las diferentes calidades de papel y cartón recuperado; así como sus principales usos para la fabricación de nuevos productos papeleros.

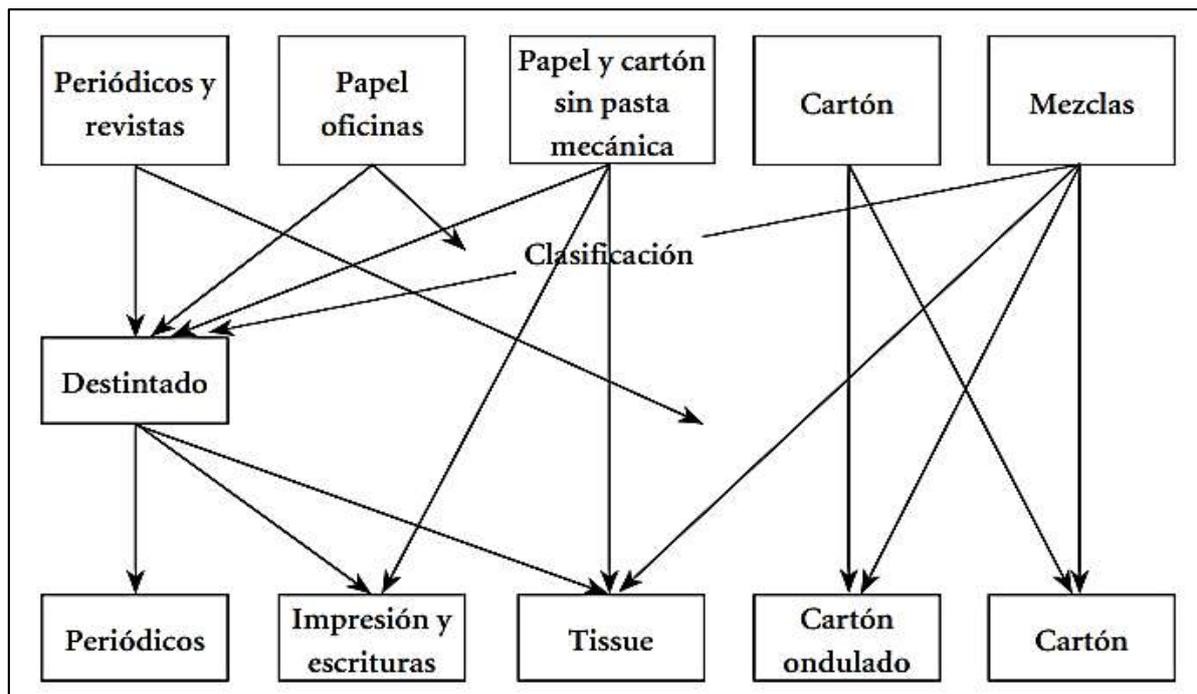


Figura 3: Principales usos del papel y cartón recuperado.

FUENTE: Mutje et al. (2008, p.209).

2.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS RECICLADAS

El uso de fibras recicladas produce papeles con propiedades mecánicas inferiores respecto al mismo grado de papel fabricada con fibras vírgenes; sin embargo, el factor más importante en este aspecto es la fuente del reciclado, dado que determina la proporción de fibras recicladas a incorporar en determinada calidad y clase de papel (Ellis y Sedlachek, 1993).

Por lo tanto, es esencial preservar o mejorar las propiedades físicas y superficiales de las fibras recicladas en el momento de su reciclado, ya que el mercado exige papeles reciclados de calidades tan buenas como los fabricados con fibras vírgenes.

De acuerdo a lo expuesto por Aguilar (2004), las fibras recicladas poseen en general bajas resistencias, debido a:

- **Hornificación** durante el primer secado, que reduce la capacidad de unión interfibrilar.
- **Acumulación de fibras cortadas y finos**, producidos en los sucesivos repulpeos.
- **Refinación inadecuada** de la pulpa para evitar problemas de drenado.
- **Acumulación de cargas** (caolines, pigmentos, etc.), que aumentan el gramaje sin contribuir a las resistencias.
- **Acumulación de materiales extraños** (aceites, almidón seco, resina/alúmina, tintas, etc.), que recubren a las fibras interfiriendo con las uniones.
- **Debilitamiento de la flexibilidad de las fibras** producido por los procesos al que fueron sometidas.

Asimismo, los estudios para determinar en qué medida las fibras recicladas permiten fabricar un papel de calidad, han demostrado que generalmente se obtienen papeles con menor resistencia física; no obstante, se sabe que hay tratamientos mecánicos como el refinado y la adición de químicos, que permiten mejorar la calidad de estas fibras (Gavazzo, 2016).

Para las empresas, los principales atractivos de la fibra reciclada, se traduce en su menor costo y su presencia garantizada en el mercado (Aguilar, 2004). Cabe indicar que, las principales fuentes de fibras recicladas son las cajas de cartón corrugado, sacos y empaques; de los cuales las fibras recicladas más comercializadas son: DKL y OCC (Vallejos, 2002).

2.4.1. DKL: CARTÓN NUEVO SIN USO

Sevilla (2013) indica que las fibras DKL provienen de pacas de empaques corrugados, precisamente de las operaciones de conversión de cajas, y generalmente son utilizadas en la producción de papel Kraft liner. Al ser reutilizadas e ingresadas nuevamente al proceso de producción, son consideradas fibras recicladas.

La materia prima DKL se compone generalmente de fibras vírgenes (fibras largas) y en algunos casos, contienen una baja proporción de fibras cortas (recicladas); además se considera residuo sin consumo y no presentan muchos contaminantes (Wan *et al.*, 2011).

Wan *et al.* (2011) mencionan que el nivel de calidad del DKL es significativamente mayor que el de OCC (figura 4), debido a que está menos degradado como resultado de no ser procesado varias veces; además ayuda a mejorar el rendimiento de la fibra ya que se trata de fibra casi virgen. Las fibras DKL se utilizan principalmente en la elaboración de productos que requieren de mejores características en el producto terminado.

2.4.2. OCC: CARTÓN NACIONAL

Wan *et al.* (2011) han investigado las propiedades de las fibras recicladas OCC y en general mencionan que, las propiedades superficiales y de resistencia de las fibras tienden a disminuir con el aumento de los ciclos de reciclaje.

Manfredi *et al.* (2013) caracterizaron las fibras OCC, concordando que presentan gran cantidad de fibras cortas y finos. Asimismo, estas fibras al ser reutilizadas presentan la propiedad de hornificación, la cual se explica a través de una operación específica de repulpado simple, sin refino intermedio (desintegrado, prensado y secado del material), vinculándose con el cerramiento irreversible de poros en la pared celular, acompañada de la pérdida de capacidad de unión interfibrilar y el endurecimiento de las fibras recicladas debido a la menor capacidad de retención de agua.

Hubbe *et al.* (2007) y Nazhad (2005) informan que, el cierre de poros entre fibras y la reorganización y cristalización de cadenas celulósicas, generan la pérdida de sus propiedades. Según Wan *et al.* (2011), el refinado en la superficie de las fibras produce

cambios positivos en las características de los poros de la pared celular, tales como el área de superficie específica, volumen y tamaño. En la fase inicial del refinado, las paredes primarias de la fibra se interrumpen y eliminan parcialmente, es decir, se produce fibrilación externa; posteriormente, se tiende a abrir espacios submicroscópicos dentro de la estructura laminar de las paredes celulares generando la delaminación interna de las fibras; por lo tanto, es probable que el refinado contribuya con el aumento en el tamaño y volumen de los poros.

A su vez, los tratamientos de desintegrado y secado continuos aplicados a las fibras recicladas traen consigo cambios en la morfología fibrosa, como la reducción progresiva de su ancho y espesor, junto con el acortamiento de la longitud y aumento del colapso en escala reducida (Bowden y Kibblewhite, 1997).



Figura 4: Fibras recicladas. (a) Cartón DKL. (b) Cartón OCC.

FUENTE: Adaptado de Cartón DKL [Fotografía], por PROVESUR SAC, 2022, URL (<http://www.provesur.com.pe/Productos.html>). Coellar, P. (2005, p.24).

3. SISTEMA DE PREPARACIÓN DE PULPAS RECICLADAS

3.1. RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA

Da Silva (2011) menciona que la materia prima se encuentra normalmente en pacas, en el que se observa parcialmente la mezcla de diferentes papeles o cartones reciclados cuya presencia de humedad es variada, así como la presencia de materiales no fibrosos de distinta naturaleza: adhesivo (resinas), arena, grapas, plásticos, etc. Las pacas son sometidas a los tratamientos más comunes del tipo mecánico, tales como desintegración, depuración y refinación (Smook, 2002).

3.2. DESINTEGRACIÓN

Según Da Silva (2009), para que las fibras puedan formar una hoja deben ser completamente individualizadas y distribuidas al azar; esto se consigue poniéndolas dentro de un pulper (cuba provista de un agitador) en suspensión acuosa a una baja consistencia. El principio de funcionamiento es el siguiente: una vez llena de agua la cuba se pone en marcha el agitador y se introduce las pacas, la turbina crea una fuerte agitación ascensional por el exterior y de descenso por el eje del pulper. A causa del movimiento del líquido, se desintegra por agitación y fricción con otras partículas de pulpa, e impacto contra el agitador.

La consistencia en la desintegración suele ser del orden 4 - 7 % con rotores convencionales y del 15 - 20 por ciento con rotores helicoidales. La duración de la operación y el consumo de energía varía mucho según el tamaño del pulper y tipo de materia prima, pudiendo darse como cifras orientativas: 10 - 30 minutos de desintegración (Da Silva, 2009).

3.3. DEPURACIÓN

La depuración es una de las operaciones fundamentales en el reciclado de papeles y cartones (Gavazzo, 2016). Consiste en un tratamiento físico para eliminar impurezas (partículas contaminantes) y puede realizarse en uno o varios puntos de la preparación de la pulpa, dependiendo de la materia prima utilizada como del tipo de papel a fabricar (Da Silva, 2009).

Las impurezas hilables (cuerdas, alambres, trapos, etc.) son extraídas mediante una trenza (ragger) formada por las propias impurezas al girar sobre sí mismas. Las impurezas gruesas y pesadas pueden ser extraídas del fondo de la cuba mediante una esclusa cuya descarga se efectúa mediante dos válvulas de cierre accionadas a mano o automáticamente. En cambio, las impurezas ligeras son extraídas mediante sistemas que purguen una parte del contenido del pulper y lo traten en un circuito de depuración auxiliar (Da Silva, 2009).

3.4. REFINADO

3.4.1. CONCEPTO Y MECANISMO DE REFINADO

El refinado es una técnica de restauración que tiene como principal objetivo restituir a las fibras (en este caso, recicladas) sus propiedades papeleras con el fin de alcanzar las propiedades de resistencia deseables en el producto final, a pesar de los efectos desfavorables

originados por el reciclado (AFT, 2001; Gavazzo, 2016). El mecanismo de refinado consiste en que la pulpa por la acción de un trabajo mecánico, en presencia de un medio acuoso, pasa entre dos superficies a una distancia reducida (entrehierro), sobre las que existen unas cuchillas siendo una fija (estator) mientras que la otra (rotor) se desplaza con un movimiento perpendicular al eje de las cuchillas, de manera que las fibras sufren un efecto de cortadura, aplastamiento y fricción entre sí y contra las guarniciones del aparato (Da Silva, 2009).

El flujo en el interior de los canales de las cuchillas parece estar formado por tres componentes (figura 5): un flujo primario que va desde el centro hacia el exterior; un flujo secundario (de tipo vórtice) en el interior de los canales que provoca un movimiento en espiral; y un flujo terciario a lo largo de las paredes del estator, debido a la gradiente de presión del estator hacia el rotor (Da Silva, 2009).

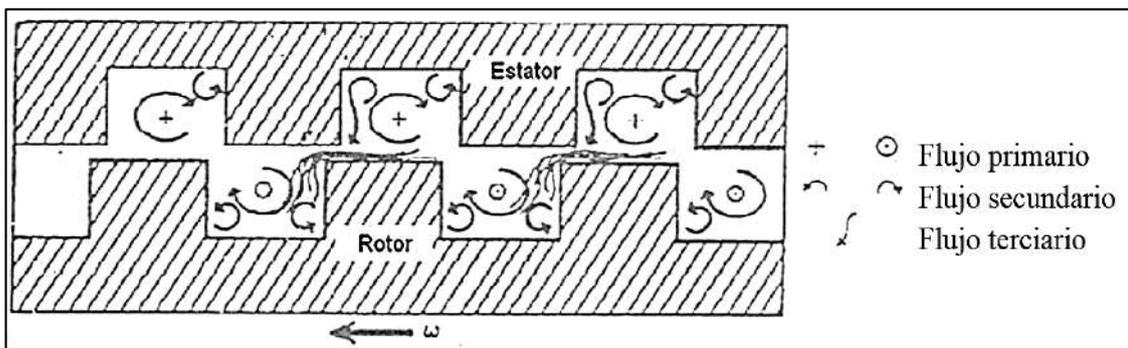


Figura 5: Los flujos que participan en el posicionamiento de las fibras en el refinador.

FUENTE: Da Silva, E. (2009, p.69).

3.4.2. VARIABLES QUE AFECTAN AL REFINADO

Los efectos del refinado sobre la morfología fibrosa varían según las variables de la operación, reflejándose en las propiedades de la pulpa y posteriormente en el papel, donde se obtienen las propiedades físico-mecánicas deseadas con una óptima formación de la hoja.

Según Cadena (2008) y Gavazzo (2016), las variables que afectan al refinado son:

- **Materia prima:** Especie de madera (u otro tipo de materia prima: papel reciclado, bagazo, bambú, pajas, etc.), tipo de pulpado, grado de deslignificación, blanqueo,

procesos previos (secado, tratamiento mecánico), distribución de la longitud de fibras, densidad lineal, proporción de madera de verano y primavera, y composición química.

- **Características del equipo:** Tamaño y forma de las cuchillas, área de las cuchillas y ranuras, profundidad de las ranuras, presencia o no de constricciones, material de construcción, desgaste de los elementos, ángulo de cuchillas y velocidad de rotación.
- **Variables de la operación:** Entrehierro, temperatura, pH, consistencia, aditivos, pretratamientos, producción y energía aplicada.

La norma ISO 11371 (2012) indica que, el entrehierro y el tiempo de refinado son variables importantes en la operación de refinado, mientras Torres (1988) menciona que, existen otros factores que no están ligados con la propia tecnología del refinador, entre ellos: la aptitud de una pasta al refinado, pH, presencia de aditivos, temperatura y consistencia.

3.4.3. EFECTOS DEL REFINADO

Da Silva (2009) indica que, estudios recientes clasifican los efectos del refinado en:

- **Efectos primarios sobre las fibras:** Fibrilación interna (rotura de enlaces dentro de la fibra), fibrilación externa (figura 6), generación de finos y acortamiento de fibras.
- **Efectos secundarios sobre las fibras:** Hidratación e hinchamiento mediante la eliminación de capas externas, disminución de la longitud y enderezamiento de las fibras; aumento de la superficie específica, volumen específico y flexibilidad.
- **Efectos secundarios sobre las propiedades del sistema fibra - agua (pulpa):** Resistencia al flujo, resistencia al desgote y resistencia de la hoja húmeda.
- **Efectos secundarios sobre las propiedades del papel:** Modificación de las características de las fibras, densidad, alargamiento y propiedades físico-mecánicas.

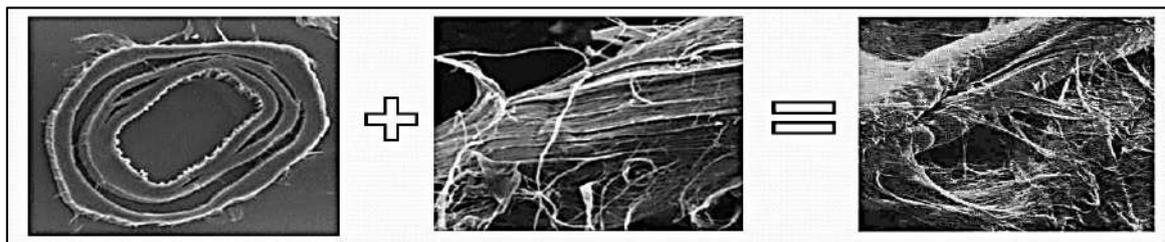


Figura 6: El refinado como resultado de la fibrilación externa e interna de las fibras.

FUENTE: Gavazzo, G. (2019).

3.4.4. INFLUENCIA DEL REFINADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL PAPEL

La refinación modifica simultáneamente varias propiedades de la pulpa; algunos efectos son deseables, pero otros no lo son. Como regla general, la tensión, el estallido, la unión interna, la densidad y el tiempo de drenaje aumentan con el refinado; mientras que la opacidad, la permeabilidad, el poder absorbente, la estabilidad dimensional y la compresibilidad disminuyen; el rasgado a veces aumenta al principio, pero luego disminuye (figura 7).

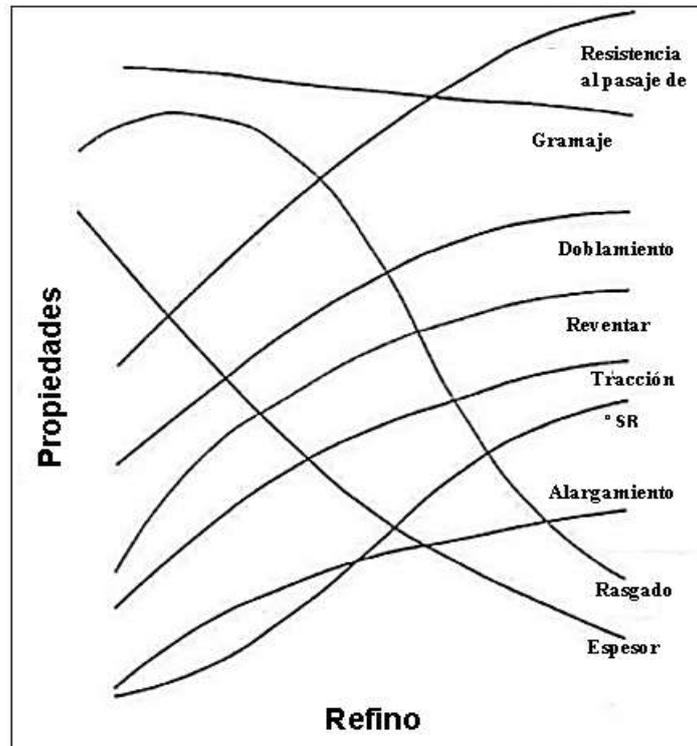


Figura 7: Comportamiento de las propiedades del papel frente al refinado.

FUENTE: Da Silva, E. (2011, p.87).

El desenvolvimiento de las propiedades del papel depende de diversas condiciones de refinado, los cuales se deben alinear con la composición fibrosa, el producto final y las condiciones de la fábrica.

Las alteraciones estructurales deseables en la pared celular y morfología fibrosa parten principalmente de la variable de estado convencional (materia prima), variable de estado controlada (consistencia) y variable del proceso activo (entrehierro o ajuste de carga) (Reis, 2002).

3.4.4.1. Influencia de la materia prima reciclada

El reciclado de las materias fibrosas reduce el potencial de las fibras para la fabricación de papeles debido a la reducción de su capacidad para formar enlaces de hidrógeno entre fibras. El secado es la operación que más afecta a las fibras provocando el colapso irreversible de la pared celular y desarrollando defectos en la estructura de la pared, que a su vez lleva a la fractura de las fibras durante el refinado (Howard *et al.*, 1992).

La diferencia básica entre las pulpas mecánicas recicladas y las pulpas químicas recicladas es el efecto de hornificación en la estructura de la pared celular de las fibras químicas. La hornificación es la pérdida de la capacidad de hinchamiento de las paredes de las fibras celulósicas resultantes de un ciclo de secado - remojado, la cual genera fibras colapsadas y aplanadas en su mayoría en el primer ciclo de reciclado; asimismo, el fenómeno está asociado con el endurecimiento de las fibras debido a la presencia de lignina y hemicelulosas entre las microfibrilas (Ackermann *et al.*, 2000; Pakarinen *et al.*, 2010).

Howard *et al.* (1992) estudiaron el efecto del reciclado sobre las propiedades de distintas pulpas concluyendo que, en las pulpas mecánicas la densidad aumenta conforme el número de ciclos incrementa, debido al efecto protector de la lignina que impide la hornificación irreversible de las fibras; mientras que, las pulpas químicas muestran la merma en densidad; y el efecto no es tan negativo si no se encuentran refinadas (figura 8).

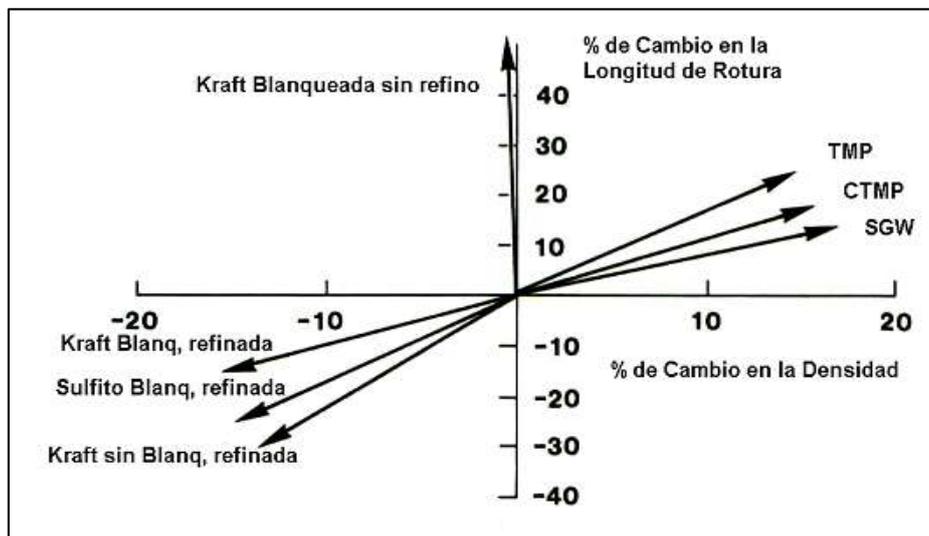


Figura 8: Comportamiento de la densidad en diferentes tipos de pulpas.

FUENTE: Howard, R.C. y Bichard, W. (1992).

Vallejos (2002) evaluó las propiedades de las pulpas químicas y mecánicas en función del número de reciclados (tabla 3). Las pulpas químicas y mecánicas presentaron un aumento en la resistencia a la tensión y el alargamiento en los primeros reciclados para luego mantenerse o disminuir en los posteriores reciclados; este comportamiento inicial para las pulpas químicas se debe a la remoción de curvatura en las fibras superando la hornificación; mientras que, para las pulpas mecánicas, se le atribuye a un mayor nivel de enlace interfibrilar. La disminución del rasgado con el reciclado para la pulpa química es mayor en comparación con la pulpa mecánica, pudiendo atribuirse al acortamiento de la longitud de las fibras con el reciclado, que tiende a sobreponerse con el mejoramiento en el potencial de enlace entre fibras.

Tabla 3: Resultados de los ensayos en pulpas mecánicas y químicas recicladas.

N° de reciclado	Índice de Tensión (Nm/g)		Alargamiento (%)		Índice de Rasgado (mN.m ² /g)	
	Pulpa Mecánica	Pulpa Química	Pulpa Mecánica	Pulpa Química	Pulpa Mecánica	Pulpa Química
0	5,81	38,98	0,77	3,61	1,20	21,92
1	6,66	42,90	0,77	3,47	0,97	17,09
2	7,44	42,06	0,87	3,39	1,16	18,13
3	7,20	38,98	0,73	2,76	1,14	18,78

FUENTE: Vallejos, M.E. (2002, p.84).

Por otro lado, Gavazzo (2016) sostiene que, con excepción de la resistencia al rasgado, la opacidad y el volumen específico, el reciclado altera más las propiedades de las pulpas mecánicas comparado con las pulpas químicas, siendo las pulpas sin blanquear las que resisten mejor al reciclado respecto a las pulpas blanqueadas.

Las investigaciones de Imtiaz (2012), Molina (2006), Posluszny (1998) y Saxena (2001) sobre las propiedades de las pulpas recicladas y su influencia sobre las propiedades del papel concluyeron que, el aumento del número de reciclados en la materia fibrosa genera la reducción del índice de tensión, alargamiento e índice de rasgado, que están relacionados con la capacidad de unión reducida entre fibras, la densidad y longitud de las fibras. La drenabilidad y permeabilidad al aire disminuyen a mayor número de reciclados; mientras que, la opacidad y blancura se mantienen relativamente constantes frente a los sucesivos reciclados del material fibroso. Los resultados de las propiedades del papel se exponen en la tabla 4.

Tabla 4: Las propiedades del papel a partir de pulpas recicladas.

Propiedad	Unidad	*	**	***	****
Densidad	g/cm ³	-	-	0,54	-
Drenabilidad	° SR	-	-	32,00	35,00
Permeabilidad al aire	seg 100cc	-	-	2,13	10,00
Indice de tensión	N.m/g	40,20	38,9 - 45,8	32,45	45,96
Alargamiento	%	2,30	2,64 - 3,15	-	-
Indice de rasgado	mN.m ² /g	14,70	8,49 - 9,46	9,57	-
Opacidad	%	-	-	99,42	-
Blancura	%	-	-	20,52	-

FUENTE: *Imtiaz (2012); **Molina (2006); ***Posluszny (1998) y ****Saxena (2001).

3.4.4.2. Influencia de la consistencia

La consistencia de la suspensión fibrosa sometida al refinado es un parámetro que lo afecta considerablemente, su incremento permite que el efecto de corte disminuya y aumente la fibrilación. El tratamiento a alta consistencia favorece la interacción entre fibras, y la deformación sufrida por las mismas es menor que en el refinado a baja consistencia, lo que se traduce en una mayor longitud de la fibra tratada y una menor formación de finos (Torres, 2005).

El intervalo más usual de consistencia en la operación de refinado de fibras recicladas es de 3,5 a 6 % (J&L Fiber Services, 2007). Los rangos recomendados de consistencia según el tipo de fibra son expresados en la tabla 5 y su importancia durante el refinado radica en el incremento del contacto entre las cuchillas del refinador y las fibras, aumento de la probabilidad en la formación del entramado fibroso, y el máximo potencial de las resistencias en fibras y vida útil de los discos refinadores.

Tabla 5: Consistencia recomendada para varios tipos de fibra.

Tipo de fibra	Rango recomendado de consistencia para el refinado
Kraft sin blanquear de Coníferas	3,5 - 4,5 %
Kraft blanqueadas de Coníferas	3,5 - 5,0 %
Kraft blanqueadas de Latifoliadas	4,0 - 6,0 %
OCC	3,5 - 5,0 %
Pulpas mecánicas	4,0 - 6,0 %
Semiquímicas blanqueadas de Latifoliadas	4,5 - 6,0 %
Reciclado mixto	4,0 - 6,0 %

FUENTE: J&L Fiber Services (2007, p.6).

3.4.4.3. Influencia del entrehierro

El comportamiento del entrehierro del refinador de discos ha sido un tema de interés para muchos investigadores, concluyendo que está relacionada con las características morfológicas, los flujos de pulpa dentro de las ranuras del refinador y propiedades físicas como resistencia a la tensión (Andersson, 2011).

Mohlin (2006) informa que, las pulpas refinadas requieren entrehierros más pequeños que las pulpas sin refinar, para lograr el mismo poder de refinación bajo las mismas condiciones de refinado.

El-Sharkawy *et al.* (2008) y Prasetyo (2012) resaltaron las diferencias de refinar fibras vírgenes largas y cortas, concluyendo que, las pulpas formadas por fibras largas son más estables y resisten parcialmente la reducción del tamaño debido al entrehierro más amplio, por lo cual requieren alta energía de refinado, viéndose afectadas las características de la fibra, principalmente la longitud. Por otro lado, la disminución del entrehierro desde 2,5 mm hasta 0,05 mm para refinar fibras cortas, significa un refinado más lento ya que las cuchillas establecen fácilmente contacto y la pulpa consume poca energía de refinado, esto significa que generalmente da un mejor resultado de refinado con fibras cortas, como se aprecia en la tabla 6.

Tabla 6: Variación de la longitud de fibras vírgenes según reducción del entrehierro.

Porcentaje de fibras vírgenes largas/cortas	Potencia en vacío (kW)	Potencia útil (kW)	Longitud de fibra inicial (mm)	Longitud de fibra final (mm)	Entrehierro crítico (mm)
100/0	26,2	55,6	2,612	2,536	0,54
75/25	27,4	54,2	1,783	1,724	0,52
50/50	27,8	34,5	1,372	1,298	0,40
25/75	27,8	18,9	1,015	0,975	0,35
0/100	26,5	1,9	0,787	0,780	0,28

FUENTE: Prasetyo, D.D. (2012, p.41).

El-Sharkawy *et al.* (2008) comprobaron que la potencia del refinador aumenta al disminuir el entrehierro. Andersson *et al.* (2012) y Rubiano *et al.* (2018) argumentaron que, las pulpas con una concentración más baja de fibra larga requieren de entrehierro más pequeño para alcanzar una cierta potencia; mientras que, las pulpas con mayor concentración de fibra

larga, requieren de mayor entrehierro debido a que constituyen una red de fibras más fuerte con menor acortamiento de las mismas.

Huang (2006) analizó el comportamiento de las fibras vírgenes cuando pasan por un entrehierro reducido del refinador de discos; y en términos generales concluye que, la reducción del entrehierro produce cambios físicos en la estructura de las fibras. Asimismo, genera una mayor fibrilación, aumento del índice de curvatura e índice de doblez, superior capacidad de colapso y conformabilidad de las fibras, mayor contenido de finos, valores más altos de ° SR, aumento del índice de tensión a cierta reducción de la longitud de fibra y disminución de la resistencia al rasgado.

Posluszny (1998) analizó la influencia del refinado sobre las propiedades del papel a partir de la mezcla de fibras recicladas de papeles diarios y OCC, determinando que la variación de la drenabilidad como indicador del ajuste del entrehierro genera cambios en las propiedades del papel, tal como se observa en la tabla 7. La densidad, drenabilidad, permeabilidad al aire, opacidad y blancura disminuyeron después del refinado, mientras que, las resistencias físicas evidenciaron lo contrario.

Tabla 7: Variación de las propiedades del papel en el refinado de fibras recicladas.

Propiedad	Mezcla	25 % papel periódico - 75 % OCC	
	Unidad	Sin refinado	Refinado
Densidad	g/cm ³	0,55	0,51
Drenabilidad	° SR	31,00	40,00
Permeabilidad al aire	seg 100cc	10,18	12,77
Índice de tensión	N.m/g	32,09	38,76
Índice de rasgado	mN.m ² /g	6,03	7,28
Opacidad	%	99,16	98,88
Blancura	%	29,66	25,48

FUENTE: Posluszny, J.A. (1998, p.26).

Pakarinen *et al.* (2010) sostienen que, la mejora de las propiedades de resistencia del papel con el refinado puede afectar considerablemente la drenabilidad de la pulpa química reciclada. Según sus estudios sobre el comportamiento de la pulpa Kraft virgen ante continuos reciclados, se pudo observar que el refinado le confería nuevamente sus valores de referencia de resistencia, observándose que la densidad de la hoja, la resistencia a la

tensión y otras propiedades relacionadas con los enlaces entre fibras, se incrementaron levemente con el aumento de los grados Schopper; sin embargo, la longitud de la fibra y la resistencia al rasgado disminuyeron considerablemente.

3.4.5. EQUIPOS DE REFINADORES

3.4.5.1. Pila holandesa

La pila holandesa consta de una tina donde se deposita la suspensión fibrosa a una consistencia determinada (figura 9); como elementos de refino tiene una placa fija con barras separadas entre sí por trozos de madera (formando canales), la cual es instalada en la parte interior de la tina y sobre la misma se encuentra el molón (en forma de cilindro), accionado por un motor, también cubierto con barras separadas por trozos de madera (Aguerre, 2020).

La suspensión de pulpa pasa a través de la placa y el molón, por un determinado tiempo hasta alcanzar un grado de refinado, efectuándose el desfibrado y refinado por trituración y molido de las pulpas; finalmente se vacía la tina para comenzar nuevamente con otro batido; por tal razón, al ser un sistema discontinuo, no es recomendado para máquinas de mediana y alta velocidad (Aguerre, 2020).

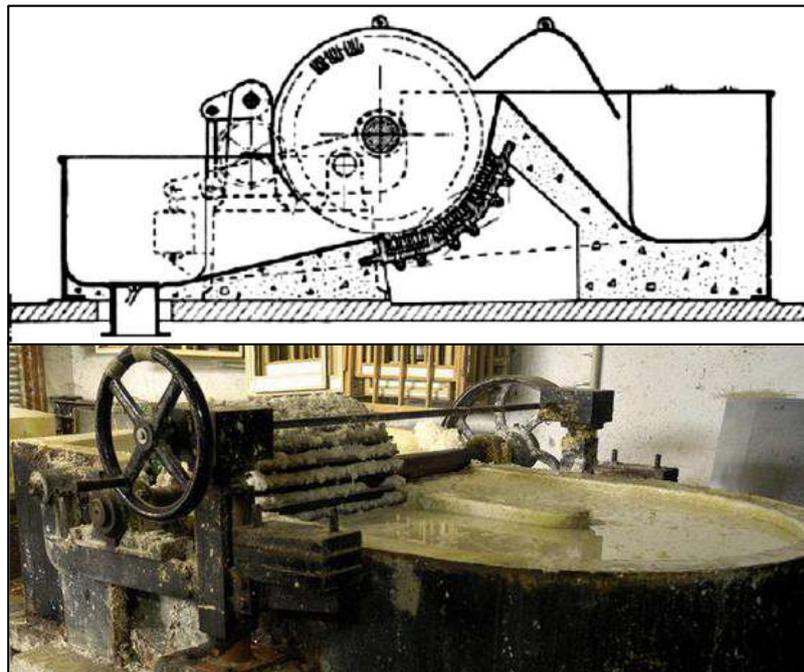


Figura 9: Pila holandesa para el refinado de fibras de algodón, cáñamo y lino.

FUENTE: Adaptado de Eskulan [Fotografía], URL (<http://eskulan.com/papel-eskulan/>).

3.4.5.2. Refinador cónico

Este equipo consta de dos elementos de refino: estator y rotor. El mecanismo de refinador consiste en que el rotor gira dentro del estator, donde ingresa la suspensión fibrosa por la parte más delgada del cono y es expulsada por el lado opuesto; además, la regulación de la distancia de las cuchillas entre el rotor y estator permite alterar la severidad con que las fibras son tratadas (Aguerre, 2020). En la figura 10 se presentan algunos refinadores cónicos de diferentes fabricantes.

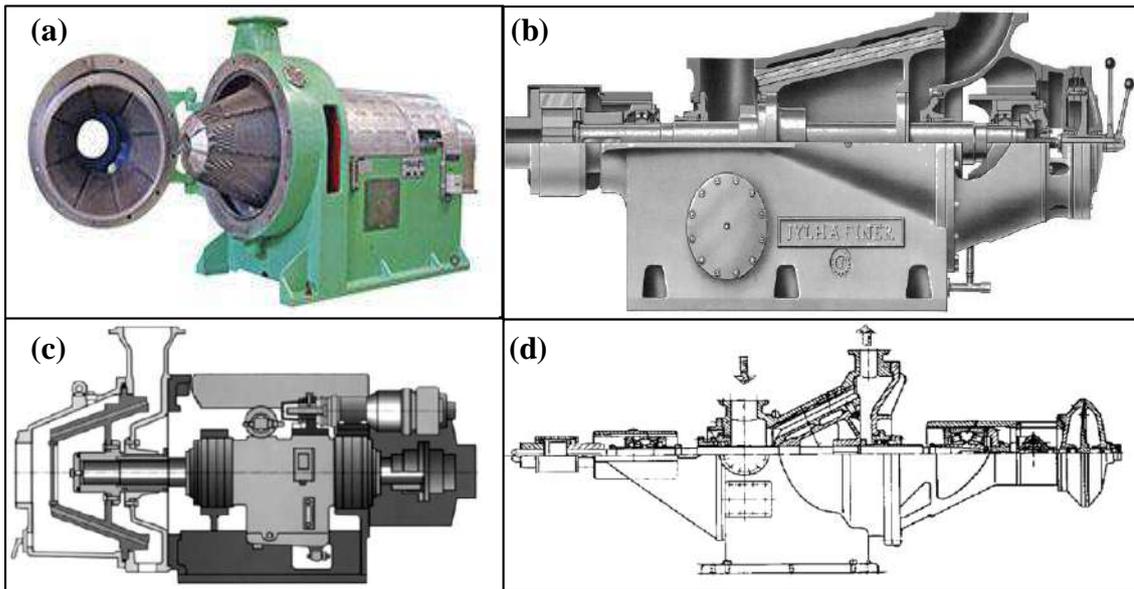


Figura 10: Refinadores cónicos. (a) Parason. (b) Jordan. (c) Valmet. (d) Claflin.

FUENTE: Gavazzo (2016).

3.4.5.3. Refinador de disco

El refinador de discos tiene un desarrollo posterior a otros refinadores, ya que, antiguamente no se contaba con la tecnología adecuada y de precisión para su fabricación. Actualmente, existe una gran variedad de refinadores de disco que resaltan por su versatilidad y facilidad de mantenimiento comparados con los refinadores cónicos (Aguerre, 2020; Torres, 2005).

El refinador de disco consta de dos discos, uno estático y otro giratorio, donde este último gira frente al otro con una separación determinada por la severidad en el tratamiento de la fibra, y por dicha abertura pasa la suspensión fibrosa, que es presionada entre las barras, llevándose a cabo la operación de refinado en las fibras celulósicas (Gavazzo, 2016).

Cancapa y Chambi (2012) indican que, la eficiencia de este refinador se basa en cómo los elementos de refino trabajan uno frente a otro, generando un tratamiento homogéneo de la fibra (desgaste uniforme de la barra), óptima fibrilación y menor corte de fibras.

Da Silva (2011) menciona tres tipos de refinadores de discos: simple disco, con un disco en movimiento y otro estacionario; contra-rotación, con dos discos en movimiento, uno girando contra el otro; y doble disco, con dos discos estacionarios y dos móviles. En la figura 11 se muestran diferentes refinadores de discos con variabilidad de diseño.

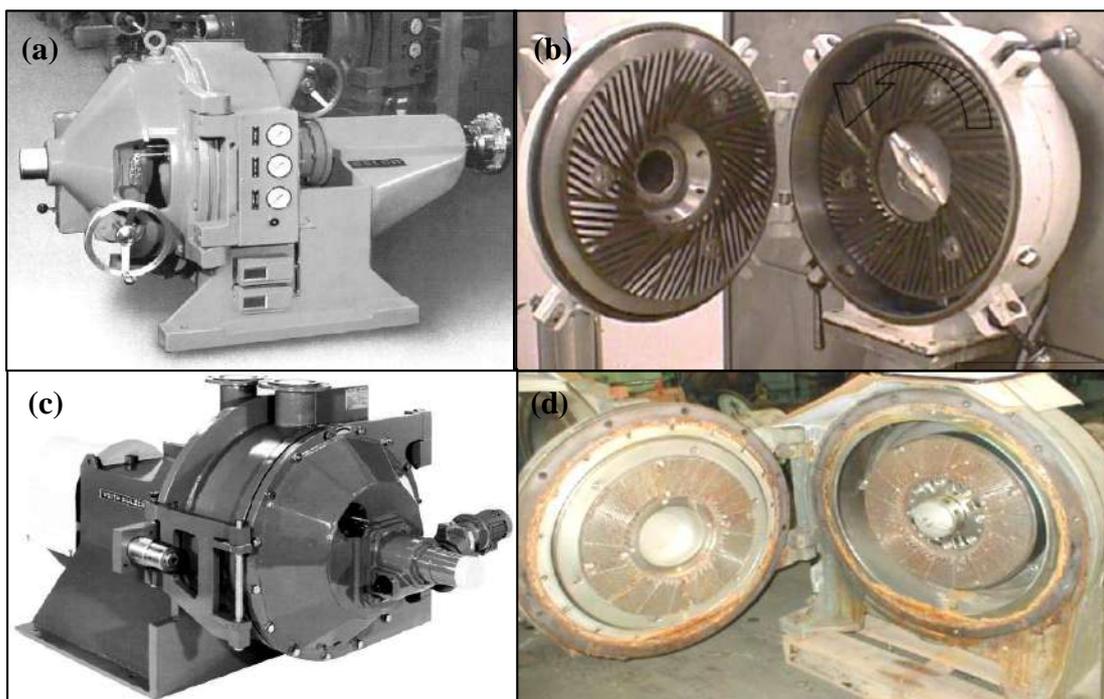


Figura 11: Refinador de discos. (a) Beloit doble disco. (b) Sprout Waldron simple disco. (c) Voith Sulzer doble disco. (d) Beloit simple disco.

FUENTE: Gavazzo (2016).

▪ Diseño del disco

La elección del tipo de disco viene determinada por el tipo de fibra y las especificaciones del producto final a obtener. A partir del diseño del disco se puede lograr cambios significativos en las fibras, alcanzando una óptima fibrilación y mínimo corte, lo cual trascenderá en las propiedades de resistencias, drenabilidad de la pulpa y la calidad del papel, siendo importante establecer el diseño adecuado del disco en función de las necesidades del refinado y resistencia del papel (Aguerre, 2020).

El diseño del disco puede alterarse a causa de los siguientes factores: ancho, longitud, ángulo y cara de la cuchilla; ancho, profundidad y longitud del canal; desviadores de flujo, anillos de control periférico y material de revestimiento (Aguerre, 2020).

Da Silva (2009) indica que, la anchura de las cuchillas afecta al refinado; las cuchillas anchas favorecen la hidratación y fibrilación, mientras que las estrechas tienden a acortar las fibras. En el caso de la profundidad, a mayor valor, mayor duración de las cuchillas. En la figura 12 se representa el corte de una cuchilla, siendo «a» la anchura de la cuchilla, «b» la separación entre cuchillas y «c» la profundidad.

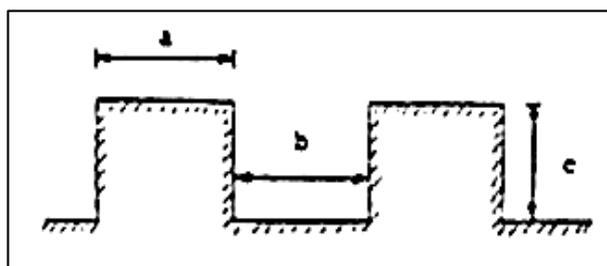


Figura 12: Dimensiones de las cuchillas.

FUENTE: Da Silva, E. (2009, p.78).

▪ **Barras del disco**

Las barras que cubren las placas del disco del refinador tienen determinado diseño, y la diferencia en la configuración es lo que determina el tipo de refinado de la pulpa (Aguerre, 2020).

Un factor importante es el ángulo de las barras de los segmentos, siendo aquello que se forma al intersectar las cuchillas con la dirección radial del disco; a mayor ángulo de inclinación, se consume más energía total, produciendo más fibrilación y menor acortamiento de fibras, resultando en una pulpa con mejores propiedades físicas (Da Silva, 2009). Los ángulos bajos se encuentran entre 0 y 15° y los ángulos grandes entre 25 a 45° (Aguerre, 2020).

Los diferentes diseños del tipo de barras en función de la consistencia de pulpa utilizada, se indican en la figura 13.

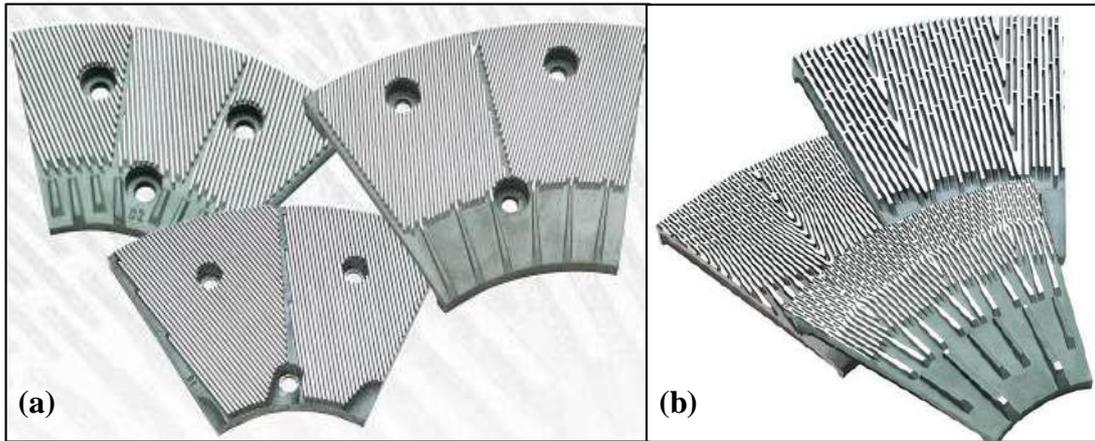


Figura 13: Diseño de barras en función de la consistencia. (a) Barras para trabajar a baja consistencia. (b) Barras para trabajar a alta consistencia.

FUENTE: Adaptado de TECHMELT [Fotografías], URL (<https://techmelt.com/productos/>).

- **Velocidad del disco**

En los refinadores de disco, para velocidades tangenciales inferiores a 20 m/s, la acción predominante será de corte; por encima de 25 m/s será la fibrilación, y entre ambas se producirá un efecto mixto (Torres, 2005).

3.4.5.4. Refinadores de laboratorio

Los refinadores de laboratorio se presentan a continuación:

- **Refinador PFI**

Equipo de laboratorio que refina pequeñas cantidades de pulpa (30 g) en condiciones estandarizadas y es utilizado para el desfibrado de materias fibrosas semi-cocidas, lo que permite tener resultados rápidos. Además, se utiliza para conocer las curvas de refinado de las pulpas y analizar las propiedades físico-mecánicas de las hojas fabricadas (IDM, s.f.).

- **Refinador tipo Pila Valey**

Refinador de laboratorio tipo pila holandesa tradicional con sistema lento de refinado, que refina una cantidad importante de pulpa (360 g) para realizar mediciones del grado de refinado y hojas en el laboratorio, pudiendo trazarse las diferentes curvas de refinado por medio de las cuales se pueden clasificar las pulpas (IDM, s.f.).

- **Molino de refino Jokro**

Equipo con seis dispositivos de refino independientes para refinar 16 g de pulpas celulósicas en condiciones estándar. Permite analizar simultáneamente diferentes pulpas en condiciones rsimilares de refinado (IDM, s.f.).

- **Refinador de discos de laboratorio**

Refinador que consta de discos circulares de 200 mm de diámetro con diferentes formas y alturas de dientes, los cuales se ajustan a un determinado entrehierro. Este equipo trabaja con volumen de pulpa alto, similar a los refinadores utilizados en producción e ideal para conocer el comportamiento real de las pulpas en la fabricación de papel (IDM, s.f.).

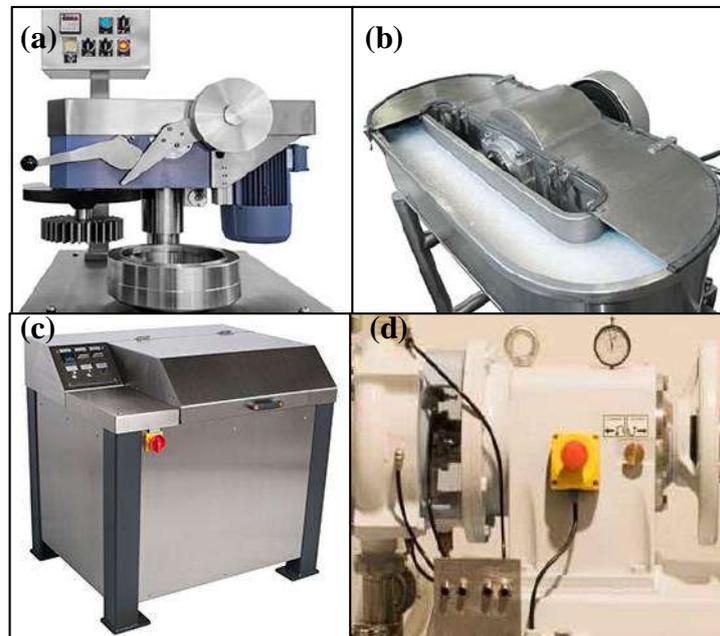


Figura 14: Refinadores de laboratorio. (a) PFI. (b) Pila Valey. (c) Jokro. (d) De discos.

FUENTE: Adaptado de IDMTTest [Fotografías], URL (<https://www.idmtest.com/productos/>).

3.4.6. POTENCIAS EN EL REFINADO

Rubiano *et al.* (2019) mencionan que, la potencia total absorbida por un refinador es: $P_t = P_u + P_o$; cuyas unidades son kW. Dónde P_u representa la potencia útil o potencia empleada en el refinado de las fibras, y P_o es la potencia en vacío o potencia que se consume para superar las pérdidas mecánicas, de bombeo e hidráulicas.

La potencia activa de un sistema trifásico puede expresarse en función de sus tensiones y corrientes en línea, ya sea, cuando las fases están conectadas en estrella o en triángulo, y se calcula de la siguiente manera (Rodríguez, 2013):

$$P = I \times V \times \cos \phi \times \sqrt{3}$$

P: Potencia en kilowatio (kW).

I: Intensidad de corriente en línea en amperio (A).

V: La tensión eléctrica en línea en voltio (V).

Cosφ: Factor de potencia.

Es bien sabido que, el entrehierro tiene un impacto directo en la potencia durante el refinado. Esto se puede realizar monitoreando la potencia a diferentes entrehierros y manteniendo todas las demás variables constantes. Estas curvas de potencia-entrehierro han sido objeto de estudio por varios autores (Rubiano *et al.*, 2019).

3.4.7. CARGA ESPECÍFICA DEL BORDE: INTENSIDAD DE REFINADO

La Carga específica del borde o también llamada «Intensidad de refinado» se define como la energía neta aplicada a la pulpa dividida por el número de cruces por unidad de tiempo (Da Silva, 2009).

La carga específica de borde es una variable derivada que indica, que tan burda o gentilmente se está aplicando la energía a la pulpa; y es el concepto más importante en el refinado: altas intensidades indican una pobre fibrilación y alto corte; mientras que, un número menor, produce un alto desarrollo de la pulpa y poco corte (Ostos, 1997).

AFT (2001) menciona que, la carga específica del borde puede ser calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$SEL = \frac{P_u}{L_c \left(\frac{RPM}{60 \text{ s}} \right)}$$

SEL : Carga específica del borde o Intensidad de refinado en watio segundo por metro (Ws/m).

P_u : Potencia útil en kilowatio (kW).

L_c : Longitud de corte en metro por segundo (m/s).

Dónde L_c es la Longitud de corte o también denominada «Longitud total activa del filo de cuchilla» con la que el refinador cuenta para tratar al flujo de pulpa y se determina como el número de cruces por unidad de tiempo (km/RPM), siendo reportada en m/s. La longitud de corte está relacionada con la longitud y el número de cuchillas del rotor y estator.

En la figura 15 se muestra el cálculo de la longitud de corte (m/s) para un refinador de discos simple que consta de un rotor y estator de 12 segmentos cada uno:

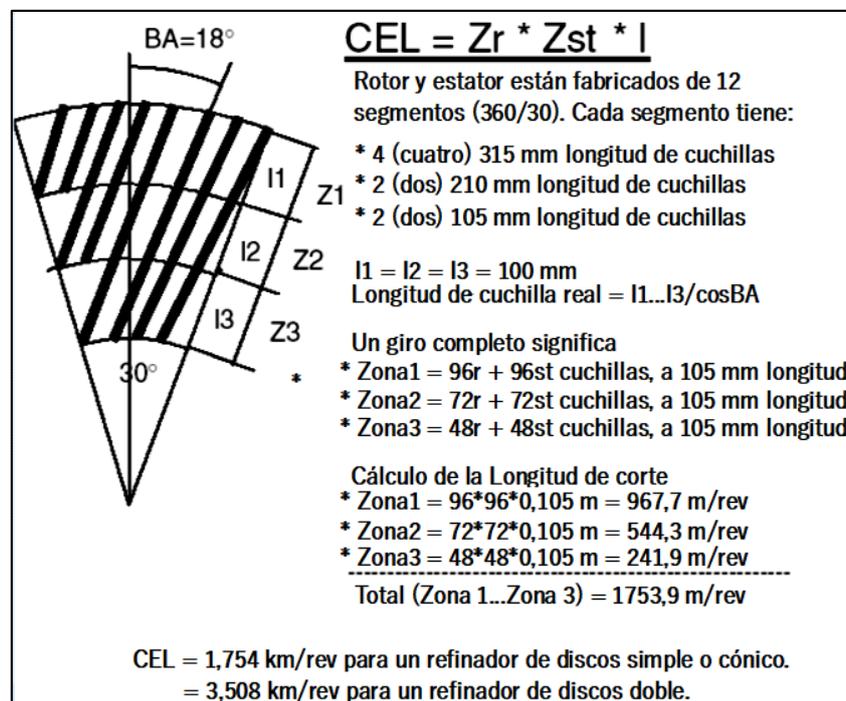


Figura 15: Cálculo de la Longitud de corte para un refinador de discos simple.

FUENTE: Lumiainen (2000, p.147).

Ostos (1997) expone que, la intensidad de refinado requerida para cada tipo de fibra celulósica es difícil de resumir, pero puede generalizarse de la siguiente forma: para fibras largas, intensidades de entre 2 y 3 Ws/m; fibras secundarias entre 1 y 2 Ws/m y las fibras cortas menores a 1 Ws/m.

Por otro lado, AFT (2001) recomienda una lista de rangos de intensidad de refinado para varios tipos de pulpas (tabla 8). Para la mayoría de las aplicaciones, la intensidad de refinado debe ser tan baja como sea posible para maximizar el potencial de calidad de la pulpa.

Tabla 8: Rangos de Intensidad de refinado según tipo de pulpa.

Tipo de pulpa	Intensidad de refinado (Ws/m)
Pulpas químicas Kraft de Coníferas	1,0 - 2,5
Pulpas químicas Kraft de Latifoliadas	0,3 - 0,8
Pulpas recicladas	0,2 - 0,8
Pulpas mecánicas	0,2 - 0,5

FUENTE: AFT (2001).

Sin embargo, se debe estudiar cuidadosamente este valor con un experto en la operación de refinado antes de tomar cualquier decisión, ya que, la misma fibra puede requerir diferente nivel de intensidad dependiendo del proceso de pulpado que la generó (Ostos, 1997).

3.4.8. ENTREHIERRO DEL REFINADOR DE DISCOS

El entrehierro es la distancia existente entre el rotor y el estator, como se observa en la figura 16, y determina la potencia absorbida por el equipo.

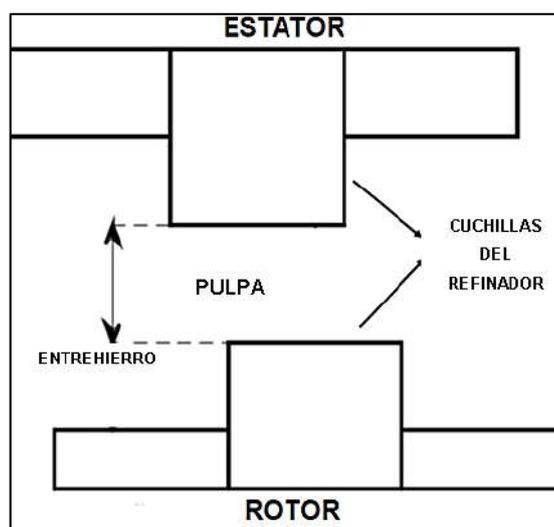


Figura 16: Entrehierro de un Refinador de discos simple.

FUENTE: Rubiano et al. (2019, p.2).

Da Silva (2009) afirma según estudios que, el valor del entrehierro crítico es del orden de 30 a 100 μm , y Prasetyo (2012) sugiere que el nivel máximo de refinado puede alcanzar un espacio de alrededor de 0,05 mm. A medida que el refinado progresa el valor del entrehierro

disminuye, tal como puede observarse en la figura 17, que muestra su variación a medida que evoluciona el refinado, manteniendo constante la carga.

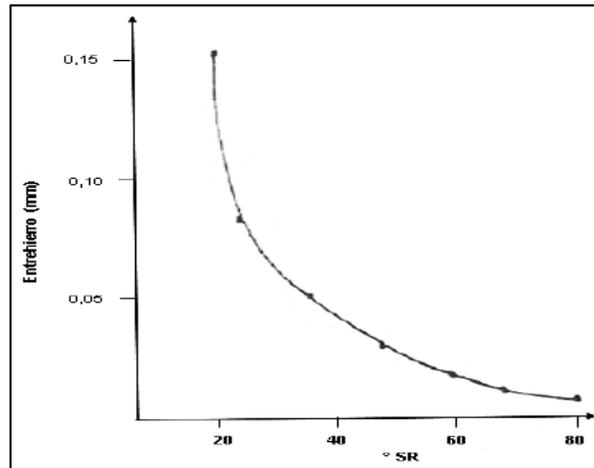


Figura 17: Variación de la drenabilidad respecto al valor del entrehierro.

FUENTE: Da Silva, E. (2009, p.82).

Da Silva (2009) sostiene que, para un valor de entrehierro elevado, el refinador solo ejerce un efecto de bombeo que, al ir disminuyendo, alcanza un valor en el que la potencia aumenta de manera muy rápida porque comienza a refinar; este punto denominado entrehierro crítico, separa dos zonas de diferente tipo de turbulencia: en la zona de bombeo, la macro turbulencia es predominante; mientras que, en la zona de refinado, la turbulencia es pequeña (figura 18).

El entrehierro es una variable activa durante el refinado que está relacionada con la energía mecánica, específicamente con la potencia útil e intensidad de refinado (Torres, 2005).

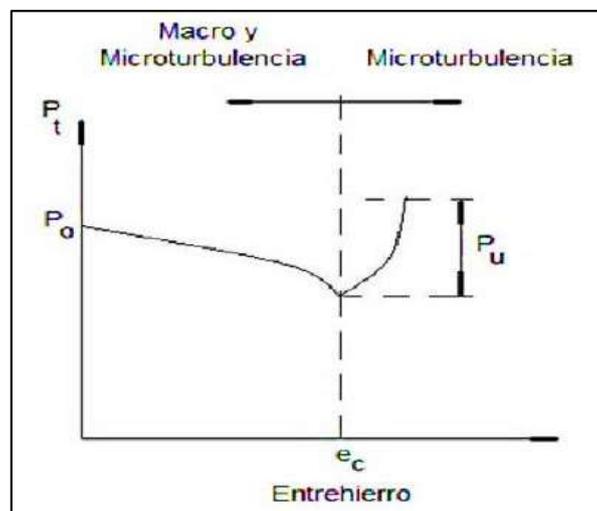


Figura 18: Evolución de la potencia útil en función del entrehierro.

FUENTE: Da Silva, E. (2009, p.81).

4. EVALUACIÓN DE FIBRAS CELULÓSICAS, PULPAS Y PAPELES

Para realizar la evaluación de las fibras y sus propiedades en pulpas y papeles, es necesario determinar la consistencia, que es la cantidad de sólidos secos en la mezcla de agua - pulpa, la cual se considera como punto de partida para el análisis cuantitativo de muchas otras características, siendo los métodos más utilizados por volumen y peso (TAPPI [Technical Association of the Pulp and Paper Industry] 240 om-12, 2012).

Se describen a continuación, los métodos que actualmente se utilizan para su evaluación:

4.1. PROPIEDADES DE LAS PULPAS

4.1.1. COMPOSICIÓN FIBROSA Y CARACTERÍSTICAS

4.1.1.1. Clasificación por tamices: Clasificación Bauer

Según la norma TAPPI T233 cm-06, es la clasificación de fibras de acuerdo a su longitud, mediante mallas distribuidas en cinco espacios que van desde 16 hasta 200 mesh. Este procedimiento ha sido reemplazado en la actualidad por los analizadores ópticos de fibras (Cea, 2011).

4.1.1.2. Clasificación morfológica: Analizador Morfi

Los métodos tradicionales requieren transformar la pulpa en hojas de papel para ensayos, lo cual demanda un mayor tiempo de preparación, además del acondicionamiento y los posteriores ensayos de resistencias físicas. Por ello, se han desarrollado actualmente los métodos ópticos, los cuales permiten obtener información sobre las características morfológicas de las fibras, datos con los que se puede inferir sobre las propiedades de resistencia que tendrán las pulpas analizadas (Cea, 2011).

Los métodos ópticos de análisis se definen como la aplicación de principios fisicoquímicos para efectuar análisis cualitativos y cuantitativos, empleando equipos diseñados para tal objeto (Reynosa, 2004). Dentro de los métodos ópticos se encuentra el de polarización, que incluye el método de luz no polarizada, utilizada en la mayoría de equipos analizadores de la morfología fibrosa.

El principio de este método consiste en pasar las fibras suspendidas en el agua a través de una celda de medición, que utiliza una fuente de luz no polarizada en un lado de la celda (luz compuesta de ondas electromagnéticas cuyos planos de vibración están orientados aleatoriamente), y un detector sensible (cámara) para crear la imagen de alto contraste entre las fibras y el fondo, como se aprecia en la figura 19.

CTP (2016) indica que, el funcionamiento de los analizadores de fibras está basado en el análisis de imágenes obtenidas por una celda de medida conectada a una PC y un sistema hidráulico (bomba, tanque y electroválvulas) en el que, la suspensión de fibras a una determinada consistencia, es bombeada a través de la celda de flujo transparente donde se fotografían las fibras y son interpretadas por un software, capaz de reconocer y medir los elementos contrastantes de forma automática (fibras, finos, astillas y vasos). Los más utilizados son Morfi Compact, Kajaani FS - 200 y Optest FQA.

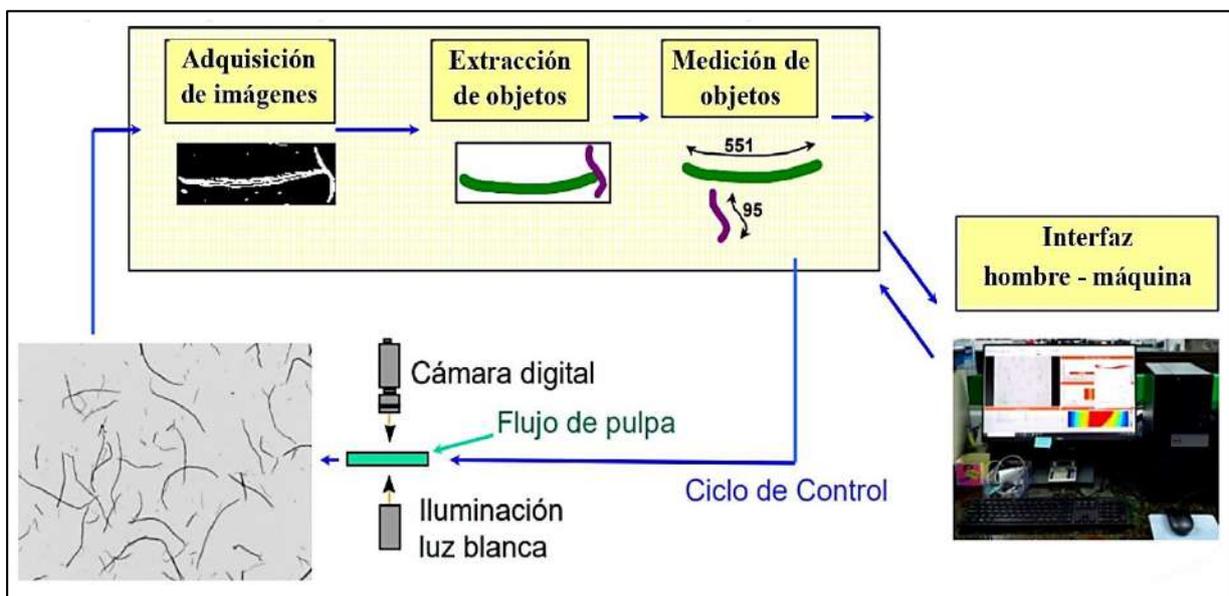


Figura 19: Principio y funcionamiento del analizador óptico Morfi Compact.

FUENTE: CTP (2016, p.12).

Las características morfológicas son descritas a continuación:

- **Longitud**

La longitud promedio de las fibras de una pulpa tiene una relación directa con muchas de las propiedades físicas importantes del papel producido. En particular, la resistencia al rasgado de la hoja está altamente relacionada con la longitud de la fibra (Sagástegui, 2016).

Los clasificadores de fibras se utilizan para determinar el porcentaje de peso de las fibras recogidas en varios tamaños de cribado, pero actualmente se están reemplazando por dispositivos ópticos basados en métodos de celdas de flujo combinados con análisis de imágenes de fibras, los cuales proporcionan información tal como la longitud promedio y la curva de distribución de longitud de las fibras en la pulpa (Cea, 2011).

La longitud promedio de las fibras papeleras comerciales se observan en la tabla 9 y se encuentran en el rango de 200 μm a 10 mm (ISO [International Organization for Standardization] 16065-2, 2007).

- **Ancho**

Es un parámetro variable en función de la longitud de la fibra. Las fibras se caracterizan por tener definidos los extremos y por la variación del ancho a lo largo de la extensión del eje fibrilar; por esta razón, para estimar el ancho fibrilar, se calcula un ancho promedio de ella, que está en el rango de 5 μm a 75 μm (CTP [Centre technique du papier], 2016).

Además, se presentan los valores de ancho para diferentes tipos de fibras papeleras comerciales en la tabla 9.

- **Densidad lineal o Coarseness**

CTP (2016) lo define como una medida de masa promedio de fibra por unidad de longitud, informada en unidades de mg/m. Se mide usando un analizador óptico (Sagástegui, 2016) y sus valores en las fibras papeleras más comercializadas se muestran en la tabla 9.

Respecto a la densidad lineal, las fibras gruesas no se unen tan fácilmente y se consideran menos conformables que las fibras delgadas, lo que resulta en menor cantidad de fibras por masa de pulpa (AFT, 2001).

- **Curvatura de la fibra o Curl**

La capacidad de enrollamiento es medida por el cambio del factor de forma que presenta la fibra al ser expuesta a altos flujos y se expresa en ángulo de curvatura ($^{\circ}$) (CTP, 2016).

Las fibras que no se deforman tienden a generar una hoja con una alta rigidez y las fibras flexibles tienden a generar una mayor adhesión en la hoja (Cea, 2011).

- **Doblez de la fibra o Kink**

Los puntos de doblez son deformaciones locales detectados en la dirección del eje fibrilar de la fibra y son expresados en ángulo de doblez (°) e índice de doblez (%) (CTP, 2016).

El número de deformaciones indica los puntos débiles en las fibras, los cuales son importantes para la resistencia fibrilar y las propiedades de resistencia física (Cea, 2011).

- **Macrofibrilación**

Este parámetro permite predecir el nivel de refinación de las pulpas y puede ser medido mediante un analizador óptico. Se expresa en porcentaje y se calcula dividiendo la longitud total de las fibrilas por la longitud real total de las fibras (CTP, 2016).

- **Extremos rotos o Broken ends**

CTP (2016) indica que, este parámetro determina el porcentaje de fibras que han sufrido una ruptura en los extremos de la misma, y puede deberse al nivel de refinación. Asimismo, este parámetro se relaciona con los finos que se desprenden de los extremos de las fibras durante el refinado.

- **Finos**

Son pequeños fragmentos de fibra que pueden tener un impacto desfavorable en las operaciones de filtrado o drenaje (AFT, 2001). Desafortunadamente, las definiciones por debajo de qué tamaño se encuentran difieren entre equipos, por ejemplo: para un analizador óptico como el Morfi Compact, son partículas que miden menos de 0,2 mm de longitud; para un clasificador Bauer McNett, es el porcentaje en peso de la fracción +200 menor a 0,074 mm; y según Mutje et al. (2008), los tamizadores clasifican los finos por debajo de 0,1 mm. En resumen, se aprecia en la figura 20, las características morfológicas de las fibras papeleras determinadas por los analizadores ópticos. Además, la tabla 9 muestra los valores promedios, tanto para las fibras vírgenes largas y cortas, como recicladas que componen las pulpas.

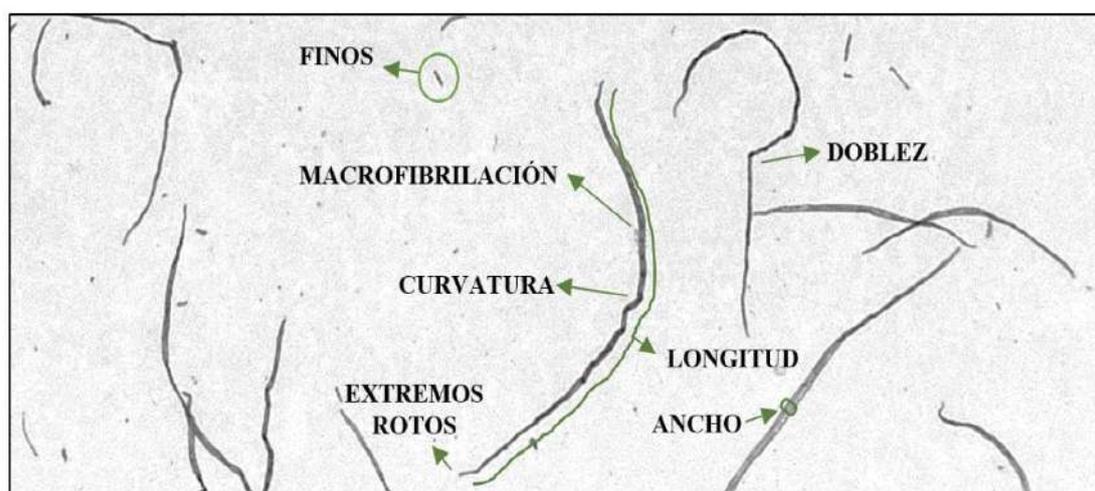


Figura 20: Identificación de los parámetros morfológicos en las fibras papeleras.

FUENTE: CTP (2016, p.8).

Tabla 9: Rangos promedio de parámetros morfológicos en pulpa virgen y reciclada.

Materia prima	Virgen						Reciclado	
	LARGA			CORTA			DKL	OCC
Tipo de fibra	Coníferas - Pino			Latifoliadas - Eucalipto				
Especie	*	**	***	*	**	***	*	****
Análisis	*	**	***	*	**	***	*	****
Longitud (mm)	1,8 - 2,5	3,0 - 3,5	1,8 - 3,1	0,7 - 0,9	1,0 - 1,4	0,7 - 1,0	1,3 - 1,7	0,9 - 1,3
Ancho (µm)	27 - 32	28 - 36	31 - 35	14 - 17	13 - 20	15	26 - 28	20 - 25
Densidad lineal (mg/m)	0,18 - 0,25	-	0,16 - 0,26	0,06 - 0,09	0,06	0,06	0,22 - 0,25	0,12 - 0,21
Curvatura (%)	10 - 12	-	-	7,5 - 10	-	-	5 - 7	5 - 8
Doblez (%)	49 - 51	-	-	33 - 48	-	-	18 - 22	20 - 28
Macrofibrilación (%)	0,2 - 0,3	-	-	0,3 - 0,4	-	-	1,0 - 1,4	0,7 - 1,0
Extremos rotos (%)	29 - 33	-	-	10 - 16	-	-	24 - 30	29 - 34
Finos (%)	1 - 4	-	-	8 - 13	-	-	7 - 11	15 - 21

FUENTE: *CTP (2014), Da Silva (2015) y TECH TRADE SAC (2022); **Sagástegui (2016); ***Vallejos (2021); ****Da Silva (2015) y TECH TRADE SAC (2022).

Por otro lado, en la figura 21, se observan imágenes de fibras de pulpas vírgenes y pulpas obtenidas de papeles reciclados. En las primeras se ven que casi todas las fibras mantienen su longitud, flexibilidad y finos; mientras que, las segundas muestran elementos extraños de distintas tonalidades y muchos finos provenientes del corte y delaminado de las fibras.

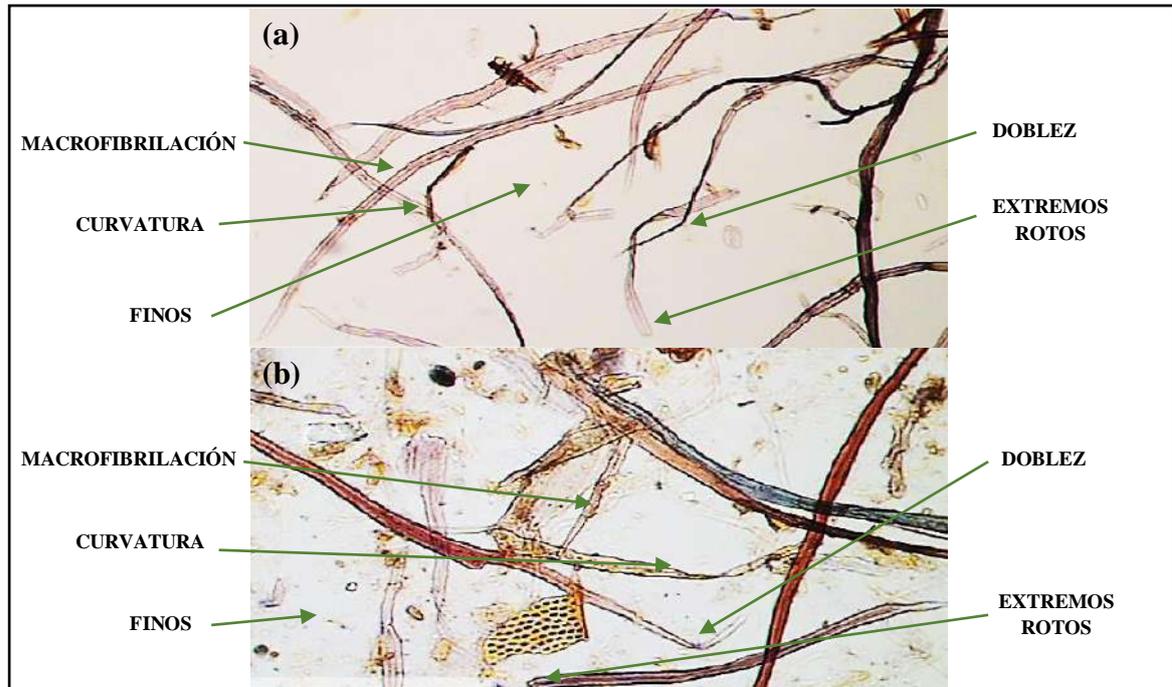


Figura 21: (a) Fibras de pulpas vírgenes (largas). (b) Fibras recicladas (OCC).

FUENTE: CTP (2014).

4.1.2. DRENABILIDAD

Es la propiedad de la pulpa que se caracteriza por la resistencia que ofrece al flujo del agua. Los métodos más comunes para medir la resistencia al drenaje en la pulpa son el Canadian Standard Freeness (norma ISO 5267-2) y el test Schopper Riegler (norma ISO 5267-1), ambas con escalas inversas. En tanto, Cea (2011) menciona que, el grado de refinado (drenabilidad) se utiliza como un indicador de la calidad de las pulpas, y posteriormente, para el control de la operación de refinado.

4.1.3. CENIZAS

Es el residuo que queda luego de que el papel ha sufrido una combustión, por lo que, representa el contenido de cargas minerales de un papel (AFT, 2001).

La tabla 10 presenta los valores promedios obtenidos en ensayos de caracterización de pulpas conformadas por fibras vírgenes: cortas (madera de latifoliadas como el Eucalipto) y largas (madera de coníferas como el Pino); y fibras recicladas DKL (fibras vírgenes largas recicladas) y OCC (mezcla de fibras largas y cortas de papeles y cartones muy reciclados).

Tabla 10: Rangos promedios de las propiedades de pulpas vírgenes y recicladas.

Materia prima	Virgen		Reciclado		
	LARGA	CORTA	DKL	OCC	
Tipo de fibra					
Análisis					
Consistencia	%		4 - 5		
Cenizas	%	0,8 - 1	0,2 - 0,4	1 - 4	8 - 12
Drenabilidad	° SR	14 - 16	16 - 18	17 - 20	30 - 40
Clasificación de fibras					
Malla + 16 (>1,190 mm)	%	63 - 74	0 - 0,1	30 - 40	10 - 20
Malla + 30 (>0,595 mm)	%	8 - 12	0,2 - 0,8	10 - 14	8 - 13
Malla + 50 (>0,297 mm)	%	6 - 11	64 - 68	13 - 20	15 - 22
Malla + 100 (>0,149 mm)	%	2 - 5	16 - 20	4 - 7	10 - 18
Malla + 200 (>0,074 mm)	%	1 - 2	3 - 8	0,8 - 2,2	1 - 8
Finos (<0,074 mm)	%	0,8 - 2	7 - 10	14 - 20	35 - 45

FUENTE: TECH TRADE SAC (2022).

4.2. PROPIEDADES DEL PAPEL

Las mediciones de las propiedades en los papeles dependen del instrumento o equipo usado y de los detalles del procedimiento de cada ensayo. Asimismo, el papel al ser un material higroscópico ofrece propiedades dependientes de la humedad; y al poseer cualidades plásticas y elásticas, es vulnerable a la deformación o destrucción de la muestra, entregando resultados dependientes del grado de aplicación de la fuerza (Cea, 2011).

Sagástegui (2016) clasifica las propiedades del papel en propiedades generales, de superficie, ópticas y de resistencia física.

4.2.1. PROPIEDADES GENERALES

4.2.1.1. Humedad

De acuerdo a TAPPI T412 om-11, el análisis de humedad sirve para determinar el contenido de agua residual (entre las fibras y poros) de una muestra. El porcentaje de humedad para algunos papeles y cartones está comprendido entre 5 a 9 % (Sagástegui, 2016).

4.2.1.2. Gramaje

La norma TAPPI T410 om-13 define el gramaje como el peso en gramos que tiene un metro cuadrado del papel acondicionado. El gramaje determina el precio del papel, permite calcular

la densidad del mismo y establece relaciones con la resistencia a la tensión y rasgado (Sagástegui, 2016).

4.2.1.3. Espesor

La norma TAPPI T411 om-10 define el espesor como el grosor del papel, medido en milímetros o en micrómetros. Sagástegui (2016) menciona que, el espesor está relacionado con la permeabilidad y la densidad relativa del papel.

4.2.1.4. Densidad relativa

También denominado peso específico, el cual se determina como la relación entre la masa de un papel y su volumen, y se expresa en g/cm^3 según norma TAPPI T220 sp-10. A mayor refinado le corresponde mayor densidad, la cual guarda relación indirecta con la opacidad y la permeabilidad del papel (Sagástegui, 2016).

4.2.2. PROPIEDADES DE SUPERFICIE

4.2.2.1. Permeabilidad al aire

De acuerdo a la norma TAPPI T460 om-11, se calcula registrando el tiempo (segundos) que demora en pasar un volumen determinado de aire (100 mL) a través del cuerpo del papel.

Se emplea como un indicador del grado de refinado y está relacionada con el tipo, orientación y compactación de las fibras (Sagástegui, 2016).

4.2.3. PROPIEDADES ÓPTICAS

4.2.3.1. Blancura

Es la brillantez o luminosidad que puede tener el color blanco del papel y se expresa como porcentaje en función de la cantidad de luz reflejada, según la norma TAPPI T452 om-08.

La blancura aumenta por la adición de colorantes, blanqueadores y cargas; y disminuye por el tipo y clase de pulpa utilizada, el refinado de las fibras y por el envejecimiento del papel (Sagástegui, 2016).

4.2.3.2. Opacidad

Según la norma TAPPI T425 om-11, mide en porcentaje, la capacidad del papel para reflejar, absorber y dispersar la luz, de manera que, las imágenes de la página opuesta no sean visibles. Para Sagástegui (2016), la opacidad tiene relación directa con el gramaje y la operación de refinado. A mayor cuerpo del papel, manteniendo el gramaje, se incrementará la opacidad; mientras que, para igual grado de refinado, en pulpas de fibras largas, la opacidad disminuirá casi el doble respecto a las fibras cortas.

4.2.4. PROPIEDADES DE RESISTENCIA FÍSICA

4.2.4.1. Resistencia a la tensión y al alargamiento

La resistencia a la tensión es la fuerza aplicada en los extremos de una tira de papel hasta que ésta se rompa. La norma TAPPI/ANSI T494 om-13 indica que el valor registrado al momento de la rotura se expresa en kN/m; sin embargo, cuando es necesario reportarla como longitud necesaria para que una tira de papel se rompa por su propio peso, generalmente es expresada en km. De manera simultánea a esta prueba, se determina la resistencia al alargamiento, como el porcentaje del papel que se ha estirado antes de romperse. Cea (2011) coincide en que, la resistencia a la tensión depende de las propiedades de la fibra; sin embargo, el incremento en la humedad puede bajar esta resistencia.

4.2.4.2. Resistencia al rasgado

Según la norma TAPPI T414 om-12, es la fuerza expresada en $\text{mN}\cdot\text{m}^2/\text{g}$, aplicada de forma perpendicular a la superficie del papel hasta que la muestra sea rasgada. Está relacionada con las dimensiones de las fibras, el gramaje y la humedad; además, es comúnmente usada en las especificaciones del papel (Sagástegui, 2016).

4.2.4.3. Resistencia al doblado

La norma TAPPI/ANSI T511 om-13 la define como la habilidad de una tira de papel para resistir el quiebre cuando se dobla bajo una determinada carga; la prueba concluye cuando la tira se rompe y es registrado en el contómetro su último número de doblado. Es afectada por el gramaje, las dimensiones de las fibras y la humedad (Cea, 2011; Sagástegui, 2016).

III. METODOLOGÍA

1. MATERIALES

- Probeta graduada de 1000 mL.
- Crisoles de porcelana de 100 mL.
- Soporte para crisoles.
- Pinzas de crisol.
- Varilla de agitación.
- Matraz KITASATO de 1000 mL.
- Embudo BUCHNER.
- Desecador.
- Micrómetro.
- Juego de discos para el prensado.
- Juego de anillos para el secado al aire.
- Cronómetro STOPWATCH.
- Papel filtro.
- Hojas bulky.
- Guantes quirúrgicos.
- Marcadores permanentes.
- Materiales de escritorio.
- Envases con tapa de 1 y 4 litros de capacidad.
- Recipientes plásticos de 20 litros.

2. EQUIPOS

- Balanza analítica KERN con 0,001 g de precisión.
- Balanza electrónica de humedad KERN con 0,001 g de precisión.
- Estufa MEMMERT graduada a temperatura 105 ± 3 °C.
- Desintegrador de 3000 RPM.
- Mufla graduada para mantener la temperatura en 525 °C.

- Equipo Schopper Riegler.
- Bomba de vacío.
- Analizador óptico MORFI COMPACT.
- Clasificador de fibra BAUER McNett.
- Refinador de discos de laboratorio TECH TRADE de 8 pulgadas.
- Pulper de laboratorio y tanque de almacenamiento.
- Tablero eléctrico general y de control de refinación.
- Sistema prototipo (motor, válvulas, sensores y bomba).
- Formador de hojas standard.
- Prensa hidráulica para hojas.
- Cizalla de doble cuchilla.
- Aparato de Gurley.
- Equipo Photovolt.
- Reflectómetro.
- Tensiómetro.
- Twing Elmendorf.
- Equipo de dobles-pliegues.
- Refrigerador

3. MÉTODOS

3.1. LUGAR DE ESTUDIO

Las materias primas fibrosas DKL y OCC fueron obtenidas de la fábrica de papel TRUPAL SA, ubicada en el distrito de El Agustino, cuyas coordenadas son: 12°02'00" latitud Sur; 77°00'36" longitud Oeste y a una altitud de 197 m.s.n.m., provincia y departamento de Lima. Las muestras fueron colectadas y embaladas, por separado, en noviembre del 2019, para su fácil transporte y trasladadas al laboratorio de investigación de la empresa TECH TRADE SAC, ubicada en el distrito de Chorrillos (Lima), con coordenadas: 12°10'33" latitud Sur; 77°01'17" longitud Oeste y a una altitud de 37 m.s.n.m.

La obtención y evaluación de pulpas de las diferentes proporciones de mezcla, antes y después del refinado, se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Pulpa y Refinación de la misma empresa.

La formación de hojas y sus ensayos físicos se desarrollaron en el Laboratorio de Pulpa y Papel, de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), en el distrito de La Molina (Lima), cuyas coordenadas son: 12°04'42,49" latitud Sur; 76°56'46,00" longitud Oeste y altitud de 245 m.s.n.m.

3.2. MATERIAS PRIMAS

Se utilizaron dos tipos de fibras recicladas con la siguiente descripción:

- **DKL (Cartón nuevo sin uso):** Las cajas o recortes de cajas que no han tenido ningún tipo de uso para el que fue fabricado e importados del extranjero (Ecuador y Colombia).
- **OCC (Cartón corrugado usado):** Las cajas provenientes de desechos de supermercados, las mismas que han sido utilizadas para contener y transportar diferentes productos alimenticios, electrodomésticos, etc.; razón por la cual se tuvo una amplia variedad de cajas de distintos fabricantes y de procedencia nacional.

Las cajas clasificadas como DKL y OCC, fueron colectadas por la empresa TRUPAL en su Área de almacenamiento de materia prima y trasladadas por separado, en forma de pacas con un peso de 50 kg cada uno, a la empresa TECH TRADE SAC. Para la obtención de pulpas y posteriormente, papel, se seleccionaron al azar muestras representativas de las materias primas DKL y OCC, según lo indicado por INDECOPI en la NTP-ISO 186 (2014).

3.3. SISTEMA PROTOTIPO

Para la etapa de preparación de pulpa, se instaló un sistema prototipo en el Laboratorio de Pulpa y Refinación de la empresa TECH TRADE SAC (ver Anexo 1 y 2). Los equipos utilizados en el sistema de desintegrado, depurado y refinado fueron:

- **Pulper tipo delta** de acero inoxidable, con capacidad de 350 litros. Incluyó un rotor convencional y una criba con perforaciones circulares de 10 mm de diámetro.
- **Refinador RL-044**, de 8" de diámetro, configuración 2 mm x 3 mm x 6 mm y motor de 1800 RPM. Incorporó una válvula de regulación de entrehierro.
- **Tablero eléctrico general**, con medidor de caudal y amperaje. Equipo que se acopló al pulper y refinador.

3.4. ENSAYOS PRELIMINARES DE DESINTEGRADO

Se realizó una serie de ensayos previos con DKL y OCC a consistencias del tres al cinco por ciento, a una velocidad del rotor de 600 RPM y distintos tiempos de pulpado entre 15 a 30 minutos (ver tabla 11), para seleccionar cuales serían las condiciones más óptimas de trabajo en el sistema prototipo.

Como resultado de los ensayos fue necesario mantener en el pulper, un volumen máximo de operación de 250 litros, utilizándose solo agua sin otros químicos como medio de dispersión, a temperatura ambiente. En lo referente a la forma de la cuba del pulper, se utilizó del tipo delta debido a una mejor desintegración de las cajas. Respecto a la consistencia, se decidió pulpear al cuatro por ciento durante 30 minutos, porque en dichas condiciones de pulpeo se percibió una fácil desintegración de las materias primas fibrosas y al evaluarse la drenabilidad de la pulpa ya sea DKL u OCC, se observó que sus valores se encontraban dentro del rango característico para fibras recicladas.

Tabla 11: Elección de la consistencia y tiempo de pulpado para el sistema prototipo.

Equipo	Pulper				
	Tiempo de pulpado (minutos)				
Variables	15	20	25	30	
Consistencia (%)	3	DD	MD	MD	MD
	4	MD	MD	MD	FD
	5	MD	MD	FD	FD

Dónde: DD (difícilmente desintegrable), MD (medianamente desintegrable) y FD (fácilmente desintegrable).

3.5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL ESTUDIO

Se procedió de acuerdo al diagrama de flujo indicado en la figura 22. La metodología empleada abarcó desde la colecta de materias primas fibrosas DKL/OCC y su preparación de mezcla de fibras, hasta la obtención y control de pulpas y hojas de papel a partir de mezclas, previamente desintegradas en pulper, depuradas y refinadas según el nivel de entrehierro definido.

Las etapas contempladas son descritas a continuación:

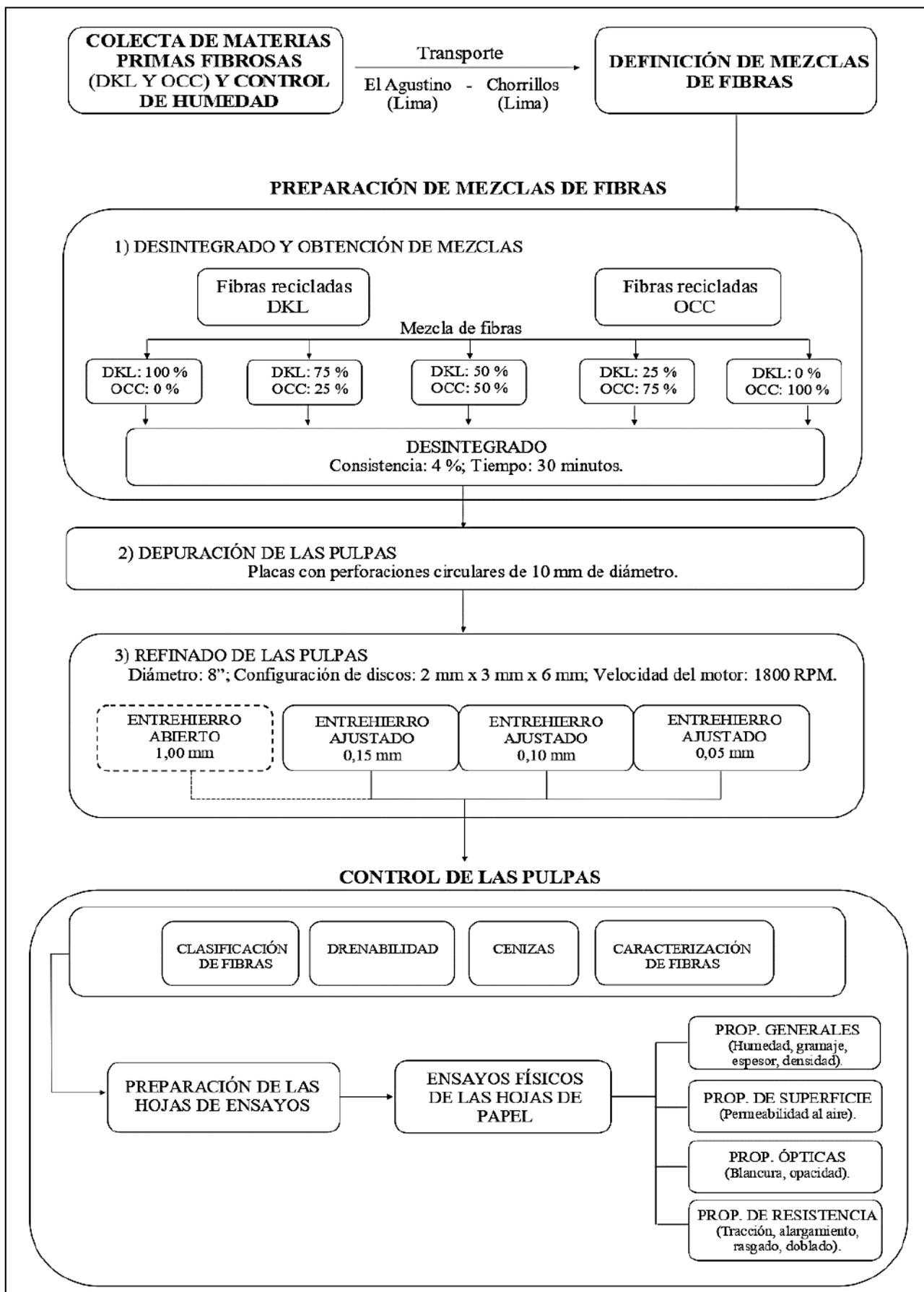


Figura 22: Diagrama de flujo de la metodología a seguir para el presente estudio.

3.6. COLECTA DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS Y CONTROL DE HUMEDAD

Se realizó la búsqueda de plantas papeleras peruanas que utilizan en la formulación de sus productos papeleros, fibras recicladas del tipo DKL y OCC; entre ellas, se obtuvieron de la empresa TRUPAL SA (El Agustino, Lima), las materias primas fibrosas que se destinaban a la fabricación de papeles marrones Liner y Corrugado medio para cajas de cartón.

Las muestras fueron colectadas al azar por la empresa y enviadas en pacas, con una masa de 50 kg cada una, identificadas y herméticas en sacos big bag para evitar su degradación o contaminación durante su transporte a la empresa TECH TRADE SAC, Chorrillos (Lima).

Se almacenaron los 50 kg de cartones DKL y OCC por separado y en sacos big bag, en el Área de almacenamiento del Laboratorio de Pulpa y Refinación de TECH TRADE SAC. En ambos sacos, se determinó el contenido de humedad inicial de acuerdo a la norma TAPPI T412 om-11 para registrar la masa seca total (ver tabla 12).

Tabla 12: Contenido de humedad (%) para cada lote de cartones DKL y OCC.

Código	Cartones	Masa (kg)	Sólidos secos (%)				Humedad (%)
			N° 1	N° 2	N° 3	Promedio	Promedio
MP _{DKL}	DKL	50	92,8	93,1	92,6	92,8	7,2
MP _{OCC}	OCC	50	92,0	92,3	92,1	92,1	7,9

Dónde: MP (materia prima).

3.7. DEFINICIÓN DE MEZCLAS DE FIBRAS

Las muestras se distribuyeron en lotes de 10 kg (masa libre de humedad) para cada mezcla que se contempló en el presente estudio. Para esta investigación, se definió mezclas de fibras DKL/OCC en cantidades proporcionales con el fin de cubrir todo el espectro de mezclas cada 25 por ciento, tal como se aprecia en la tabla 13.

Tabla 13: Masa seca de cartones DKL y OCC según proporción de mezcla.

Código	Mezcla (%)		Masa seca de cartones (kg)		Masa seca total (kg)
	DKL	OCC	DKL	OCC	Mezcla
A	100	0	10,0	0,0	10,0
B	75	25	7,5	2,5	10,0
C	50	50	5,0	5,0	10,0
D	25	75	2,5	7,5	10,0
E	0	100	0,0	10,0	10,0

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla).

3.8. PREPARACIÓN DE MEZCLAS DE FIBRAS

3.8.1. DESINTEGRADO Y OBTENCIÓN DE MEZCLAS

Se efectuó el pulpado de 10 kg de cartones, correspondiente a la primera mezcla (A), los mismos que se alimentaron al pulper sin tratamiento previo. Se desintegraron en 250 litros de agua, al 4 % de consistencia y durante 30 minutos (ver figura 23); seguidamente, se realizó la primera descarga, tomándose una muestra de pulpa desintegrada antes de ingresar al refinador de discos. Este procedimiento fue similar para las demás mezclas (B, C, D y E).



Figura 23: Pulper delta desintegrando la mezcla DKL y OCC.

3.8.2. DEPURACIÓN DE LAS PULPAS

Las pulpas obtenidas a partir de las diferentes proporciones de mezcla DKL y OCC fueron depuradas en conjunto, previo a la etapa de refinación. Esto se efectuó después del desintegrado en el pulper, ya que por debajo del rotor se instaló una placa perforada de 440 mm de diámetro y 12 mm de espesor, con agujeros cilíndricos de 10 mm de diámetro (ver figura 24), la cual permitió retener los elementos no fibrosos, tales como: cintas adhesivas, plásticos y grapas.



Figura 24: Rotor y placa perforada en el fondo del pulper tipo delta.

3.8.3. REFINADO DE LAS PULPAS

En la etapa de refinación, la pulpa desintegrada y depurada de la primera mezcla A, pasó por un refinador de discos de 8" (ver figura 25) pero con un entrehierro abierto a 1,00 mm, tomándose una muestra de pulpa sin refinar en un envase de cuatro litros de capacidad a la entrada del refinador; la pulpa restante, retornó al pulper para su almacenamiento.

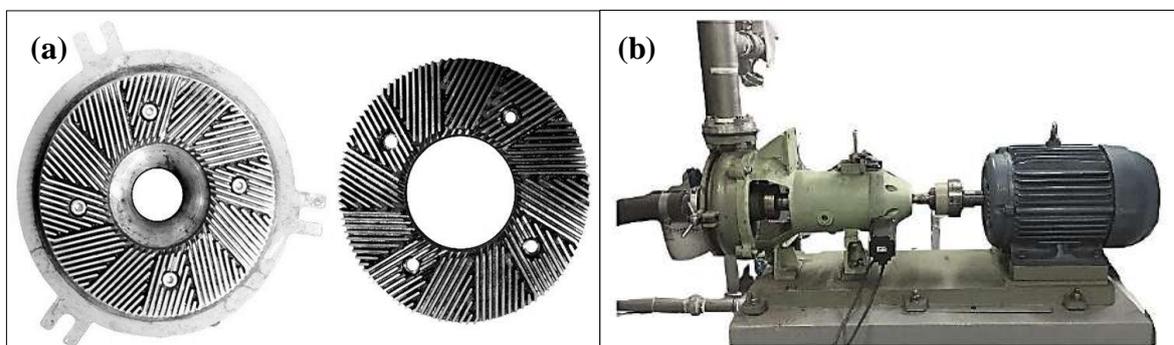


Figura 25: (a) Juego de discos refinadores 2 mm x 3 mm x 6 mm. (b) Equipo refinador de discos simple.

Después de que los parámetros alcanzaron el punto establecido (velocidad del refinador: 1800 RPM y caudal: 200 L/m), se procedió a ajustar los discos refinadores en movimiento a 0,15 mm mediante la válvula de entrehierro acoplado al refinador, y se descargó la tercera parte de la pulpa hacia el refinador, donde se registró el amperaje de operación y se tomó una muestra representativa de la pulpa refinada a dicho nivel de entrehierro, por medio de una válvula de muestreo a la salida del refinador. De forma similar, se realizó el mismo procedimiento ajustando los discos refinadores a entrehierros de 0,10 mm y 0,05 mm, como se puede ver en la figura 26. Posteriormente, el entrehierro se elevó para detener el refinador.

El procedimiento detallado anteriormente fue replicado en las siguientes mezclas: B, C, D y E, las cuales fueron refinadas independientemente el mismo día bajo condiciones similares de refinado.

A su vez, se registró el amperaje del refinador en vacío y en operación a diferentes niveles de entrehierro (tabla 14), los mismos que fueron tomados como referencia para el cálculo de la potencia útil y, por consiguiente, la intensidad de refinación.

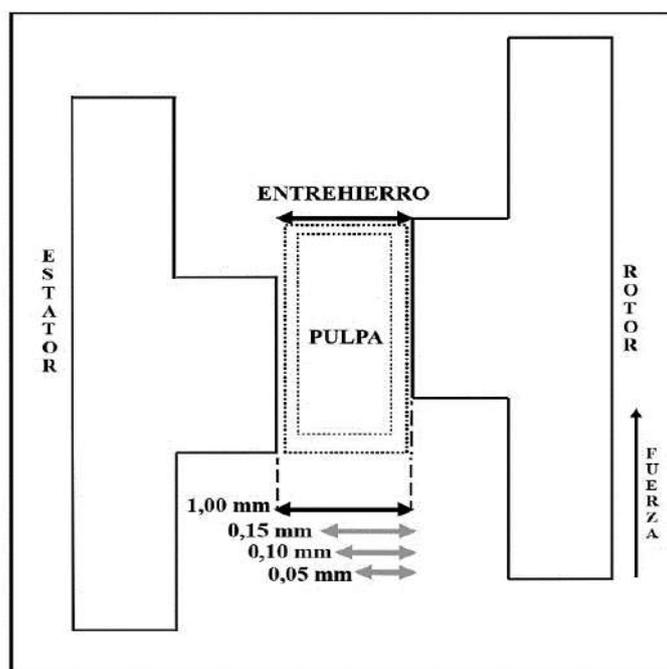


Figura 26: Regulación del entrehierro en el refinador de discos simple.

Tabla 14: Amperaje en vacío y operación en pulpas según proporción de mezcla.

Variables				
Código	Proporción de mezcla (%)	Nivel de entrehierro - N (mm)	Amperaje No Load (A)	Amperaje de operación (A)
ASR	A	1,00	9,50	18,00
AN ₁₅		0,15	9,50	37,50
AN ₁₀		0,10	9,50	41,00
AN ₀₅		0,05	9,50	45,00
BSR	B	1,00	7,50	20,00
BN ₁₅		0,15	7,50	35,50
BN ₁₀		0,10	7,50	39,50
BN ₀₅		0,05	7,50	43,00
CSR	C	1,00	8,00	22,00
CN ₁₅		0,15	8,00	30,00
CN ₁₀		0,10	8,00	31,50
CN ₀₅		0,05	8,00	34,00
DSR	D	1,00	8,00	24,00
DN ₁₅		0,15	8,00	26,00
DN ₁₀		0,10	8,00	28,50
DN ₀₅		0,05	8,00	30,00
ESR	E	1,00	7,50	20,00
EN ₁₅		0,15	7,50	21,00
EN ₁₀		0,10	7,50	24,00
EN ₀₅		0,05	7,50	27,00

Dónde: SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Finalmente, se obtuvieron cuatro muestras de 4 litros de capacidad por cada mezcla, tal como se observa en la figura 27. Se almacenaron un total de 20 envases correspondientes a las cinco proporciones de mezcla DKL y OCC, perfectamente herméticos e identificados en el refrigerador.

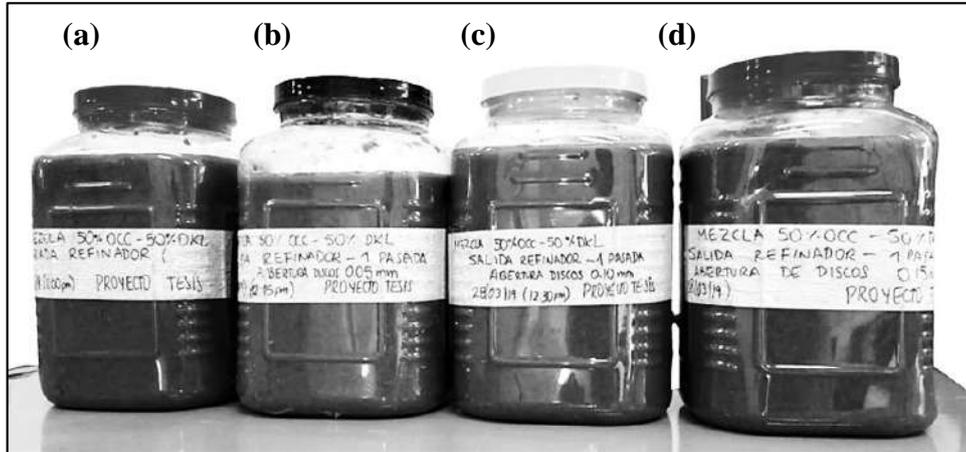


Figura 27: Mezcla 50% DKL - 50% OCC. (a) Pulpa desintegrada. (b) Pulpa refinada a 0,05 mm. (c) Pulpa refinada a 0,10 mm. (d) Pulpa refinada a 0,15 mm.

3.9. CONTROL DE LAS PULPAS

Los ensayos correspondientes para cada muestra obtenida antes y después del refinado, fueron realizados en base a normas TAPPI e ISO.

3.9.1. CONSISTENCIA

Se realizó el mismo procedimiento por triplicado para cada pulpa analizada, de acuerdo a la norma TAPPI T240 om - 12 «Consistency of pulp suspensions».

La consistencia se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Consistencia (\%)} = \frac{\text{MB}}{\text{MA}} \times 100$$

MA: Masa neta en gramos de la muestra original húmeda.

MB: Masa neta en gramos de la muestra seca en estufa.

3.9.2. CLASIFICACIÓN DE FIBRAS

La clasificación de fibras se efectuó en un equipo tipo Bauer McNett de 5 tanques estrechos, según la norma TAPPI T233 cm - 06 «Fiber length of pulp by classification». Se obtuvieron resultados de cinco fracciones de masa de fibras para los tamices de N° 16, 30, 50, 100 y 200.

3.9.3. CARACTERIZACIÓN DE FIBRAS

El equipo Morfi Compact midió las características morfológicas de las fibras presentes en las pulpas de mezclas DKL - OCC (figura 28), sometidas a tres niveles de entrehierro; además, se registraron imágenes a escala 1/50 de la masa fibrosa evaluada, para analizar su morfología.



Figura 28: Equipo Morfi Compact para análisis de las pulpas antes y después del refinado.

Los parámetros que analizó el equipo son: longitud (mm), ancho (μm), curvatura (%), doblez (%), densidad lineal (mg/m), macrofibrilación (%), extremos rotos (%) y finos (%). La descripción del funcionamiento del equipo se detalla en la norma ISO 16065-2 «*Pulps - Determination of fibre length by automated optical analysis - Part 2: Unpolarized light method*». El equipo reguló la consistencia a 1,3 % para el análisis de 5 000 fibras en tres minutos, como lo indica el manual de uso del Morfi Compact en el anexo 3.

3.9.4. DRENABILIDAD

Las pruebas se realizaron en un aparato Shopper Riegler, según lo establecido por la norma ISO 5267-1 «*Pulps - determination of drainability - part 1: Schopper - Riegler method*».

3.9.5. CENIZAS

El contenido de cenizas se calculó, según lo indicado en la norma TAPPI T211 om - 12 «Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525 °C».

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{\text{MB}}{\text{MA}} \times 100$$

MA: Masa neta en gramos de la muestra seca en estufa.

MB: Masa neta en gramos de la muestra calcinada en mufla.

3.9.6. PREPARACIÓN DE LAS HOJAS DE ENSAYOS

3.9.6.1. Distribución y formación de las hojas

Las hojas de ensayos para pruebas físico-mecánicas en pulpas fueron confeccionadas en un equipo formador de hojas (ver figura 29a), conforme a la norma TAPPI T205. Para cada mezcla se formó 40 hojas (figura 29b); 1 paquete de 10 hojas por cada nivel de entrehierro, tal como se presenta a continuación:

- A la entrada del refinador (sin refinado, discos abiertos a 1,00 mm).
- A la salida del refinador (entrehierro ajustado a 0,15 mm).
- A la salida del refinador (entrehierro ajustado a 0,10 mm).
- A la salida del refinador (entrehierro ajustado a 0,05 mm)

Por consiguiente, se confeccionó un total de 200 hojas para el presente estudio.

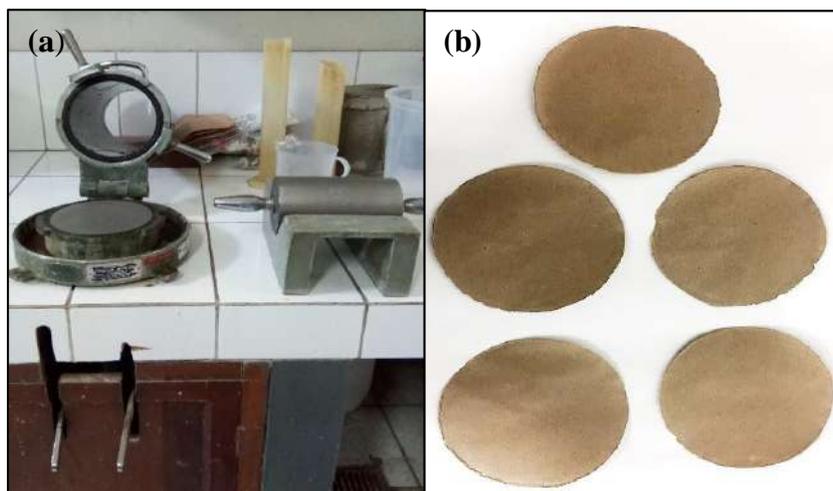


Figura 29: (a) Formador de hojas. (b) Hojas de ensayos.

3.9.6.2. Acondicionamiento de las hojas

Las hojas de ensayos se cortaron en probetas de medidas estandarizadas (figura 30a), con la ayuda de una cizalla de doble cuchilla, según la norma TAPPI T220. Se acondicionaron en atmósfera estándar (figura 30b) de acuerdo a la norma TAPPI/ANSI T402, a 23 ± 2 °C de temperatura y 50 ± 2 % de humedad relativa.

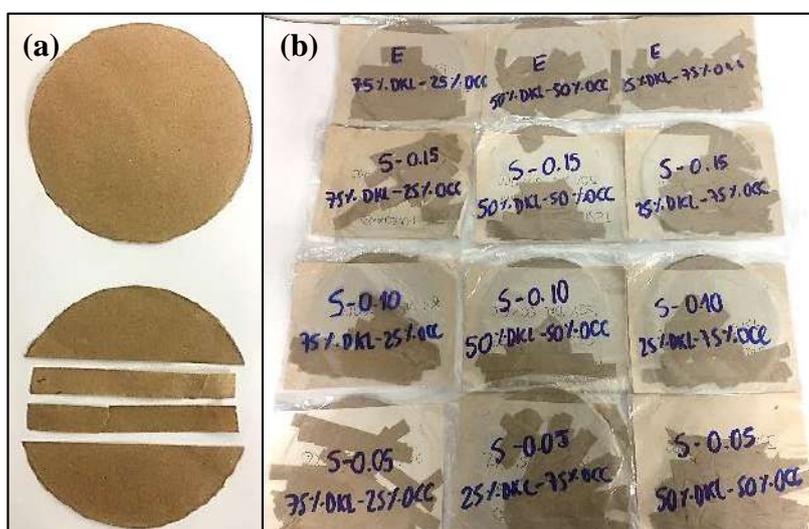


Figura 30: (a) Corte de probetas. (b) Probetas para ensayos físicos-mecánicos.

3.9.7. ENSAYOS FÍSICOS DE LAS HOJAS DE PAPEL

Las probetas fueron utilizadas en los ensayos correspondientes, conforme a normas TAPPI. Cabe recalcar que se registró su contenido de humedad según la norma TAPPI T412 om-11 «Moisture in pulp, paper and paperboard», antes de efectuarse los demás ensayos.

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES GENERALES

3.9.7.1. Gramaje

Se obtuvo dividiendo el peso de las hojas de mano por área de las mismas, expresándose en g/cm^2 según la norma TAPPI T410 om-13 «Grammage of paper and paperboard».

3.9.7.2. Espesor

Se expresó en μm de acuerdo a la norma TAPPI T411 om-10 «Thickness of paper, paperboard, and combined board».

3.9.7.3. Densidad relativa

Se utilizó la norma TAPPI T220 sp-10 «Physical testing of pulp handsheets» y se determinó la densidad relativa dividiendo el gramaje por el espesor, expresándose en g/cm³.

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA SUPERFICIE

3.9.7.4. Permeabilidad al aire

Se realizaron 10 lecturas para cada muestra de pulpa y se expresó en s/100 mL o s/100 cm³, según la norma TAPPI T460 om-11 «Air resistance of paper (Gurley method)».

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES ÓPTICAS

3.9.7.5. Blancura

Se expresó en ISO % de acuerdo a la norma TAPPI T452 om-08 «Brightness of pulp, paper, and paperboard (directional reflectance at 457 nm)».

3.9.7.6. Opacidad

En la prueba de opacidad se expresó en ISO % bajo la norma T425 om-11 «Opacity of paper (15/d geometry, illuminant A/2°, 89 % reflectance backing and paper backing)».

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE RESISTENCIAS FÍSICAS

3.9.7.7. Resistencia a la tensión y al alargamiento

La resistencia al alargamiento se reportó como porcentaje. En cambio, la resistencia a la tensión expresada como longitud a la rotura, se calculó según lo indicado en la norma TAPPI T494 om-13 «Tensile properties of paper and paperboard»:

$$L = \frac{200 \times T}{3 \times G}$$

L: Longitud a la rotura (km).

T: Resistencia a la tensión en kilo Newton por metro (kN/m).

G: Gramaje en gramos por metro cuadrado (g/m²).

3.9.7.8. Resistencia al rasgado

La resistencia al rasgado también puede ser expresado como Índice de resistencia al rasgado y se calculó de acuerdo a la norma TAPPI T414 om-12 «Internal tearing resistance of paper (Elmendorf-type method)»:

$$ID = \frac{16 \times 9,81 \times RD}{\text{número de tiras} \times G}$$

ID: Índice de resistencia al rasgado como mili Newton metro cuadrado por gramo (mN.m²/g).

RD: Promedio lecturas de la resistencia al rasgado en mili Newton (mN).

G: Gramaje en gramos por metro cuadrado (g/m²).

3.9.7.9. Resistencia al doblado o plegado

La resistencia al doblado se registró como el número de dobleces que pueden resistir las probetas de 15 mm de ancho antes de romperse, registrándose 10 lecturas por muestra de pulpa, conforme la norma TAPPI T511 om-13 «Folding endurance of paper (MIT tester)».

3.10. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los datos obtenidos se procesaron en planillas de cálculo usando el programa de computación EXCEL 19.0 (Excel 2018). Los valores de las propiedades de las pulpas, obtenidas a tres niveles de entrehierro para cada una de las cinco proporciones de mezcla, se analizaron por medio del análisis de variancia (ANOVA), con el objetivo de determinar la significancia de los efectos de los tratamientos según el diseño estadístico planteado, un intervalo de confianza del 95 por ciento y un margen de error del 0,05 %. Finalmente, los valores procesados fueron analizados en computadora utilizando el programa Minitab19.

3.10.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se adoptó un «diseño completamente al azar (DCA)» con un arreglo factorial de 5x3. Además, se tomó una muestra patrón previo al refinado (SR) para cada una de las cinco proporciones de mezcla y posteriormente, las pulpas fueron refinadas a tres niveles de entrehierro; contándose con un total de 20 tratamientos, como se indica en la tabla 15.

Variable independiente:

Variable 1: Proporción de mezcla.

- A, B, C, D y E, las cinco proporciones en % de mezcla de fibras DKL/OCC (tabla 15).

Variable 2: Nivel de entrehierro.

- N₁₅, N₁₀ y N₀₅, los tres niveles de entrehierro en mm (tabla 15).

Variable dependiente:

- Propiedades de las pulpas: longitud (clasificación por tamices y morfológica), ancho, densidad lineal, curvatura, doblez, macrofibrilación, extremos rotos y finos de las fibras; drenabilidad y cenizas.
- Propiedades del papel: humedad, gramaje, espesor, densidad relativa, permeabilidad al aire, blancura, opacidad, resistencia a la tensión y al alargamiento, resistencia al rasgado y doblado.

3.10.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El modelo estadístico del DCA con arreglo factorial, fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} : Valor observado de la variable dependiente en estudio sujeto al tratamiento ij .

μ : La media general.

α_i : Efecto del i -ésimo proporción de mezcla.

β_j : Efecto del j -ésimo nivel de entrehierro.

$(\alpha\beta)_{ij}$: Efecto de la interacción doble de la proporción de mezcla y el nivel de entrehierro.

ϵ_{ij} : Efecto del error aleatorio del tratamiento.

ij ; l : Número de repeticiones.

Tabla 15: Diseño experimental de los tratamientos empleados en el análisis estadístico de las propiedades de las pulpas en fibras recicladas DKL y OCC.

Variables independientes		Variables dependientes																	
Proporción de mezcla	Nivel de entrehierro	Tratamientos	Propiedades de las pulpas												Ensayos en papel				
			Consistencia	Clasificación de fibras	Caracterización de fibras	Drenabilidad	Cenizas	Humedad	Gramaje	Espesor	Densidad	Permeabilidad al aire	Blancura	Opacidad	Tensión	Alargamiento	Rasgado	Doblado	
A 100 % DKL 0 % OCC	SR	A_{SR}	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10
	0,15 mm	AN ₁₅	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10
	0,10 mm	AN ₁₀	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10
	0,05 mm	AN ₀₅	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10	
B 75 % DKL 25 % OCC	SR	B_{SR}	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10
	0,15 mm	BN ₁₅	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10	
	0,10 mm	BN ₁₀	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10	
	0,05 mm	BN ₀₅	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10		
C 50 % DKL 50 % OCC	SR	C_{SR}	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10
	0,15 mm	CN ₁₅	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10	
	0,10 mm	CN ₁₀	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10	
	0,05 mm	CN ₀₅	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10		
D 25 % DKL 75 % OCC	SR	D_{SR}	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10
	0,15 mm	DN ₁₅	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10	
	0,10 mm	DN ₁₀	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10	
	0,05 mm	DN ₀₅	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10		
E 0 % DKL 100 % OCC	SR	E_{SR}	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10
	0,15 mm	EN ₁₅	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10	
	0,10 mm	EN ₁₀	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10	
	0,05 mm	EN ₀₅	3	3	5	3	2	10	10	10	10	10	10	20	20	10	10		

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm, respectivamente.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS

Las materias primas fibrosas DKL y OCC fueron caracterizadas, siendo los resultados obtenidos los que se presentan en la tabla 16.

Tabla 16: Caracterización de las materias primas fibrosas DKL y OCC.

Materias primas fibrosas		DKL	OCC
<u>Análisis</u>			
Cenizas	%	3,20	10,40
Drenabilidad	° SR	29,0	39,5
Clasificación de fibras			
Malla + 16 (>1,190 mm)	%	31,02 - 31,54	16,26 - 17,99
Malla + 30 (>0,595 mm)	%	11,81 - 12,88	10,72 - 11,02
Malla + 50 (>0,297 mm)	%	13,70 - 14,32	15,63 - 16,81
Malla + 100 (>0,149 mm)	%	17,83 - 18,33	18,45 - 18,84
Malla + 200 (>0,074 mm)	%	1,00 - 1,15	1,20 - 1,31
Finos (<0,074 mm)	%	21,33 - 24,64	33,21 - 37,88
<u>Análisis morfológico</u>			
Longitud ponderada	mm	1,256 - 1,279	1,002 - 1,074
Ancho	µm	25,00 - 26,70	23,10 - 24,20
Densidad lineal	mg/m	0,2231 - 0,2340	0,1919 - 0,2041
Doblez	%	20,80 - 20,92	20,90 - 21,60
Curvatura	%	6,40 - 6,60	6,90 - 7,00
Macrofibrilación	%	0,987 - 1,014	0,921 - 0,951
Extremos rotos	%	29,91 - 30,06	26,57 - 27,73
Finos	%	13,93 - 14,75	18,35 - 19,95

En la tabla 16, se observa que, el contenido de cenizas varió notablemente entre las dos muestras estudiadas, siendo mayor en fibras OCC (10,40 %). Lo antes mencionado coincide con los estudios realizados por Lévesque (1999), en el que las fibras recicladas con más ciclos de reciclado, como es el caso de las fibras OCC, traen consigo más contaminantes (tintas, productos de estucado, adhesivos, contaminantes externos, iones metálicos y no metálicos, y otras especies químicas), los cuales forman parte de la composición habitual de

papeles y cartones reciclados, que ingresan al circuito de fabricación, generando problemas en el equilibrio físico-químico del sistema.

En cuanto a la drenabilidad, en la misma tabla se observa que, las fibras DKL han sido poco refinadas, lo que coincide con el valor promedio de 29,0 ° SR, frente a un 39,5 ° SR para fibras OCC. Según Posluszny (1998), por lo general, las fibras DKL presentes en papeles Liner provienen de procesos químicos o de bajo rendimiento de pulpeo, que han sido recicladas y refinadas en menor cantidad de veces comparado con las fibras OCC, que son utilizadas en la fabricación de papeles de corrugado medio, donde se aprecia un conglomerado de fibras, que proceden de procesos químicos y mecánicos, ya sean largas y cortas, siendo estas últimas las de mayor proporción.

De acuerdo a la clasificación de fibras, se observa en la tabla 16, la distribución porcentual de longitudes para las materias primas fibrosas DKL y OCC. El DKL tiene una fracción mayor que el OCC en las mallas +16 y +30, disminuyendo la proporción de fibras de DKL en las fracciones siguientes hasta alcanzar el menor valor correspondiente a la fracción 100 - 200, a partir del cual aumenta nuevamente, alcanzando casi un 25 % en finos, que pasa la malla +200. Como se observa en la tabla, en el OCC se registra el incremento significativo de la fracción de finos (37,88 %), a expensas de la disminución abrupta en longitud de las fibras retenidas en la malla +16, comparado con el DKL.

El análisis morfológico permitió determinar con precisión las características morfológicas de las materias primas fibrosas, evidenciando que en las fibras DKL existe mayor longitud promedio, ancho, densidad lineal, macrofibrilación y extremos rotos, en relación con las fibras OCC. No obstante, las fibras DKL presentan menores puntos de doblez y curvatura, así como fracción de finos, respecto a las fibras OCC.

En esa misma línea, en la figura 31 se muestran imágenes de ambas materias primas, obtenidas con el equipo de caracterización de fibras, Morfi, donde las diferencias más resaltantes de las fibras recicladas están relacionadas con la longitud, macrofibrilación y finos. A su vez, se distingue el mayor deterioro de las fibras OCC respecto al DKL, debido a la fuerte delaminación de sus paredes fibrilares, acortamiento de su longitud y presencia de muchas fibrilas sueltas originadas por su constante reciclado.

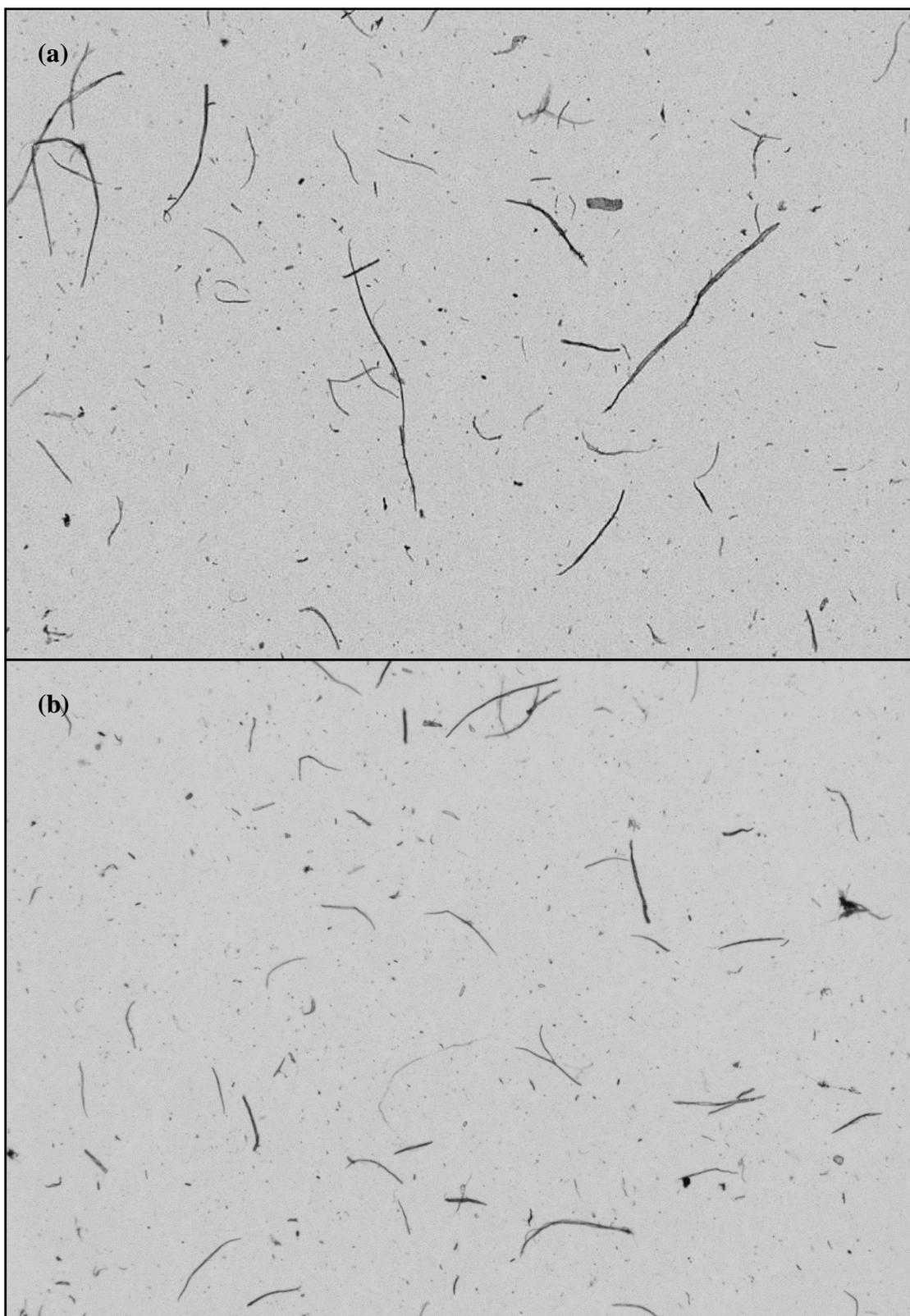


Figura 31: (a) Fibras DKL (1/50). (b) Fibras OCC (1/50).

2. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LAS PULPAS REFINADAS Y SUS MEZCLAS

2.1. CONSISTENCIA

En la tabla 17 se observan los resultados promedio de consistencia durante el refinado en relación a las variables de estudio, encontrándose en el rango de 3,80 % y 4,89 %. Cabe aclarar que, la consistencia determinada para todos los ensayos fue del 4 %, sin embargo, las diferencias entre las mismas fueron resultado de la variabilidad en la toma de muestras.

En cuanto a las pulpas que han sido sometidas al refinado se puede decir que, la consistencia es un parámetro que las afecta considerablemente. El intervalo más usual de consistencia en el refinado es de 3,5 % a 6,0 % y que, al ir aumentando, el efecto de corte disminuye y aumenta la fibrilación debido a una mejor interacción y adhesión entre fibras, así como la menor deformación sufrida en comparación al refinado de baja concentración (Torres, 2005).

Tabla 17: Resultados promedio y desviaciones estándar de la consistencia de pulpa durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Código	Proporción de mezcla	Nivel de Entrehierro - N	Consistencia (%)	
			Media	Desviación estándar
ASR	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	4,14	0,036
AN ₁₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	3,89	0,046
AN ₁₀	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	4,12	0,040
AN ₀₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	3,82	0,098
BSR	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	4,14	0,047
BN ₁₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	3,82	0,026
BN ₁₀	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	3,84	0,062
BN ₀₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	3,96	0,030
CSR	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	4,89	0,025
CN ₁₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	3,86	0,035
CN ₁₀	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	3,97	0,020
CN ₀₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	3,99	0,043
DSR	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	4,47	0,026
DN ₁₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	3,98	0,015
DN ₁₀	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	3,95	0,040
DN ₀₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	4,20	0,020
ESR	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	3,80	0,078
EN ₁₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	4,01	0,021
EN ₁₀	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	4,33	0,027
EN ₀₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	4,23	0,032

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

El análisis de varianza de la consistencia según proporción de mezcla y nivel de entrehierro en la tabla 18 indica que, existe influencia altamente significativa de las variables y su interacción, en la consistencia de pulpa. Cabe añadir que, cada proporción de mezcla de fibras recicladas DKL/OCC presentó distinto comportamiento en el pulper y refinador, a pesar de las condiciones similares de operación (velocidad, caudal y presión). En tanto, Da Silva (2011) indica que, la variabilidad de la consistencia en pulpas refinadas, puede deberse al estado inicial de las fibras que al presentarse como flóculos y no como fibras individualizadas, necesitarán moverse a través del entrehierro y dentro de las ranuras de los discos, generando variaciones en el contenido de agua de las pulpas cuando se toman las muestras a la salida del refinador.

Tabla 18: Análisis de varianza de los resultados de la consistencia de pulpa.

Variables	Grados de libertad	Consistencia de pulpa	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla	4	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,000	*
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,000	*
Error	30		
Total	44		

Dónde: * (variable significativa).

2.2. COMPOSICIÓN FIBROSA Y CARACTERÍSTICAS

2.2.1. FRACCIONES DE FIBRAS CLASIFICADAS

La clasificación de fibras permitió conocer el contenido de fibras largas, cortas y finos presentes en las pulpas, y se determinó en la tabla 19 mediante el análisis de varianza, la influencia altamente significativa entre la proporción de mezcla, nivel de entrehierro y su interacción, sobre la distribución porcentual en masa de las fibras retenidas por malla.

Tabla 19: Análisis de varianza de los resultados de la Clasificación de fibras.

Variables	Grados de libertad	Longitud de fibra	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla*Mallas	20	0,000	*
Nivel de entrehierro*Mallas	10	0,000	*
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro*Mallas	40	0,000	*
Error	0		
Total	269		

Dónde: * (variable significativa).

En la tabla 20, se observa la clasificación de fibras para todas las proporciones de mezcla, y se observa que, las pulpas que no han sido refinadas registran una relación inversa entre la malla +16 y finos, ya que, conforme se adicionan fibras más cortas del tipo OCC a la mezcla, las fibras retenidas en la primera malla disminuyen gradualmente y la fracción de finos se incrementa; mientras que en las mallas +30, +50, +100 y +200, la distribución de fibras es variada con una leve tendencia ascendente. Esto coincide con los estudios realizados por Vidal *et al.* (s/f.) quienes mencionan que, para las pulpas recicladas, el aumento de finos se relaciona con el incremento de las fracciones más cortas a expensas de las fibras más largas, quedando prácticamente inalteradas las fracciones intermedias.

Tabla 20: Resultados promedio de las fracciones en clasificación de fibras para cada proporción de mezcla a diferentes niveles de entrehierro.

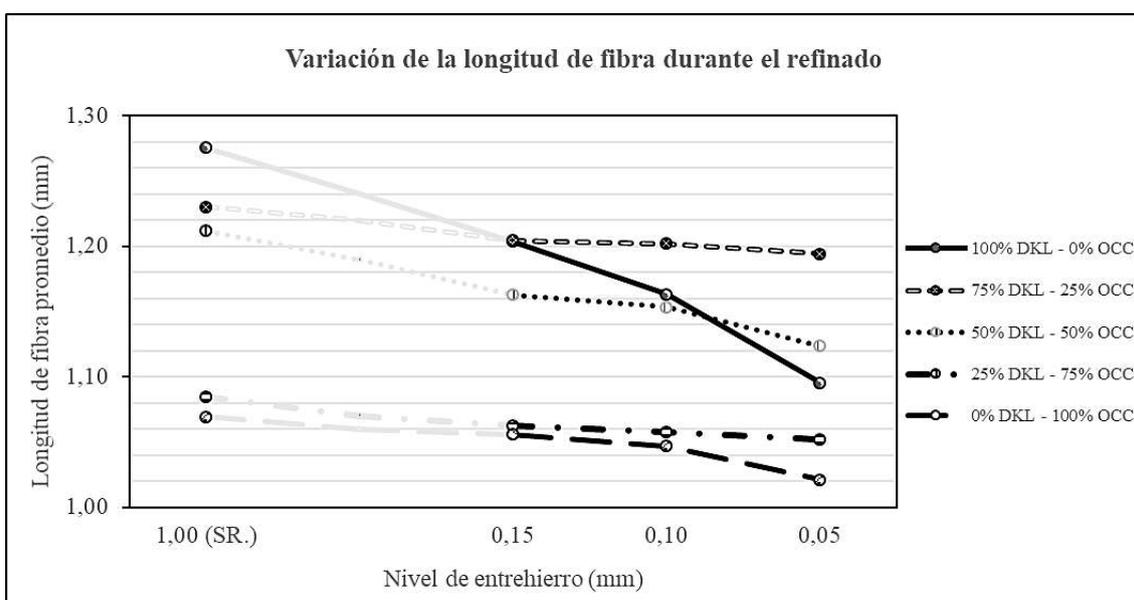
Proporción de mezcla	Clasificación de fibras	SR	Nivel de entrehierro (mm)			
			N ₁₅	N ₁₀	N ₀₅	
		1,00	0,15	0,10	0,05	
A 100 % DKL - 0 % OCC	Malla +16 (>1,190 mm)	%	31,12	24,17	23,40	22,38
	Malla +30 (>0,595 mm)	%	11,85	11,76	11,42	11,65
	Malla +50 (>0,297 mm)	%	14,62	15,65	13,18	13,42
	Malla +100 (>0,149 mm)	%	17,25	17,94	18,37	17,61
	Malla +200 (>0,074 mm)	%	1,26	1,61	1,10	0,96
	Finos (<0,074 mm)	%	23,90	28,87	32,53	33,98
B 75 % DKL - 25 % OCC	Malla +16 (>1,190 mm)	%	30,22	25,45	24,76	21,78
	Malla +30 (>0,595 mm)	%	10,54	10,05	10,04	9,65
	Malla +50 (>0,297 mm)	%	12,75	12,27	11,19	11,06
	Malla +100 (>0,149 mm)	%	14,79	17,96	18,34	17,64
	Malla +200 (>0,074 mm)	%	1,86	0,98	0,93	1,03
	Finos (<0,074 mm)	%	29,84	33,29	34,74	38,84
C 50 % DKL - 50 % OCC	Malla +16 (>1,190 mm)	%	24,17	19,66	18,97	18,37
	Malla +30 (>0,595 mm)	%	10,83	11,19	10,93	10,60
	Malla +50 (>0,297 mm)	%	12,62	12,65	12,35	12,58
	Malla +100 (>0,149 mm)	%	20,48	20,28	20,46	19,16
	Malla +200 (>0,074 mm)	%	1,12	1,13	1,29	0,97
	Finos (<0,074 mm)	%	30,78	35,09	36,00	38,32
D 25 % DKL - 75 % OCC	Malla +16 (>1,190 mm)	%	17,22	16,21	16,00	15,10
	Malla +30 (>0,595 mm)	%	11,94	12,35	12,15	11,84
	Malla +50 (>0,297 mm)	%	16,23	15,97	15,83	15,58
	Malla +100 (>0,149 mm)	%	19,69	19,63	17,74	18,29
	Malla +200 (>0,074 mm)	%	1,54	1,47	1,26	0,94
	Finos (<0,074 mm)	%	33,38	34,37	37,02	38,25
E 0 % DKL - 100 % OCC	Malla +16 (>1,190 mm)	%	16,31	15,58	14,62	14,35
	Malla +30 (>0,595 mm)	%	11,13	10,88	10,87	10,13
	Malla +50 (>0,297 mm)	%	16,80	12,35	12,80	14,23
	Malla +100 (>0,149 mm)	%	19,72	19,00	18,97	17,86
	Malla +200 (>0,074 mm)	%	1,15	2,22	1,36	0,60
	Finos (<0,074 mm)	%	34,89	39,97	41,38	42,83

Dónde: SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

- Para la mezcla A, según la tabla 20, el porcentaje en masa de fibras retenidas en la malla +16 de la pulpa **A_{SR}** tiende a disminuir considerablemente del 7 al 9 % cuando es sometida al refinado, generando una gran cantidad de finos a medida que se ajusta el nivel de entrehierro. Por el contrario, se aprecia que varía levemente el porcentaje de fibras retenidas de las mallas +30, +50, +100 y +200.
- Para la mezcla B, según la tabla 20, la mayor variación en masa de fibras se registra en la malla +16, cuando la pulpa **B_{SR}** disminuye del 5 al 8 % al ser refinada, y los finos aumentan alrededor del 39 %, con un entrehierro de 0,05 mm debido a un mayor efecto de corte. En cuanto a las pulpas refinadas, no se registraron diferencias notables en las mallas +30, +50 y +200; aunque a diferencia de estas mallas, se ve reflejado el aumento gradual de fibras en la fracción +100 a costa de la malla +16.
- Para la mezcla C, conforme a la tabla 20, la mayor variación en masa de fibras se da en la malla +16, cuando la pulpa **C_{SR}** es refinada, descendiendo del 4 al 6 %, mientras los finos se acentúan hasta alcanzar el 38,32 %; sin embargo, en las mallas +30, +50, +100 y +200, los porcentajes de fibras retenidas no presentaron alteraciones, por lo que, la reducción porcentual en masa de la primera malla se relaciona directamente con el aumento de los finos.
- Para la mezcla D, conforme a la tabla 20, la variación más amplia en masa de fibras ocurre en la malla +16, cuando la pulpa **D_{SR}** es refinada a 0,05 mm, disminuyendo 2 %; mientras que, la fracción finos se eleva hasta un 38,25 %, similar a las anteriores mezclas. En las mallas +50, +100 y +200 se observa una reducción leve en masa para pulpas refinadas a 0,10 mm y 0,05 mm.
- Para la mezcla E, según la tabla 20, la pulpa **E_{SR}** conformada en su totalidad por fibras OCC, evidencia directamente el incremento de finos, los cuales aumentan drásticamente mientras se ajusta el entrehierro en relación con las anteriores mezclas. Es importante señalar que, la pulpa al ser refinada tendrá un efecto de corte más intenso en las mallas +16, +50 y +100, generando un aumento gradual de finos entre 39,97 % y 42,83 %.

2.2.2. LONGITUD DE FIBRA

Al evaluar la longitud promedio de fibra durante el refinado según proporción de mezcla y nivel de entrehierro (figura 32) se aprecia que, la longitud de fibra es un parámetro característico de evaluación que permite diferenciar el tipo de pulpa; por lo que, la proporción de mezcla que contiene el 100 por ciento de fibras DKL sin refinado, presenta el mayor valor en longitud de fibra; por otro lado, la menor longitud de fibra se registra para la pulpa sin refinado constituida por un 100 por ciento de fibras OCC. Esta última premisa guarda relación con lo expresado por Guo *et al.* (2011) quienes indican que, a mayor reciclado de la materia prima, ocurren cambios morfológicos tales como la pérdida de hinchamiento y reducción del tamaño de fibras.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 32: Variación de la longitud de fibra promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

En las pulpas refinadas se visualiza que, la disminución de la longitud de fibra es más pronunciada conforme incrementa la fracción de fibras DKL y el nivel de entrehierro es más pequeño. Por el contrario, a mayor porcentaje de fibras OCC, la variación de la longitud tiende a ser menos drástica con los mismos niveles de entrehierro. Ferluc *et al.* (2010) observaron que, en las pulpas refinadas a baja consistencia y con entrehierros idénticos, la longitud de fibra se redujo más para la pulpa con una longitud promedio de fibra más alta, que la pulpa con una longitud promedio de fibra más corta.

La tabla 21 muestra los resultados promedio de la longitud de fibra durante el refinado según las variables de estudio, donde se aprecia que los valores para las pulpas sin refinado (A_{SR} , B_{SR} , C_{SR} , D_{SR} y E_{SR}) correspondientes a las cinco proporciones de mezcla se encuentran entre 1,06 mm y 1,27 mm. Además, se observa una clara diferencia entre las pulpas refinadas, las cuales presentan longitudes que van desde 1,20 mm hasta 1,02 mm en relación con el ajuste del nivel de entrehierro de 0,15 mm a 0,05 mm.

Tabla 21: Resultados promedio y desviaciones estándar de la longitud de fibra durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Código	Proporción de mezcla	Nivel de Entrehierro - N	Longitud (mm)	
			Media	Desviación estándar
A_{SR}	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	1,27	0,025
AN_{15}	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	1,20	0,041
AN_{10}	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	1,16	0,040
AN_{05}	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	1,09	0,023
B_{SR}	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	1,23	0,018
BN_{15}	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	1,20	0,038
BN_{10}	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	1,20	0,011
BN_{05}	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	1,19	0,016
C_{SR}	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	1,21	0,014
CN_{15}	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	1,16	0,023
CN_{10}	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	1,15	0,039
CN_{05}	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	1,12	0,027
D_{SR}	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	1,08	0,024
DN_{15}	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	1,06	0,011
DN_{10}	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	1,05	0,017
DN_{05}	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	1,05	0,031
E_{SR}	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	1,06	0,023
EN_{15}	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	1,05	0,022
EN_{10}	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	1,04	0,008
EN_{05}	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	1,02	0,069

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N_{15} , N_{10} y N_{05} , refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

En la tabla 22 se presenta el análisis de varianza de las variables de estudio respecto a la longitud promedio de fibra y se afirma que hay influencia altamente significativa de la proporción de mezcla y el nivel de entrehierro, que influye en la longitud de fibra. Según Ostos (1997), esto puede explicarse por la separación de cuchillas en los discos, la cual modifica el número de cortes por unidad de tiempo que se imparte a la fibra y afecta directamente su longitud promedio. Es preciso resaltar que, el refinado se realizó con un

juego de discos de configuración 2 mm x 3 mm x 6 mm, recomendado para fibras recicladas de longitud relativamente corta, que ante la presencia de fibras más largas del tipo DKL, generó un mayor efecto de corte en estas últimas.

Tabla 22: Análisis de varianza de los resultados de longitud de fibra.

Variables	Grados de libertad	Longitud de fibra	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla	4	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,000	*
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,066	N.S.
Error	60		
Total	74		

Dónde: * (variable significativa); N.S. (variable no significativa).

2.2.2.1. Relación entre la clasificación por tamices y morfológica

En la tabla 23, se presentan los resultados de la clasificación de fibras y la longitud ponderada de fibra para cada proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Tabla 23: Relación de los resultados obtenidos entre las fracciones de fibras clasificadas y la longitud ponderada de fibra.

Proporción de mezcla	Composición fibrosa	SR	Nivel de entrehierro (mm)				
			1,00	N ₁₅ 0,15	N ₁₀ 0,10	N ₀₅ 0,05	
100 % DKL - 0 % OCC	Fracción de fibra clasificada	Malla +16 (>1,190 mm)	%	31,12	24,17	23,40	22,38
		Malla +30 (>0,595 mm)	%	11,85	11,76	11,42	11,65
	Longitud ponderada	mm	1,275	1,203	1,163	1,094	
75 % DKL - 25 % OCC	Fracción de fibra clasificada	Malla +16 (>1,190 mm)	%	30,22	25,45	24,76	21,78
		Longitud ponderada	mm	1,230	1,205	1,202	1,194
	50 % DKL - 50 % OCC	Fracción de fibra clasificada	Malla +16 (>1,190 mm)	%	24,17	19,66	18,97
Malla +30 (>0,595 mm)			%	10,83	11,19	10,93	10,60
Longitud ponderada		mm	1,211	1,162	1,153	1,124	
25 % DKL - 75 % OCC	Fracción de fibra clasificada	Malla +16 (>1,190 mm)	%	17,22	16,21	16,00	15,10
		Malla +30 (>0,595 mm)	%	11,94	12,35	12,15	11,84
	Longitud ponderada	mm	1,084	1,063	1,055	1,052	
0 % DKL - 100 % OCC	Fracción de fibra clasificada	Malla +16 (>1,190 mm)	%	16,31	15,58	14,62	14,35
		Malla +30 (>0,595 mm)	%	11,13	10,88	10,87	10,13
	Longitud ponderada	mm	1,065	1,056	1,046	1,021	

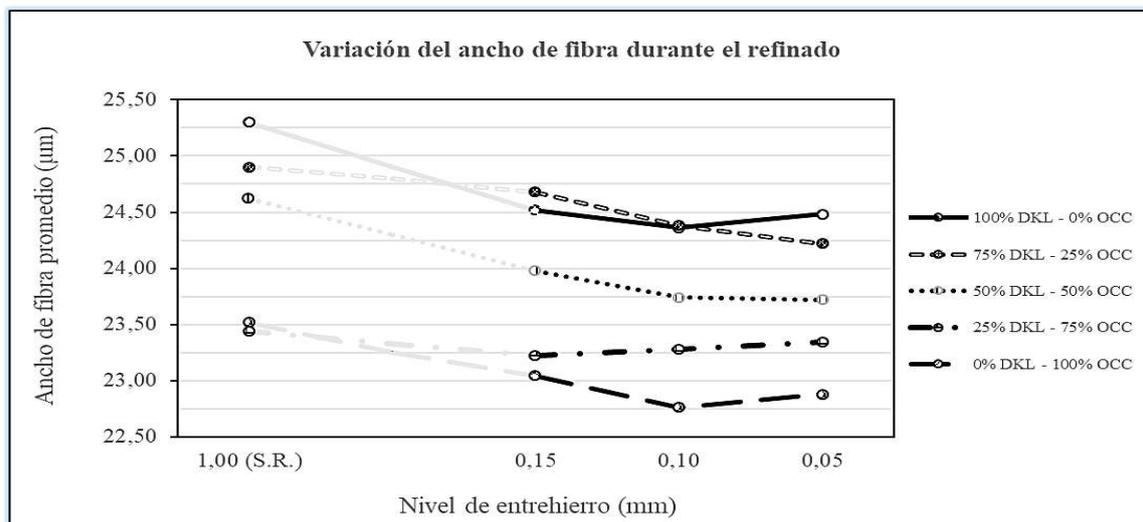
Dónde: SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Las pulpas con mayor proporción de fibras DKL, presentan altos valores en longitud de fibra, entre 1,230 mm y 1,275 mm, los cuales se encuentran por encima de la malla +16 y representan la fracción de fibras largas DKL, coincidiendo con los mayores porcentajes en masa de fibras retenidas (30,22 % y 31,12 %). En cambio, cuando las pulpas son refinadas ajustando el entrehierro, se distingue que las masas porcentuales en la malla +16 y las longitudes de fibra disminuyen para dar paso al incremento de las mallas posteriores, sin embargo, en su mayoría, las longitudes promedio de fibra aún se mantienen por encima de 1,190 mm. Cabe aclarar que, las pulpas con 100 % de fibras DKL y refinadas a 0,10 mm y 0,05 mm, sufrieron un efecto de corte más intenso, por lo que, su longitud de fibra disminuyó drásticamente, situándose en la malla +30 con una longitud promedio de 1,163 mm y 1,094 mm, respectivamente.

En cuanto a las pulpas con mayor fracción de fibras OCC, se observa que las longitudes de fibra tienden a ser más bajas, entre 1,065 mm y 1,084 mm, los cuales se sitúan entre las mallas 16 - 30, evidenciándose el acortamiento de la longitud; aunque los porcentajes en masa de fibras retenidas en la malla +30 (11,13 % y 11,94 %) son relativamente menores a los valores obtenidos sobre la malla +16 (16,31 % y 17,22 %). Por otro lado, las pulpas refinadas reflejaron un leve descenso en las mallas +16 y +30 conforme se ajustó el entrehierro; sin embargo, todas las longitudes promedio de las fibras permanecieron sobre la malla +30.

2.2.3. ANCHO DE FIBRA

En la figura 33 se presenta la variación del ancho de fibra durante el refinado, donde se observa que la reducción del ancho más abrupta está ligada con las proporciones de mezcla que incluyen un 100 por ciento de fibras DKL u OCC, o cuando las cantidades porcentuales de ambas fibras son iguales. Asimismo, se aprecia en su mayoría que, las pulpas refinadas con un entrehierro de 0,10 mm, presentan una marcada disminución en el ancho de fibra; no obstante, a 0,05 mm su valor se estabiliza o aumenta respecto al anterior entrehierro. Según Cadena (2008), la variación del ancho a 0,05 mm fue menor porque la rotura y aplastamiento de la pared de la fibra a dicho entrehierro generó la exposición de sus partes internas a mayor hidratación e hinchamiento.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 33: Variación del ancho de fibra promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

En relación con lo anterior, se aprecia una tendencia descendente en ancho de fibra similar a la figura 32, relacionado con la longitud de fibra hasta un entrehierro de 0,10 mm; lo cual es explicado por Cea (2011) y Gavazzo (2016) quienes comprobaron que, por efectos del reciclado se acorta la longitud individual de fibra y se reduce el área de la sección transversal de la fibra por desprendimiento de las capas de la pared fibrilar.

La tabla 24 muestra los resultados promedio del ancho de fibra durante el refinado, observándose que, los valores para las pulpas sin refinado (A_{SR} , B_{SR} , C_{SR} , D_{SR} y E_{SR}) correspondientes a las cinco proporciones de mezcla, presentan mayor variación entre sí en relación con la longitud (tabla 21), encontrándose entre 23,44 μm y 25,30 μm . Según Núñez (2008) y Sixta (2006), esto ocurre porque el ancho es un parámetro variable a lo largo de la fibra e inclusive en el mismo sitio, puesto que no tiene una sección circular, siendo necesario registrar el promedio de varias lecturas. Además, se distingue una clara diferencia entre las pulpas refinadas, las cuales presentan anchos que van desde 24,68 μm hasta 22,76 μm , en relación con el ajuste del nivel de entrehierro de 0,15 mm a 0,05 mm.

En la tabla 25 se presenta el análisis de varianza de las variables de estudio respecto al ancho promedio de fibra y se confirma que, existe influencia significativa de la proporción de mezcla y nivel de entrehierro en el ancho de fibra. Los estudios realizados por Da Silva (2015) indican que, la variación en el ancho de fibra puede explicarse con el contenido de

lignina residual en la pulpa, lo cual significaría que las fibras que fueron recicladas pocas veces, como lo son las fibras DKL, presentan mayor ancho y contenido de lignina a diferencia de las fibras OCC. En efecto, Da Silva (2015) y Manfredi (2010) analizaron que la composición de pulpas OCC consiste de un material de gran heterogeneidad, compuesto por fibras de coníferas (pino) y latifoliadas (eucalipto) obtenidas tanto por pulpado químico y mecánico, los cuales generan gran variabilidad en el ancho de las fibras.

Tabla 24: Resultados promedio y desviaciones estándar del ancho de fibra durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Código	Proporción de mezcla	Nivel de entrehierro - N	Ancho (μm)	
			Media	Desviación estándar
A_{SR}	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	25,30	0,158
AN ₁₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	24,52	0,148
AN ₁₀	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	24,36	0,288
AN ₀₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	24,48	0,130
B_{SR}	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	24,90	0,200
BN ₁₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	24,68	0,179
BN ₁₀	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	24,38	0,311
BN ₀₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	24,22	0,277
C_{SR}	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	24,62	0,110
CN ₁₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	23,98	0,164
CN ₁₀	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	23,74	0,182
CN ₀₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	23,72	0,295
D_{SR}	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	23,44	0,207
DN ₁₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	23,22	0,084
DN ₁₀	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	23,28	0,217
DN ₀₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	23,34	0,207
E_{SR}	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	23,52	0,259
EN ₁₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	23,04	0,251
EN ₁₀	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	22,76	0,270
EN ₀₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	22,88	0,572

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

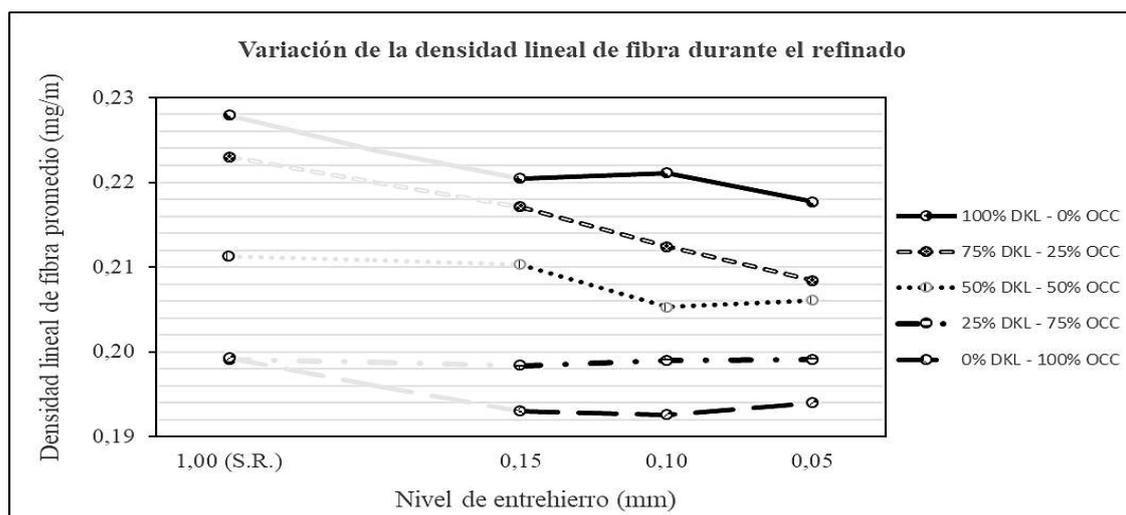
Tabla 25: Análisis de varianza de los resultados del ancho de fibra.

Variables	Grados de libertad	Ancho de fibra	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla	4	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,033	*
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,439	N.S.
Error	60		
Total	74		

Dónde: * (variable significativa); N.S. (variable no significativa).

2.2.4. DENSIDAD LINEAL DE LA FIBRA

La variación de la densidad lineal promedio de fibra durante el refinado (figura 34), evidencia una tendencia descendente en la interacción proporción de mezcla y nivel de entrehierro conforme se va añadiendo fibras OCC, el cual llega a ser constante, cuando la mezcla incluye por lo menos el 75 por ciento de fibras OCC; mientras que, el valor más alto de densidad lineal se le atribuye a la pulpa sin refinado conformada por fibras DKL. Núñez (2008) explica que, estas diferencias de densidad lineal entre fibras recicladas DKL y OCC, se relacionan directamente con el ancho y espesor de la pared de fibra.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 34: Variación de densidad lineal de fibra promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

En ese mismo contexto, cuando las pulpas pasan a la etapa de refinado con el nivel de entrehierro más abierto (0,15 mm), presentan una ligera disminución de densidad lineal en todas las proporciones de mezcla. En cuanto al comportamiento de la densidad lineal para entrehierros de 0,10 mm y 0,05 mm, los valores tienden a estabilizarse cuando las pulpas refinadas contienen por lo menos el 50 por ciento de fibras OCC; por el contrario, las pulpas refinadas a los mismos entrehierros presentan una disminución progresiva de la densidad lineal, cuando la porción de fibras DKL es superior al de OCC.

La tabla 26 muestra los resultados promedio de densidad lineal de fibra durante el refinado respecto a las variables de estudio, donde se observa que, los valores para las pulpas sin refinado (A_{SR} , B_{SR} , C_{SR} , D_{SR} y E_{SR}) correspondientes a las cinco proporciones de mezcla, se

encuentran entre 0,1993 mg/m y 0,2279 mg/m. Además, se aprecia una clara diferencia entre las pulpas refinadas, que van desde 0,2204 mg/m hasta 0,1925 mg/m respecto al ajuste del nivel de entrehierro de 0,15 mm a 0,05 mm.

Tabla 26: Resultados promedio y desviaciones estándar de densidad lineal de fibra durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

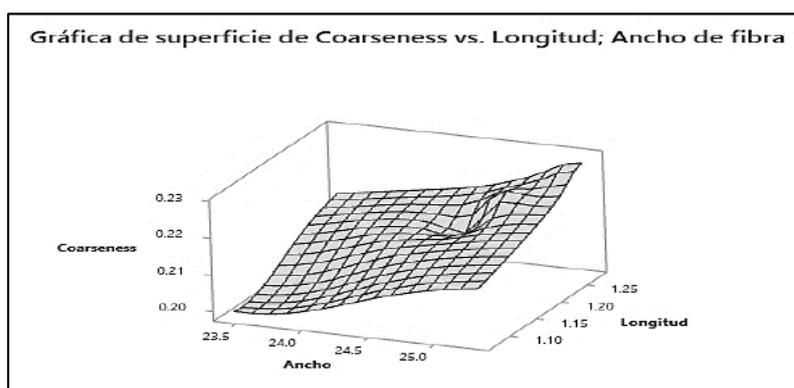
Código	Proporción de mezcla	Nivel de entrehierro - N	Densidad lineal (mg/m)	
			Media	Desviación estándar
ASR	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	0,2279	0,004
AN ₁₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	0,2204	0,006
AN ₁₀	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	0,2211	0,017
AN ₀₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	0,2177	0,004
BSR	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	0,2229	0,006
BN ₁₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	0,2171	0,009
BN ₁₀	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	0,2124	0,007
BN ₀₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	0,2084	0,007
CSR	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	0,2113	0,007
CN ₁₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	0,2103	0,009
CN ₁₀	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	0,2053	0,004
CN ₀₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	0,2061	0,004
DSR	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	0,1993	0,003
DN ₁₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	0,1984	0,003
DN ₁₀	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	0,1990	0,002
DN ₀₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	0,1991	0,005
ESR	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	0,1993	0,005
EN ₁₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	0,1929	0,007
EN ₁₀	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	0,1925	0,003
EN ₀₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	0,1940	0,016

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Cabe resaltar que, en la tabla 26, se observan algunos valores de densidad lineal que aumentan cuando el entrehierro disminuye. Según las investigaciones de Pakarinen *et al.* (2010), durante el refinado, la densidad lineal de una fibra reciclada puede aumentar debido al hinchamiento del espesor de la pared de la fibra en dirección al lumen en presencia de agua y la reducción del volumen de los poros.

En relación con la anterior tabla, se muestra en la figura 35, la gráfica de superficie de la densidad lineal según la longitud y ancho de fibra para las pulpas sin refinado, y se observa que, hay una relación directa entre las tres características morfológicas A mayores valores de longitud y ancho, la densidad lineal se eleva y coinciden con las pulpas de mayor

porcentaje de fibras DKL; sin embargo, ocurre lo contrario para las pulpas con elevada porción de fibras OCC. Esto se vincula con lo expuesto por AFT (2001) quien indica que, para fibras de una longitud promedio dada, la densidad lineal es una medida del área de la sección transversal de la fibra; y para un ancho promedio dado, es una medida del espesor de la pared; mientras Sixta (2006) afirma que en general, la densidad lineal incrementa con la longitud de la fibra porque refleja el peso del material de la pared fibrilar, sobretodo en fibras que han sido recicladas pocas veces, las cuales presentan menor flexibilidad y capacidad de formación de enlaces interfibras.



Dónde: Densidad lineal (mg/m), ancho (μm) y longitud (mm).

Figura 35: Superficie de respuesta de densidad lineal según longitud y ancho de fibra para pulpas sin refinado de las diferentes proporciones de mezcla.

En la tabla 27 se presenta el análisis de varianza de las variables respecto a la densidad lineal promedio de fibra y se verifica que, solo existe influencia altamente significativa de la proporción de mezcla sobre la densidad lineal de fibra. Sixta (2006) afirma que, las fibras delgadas son más flexibles y colapsan fácilmente en forma de cinta durante la formación, haciéndolas menos susceptibles a cambios drásticos en densidad lineal, en comparación con las fibras más gruesas.

Tabla 27: Análisis de varianza de los resultados de la densidad lineal de fibra.

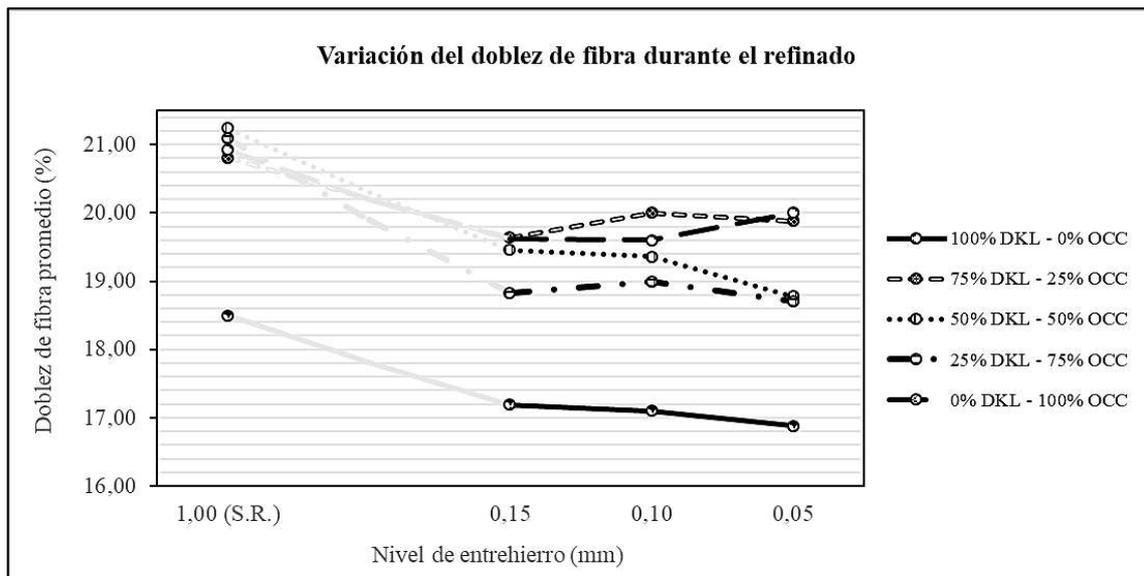
Variables	Grados de libertad	Densidad lineal de fibra	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla	4	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,512	N.S.
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,942	N.S.
Error	60		
Total	74		

Dónde: * (variable significativa); N.S. (variable no significativa).

2.2.5. DOBLEZ DE FIBRA (KINK)

En la figura 36 se observa la variación del valor de doblez promedio de fibra durante el refinado, donde se aprecia que, para la pulpa cuyo porcentaje de fibras DKL es del 100 por ciento, la línea de tendencia de doblez es inferior con respecto a las demás proporciones, y esto ocurre cuando la pared de la fibra es relativamente ancha y se generan pocas zonas comprimidas axialmente; Zanuttini (2012) sostiene que, la flexibilidad de fibra disminuye mientras se reduce la presencia de puntos de quiebre. En cambio, la adición de fibras OCC a las diferentes mezclas, evidencia un incremento en el valor de doblez, lo cual coincide con lo expuesto por Turrado *et al.* (2008) quienes indican que, las microcompresiones y quiebres están relacionados con la reducción de la longitud de fibra.

En general, los valores de doblez disminuyen cuando las pulpas pasan por una etapa inicial de refinado, siendo más drástica con el nivel de entrehierro más bajo (0,05 mm); a excepción de la pulpa refinada conformada en su totalidad por fibras OCC, en el que se observa la menor variación de doblez al mismo entrehierro y puede entenderse según Gavazzo (2020), al menor grado de dislocación en las fibras formando pocos ángulos de quiebre por efecto del estrés debido a los esfuerzos mecánicos.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 36: Variación del doblez de fibra promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

La tabla 28 muestra los resultados promedio del doblez de fibra durante el refinado respecto a las variables de estudio, observándose que, los valores para las pulpas sin refinado (A_{SR} , B_{SR} , C_{SR} , D_{SR} y E_{SR}) correspondientes a las cinco proporciones de mezcla, se encuentran entre 19,50 % y 21,24 %. También, se distingue una ligera reducción de doblez en las pulpas refinadas, las cuales presentan valores de doblez entre 20,00 % y 16,88 % según ajuste del nivel de entrehierro desde 0,15 mm hasta 0,05 mm, que puede deberse al colapso o ruptura de la fibra durante la deformación, producto de la creación de zonas débiles invisibles que bajan la rigidez de la pared celular (Gavazzo, 2020).

Tabla 28: Resultados promedio y desviaciones estándar del doblez de fibra durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Código	Proporción de mezcla	Nivel de entrehierro - N	Dobleza (%)	
			Media	Desviación estándar
A_{SR}	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	19,50	0,469
AN_{15}	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	17,18	0,438
AN_{10}	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	17,10	0,579
AN_{05}	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	16,88	0,676
B_{SR}	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	20,81	0,753
BN_{15}	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	19,64	0,559
BN_{10}	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	20,00	0,696
BN_{05}	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	19,88	0,432
C_{SR}	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	21,24	1,053
CN_{15}	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	19,46	0,680
CN_{10}	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	19,36	0,573
CN_{05}	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	18,78	0,526
D_{SR}	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	21,10	0,543
DN_{15}	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	18,82	0,719
DN_{10}	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	19,00	0,704
DN_{05}	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	18,70	0,418
E_{SR}	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	20,92	0,597
EN_{15}	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	19,62	0,634
EN_{10}	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	19,60	0,464
EN_{05}	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	20,00	0,567

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N_{15} , N_{10} y N_{05} , refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

En la tabla 29 se presenta el análisis de varianza de las variables de estudio con respecto al doblez promedio de fibra y se sostiene que, solo existe influencia altamente significativa de la proporción de mezcla sobre el doblez de fibra, lo cual guarda relación con lo expuesto en la figura 36.

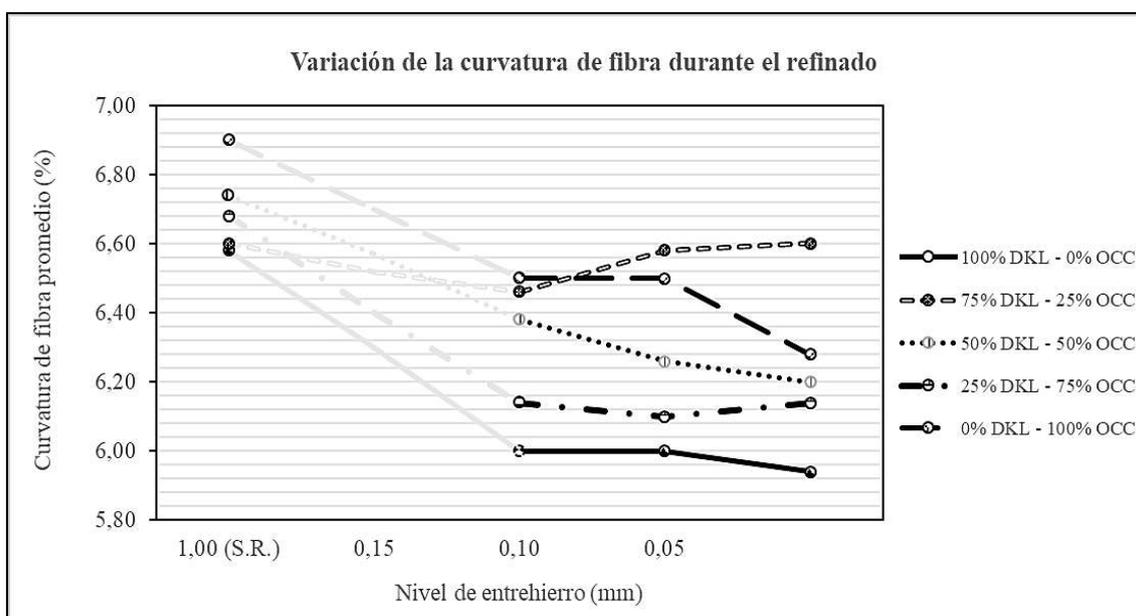
Tabla 29: Análisis de varianza de los resultados del dobléz de fibra.

Variables	Grados de libertad	Doblez de fibra	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla	4	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,628	N.S.
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,548	N.S.
Error	60		
Total	74		

Dónde: * (variable significativa); N.S. (variable no significativa).

2.2.6. CURVATURA DE FIBRA (CURL)

La variación de la curvatura de fibra durante el refinado según proporción de mezcla y nivel de entrehierro se presenta en la figura 37, donde se distingue que, la línea de tendencia de curvatura para una pulpa conformada por fibras DKL al 100 por ciento, se encuentra por debajo de las demás proporciones de mezcla, comportamiento similar a la variación del dobléz de fibra expuesta en la figura 36. En contraste con lo anterior, la adición de fibras OCC genera un incremento de la curvatura en pulpas sin refinado. Turrado *et al.* (2008) aseguran que, el acortamiento de la fibra está ligada con la presencia de más puntos de quiebre o dobleces, curvas y microcompresiones.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 37: Variación de la curvatura de fibra promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Con respecto a las pulpas que son sometidas al refinado se puede decir que, el ajuste del entrehierro a 0,15 mm genera una gran pérdida de curvatura, siendo más notoria para la proporción de mezcla con 100 por ciento de fibras DKL. En su mayoría, los valores de curvatura a entrehierros de 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm tienden a estabilizarse o disminuir ligeramente por efecto del refinado; sin embargo, ocurre lo contrario cuando a la pulpa se le añade la menor cantidad de fibras OCC (25 por ciento) y es refinada a 0,10 mm y 0,05 mm, dando como resultado el incremento de la curvatura de las fibras.

La tabla 30 muestra los resultados promedio de curvatura de fibra durante el refinado respecto a las variables de estudio, donde se distingue que, los valores para las pulpas sin refinado (A_{SR} , B_{SR} , C_{SR} , D_{SR} y E_{SR}) correspondientes a las cinco proporciones de mezcla, se encuentran entre 6,58 % y 6,90 %. Además, se observa una ligera diferencia de la curvatura para pulpas refinadas, entre 6,60 % y 5,94 % según ajuste del nivel de entrehierro desde 0,15 mm hasta 0,05 mm.

Tabla 30: Resultados promedio y desviaciones estándar de la curvatura de fibra durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Código	Proporción de mezcla	Nivel de entrehierro - N	Curvatura (%)	
			Media	Desviación estándar
A_{SR}	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	6,58	0,130
AN_{15}	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	6,00	0,100
AN_{10}	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	6,00	0,070
AN_{05}	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	5,94	0,054
B_{SR}	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	6,60	0,000
BN_{15}	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	6,46	0,151
BN_{10}	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	6,58	0,044
BN_{05}	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	6,60	0,187
C_{SR}	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	6,74	0,114
CN_{15}	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	6,38	0,083
CN_{10}	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	6,26	0,114
CN_{05}	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	6,20	0,141
D_{SR}	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	6,68	0,130
DN_{15}	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	6,14	0,114
DN_{10}	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	6,10	0,122
DN_{05}	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	6,14	0,134
E_{SR}	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	6,90	0,122
EN_{15}	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	6,50	0,122
EN_{10}	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	6,50	0,100
EN_{05}	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	6,28	0,342

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N_{15} , N_{10} y N_{05} , refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Cabe resaltar que en la tabla 30, la mayor variación de la curvatura se registró para una pulpa refinada cuyo porcentaje de fibras OCC es del 100 por ciento; lo cual es explicado por Howard *et al.* (1992) quienes mencionan que, la curvatura se reduce considerablemente como posible factor del reciclado durante el refinado, debido al aplastamiento y mayor acortamiento de las fibras. En tanto, la menor variación se evidenció para la pulpa con 75 por ciento de fibras DKL.

En la tabla 31 se presenta el análisis de varianza de las variables de estudio respecto a la curvatura promedio de fibra y se afirma que, únicamente existe influencia altamente significativa de la proporción de mezcla sobre la curvatura de fibra. Dicho comportamiento se asemeja con el análisis de variancia de doblez detallado en la tabla 29.

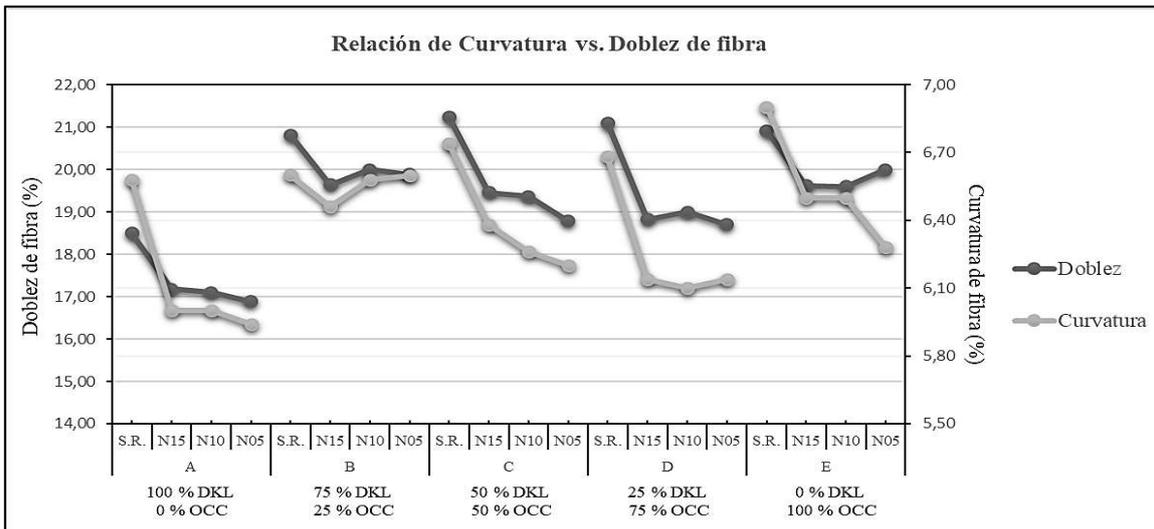
Tabla 31: Análisis de varianza de los resultados de la curvatura de fibra.

Variables	Grados de libertad	Curvatura de fibra	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla	4	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,234	N.S.
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,147	N.S.
Error	60		
Total	74		

Dónde: * (variable significativa); N.S. (variable no significativa).

Como se puede ver en la figura 38, la variación de curvatura es más pequeña que la de doblez, explicado por su desviación estándar en las tablas 28 y 30. Asimismo, ambas características morfológicas se relacionan directamente entre sí para las pulpas sin refinado a diferentes proporciones de mezcla, ya que, conforme se añaden fibras más cortas a las pulpas, aumentan las secciones de curvatura y doblez; por el contrario, cuantas más fibras largas presente, sus valores disminuyen considerablemente.

En esa misma línea, para la mayoría de pulpas refinadas se aprecia que, conforme se ajusta el entrehierro hasta su valor mínimo, los valores de curvatura y doblez tienden a disminuir, a excepción de la pulpa que contiene 25 por ciento de fibras OCC. Howard *et al.* (1992) realizaron estudios en mezclas de pulpas mecánica/química concluyendo que, la reducción de curvatura para las pulpas químicas recicladas se debe a la pérdida de hinchamiento (hornificación), mientras que, para las pulpas mecánicas recicladas, se debe al aplastamiento y flexibilización de las fibras.

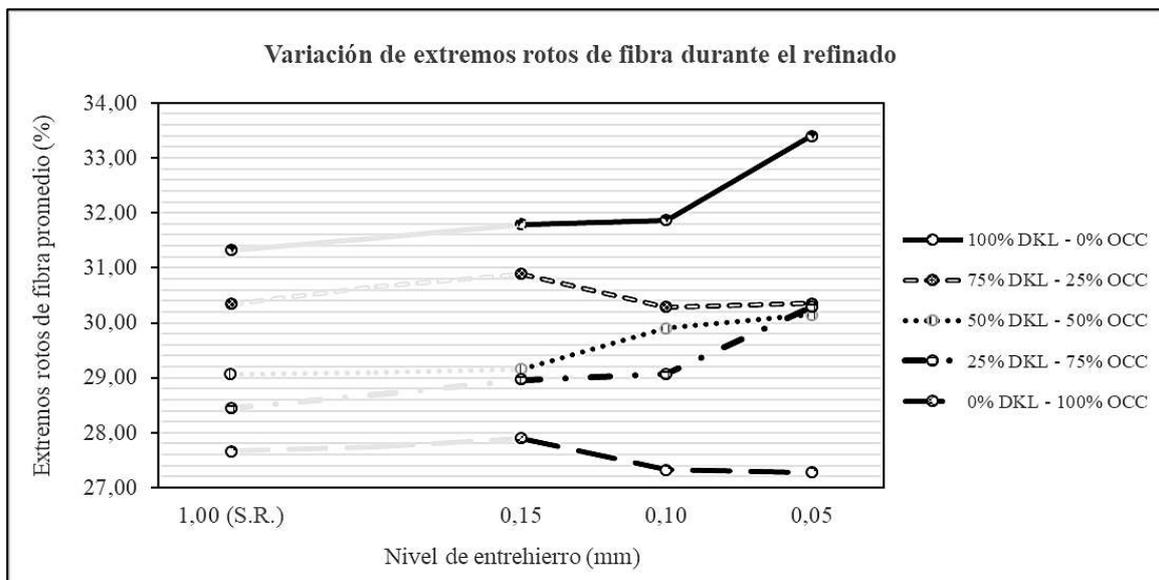


Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N15, N10 y N05, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Figura 38: Relación de curvatura y doblez de fibra en las pulpas antes y después del refinado según proporción de mezcla.

2.2.7. EXTREMOS ROTOS DE FIBRA

La figura 39 muestra la variación de extremos rotos de fibra durante el refinado según proporción de mezcla y nivel de entrehierro, en la cual se aprecia que las pulpas sin refinado presentan mayores valores de extremos rotos conforme incrementa la porción de fibras DKL en la mezcla y sucede lo opuesto, ante la presencia de mayor fracción de fibras cortas OCC.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 39: Variación de extremos rotos de fibra promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Por otra parte, se observa un comportamiento distinto de los extremos rotos de fibra respecto a las anteriores características morfológicas, puesto que, sus valores tienden a incrementar cuando las pulpas son refinadas a un entrehierro de 0,15 mm, sin embargo, la tendencia no es definida a entrehierros de 0,10 mm y 0,05 mm, conforme el refinado se vuelve más intenso.

En la tabla 32 se presentan los resultados promedio de extremos rotos de fibra durante el refinado respecto a las variables de estudio, donde se evidencia que, los extremos rotos de fibra para las pulpas sin refinado (A_{SR} , B_{SR} , C_{SR} , D_{SR} y E_{SR}) correspondientes a las cinco proporciones de mezcla oscilan entre 27,66 % y 31,32 %. En cuanto a las pulpas refinadas con entrehierros que van de 0,15 mm a 0,05 mm, se distingue una amplia variación de extremos rotos que van desde 27,28 % hasta 33,40 %, siendo la de mayor variación, la pulpa DN_{05} .

Tabla 32: Resultados promedio y desviaciones estándar de extremos rotos de fibra durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Código	Proporción de mezcla	Nivel de entrehierro - N	Extremos rotos (%)	
			Media	Desviación estándar
A_{SR}	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	31,32	0,419
AN_{15}	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	31,78	1,029
AN_{10}	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	31,87	0,946
AN_{05}	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	33,40	1,163
B_{SR}	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	30,34	0,920
BN_{15}	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	30,89	1,042
BN_{10}	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	30,29	0,670
BN_{05}	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	30,35	0,516
C_{SR}	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	29,06	0,537
CN_{15}	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	29,15	0,270
CN_{10}	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	29,90	1,170
CN_{05}	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	30,15	1,085
D_{SR}	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	28,44	0,477
DN_{15}	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	28,96	0,910
DN_{10}	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	29,07	0,250
DN_{05}	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	30,29	1,268
E_{SR}	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	27,66	0,921
EN_{15}	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	27,89	0,959
EN_{10}	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	27,32	0,724
EN_{05}	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	27,28	1,216

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N_{15} , N_{10} y N_{05} , refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Asimismo, se realizó el análisis de varianza de los extremos rotos de acuerdo a las variables de estudio, tal como se observa en la tabla 33, donde se evidencia únicamente la influencia altamente significativa de la proporción de mezcla en los extremos rotos de fibra. Aguilar (2004) sostiene que, el incremento de los ciclos de reciclado en el papel genera una pérdida de calidad debido a los cambios físicos y químicos en la superficie de la pared celular, interfiriendo en la capacidad de deformación fibrilar por la pérdida de hemicelulosas, trayendo consigo la reducción de zonas deterioradas en los extremos de las fibras.

Tabla 33: Análisis de varianza de los resultados de extremos rotos de fibra.

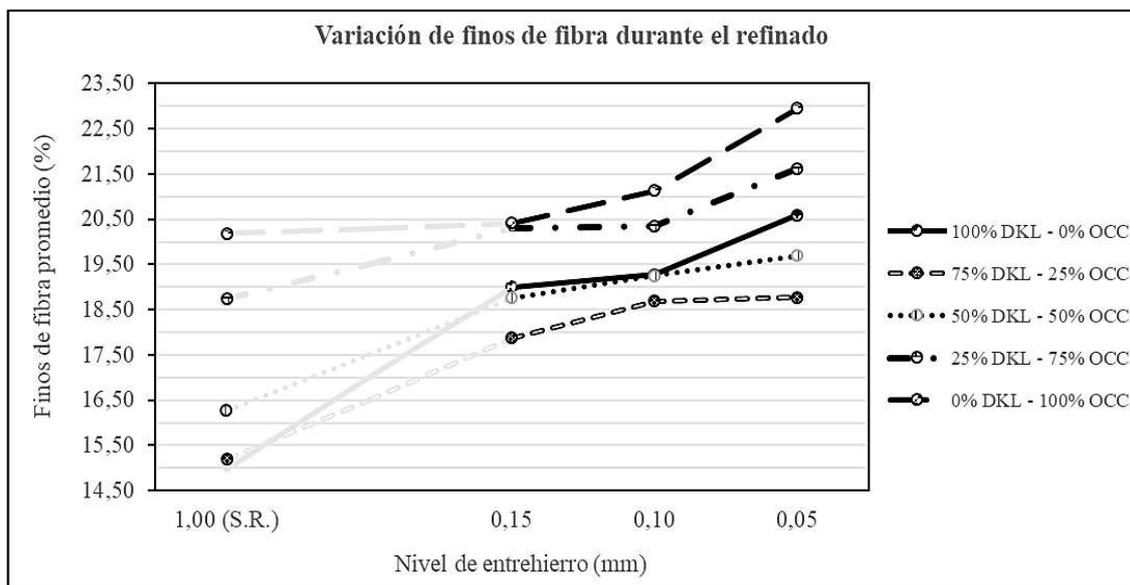
Variables	Grados de libertad	Extremos rotos de fibra	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla	4	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,050	N.S.
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,082	N.S.
Error	60		
Total	74		

Dónde: * (variable significativa); N.S. (variable no significativa).

2.2.8. FINOS

En la figura 40 se aprecia la variación de finos promedio durante el refinado, y se observa que, las pulpas sin refinado con mayor porcentaje de fibras DKL presentan menor contenido de finos; sin embargo, esto se invierte conforme se va adicionando fibras más cortas del tipo OCC. Gavazzo (2016) menciona que, las fibras OCC que han pasado por más etapas de reciclado y refinado, tienden a generar más finos en lugar de fibrilación, comportándose como cargas en el ciclo de reciclado con una hornificación irreversible.

En esta misma línea, las pulpas que pasan a ser refinadas presentan un aumento de finos considerable conforme el entrehierro se hace más pequeño (0,05 mm). Cabe señalar que, el refinado se hace más intenso para la pulpa cuya totalidad de fibras DKL es del 100 por ciento y sucede lo contrario, cuando está conformada netamente de fibras OCC; lo anterior expuesto coincide con las investigaciones realizadas por Vidal *et al.* (s/f) quienes concluyeron que, por efecto de corte, las fracciones de fibras más largas son más afectadas en la generación de finos.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 40: Variación de finos de fibra promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Los resultados promedio de finos durante el refinado según las variables de estudio son expuestas en la tabla 34, donde el contenido de finos para las pulpas sin refinado (A_{SR} , B_{SR} , C_{SR} , D_{SR} y E_{SR}) relacionadas a las cinco proporciones de mezcla, se encuentran entre 14,98 % y 20,19 %. También, se evidencia una gran variación de finos para las pulpas refinadas que van desde 17,87 % hasta 22,96 %, conforme se ajusta el entrehierro.

Asimismo, se observa en la tabla 34 que, las pulpas cuyas fracciones de fibras OCC superan el 75 por ciento y que han sido refinadas a distintos entrehierros, presentan un ligero aumento en finos; en cambio, cuando el porcentaje de fibras DKL está por encima del 50 por ciento, los finos (pequeñas partículas y fibrillas desprendidas de las capas externas) generados en pulpas refinadas, presentan una notable diferencia respecto a las pulpas sin refinado.

Por otro lado, no se distingue una relación específica entre el porcentaje de extremos rotos y la cantidad de finos para fibras recicladas DKL/OCC, como se observan en las tablas 32 y 34; aunque Turrado *et al.* (2008) sostienen que, un alto porcentaje de finos suele estar asociado con los extremos rotos. Al tratarse de fibras recicladas, el porcentaje de finos no solo incluye las partículas de fibras rotas en los extremos, sino de aquellas desgarradas a lo largo de su superficie, así como la presencia de contaminantes. Por esta razón, no se puede establecer una relación general entre ambas características morfológicas para el estudio.

Tabla 34: Resultados promedio y desviaciones estándar de finos durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Código	Proporción de mezcla	Nivel de Entrehierro - N	Finos (%)	
			Media	Desviación estándar
ASR	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	14,98	0,434
AN ₁₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	18,99	1,929
AN ₁₀	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	19,28	1,409
AN ₀₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	20,60	0,495
BSR	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	15,19	0,490
BN ₁₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	17,87	0,735
BN ₁₀	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	18,69	0,752
BN ₀₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	18,78	1,163
CSR	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	16,26	0,402
CN ₁₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	18,75	0,908
CN ₁₀	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	19,25	1,081
CN ₀₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	19,70	0,920
DSR	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	18,74	0,483
DN ₁₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	20,30	0,863
DN ₁₀	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	20,36	0,725
DN ₀₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	21,62	2,235
ESR	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	20,19	1,036
EN ₁₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	20,42	0,919
EN ₁₀	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	21,14	1,656
EN ₀₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	22,96	1,902

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

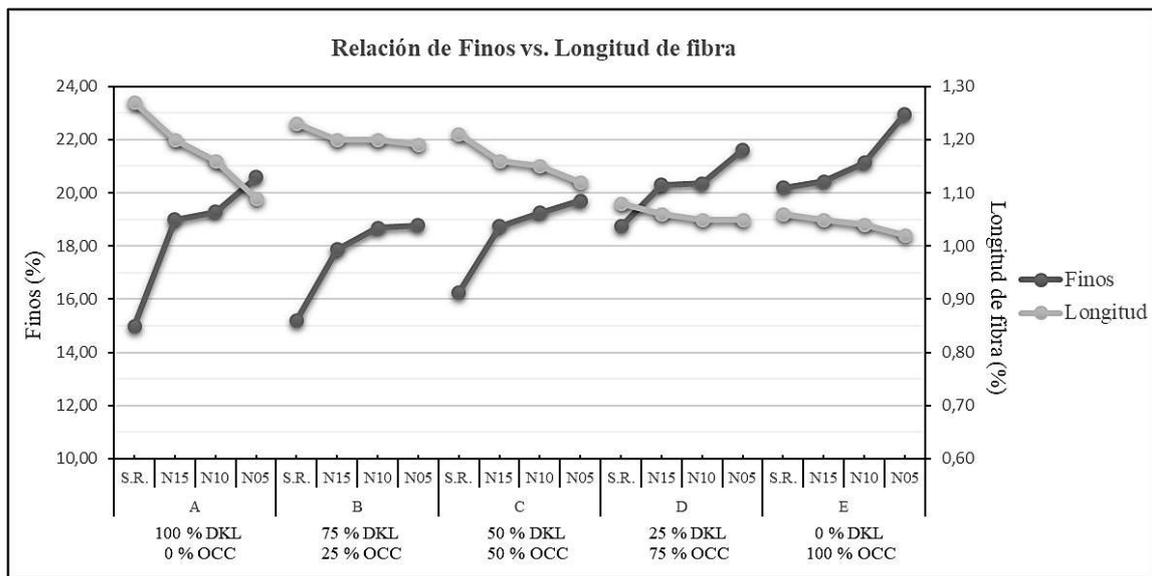
El análisis de varianza de los finos según las variables de estudio (tabla 35) indica que, existe influencia altamente significativa de la proporción de mezcla y el nivel de entrehierro, que influye sobre el contenido de finos. Este comportamiento es similar al análisis de varianza de la longitud de fibra (tabla 22), indicando que ambas propiedades morfológicas guardan relación entre sí; posiblemente debido a la naturaleza del reciclado de cada tipo de fibra y el ajuste del entrehierro, que va generando mayor acortamiento de fibras y/o aflojamiento severo de láminas de la pared celular (Área, 2006).

Tabla 35: Análisis de varianza de los resultados de finos.

Variables	Grados de libertad	Finos	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla	4	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,001	*
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,834	N.S.
Error	60		
Total	74		

Dónde: * (variable significativa); N.S. (variable no significativa).

En la figura 41, se observa la relación inversa entre finos y longitud de fibra para las pulpas antes y después del refinado según proporción de mezcla. Todas las pulpas independientemente de la proporción de mezcla y nivel de entrehierro muestran la disminución de la longitud de fibras a expensas del incremento de finos; Torres (2005) menciona que, durante el refinado a causa del trabajo mecánico, se rompen y eliminan parcialmente las paredes primarias y secundarias de la fibra, tornándose de un aspecto deshilachado con la eventual pérdida de longitud por corte y la producción de finos.



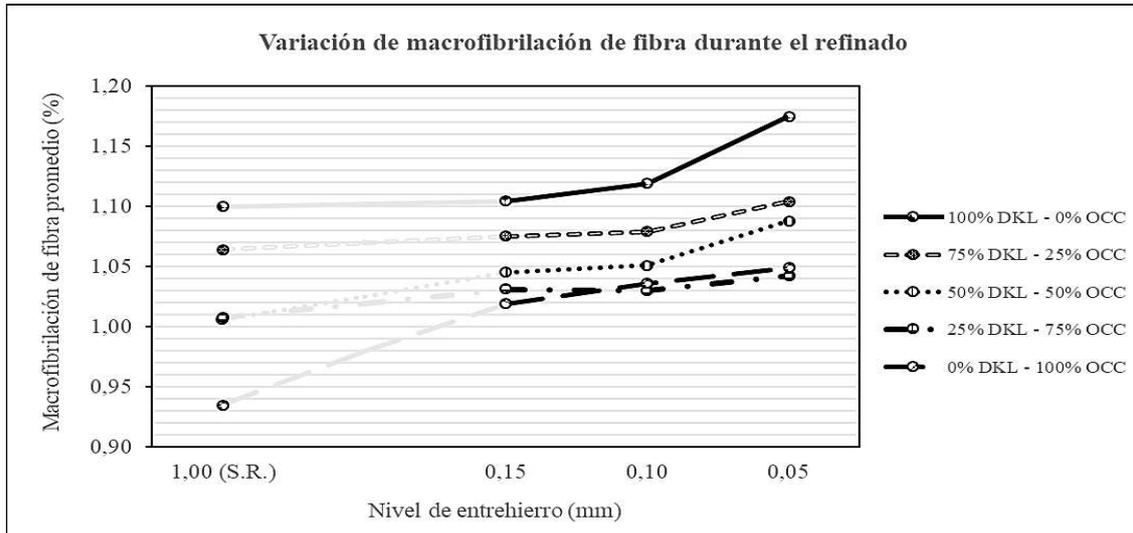
Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Figura 41: Relación de finos y longitud de fibra en las pulpas antes y después del refinado según proporción de mezcla.

2.2.9. MACROFIBRILACIÓN (FIBRILACIÓN EXTERNA)

En la figura 42 se muestra la variación de macrofibrilación de fibra durante el refinado según proporción de mezcla y nivel de entrehierro, donde los valores más altos de macrofibrilación se les atribuyen a las pulpas con mayor porcentaje de fibras DKL; por el contrario, la adición de fibras OCC genera la disminución progresiva de la macrofibrilación. Huang (2006) y Torres (2005) mencionan que, las fibras de paredes delgadas muestran poca fibrilación externa, mientras que, las fibras de paredes gruesas presentan mayor fibrilación externa, pudiendo deberse a que las primeras por su estado de reciclado, han sido sometidas por varias fases de secado, evidenciado el cierre de microporos de la pared fibrosa, afectando parcialmente su aptitud a la hidratación e hinchamiento.

En relación con las pulpas refinadas se aprecia que, en todas las proporciones de mezcla existe una relación inversa entre la macrofibrilación y el entrehierro, ya que, la macrofibrilación aumenta conforme el nivel de entrehierro disminuye. Esto sucede según Torres (2005) como consecuencia del refinado, donde ocurre el desprendimiento de las capas externas de la fibra y las microfibrilas dejan de estar empaquetadas formando una capa pilosa que rodea la superficie de la fibra y posibilita la formación de enlaces entre fibras contiguas.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 42: Variación de la macrofibrilación de fibra promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

En la tabla 36 se muestran los resultados promedio de macrofibrilación, donde se registra que, los valores para las pulpas sin refinado (A_{SR} , B_{SR} , C_{SR} , D_{SR} y E_{SR}) correspondientes a las cinco proporciones de mezcla, se encuentran entre 0,9350 % y 1,1002 %. Además, se evidencian diferencias en macrofibrilación para las pulpas refinadas, que van desde 1,0192 % hasta 1,1748 % cuando el nivel de entrehierro se ajusta de 0,15 mm a 0,05 mm.

Asimismo, las pulpas refinadas con altos valores de macrofibrilación corresponden a la mezcla conformada en su totalidad por fibras DKL, y los valores más bajos se registran para la mezcla cuyo porcentaje de fibras OCC es del 100 por ciento. Huang (2006) menciona que, bajo las fuerzas del refinado, las fibras de paredes delgadas producen más fragmentos no fibrilados, mientras que, las fibras de paredes gruesas experimentan un considerable efecto de descamación superficial con una tendencia a fibrilar más fácilmente que las fibras de paredes delgadas y produciendo más componentes fibrilares.

Tabla 36: Resultados promedio y desviaciones estándar de la macrofibrilación de fibra durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Código	Proporción de mezcla	Nivel de Entrehierro - N	Macrofibrilación (%)	
			Media	Desviación estándar
A_{SR}	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	1,1002	0,019
AN ₁₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	1,1042	0,026
AN ₁₀	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	1,1188	0,031
AN ₀₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	1,1748	0,016
B_{SR}	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	1,0644	0,031
BN ₁₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	1,0752	0,029
BN ₁₀	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	1,0792	0,025
BN ₀₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	1,1044	0,061
C_{SR}	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	1,0064	0,024
CN ₁₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	1,0454	0,055
CN ₁₀	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	1,0510	0,049
CN ₀₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	1,0882	0,025
D_{SR}	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	1,0078	0,035
DN ₁₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	1,0314	0,050
DN ₁₀	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	1,0300	0,051
DN ₀₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	1,0422	0,043
E_{SR}	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	0,9350	0,138
EN ₁₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	1,0192	0,018
EN ₁₀	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	1,0368	0,029
EN ₀₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	1,0494	0,041

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

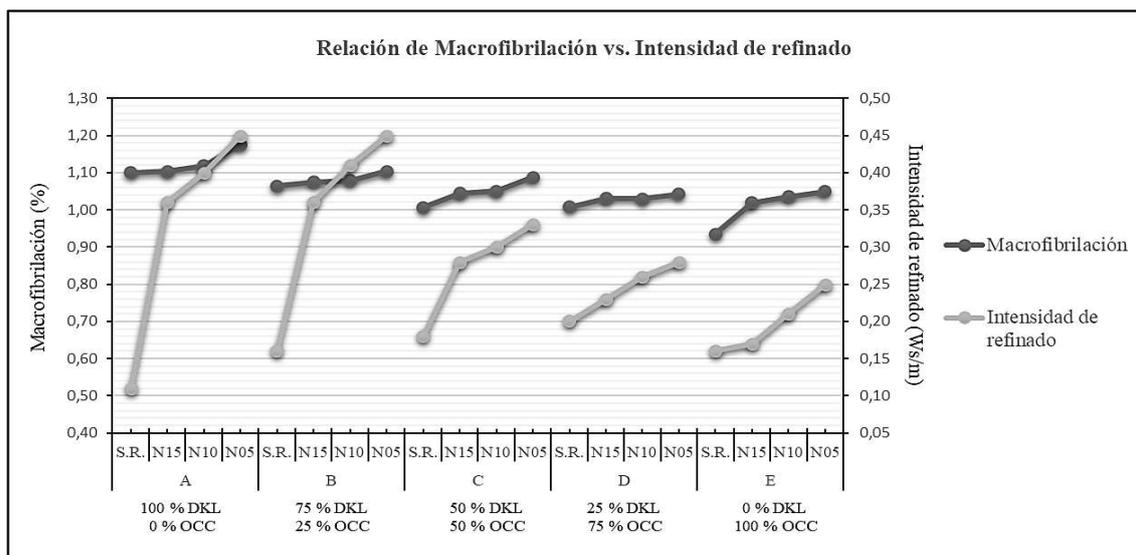
En la tabla 37 se verifica según el análisis de varianza que, existe influencia altamente significativa de la proporción de mezcla y el nivel de entrehierro sobre la macrofibrilación; similar al análisis de varianza de la longitud, ancho y finos expuesto en las tablas 22, 25 y 35. Gavazzo (2019) y Torres (2005) sostienen que, la macrofibrilación varía según la longitud y ancho de fibra; mientras que en el refinado, involucra la eliminación parcial de la pared primaria, dejando al descubierto la pared secundaria que trae como consecuencia la formación de finos.

Tabla 37: Análisis de varianza de los resultados de la macrofibrilación de fibra.

Variables	Grados de libertad	Macrofibrilación	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla	4	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,004	*
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,867	N.S.
Error	60		
Total	74		

Dónde: * (variable significativa); N.S. (variable no significativa).

En la figura 43 se presenta la relación entre la macrofibrilación e intensidad de refinado, donde las pulpas con mayor porcentaje de fibras DKL presentan altos valores de macrofibrilación e intensidad de refinado; mientras que, la adición de fibras OCC involucra la ligera disminución de estas variables, esto sucede porque las fibras cortas requieren de una intensidad de refinado menos violenta o con poca energía para no destruir la fibra; sin embargo, las intensidades de refinado son bajas para todas las pulpas independientemente del tipo de mezcla y de su estado de refinado, encontrándose entre 0,11 Ws/m y 0,45 Ws/m (anexo 14). Ostos (1997) menciona que, por tratarse de fibras recicladas, el refinado a baja intensidad con valores menores a 0,50 Ws/m produce un alto desarrollo de la pulpa y poco corte en fibras recicladas.



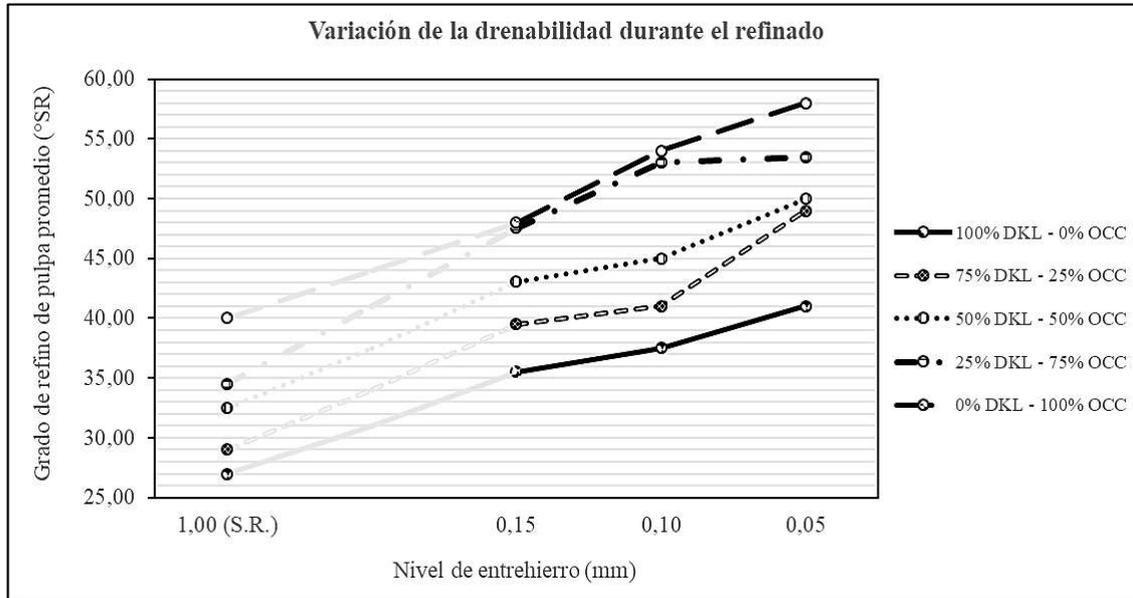
Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Figura 43: Relación de macrofibrilación e intensidad de refinado en las pulpas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

2.3. DRENABILIDAD DE LA PULPA

La variación de la drenabilidad promedio de pulpa durante el refinado se expone en la figura 44, donde las pulpas con mayor fracción de fibras DKL presentan menores valores de grados Schopper; y sucede lo contrario, a mayor fracción de fibras OCC, lo que significaría menor drenabilidad. Gavazzo *et al.* (2008) y González *et al.* (2013) mencionan que, la prueba de Schopper Riegler (°SR) utiliza una escala inversa para medir el drenaje de agua; por lo que, las fibras con sucesivas etapas de reciclado presentan menor drenabilidad debido a la mayor presencia de finos que contribuyen a obturar el paso del agua a través de la hoja.

En cuanto a las pulpas refinadas, los grados Schopper aumentan sucesivamente mientras se reduce el nivel de entrehierro. Beg *et al.* (2008) y Hube *et al.* (2007) afirman que, el refinado provoca el hinchamiento de las fibras haciéndolas más flexibles para que puedan enredarse y formar una telaraña sobre la malla del equipo, generando menor drenabilidad.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 44: Variación de la drenabilidad de pulpa promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Los resultados promedio de grados Schopper durante el refinado según las variables de estudio, son mostradas en la tabla 38 y se observa que, las pulpas sin refinado (A_{SR} , B_{SR} , C_{SR} , D_{SR} y E_{SR}) relacionadas a las cinco proporciones de mezcla presentan valores entre 27,00 °SR y 40,00 °SR. Asimismo, se evidencia una gran variación de drenabilidad para las pulpas refinadas que van desde 35,50 °SR hasta 58,00 °SR, conforme se ajusta el entrehierro, guardando relación con lo expuesto por Prasetyo (2012) quien concluye que, al reducir la brecha entre los discos refinadores, se incrementan los valores de °SR, lo que significaría menores descargas de agua.

En la tabla 39 se muestra el análisis de varianza de las variables de estudio respecto a la drenabilidad y se verifica la influencia altamente significativa de la proporción de mezcla y el nivel de entrehierro, así como su interacción sobre la drenabilidad de la pulpa. Enzing (2005) indica que, la drenabilidad en las pulpas recicladas tiende a disminuir por la

acumulación de fibras cortadas y finos, acumulación de cargas y materiales extraños (aceites, resina/alúmina, pigmentos de tintas, etc.), además de las sucesivas desintegraciones y operaciones de depuración y refinado, los cuales llevan a la pérdida de propiedades específicas en el papel.

Tabla 38: Resultados promedio y desviaciones estándar de la drenabilidad durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Código	Proporción de mezcla	Nivel de Entrehierro - N	Drenabilidad (° SR)	
			Media	Desviación estándar
ASR	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	27,00	1,000
AN ₁₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	35,50	2,180
AN ₁₀	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	37,50	1,323
AN ₀₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	41,00	1,054
BSR	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	29,00	0,800
BN ₁₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	39,50	0,755
BN ₁₀	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	41,00	1,000
BN ₀₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	49,00	1,323
CSR	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	32,50	1,044
CN ₁₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	43,00	0,500
CN ₁₀	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	45,00	1,375
CN ₀₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	50,00	0,529
DSR	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	34,50	0,458
DN ₁₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	47,50	0,500
DN ₁₀	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	53,00	0,346
DN ₀₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	53,50	0,436
ESR	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	40,00	0,436
EN ₁₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	48,00	0,265
EN ₁₀	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	54,00	0,265
EN ₀₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	58,00	0,436

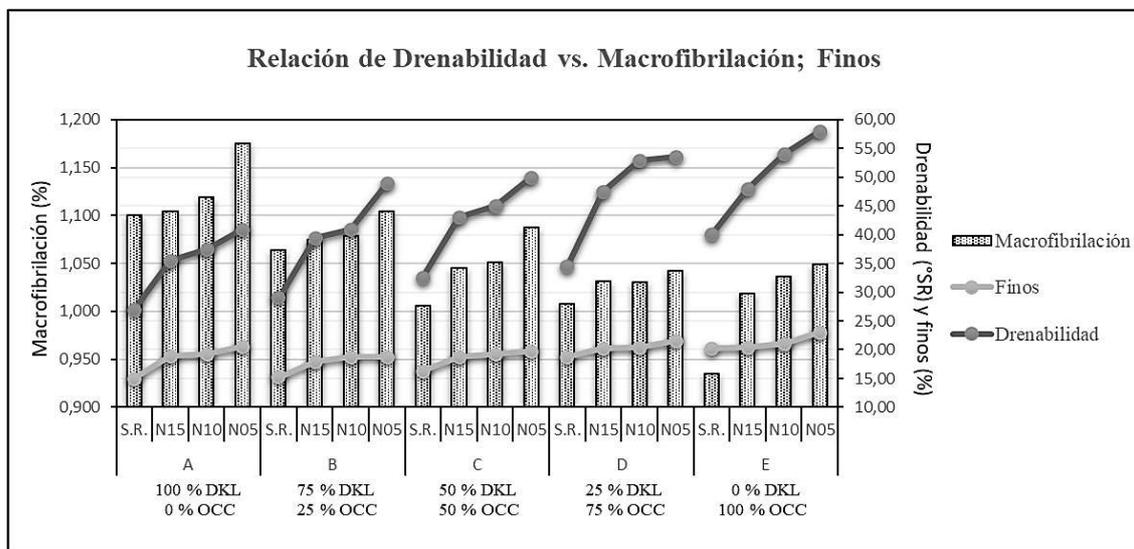
Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Tabla 39: Análisis de varianza de los resultados de la drenabilidad de pulpa.

Variables	Grados de libertad	Drenabilidad de pulpa	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla	4	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,000	*
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,000	*
Error	30		
Total	44		

Dónde: * (variable significativa).

En la figura 45 se muestra la relación entre la drenabilidad, macrofibrilación de fibra y finos a diferentes proporciones de mezcla y niveles de entrehierro, observándose que, las pulpas con alto porcentaje de fibras DKL y que no han pasado por refinado presentan mayor macrofibrilación, menor contenido de finos y menor grados Schopper; en tanto, con las pulpas refinadas, conforme se ajusta el nivel de entrehierro, se produce un incremento de los grados Schopper (menor drenabilidad) mientras se eleva el contenido de finos y la macrofibrilación de fibra. Diversos autores sostienen que, los grados Schopper están en función de la fibrilación y la formación de finos (Polan, 1993); y la drenabilidad es un indicador de los efectos del refinado (Bhardwaj *et al.*, 2007).



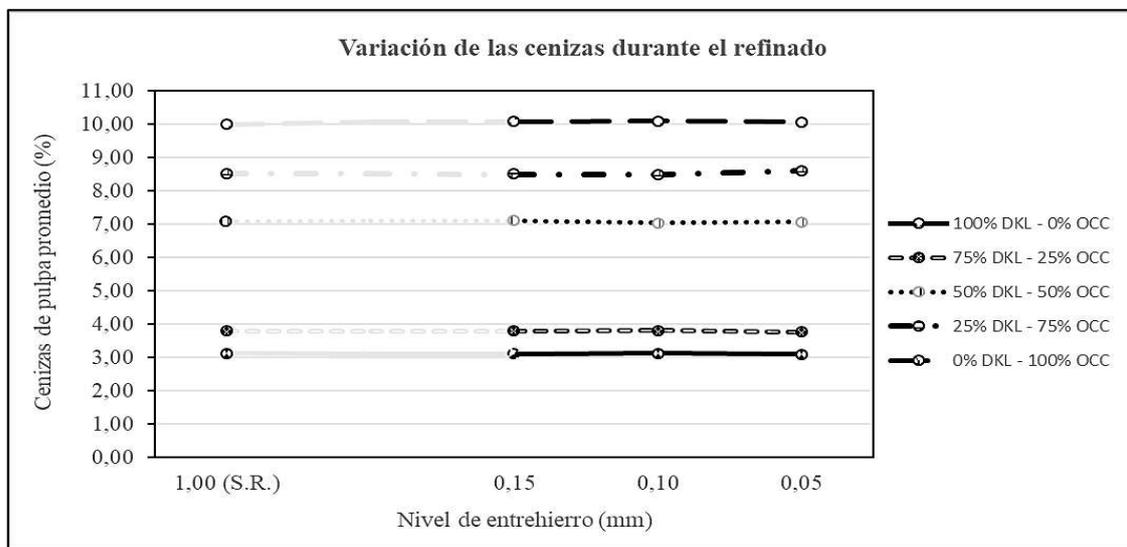
Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Figura 45: Relación entre la drenabilidad, macrofibrilación y finos en las pulpas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

2.4. CENIZAS

En la figura 46 se observa la variación de las cenizas promedio de pulpa durante el refinado según proporción de mezcla y nivel de entrehierro, en la cual se registra que, las pulpas con mayor porcentaje de fibras OCC presentan mayor contenido de cenizas. Tal relación es respaldada por Lévesque (1999) y Turrado *et al.* (2008) quienes afirman que, los papeles marrones obtenidos por sucesivas etapas de reciclado traen consigo más contaminantes como cargas minerales, que son conducidos a través de todo el circuito de fabricación, generando problemas en el equilibrio físico-químico de todo el sistema.

Además, se evidencia que las pulpas antes y después del refinado muestran valores similares de cenizas, y esto sucede porque el refinado es una operación en la que se producen alteraciones mecánicas sobre las fibras para darles las características adecuadas y formar un buen papel (Repetti, 1992), mas no realiza una limpieza o depuración sobre las mismas que altere el contenido de cenizas.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 46: Variación de las cenizas de pulpa promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Los resultados promedio de cenizas durante el refinado según las variables de estudio (tabla 40) muestran que las pulpas sin refinado (A_{SR} , B_{SR} , C_{SR} , D_{SR} y E_{SR}) relacionadas a las cinco proporciones de mezcla presentan valores entre 3,11 % y 10,00 %. En esta misma línea, se observan variaciones muy leves en cenizas para las pulpas refinadas de cualquier proporción de mezcla, mientras disminuye el nivel de entrehierro desde 0,15 mm hasta 0,05 mm. Este comportamiento reafirma lo mostrado en la figura 46.

En la tabla 41, se muestra el análisis de varianza de las variables de estudio respecto a las cenizas promedio de pulpa, y se puede decir que, no existe influencia significativa del nivel de entrehierro que influya en las cenizas, sin embargo, la proporción de mezcla y su interacción con el entrehierro tienen influencia altamente significativa en el valor de cenizas. Turrado *et al.* (2008) sostienen que, el contenido de cenizas varía notablemente por la procedencia de la materia prima y su uso, atribuyéndose mayor porcentaje de cenizas a las fibras OCC, por lo que, el papel fabricado a partir de estas fibras resulta más débil debido a

la presencia de cargas, los cuales reducen el nivel de enlace entre fibras y no se distribuyen uniformemente en el espesor del papel, trayendo consigo mayor desgaste de cuchillas de los discos refinadores.

Tabla 40: Resultados promedio y desviaciones estándar de las cenizas de pulpa durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Código	Proporción de mezcla	Nivel de entrehierro	Cenizas (%)	
			Media	Desviación estándar
ASR	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	3,11	0,014
AN ₁₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	3,10	0,007
AN ₁₀	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	3,16	0,021
AN ₀₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	3,10	0,007
BSR	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	3,77	0,028
BN ₁₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	3,77	0,014
BN ₁₀	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	3,82	0,014
BN ₀₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	3,78	0,014
CSR	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	7,10	0,014
CN ₁₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	7,11	0,014
CN ₁₀	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	7,07	0,021
CN ₀₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	7,08	0,007
DSR	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	8,51	0,021
DN ₁₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	8,50	0,028
DN ₁₀	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	8,49	0,028
DN ₀₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	8,60	0,028
ESR	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	10,00	0,141
EN ₁₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	10,08	0,028
EN ₁₀	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	10,11	0,028
EN ₀₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	10,08	0,028

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

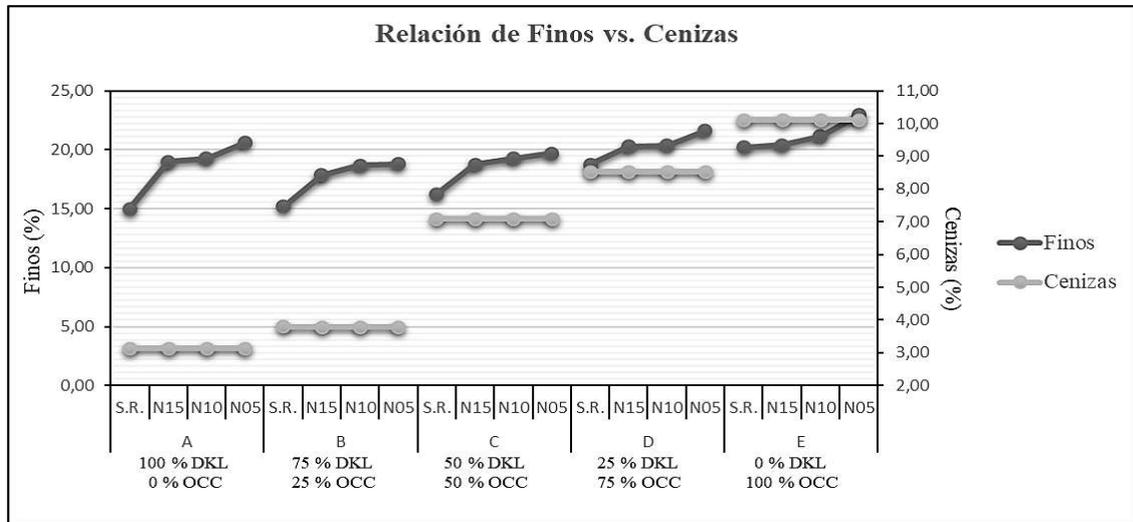
Tabla 41: Análisis de varianza de los resultados de cenizas de pulpa.

Variables	Grados de libertad	Cenizas de pulpa	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla	4	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,177	N.S.
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,001	*
Error	15		
Total	29		

Dónde: * (variable significativa); N.S. (variable no significativa).

Por otro lado, en la figura 47, se observa la relación entre finos y cenizas, donde el incremento de finos está relacionado con el aumento porcentual de cenizas influenciado por la proporción de mezcla y no por el nivel de entrehierro, dado que, aquellas pulpas que

poseen más fibras OCC tienden a elevar su contenido de finos y cenizas. Turrado *et al.* (2008) indican que, los finos están conformados por componentes fibrosos muy pequeños y contaminantes que son parte de la composición habitual de papeles de calidad, los cuales pueden estar en el rango de 0,3 μm a 5 μm .



Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Figura 47: Relación de finos y cenizas en las pulpas antes y después del refinado según proporción de mezcla.

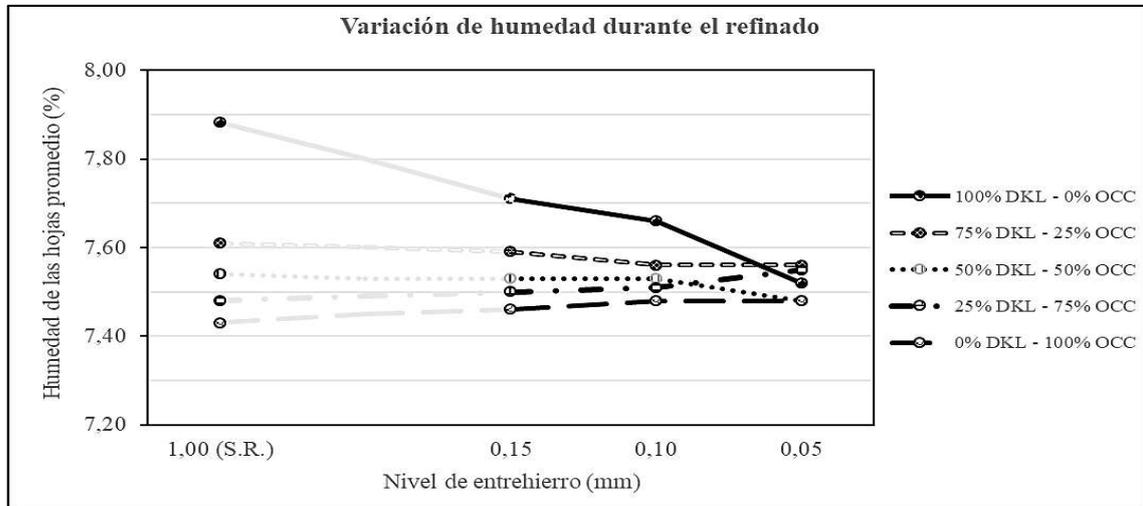
3. ENSAYOS EN PAPEL DE PULPAS ESTUDIADAS

3.1. HUMEDAD

En la figura 48 se observa la variación de humedad durante el refinado, y se distingue que, las hojas con mayor contenido de fibras DKL presentan mayor humedad comparado con aquellas constituidas de fibras OCC. Cabe recalcar que, las hojas de papel al estar conformadas por fibras de celulosa cuya naturaleza molecular es higroscópica, tienden a absorber mayor o menor cantidad de agua dependiendo del tipo de fibra, por ello, Sagástegui (2007) sostiene que, las fibras largas ganan más humedad que las fibras cortas debido a la mayor superficie expuesta, propiedad que depende del cuerpo de las fibras y el contenido de orificios en las paredes de las mismas.

En términos del nivel de entrehierro se aprecia que, las hojas conformadas por fibras refinadas DKL superior al 50 por ciento, van disminuyendo gradualmente su humedad, conforme los discos se ajustan hasta alcanzar un entrehierro de 0,05 mm, siendo más

diferenciado para las hojas con 100 por ciento de fibras DKL; en cambio, sucede el efecto contrario para las hojas cuyas fracciones de fibras OCC superan el 75 por ciento. Adicionalmente, las hojas fueron sometidas a condiciones controladas de humedad relativa y temperatura, presentando un contenido de humedad promedio entre 7 % y 10 %; lo que les proporcionó cierta flexibilidad y efectos positivos en sus resistencias físicas.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 48: Variación de la humedad de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

La tabla 42 muestra el análisis de varianza de la humedad según proporción de mezcla y nivel de entrehierro revelando que, no existe influencia altamente significativa de ninguna variable sobre la humedad de la hoja. Según Bouchard *et al.* (1993), la composición química de las fibras recicladas no se altera por los ciclos de secado, aunque el hinchamiento de la pared fibrilar se reduce ligeramente, presentando una leve reducción del enlace entre fibrilas y capacidad de absorber agua. Al respecto, Sagástegui (2016) indica que, no es notable la variación de la humedad en fibras recicladas por efecto del refinado.

Tabla 42: Análisis de varianza de los resultados de humedad de las hojas.

Variables	Grados de libertad	Humedad de hoja	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla	4	0,076	N.S.
Nivel de entrehierro	2	0,649	N.S.
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,874	N.S.
Error	135		
Total	149		

Dónde: N.S. (variable no significativa).

3.2. GRAMAJE, ESPESOR Y DENSIDAD

Los resultados promedio de gramaje, espesor y densidad durante el refinado en base a las variables de estudio son expresados en la tabla 43, donde se registra que, los valores para las hojas sin refinado (A_{SR} , B_{SR} , C_{SR} , D_{SR} y E_{SR}) correspondientes a las cinco proporciones de mezcla, se encuentran entre 59,488 g/m² y 62,962 g/m² para gramaje; 0,1045 mm y 0,1145 mm para espesor; 0,551 g/cm³ y 0,572 g/cm³ para densidad.

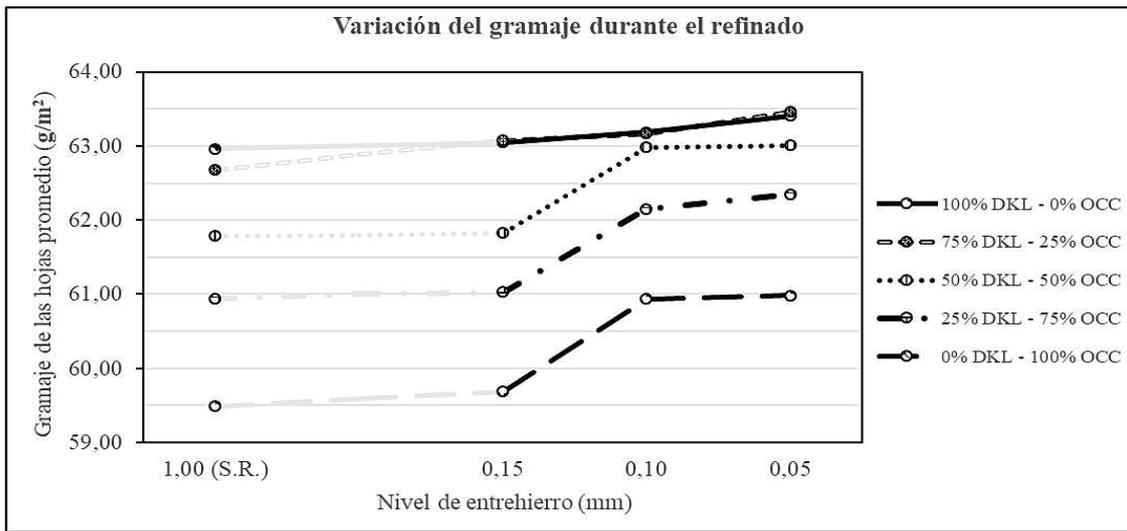
Tabla 43: Resultados promedio y desviaciones estándar del gramaje, espesor y densidad durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Cód.	Proporción de mezcla	Nivel de entrehierro	Gramaje (g/m ²)		Espesor (mm)		Densidad (g/cm ³)	
			Me.	Desv.	Me.	Desv.	Me.	Desv.
A_{SR}	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	62,962	0,265	0,1145	0,004	0,551	0,020
AN ₁₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	63,049	0,237	0,1135	0,004	0,556	0,020
AN ₁₀	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	63,186	0,770	0,1080	0,008	0,589	0,052
AN ₀₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	63,404	0,415	0,1070	0,005	0,594	0,031
B_{SR}	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	62,679	0,567	0,1135	0,004	0,553	0,020
BN ₁₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	63,075	0,299	0,1055	0,004	0,599	0,024
BN ₁₀	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	63,166	0,848	0,1040	0,003	0,608	0,027
BN ₀₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	63,462	0,158	0,1030	0,005	0,618	0,034
C_{SR}	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	61,790	0,899	0,1115	0,006	0,556	0,039
CN ₁₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	61,830	0,847	0,1080	0,002	0,573	0,012
CN ₁₀	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	62,978	1,513	0,1040	0,004	0,606	0,025
CN ₀₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	63,010	0,600	0,0995	0,003	0,634	0,026
D_{SR}	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	60,939	1,607	0,1095	0,003	0,557	0,017
DN ₁₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	61,027	1,251	0,1080	0,002	0,565	0,016
DN ₁₀	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	62,146	1,672	0,1050	0,007	0,594	0,039
DN ₀₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	62,345	0,923	0,0990	0,006	0,632	0,033
E_{SR}	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	59,488	1,378	0,1045	0,007	0,572	0,039
EN ₁₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	59,691	0,407	0,1035	0,003	0,577	0,018
EN ₁₀	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	60,937	0,573	0,0985	0,002	0,619	0,015
EN ₀₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	60,985	0,635	0,0970	0,097	0,629	0,018

Dónde: Me. (media); Desv. (desviación estándar); A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

En cuanto al gramaje según proporción de mezcla (figura 49) se observa que, aumentan gradualmente sus valores conforme se agregan fibras DKL. Sagástegui (2016) menciona que, el gramaje se relaciona directamente con la humedad, lo que explicaría su incremento a mayor porcentaje de fibras DKL, las cuales presentan alta humedad (figura 48). Por otra

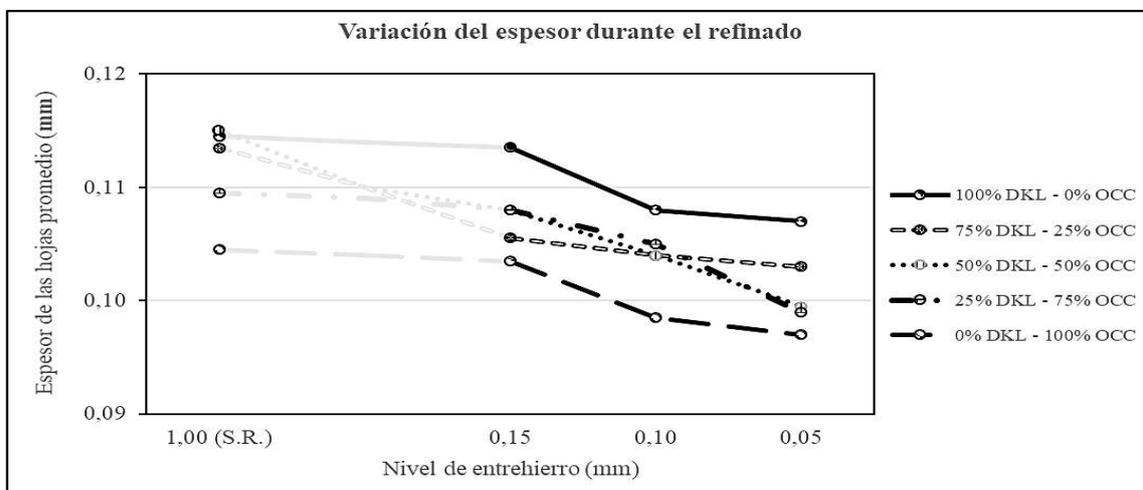
parte, cuando se ajustan los discos refinadores para cada nivel de entrehierro, las hojas incrementan su gramaje, independientemente del contenido de fibras DKL y OCC.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 49: Variación del gramaje de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

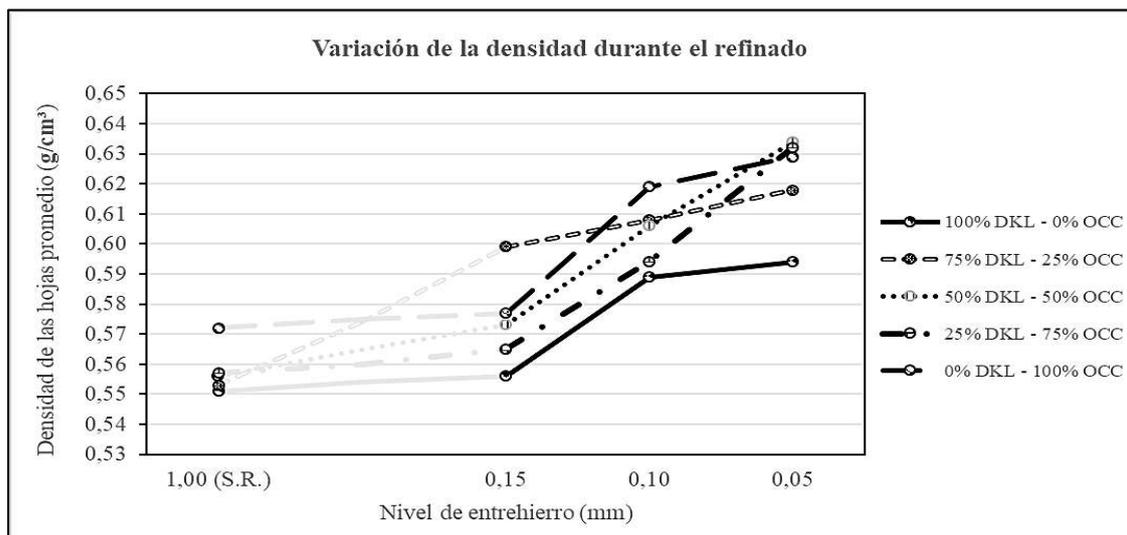
Referente al espesor según proporción de mezcla (figura 50), se aprecia la reducción de sus valores mientras se adicionan fibras OCC; y durante el refinado, se observa la merma de espesor conforme se ajusta el entrehierro. Sagástegui (2007) afirma que, la variación del espesor de hoja se debe a la composición fibrosa y refinación, tendiendo a disminuir su valor cuando las fibras son más delgadas y planas debido a la fibrilación y unión interfibrilar.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 50: Variación del espesor de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Respecto a la densidad según proporción de mezcla (figura 51), se observa el incremento de sus valores frente a la incorporación de fibras OCC; lo cual puede deberse según Seth (2003) y Torres (2005), a la presencia de mayor cantidad de finos que rellenan los intersticios existentes entre las fibras provocando un aumento de la densidad. Por otro lado, el ajuste del entrehierro evidencia hojas de mayor densidad, debido al aumento de la macrofibrilación, la cual permite un mayor compactamiento de las fibras (Sagástegui, 2016 y Torres, 2005); contrarrestando la cantidad pequeña de hornificación, tal como lo indican Howard *et al.* (1992).



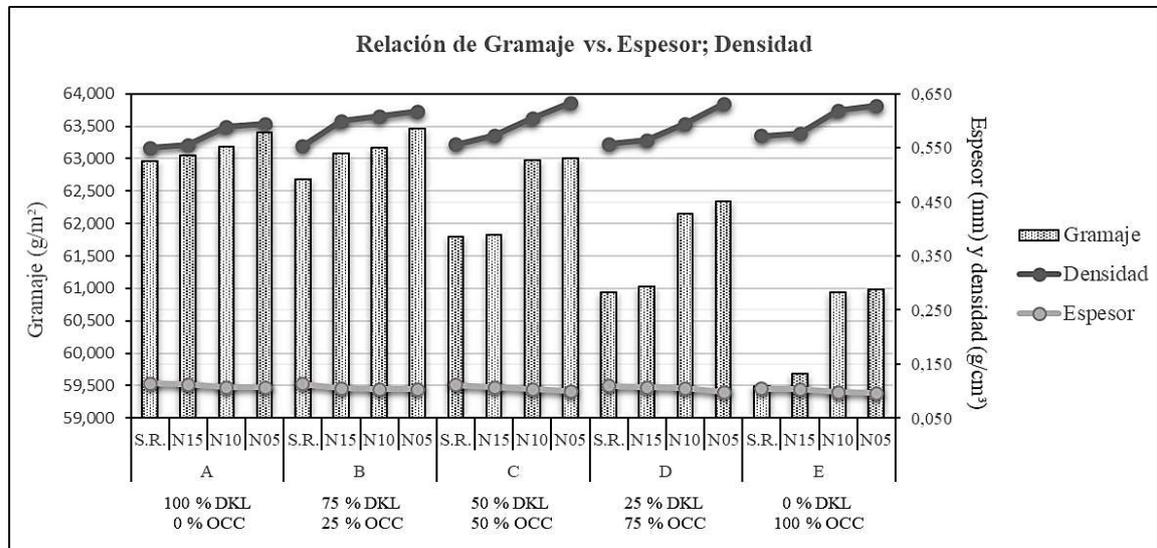
Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 51: Variación de la densidad de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

En relación con la anterior tabla, se muestra en la figura 52, la relación entre el gramaje, densidad y espesor durante el refinado, observándose que, las hojas presentan un incremento gradual del gramaje y densidad; pese a que, el espesor disminuye mientras se ajustan los discos refinadores desde 0,15 mm hasta 0,05 mm de entrehierro.

En la tabla 44 se aprecia el análisis de varianza de las variables de estudio respecto al gramaje, espesor y densidad promedio de las hojas, y se afirma que, existe influencia altamente significativa de la proporción de mezcla y nivel de entrehierro sobre estas propiedades. Paulapuro (2000) sostiene que, las fibras más recicladas muestran el cierre progresivo de poros y colapso a nivel fibra por los tratamientos de remojo y secado sucesivos, produciendo una mayor reducción en el largo, ancho y espesor de la fibra, lo cual

repercute en el gramaje, espesor y densidad de la hoja. Abril *et al.* (2012) mencionan que, el entrehierro durante el refinado influye en la fibrilación de las fibras incrementando su superficie y accesibilidad de los grupos hidroxilos (OH⁻), afectando directamente el gramaje, espesor y densidad de la hoja a formarse.



Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Figura 52: Relación entre el gramaje, espesor y densidad de las hojas durante el refinado.

Tabla 44: Análisis de varianza de los resultados de gramaje, espesor y densidad.

Variables	Grados de libertad	Gramaje		Espesor		Densidad	
		Valor p	Signif.	Valor p	Signif.	Valor p	Signif.
Proporción de mezcla	4	0,000	*	0,000	*	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,000	*	0,000	*	0,000	*
Proporción de mezcla*	8	0,233	N.S.	0,423	N.S.	0,185	N.S.
Nivel de entrehierro							
Error	135						
Total	149						

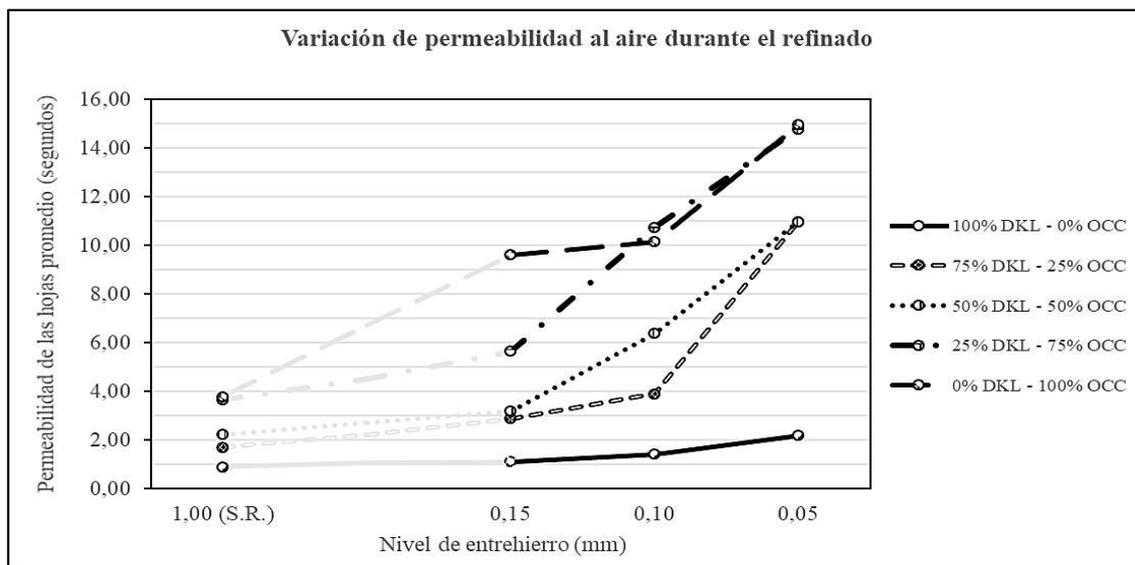
Dónde: Signif. (significancia); * (variable significativa); N.S. (variable no significativa).

3.3. PERMEABILIDAD AL AIRE

La variación de la permeabilidad al aire promedio durante el refinado según proporción de mezcla y nivel de entrehierro es mostrada en la figura 53, en la cual se aprecia que, las hojas con mayor porcentaje de fibras OCC son las que tardan mayor tiempo (segundos) en el paso del aire a través de la hoja; y ocurre lo opuesto cuando se adicionan fibras más largas del

tipo DKL, siendo estas últimas más porosas o permeables al aire. Bortolan (2012) indica que, el valor de la permeabilidad debe ser interpretado de manera inversa, es decir, cuanto menor es el tiempo para el paso del aire, el papel es más permeable y se debe a la menor presencia de finos.

En relación al nivel de entrehierro, las hojas que han sido refinadas experimentan el incremento de los tiempos para el paso del aire, más aún si el refinado es intenso a un menor entrehierro, generando papeles más cerrados, menos porosos y con menor permeabilidad al aire.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 53: Variación de la permeabilidad al aire de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Los resultados promedio de permeabilidad durante el refinado según las variables de estudio son expuestas en la tabla 45. Las hojas sin refinado (A_{SR}, B_{SR}, C_{SR}, D_{SR} y E_{SR}) relacionadas a las cinco proporciones de mezcla presentan valores entre 0,90 s y 3,77 s. Asimismo, se evidencia una gran variación en las lecturas de la permeabilidad para las hojas refinadas que van desde 1,09 s hasta 14,95 s; según ajuste del entrehierro.

En la tabla 46 se muestra el análisis de varianza de las variables de estudio respecto a la permeabilidad al aire promedio de las hojas y se constata que, hay influencia altamente significativa de la proporción de mezcla, el nivel de entrehierro y la interacción de ambas

sobre la permeabilidad al aire. Cadena (2008) y Setasith (2014) afirman que, la permeabilidad al aire está influenciada por la menor o mayor presencia de finos dependiendo del tipo de fibra, los cuales cierran la superficie del papel tornándolo menos poroso; y la fibrilación externa generada en el refinado, que disminuye los espacios entre las fibras generando un mejor entramado en la superficie del papel.

Tabla 45: Resultados promedio y desviaciones estándar de la permeabilidad de las hojas durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Código	Proporción de mezcla	Nivel de entrehierro	Permeabilidad (s)	
			Media	Desviación estándar
ASR	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	0,90	0,105
AN ₁₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	1,09	0,284
AN ₁₀	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	1,41	0,191
AN ₀₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	2,17	0,432
BSR	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	1,70	0,282
BN ₁₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	2,87	0,611
BN ₁₀	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	3,89	0,152
BN ₀₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	10,96	1,126
CSR	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	2,20	0,432
CN ₁₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	3,16	0,275
CN ₁₀	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	6,37	1,194
CN ₀₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	10,97	1,132
DSR	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	3,64	0,499
DN ₁₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	5,63	1,982
DN ₁₀	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	10,74	1,046
DN ₀₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	14,78	1,532
ESR	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	3,77	0,283
EN ₁₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	9,61	0,687
EN ₁₀	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	10,14	1,022
EN ₀₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	14,95	0,914

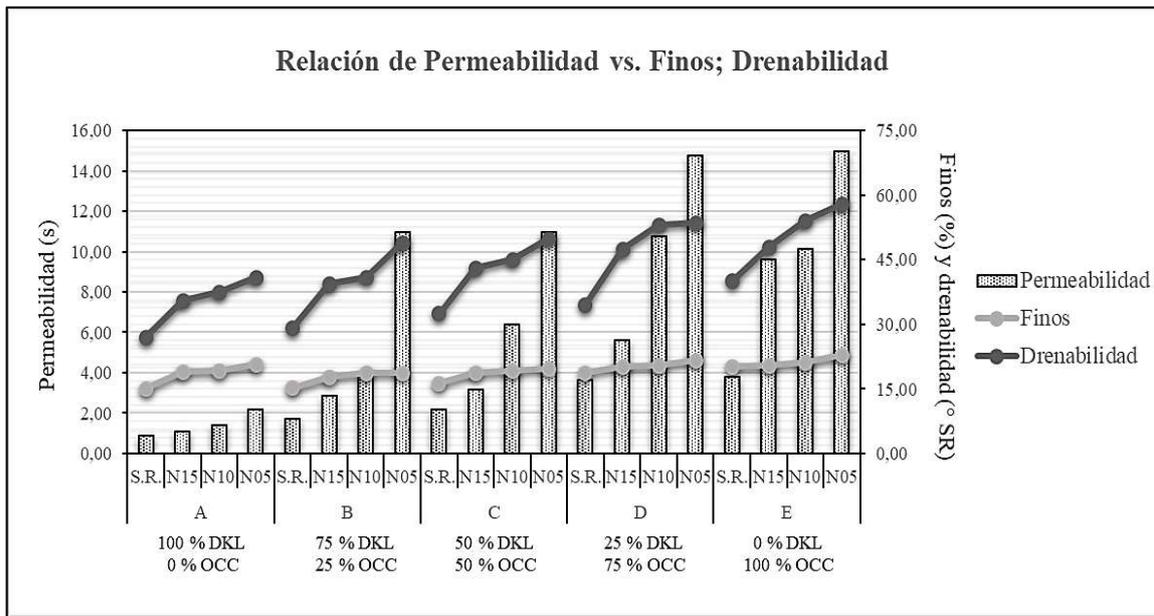
Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Tabla 46: Análisis de varianza de los resultados de permeabilidad al aire de las hojas.

Variables	Grados de libertad	Permeabilidad	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla	4	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,000	*
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,000	*
Error	135		
Total	149		

Dónde: * (variable significativa).

En la figura 54 se muestra la relación entre la permeabilidad, finos y drenabilidad durante el refinado, se observa que, las hojas refinadas presentan aumento en los valores de permeabilidad (tiempo), lo que se traduce en menor porosidad o permeabilidad de los papeles que, a su vez, presentan dificultad en la capacidad de drenaje (aumento de °SR) por la presencia de más finos, que aumentan el área de unión y la densidad de las hojas; la misma que tiene una relación indirecta con la permeabilidad al aire, según Sagástegui (2007), Setasith (2014) y Seth (2003).



Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N15, N10 y N05, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Figura 54: Relación entre la permeabilidad, finos y drenabilidad de las pulpas durante el refinado.

3.4. BLANCURA Y OPACIDAD

En la tabla 47 se aprecian los resultados promedio de blancura y opacidad durante el refinado en relación a las variables de estudio, encontrándose que, las hojas que provienen de pulpas sin refinado (A_{SR}, B_{SR}, C_{SR}, D_{SR} y E_{SR}) presentan valores entre 26,00 % y 30,55 % para blancura; y desde 97,95 % hasta 99,70 % para opacidad.

Tabla 47: Resultados promedio y desviaciones estándar de la blancura y opacidad de las hojas durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

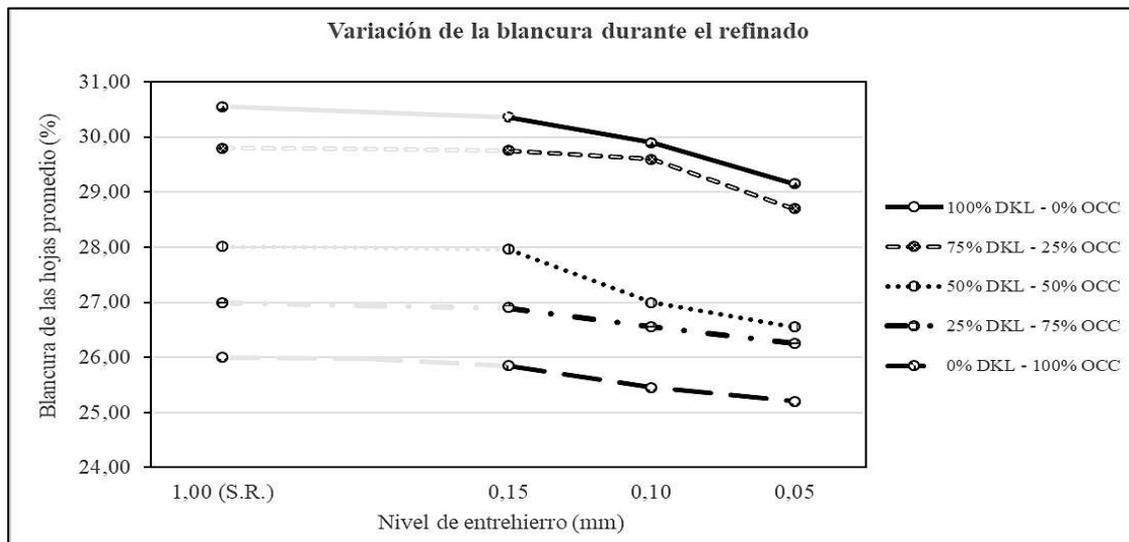
Cód.	Proporción de mezcla	Nivel de entrehierro	Blancura (%)		Opacidad (%)	
			Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
A_{SR}	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	30,55	0,550	99,70	0,350
AN ₁₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	30,35	0,337	99,50	0,408
AN ₁₀	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	29,90	0,316	99,15	0,412
AN ₀₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	29,15	0,242	97,75	0,540
B_{SR}	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	29,80	0,483	99,55	0,284
BN ₁₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	29,75	0,425	98,00	0,707
BN ₁₀	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	29,60	0,394	97,50	0,943
BN ₀₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	28,70	0,350	95,75	0,589
C_{SR}	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	28,00	0,745	99,25	0,425
CN ₁₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	27,95	0,284	98,45	0,798
CN ₁₀	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	27,00	0,745	97,65	1,081
CN ₀₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	26,55	0,369	95,70	0,537
D_{SR}	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	27,00	0,000	98,70	0,715
DN ₁₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	26,90	0,394	98,55	0,369
DN ₁₀	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	26,55	0,497	98,00	0,943
DN ₀₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	26,25	0,635	97,95	0,762
E_{SR}	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	26,00	0,408	97,95	0,497
EN ₁₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	25,85	0,242	97,40	0,394
EN ₁₀	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	25,45	0,438	97,00	0,333
EN ₀₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	25,20	0,258	96,70	0,537

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

En relación a la blancura según la figura 55 se distingue que, su valor disminuye conforme se adicionan fibras cortas del tipo OCC. Cabe resaltar que, en general, la blancura para papeles marrones reciclados tiende a ser muy baja; sin embargo, las diferencias según la clase de pulpa pueden deberse fundamentalmente a la mayor presencia de tintas y cargas para papeles que ya han sido reciclados continuamente, tal como lo sostiene Da Silva (2009). Asimismo, la blancura decrece conforme el refinado se hace más intenso; esto concuerda con los estudios realizados por Sagástegui (2016), quien menciona que, la blancura del papel disminuye durante la refinación debido al envejecimiento del mismo.

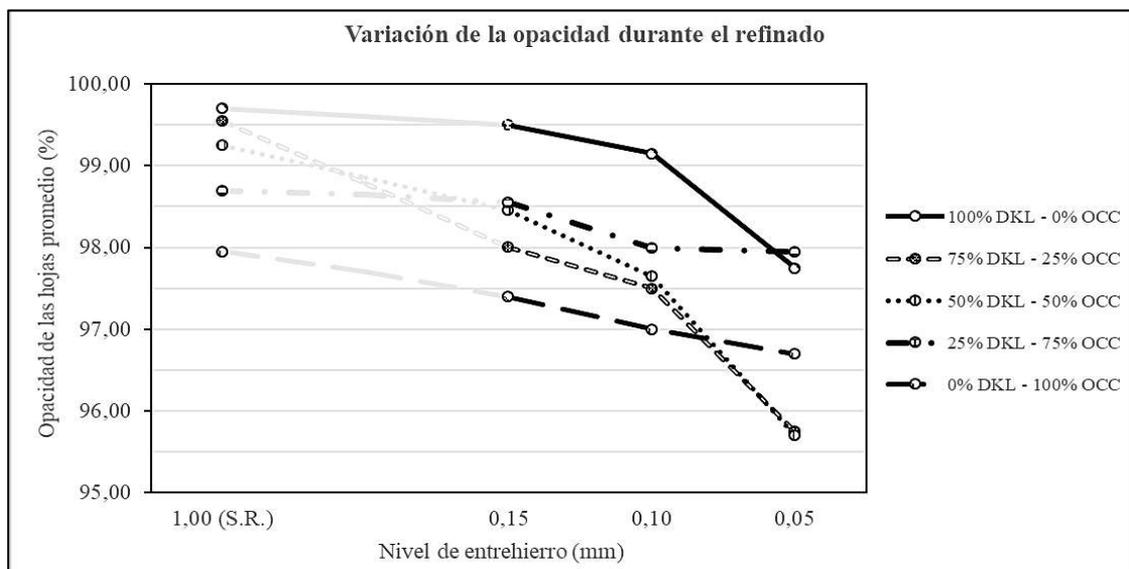
En cuanto a la opacidad de acuerdo a la figura 56, su valor disminuye cuando se reemplazan las fibras DKL por OCC. Imtiaz (2012) afirma que, la opacidad aumenta en el primer reciclo y después disminuye ligeramente durante el reciclado; lo cual se asemeja con los resultados de este estudio, ya que, la opacidad aumenta a mayor fracción de fibras DKL; sin embargo, disminuye ante la adición de fibras OCC; las cuales han sido recicladas más veces y

presentan gran contenido de cargas o pigmentos que dificultan el paso de la luz. En esta misma línea, durante el refinado, la opacidad disminuye cuánto más ajustado está el nivel de entrehierro. Bortolan (2012) y Sagástegui (2016) indican que, la opacidad disminuye por la presencia de finos, los cuales se posicionan en los espacios internos de la estructura del papel que eran ocupados por aire, haciéndolo más resistente y reflejando así menor luz.



Dónde: S.R. (sin refinado).

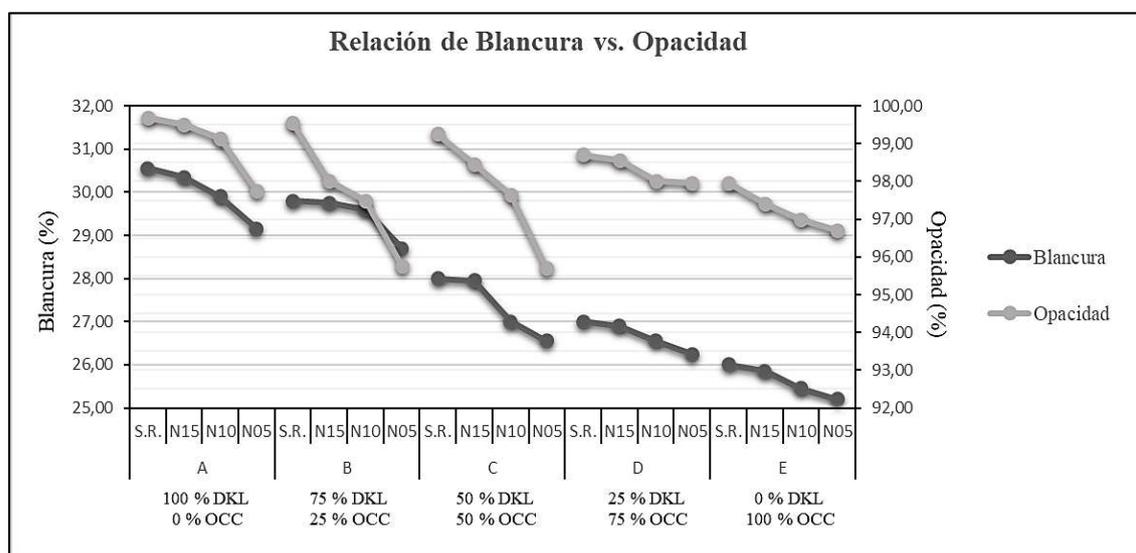
Figura 55: Variación de la blancura de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 56: Variación de la opacidad de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

En la figura 57 se muestra la relación entre la blancura y opacidad durante el refinado, evidenciándose que, las hojas refinadas presentan una tendencia decreciente tanto para la blancura como la opacidad, cuando se realiza el ajuste del entrehierro. Cabe añadir que, en el refinado se incrementan los finos, los mismos que interfieren en la medición del grado de refinado y se relacionan con la opacidad de las hojas (Bortolan, 2012).



Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N15, N10 y N05, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Figura 57: Relación entre la blancura y opacidad de las hojas durante el refinado.

En la tabla 48 se aprecia el análisis de varianza de las variables de estudio respecto a la blancura y opacidad promedio de las hojas, y se afirma que, existe influencia altamente significativa de la proporción de mezcla, el nivel de entrehierro y la interacción de ambas sobre estas propiedades, guardando relación con lo discutido en la tabla 47.

Tabla 48: Análisis de varianza de los resultados de blancura y opacidad de las hojas.

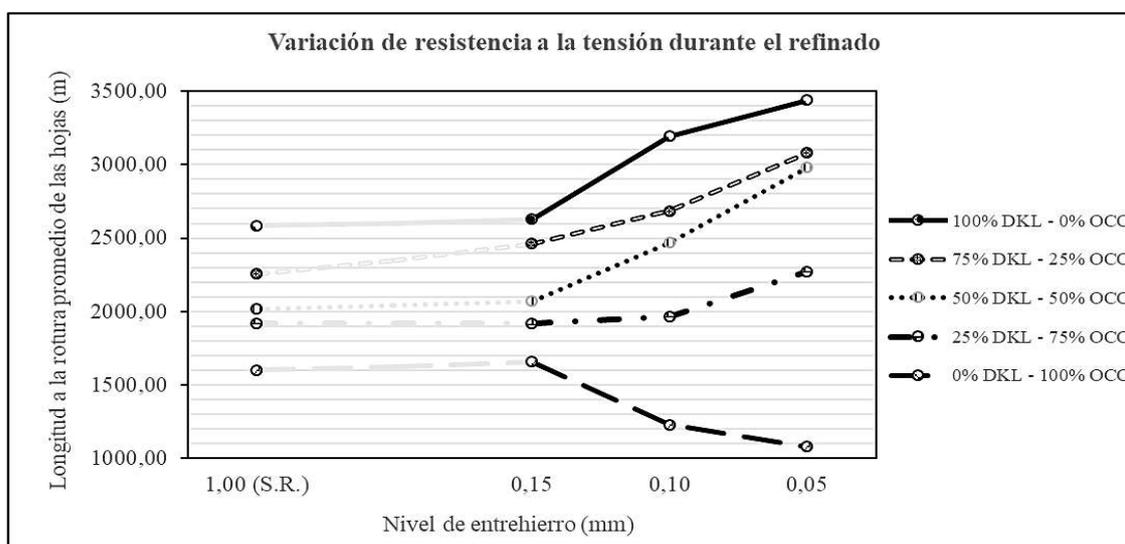
Variables	Grados de libertad	Blancura		Opacidad	
		Valor p	Signif.	Valor p	Signif.
Proporción de mezcla	4	0,000	*	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,000	*	0,000	*
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,009	*	0,000	*
Error	135				
Total	149				

Dónde: Signif. (significancia); * (variable significativa).

3.5. RESISTENCIA A LA TENSIÓN Y ALARGAMIENTO

Tal como se observa en la figura 58, la variación de la resistencia a la tensión reportada como longitud promedio indica que, las hojas con elevada fracción de fibras DKL presentan mayor resistencia a la tensión, comparado con las fibras OCC. Núñez (2008) y Sagástegui (2007) argumentan que, aunque los bajos valores de las propiedades físicas pueden deberse a la presencia de material reciclado, las diferencias en esta resistencia dependen directamente de la longitud y distribución de las fibras; así como del grado de hornificación, ya que, las pulpas que se han secado varias veces tienen una capacidad de hinchamiento reducida en comparación con las que nunca se secaron y, en igualdad de condiciones, dará como resultado menor resistencia a la tensión.

Respecto al nivel de entrehierro, se aprecia el incremento de la resistencia a la tensión en las hojas mientras se van ajustando los discos refinadores desde 0,15 mm hasta 0,05 mm; a excepción de las hojas constituidas en su totalidad de fibras OCC, donde la resistencia disminuye a 0,10 mm y 0,05 mm. Cadena (2008), Sagástegui (2016) y Seth (2003) aseveran según sus estudios que, el aumento de la resistencia está ligado al incremento del área de enlace (contacto interfibras) y, por tanto, a la fibrilación externa y formación de finos; sin embargo, Kerekes *et al.* (2006) afirman que, la excesiva fibrilación también causa efectos negativos en la deshidratación de las fibras, así como en las propiedades físicas y ópticas de las hojas.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 58: Variación de la resistencia a la tensión de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

En la tabla 49 se muestran los resultados promedio de la resistencia a la tensión y alargamiento durante el refinado en relación a las variables de estudio, encontrándose que, las hojas sin refinado (A_{SR}, B_{SR}, C_{SR}, D_{SR} y E_{SR}) presentan valores entre 1602,23 m y 2586,10 m para tensión; y desde 1,03 % hasta 2,03 % para el alargamiento. Además, se evidencia una gran variación en ambas propiedades para las hojas que provienen de pulpas refinadas a 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro.

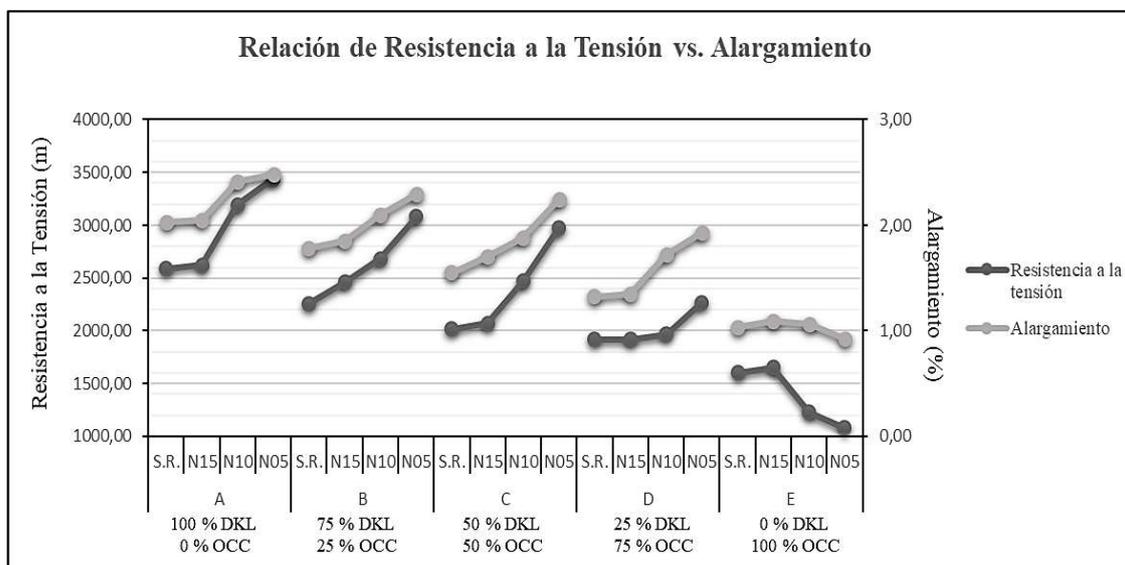
Tabla 49: Resultados promedio y desviaciones estándar de la resistencia a la tensión y alargamiento de las hojas durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Cód.	Proporción de mezcla	Nivel de entrehierro	Resistencia a la tensión (m)		Alargamiento (%)	
			Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
A_{SR}	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	2586,10	347,100	2,03	0,197
AN ₁₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	2623,78	404,400	2,05	0,320
AN ₁₀	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	3192,77	614,000	2,41	0,274
AN ₀₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	3439,52	129,000	2,48	0,412
B_{SR}	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	2257,13	565,000	1,78	0,186
BN ₁₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	2459,67	274,100	1,85	0,328
BN ₁₀	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	2683,84	461,000	2,10	0,307
BN ₀₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	3079,52	400,200	2,30	0,377
C_{SR}	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	2018,00	246,800	1,55	0,360
CN ₁₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	2068,68	289,200	1,70	0,377
CN ₁₀	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	2469,18	532,000	1,88	0,510
CN ₀₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	2979,82	308,200	2,25	0,344
D_{SR}	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	1917,07	488,000	1,32	0,331
DN ₁₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	1918,78	256,000	1,35	0,195
DN ₁₀	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	1968,22	420,500	1,72	0,293
DN ₀₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	2269,85	404,800	1,93	0,279
E_{SR}	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	1602,23	330,200	1,03	0,125
EN ₁₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	1653,23	382,400	1,09	0,107
EN ₁₀	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	1229,83	95,000	1,06	0,094
EN ₀₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	1078,06	132,400	0,93	0,202

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

En la figura 59, se distingue la relación entre la resistencia a la tensión y el alargamiento durante el refinado, donde ambas propiedades aumentan a medida que se va ajustando el nivel de entrehierro; aunque, las hojas fabricadas únicamente con fibras OCC, presentan menores longitudes a la rotura y alargamiento cuando se refinan a entrehierros de 0,10 mm y 0,05 mm. Esto puede deberse al elevado contenido de finos generados por una excesiva

refinación de las fibras hornificadas, reduciendo el potencial de unión dando como resultado hojas más débiles (Howard *et al.*, 1992); de igual forma, la disminución drástica del tamaño de las fibras que tiende a formar segmentos más cortos y menos flexibles, originan la reducción del alargamiento (Torres, 2005).



Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Figura 59: Relación entre la resistencia a la tensión y alargamiento de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrelaço.

En la tabla 50 se aprecia el análisis de varianza de las variables de estudio respecto a las dos resistencias analizadas, y se asevera que, existe influencia altamente significativa de la proporción de mezcla, el nivel de entrelaço y la interacción de ambas sobre la resistencia a la tensión y alargamiento, reafirmando lo argumentado en la figura 59.

Tabla 50: Análisis de varianza de los resultados de resistencia a la tensión y alargamiento de las hojas.

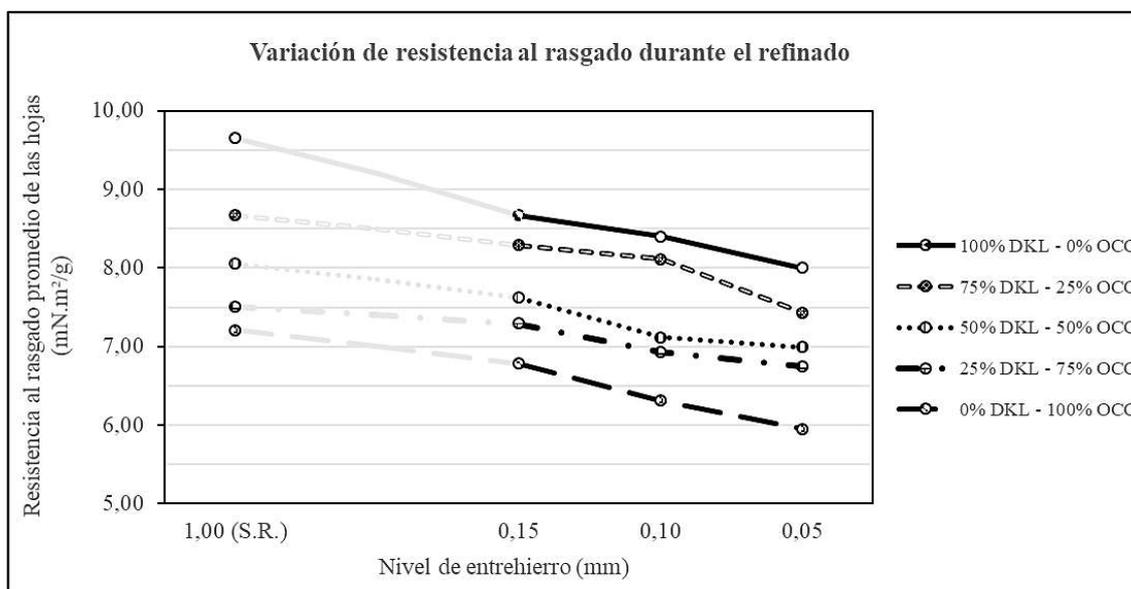
Variables	Grados de libertad	Resistencia a la tensión		Alargamiento	
		Valor p	Signif.	Valor p	Signif.
Proporción de mezcla	4	0,000	*	0,000	*
Nivel de entrelaço	2	0,000	*	0,000	*
Proporción de mezcla*Nivel de entrelaço	8	0,000	*	0,000	*
Error	285				
Total	299				

Dónde: Signif. (significancia); * (variable significativa).

3.6. RESISTENCIA AL RASGADO

La variación de la resistencia al rasgado durante el refinado se muestra en la figura 60, en la cual se distingue, el incremento de la resistencia en hojas con mayor fracción de fibras DKL, en comparación con las hojas fabricadas en su totalidad por fibras OCC. Estos resultados coinciden con la investigación realizada por Prasetyo (2012) quien concluye que, la resistencia al rasgado se ve afectada por la longitud de fibra; mientras tanto Cea (2011) y Torres (2005) afirman que, mayor ancho de fibra, elevada densidad lineal y menor contenido de cargas tienden a producir mayores resistencias al rasgado, lo cual es característico de las fibras DKL, como se aprecia en las figuras 33, 34 y 46.

En relación al nivel de entrehierro se puede decir que, la resistencia al rasgado disminuye en las hojas conforme se ajusta el entrehierro e incrementa la intensidad de refinación. Lumiainen (2000) sostiene que, el refinado aumenta el área de unión entre fibras, lo que da como resultado una mayor resistencia al rasgado en la etapa inicial; sin embargo, después de alcanzar el máximo valor, el refinado adicional reduce la resistencia; pudiendo deberse a la influencia negativa de finos y acortamiento de fibras, a pesar de la influencia positiva de la fibrilación externa, que favorece la fricción entre fibras contiguas (Torres, 2005).



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 60: Variación de la resistencia al rasgado de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Los resultados promedio de resistencia al rasgado durante el refinado según las variables de estudio son expuestas en la tabla 51, donde las hojas sin refinado (A_{SR} , B_{SR} , C_{SR} , D_{SR} y E_{SR}) relacionadas a las cinco proporciones de mezcla presentan valores entre 7,21 mN.m²/g y 9,65 mN.m²/g. Asimismo, se evidencia una notable variación en las lecturas del rasgado para las hojas refinadas que van desde 8,67 mN.m²/g hasta 5,95 mN.m²/g; según ajuste del entrehierro de 0,15 mm a 0,05 mm. Cabe resaltar que, la merma de resistencia es más diferenciada para aquellas hojas con mayor porcentaje de fibras OCC.

Tabla 51: Resultados promedio y desviaciones estándar de la resistencia al rasgado durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Código	Proporción de mezcla	Nivel de entrehierro	Resistencia al rasgado (mN.m ² /g)	
			Media	Desviación estándar
A_{SR}	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	9,65	0,751
AN_{15}	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	8,67	0,336
AN_{10}	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	8,40	0,344
AN_{05}	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	8,00	0,394
B_{SR}	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	8,67	0,817
BN_{15}	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	8,29	0,527
BN_{10}	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	8,11	0,563
BN_{05}	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	7,43	0,327
C_{SR}	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	8,05	0,507
CN_{15}	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	7,62	0,777
CN_{10}	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	7,12	0,727
CN_{05}	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	6,99	1,057
D_{SR}	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	7,51	0,465
DN_{15}	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	7,29	0,790
DN_{10}	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	6,93	0,473
DN_{05}	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	6,75	0,288
E_{SR}	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	7,21	0,393
EN_{15}	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	6,78	0,347
EN_{10}	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	6,31	0,350
EN_{05}	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	5,95	0,254

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N_{15} , N_{10} y N_{05} , refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

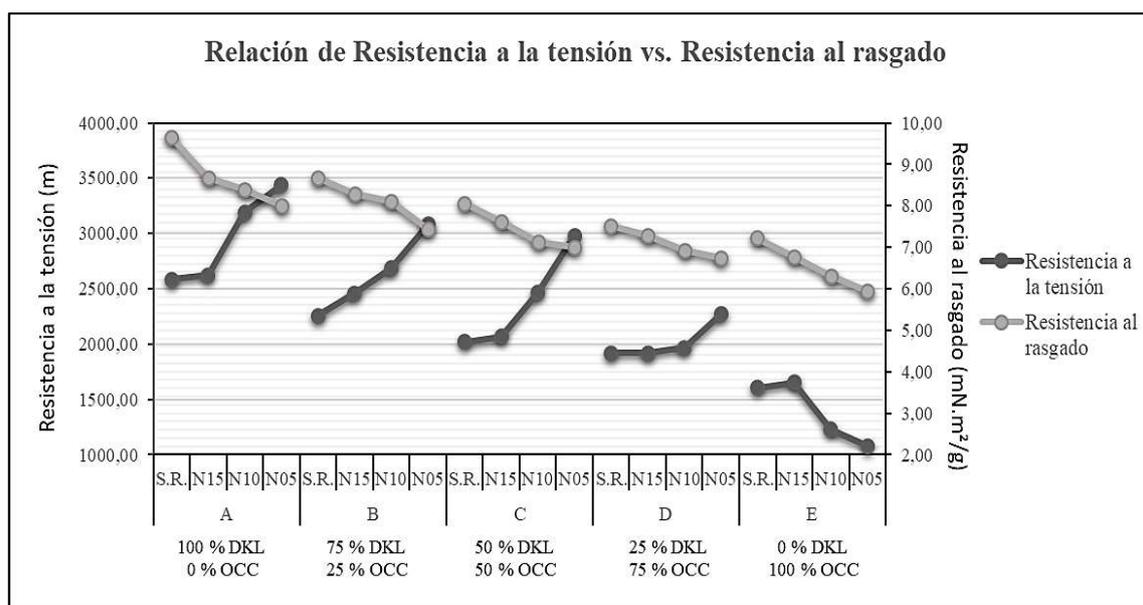
En la tabla 52 se aprecia el análisis de varianza de la resistencia al rasgado en relación con las variables de estudio y se afirma que, existe influencia altamente significativa de la proporción de mezcla y el nivel de entrehierro que influye sobre la resistencia al rasgado; lo cual es explicado en la figura 60.

Tabla 52: Análisis de varianza de los resultados de resistencia al rasgado de las hojas.

Variables	Grados de libertad	Resistencia al rasgado	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla	4	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,000	*
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,877	N.S.
Error	135		
Total	149		

Dónde: * (variable significativa); N.S. (variable no significativa).

Se presenta en la figura 61, la relación entre la resistencia a la tensión y al rasgado obteniéndose que, por lo general durante el refinado, las hojas evidencian una disminución en la resistencia al rasgado mientras aumenta la resistencia a la tensión. La tendencia es similar en todas las proporciones de mezcla, exceptuando la de 100 por ciento de fibras OCC; y se relaciona con el incremento de la intensidad de refinación. Considine *et al.* (2010) aseveran que, este comportamiento está ligado con el aumento gradual de la densidad del papel, el cual se intensifica con el ajuste del entrehierro, generando mayor unión entre fibras después del refinado.



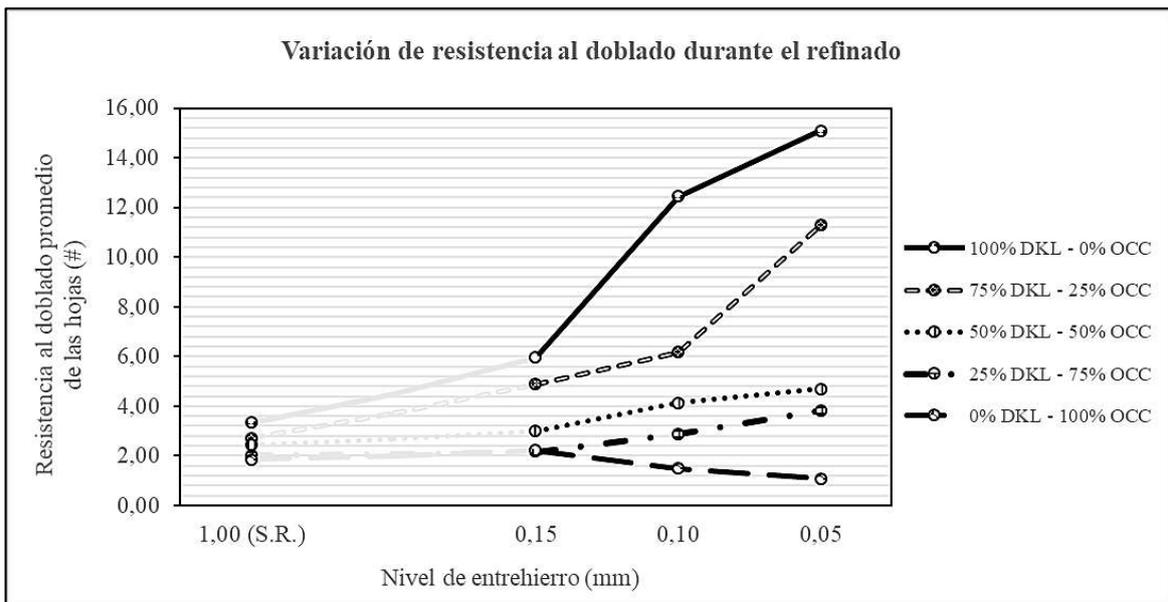
Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N15, N10 y N05, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Figura 61: Relación entre la resistencia a la tensión y rasgado de las hojas durante el refinado.

3.7. RESISTENCIA AL DOBLADO

Se observa en la figura 62, la variación de la resistencia al doblado durante el refinado y se distingue mayores valores de resistencia en hojas constituidas con mayor fracción de fibras DKL, mientras que, altos porcentajes de fibras OCC en las mezclas producen menores resistencias antes de romperse el papel. Sagástegui (2007) sostiene que, las dimensiones de las fibras y el gramaje afectan esta resistencia de manera positiva, comprobándose que la resistencia al doblado se eleva cuando se incrementa la longitud y ancho de fibra, así como el gramaje de la hoja.

En esta misma línea, la mayoría de hojas refinadas evidencian incrementos en la resistencia al doblado conforme se ajusta el nivel de entrehierro hasta su valor mínimo, a excepción de las hojas conformadas por fibras OCC, que presentan cierta caída en sus resistencias a 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro. A pesar que, el refinado produce el acortamiento de fibras; el incremento en finos y reducción considerable de doblez en fibras, tiene gran influencia sobre la resistencia al doblado en función del aumento de la fibrilación externa. Las investigaciones de Torres (2005) demostraron tendencias parecidas para la resistencia al doblado.



Dónde: S.R. (sin refinado).

Figura 62: Variación de la resistencia al doblado de las hojas promedio durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

En la tabla 53 se muestran los resultados promedio de la resistencia al doblado durante el refinado en relación a las variables de estudio, donde las hojas sin refinado (A_{SR} , B_{SR} , C_{SR} , D_{SR} y E_{SR}) presentan número de dobleces que van desde 1,85 hasta 3,34. Además, se registra una alta variación en la resistencia, para las hojas refinadas cuyas fracciones de fibras DKL superan el 75 por ciento; que es explicado según Sagástegui (2007), por la correlación entre la resistencia al doblado y la flexibilidad de las fibras, registrándose mayor número de dobleces antes y después del refinado en fibras más largas.

Tabla 53: Resultados promedio y desviaciones estándar de la resistencia al doblado de las hojas durante el refinado según la proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Código	Proporción de mezcla	Nivel de entrehierro	Resistencia al doblado (#)	
			Media	Desviación estándar
A_{SR}	100 % DKL - 0 % OCC	1,00 mm	3,34	0,592
AN_{15}	100 % DKL - 0 % OCC	0,15 mm	5,94	0,883
AN_{10}	100 % DKL - 0 % OCC	0,10 mm	12,45	1,752
AN_{05}	100 % DKL - 0 % OCC	0,05 mm	15,09	1,529
B_{SR}	75 % DKL - 25 % OCC	1,00 mm	2,72	0,467
BN_{15}	75 % DKL - 25 % OCC	0,15 mm	4,89	1,345
BN_{10}	75 % DKL - 25 % OCC	0,10 mm	6,18	1,061
BN_{05}	75 % DKL - 25 % OCC	0,05 mm	11,29	1,476
C_{SR}	50 % DKL - 50 % OCC	1,00 mm	2,43	0,360
CN_{15}	50 % DKL - 50 % OCC	0,15 mm	3,00	0,569
CN_{10}	50 % DKL - 50 % OCC	0,10 mm	4,14	1,021
CN_{05}	50 % DKL - 50 % OCC	0,05 mm	4,69	0,733
D_{SR}	25 % DKL - 75 % OCC	1,00 mm	2,01	0,368
DN_{15}	25 % DKL - 75 % OCC	0,15 mm	2,15	0,362
DN_{10}	25 % DKL - 75 % OCC	0,10 mm	2,87	0,355
DN_{05}	25 % DKL - 75 % OCC	0,05 mm	3,83	0,417
E_{SR}	0 % DKL - 100 % OCC	1,00 mm	1,85	0,466
EN_{15}	0 % DKL - 100 % OCC	0,15 mm	2,23	0,235
EN_{10}	0 % DKL - 100 % OCC	0,10 mm	1,50	0,231
EN_{05}	0 % DKL - 100 % OCC	0,05 mm	1,09	0,205

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); SR, sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N_{15} , N_{10} y N_{05} , refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Se presenta en la tabla 54, el análisis de varianza de las variables de estudio respecto al doblado y se puede decir que, existe influencia altamente significativa de la proporción de mezcla, el nivel de entrehierro y la interacción de ambas sobre la resistencia al doblado, reafirmando lo argumentado en la figura 62.

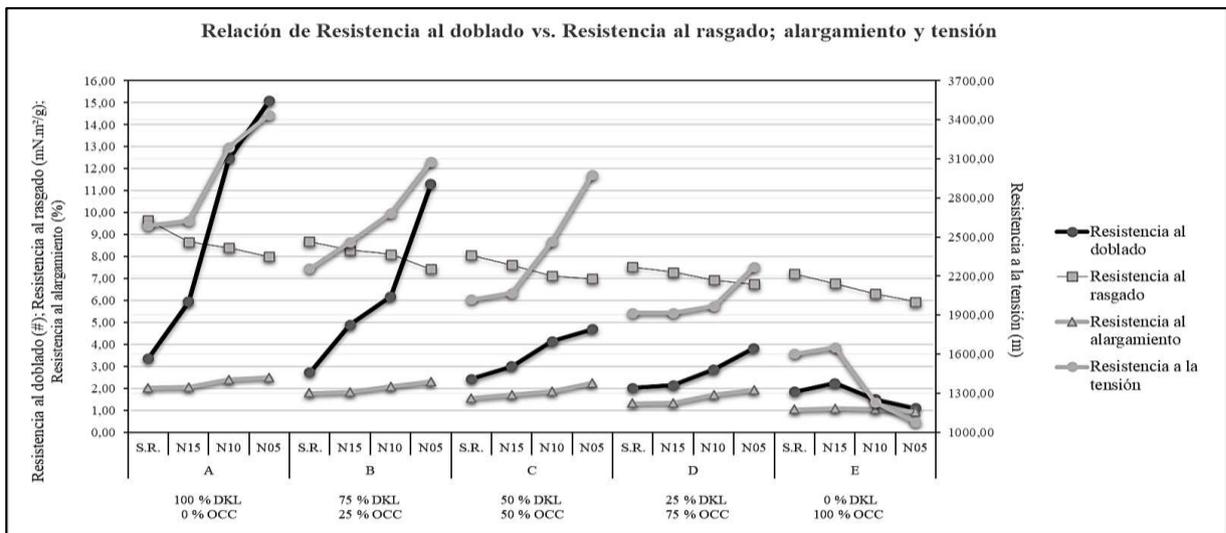
Tabla 54: Análisis de varianza de los resultados de resistencia al doblado de las hojas.

Variables	Grados de libertad	Resistencia al doblado	
		Valor p	Significancia
Proporción de mezcla	4	0,000	*
Nivel de entrehierro	2	0,000	*
Proporción de mezcla*Nivel de entrehierro	8	0,000	*
Error	135		
Total	149		

Dónde: * (variable significativa).

Por otro lado, en la figura 63 se observa que, conforme incrementa la intensidad de refinado debido al ajuste del nivel de entrehierro, la resistencia al doblado aumenta con el refinado de las fibras ya sea DKL u OCC, así como la resistencia a la tensión y alargamiento, aunque disminuye el rasgado. Considine *et al.* (2010) y Prasetyo (2012) confirmaron estas relaciones entre las propiedades de las hojas durante el refinado.

Sin embargo, se distingue una tendencia diferente para las hojas conformadas netamente de fibras OCC, cuando son refinadas a 0,10 mm y 0,05 mm, ya que, la resistencia al doblado tiende a disminuir; comportamiento similar que se aprecia en la resistencia a la tensión y al alargamiento en los mismos niveles de entrehierro. Torres (2005) afirma que, la resistencia al doblado puede disminuir cuando la unión entre las fibras es tan elevada que el papel se hace quebradizo a pesar del aumento en finos y fibrilación externa.



Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Figura 63: Relación entre la resistencia al doblado, rasgado, alargamiento y tensión de las hojas durante el refinado.

V. CONCLUSIONES

1. La interacción entre la proporción de mezcla y el nivel de entrehierro tiene influencia significativa sobre la consistencia, clasificación de fibras, drenabilidad, cenizas, permeabilidad al aire, blancura, opacidad, resistencia a la tensión, alargamiento y doblado.
2. El mayor porcentaje de fibras DKL correspondiente a la proporción de mezcla influye en el aumento de la longitud, ancho, densidad lineal, extremos rotos y macrofibrilación de las fibras, así como la drenabilidad, humedad, gramaje, espesor, permeabilidad, blancura, opacidad, resistencia a la tensión, alargamiento, rasgado y doblado de las hojas.
3. A mayor porcentaje de fibras OCC, se le atribuye el incremento de la curvatura, doblez y finos de las fibras, tal como las cenizas y densidad de las hojas.
4. Durante el refinado, el nivel de entrehierro contribuye con la disminución de la longitud, ancho, densidad lineal, curvatura y doblez en las fibras, al igual que la drenabilidad, espesor, permeabilidad, blancura, opacidad y resistencia al rasgado de las hojas.
5. El refinado influye aumentando los extremos rotos, finos y macrofibrilación de las fibras, así como, el gramaje, densidad, resistencia a la tensión, alargamiento, doblado de las hojas; a excepción de las cenizas y humedad, donde el nivel de entrehierro no presenta influencia significativa.
6. El nivel de entrehierro tiene influencia significativa sobre las propiedades de las pulpas a 0,15 mm; y el menor entrehierro de 0,05 mm, ejerce influencia negativa sobre todas las propiedades analizadas.

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar la influencia del refinado en pulpas constituidas de fibras recicladas con diferentes modelos de discos refinadores, analizando cómo la intensidad de refinación se relaciona con las propiedades de las pulpas, bajo condiciones controladas de trabajo.
- Realizar ensayos en pulpas conformadas por fibras recicladas a diferentes tiempos de desintegrado y refinado, consistencias y niveles de entrehierro para cada proporción de mezcla, con el fin de determinar el consumo de energía durante la preparación de la pulpa y analizar la relación costo/beneficio.
- Analizar las fibras desde el punto de vista químico, para comprender a mayor detalle las posibles relaciones entre las características morfológicas de las fibras con las propiedades físico-mecánicas de las hojas.
- De acuerdo con los resultados obtenidos, se recomienda utilizar pulpas a partir de fibras recicladas con un porcentaje máximo del 50 por ciento de fibras OCC en la mezcla, refinadas a un entrehierro mínimo de 0,15 mm, de manera que influya significativamente sobre todas las propiedades de las pulpas analizadas.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Abril, A. & Mogollón, G. (2012). Reciclado celulósico: Química del papel. Santa Fe, Argentina: Industria Papelera.

Ackermann, C.; Gottsching, L.; Pakarinen, H. (2000). Capítulo 10: Papermaking potential of recycled fiber. Papermaking Science and Technology.

Aguerre, Y.S. (2020). Material didáctico: Fabricación de papel y cartón. Capítulo 3 (Refinación).

Aguilar Rivera, N. (2004). El reciclado de papel y cartón. Revista Elementos: ciencia y cultura, 11(53): 54-56. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/294/29405308.pdf>

Aikawa Fiber Technologies. (2001). Introduction to Stock Prep Refining. Quebec, Canadá: Aikawa Group.

Andersson, S. (2011). Low consistency refining of mechanical pulp - Process conditions and energy efficiency (Tesis de licenciatura). Mid Sweden University, Sundsvall, Sweden.

Andersson, S.; Sandberg, C.; Engstrand, P. (2012). Effect of long fibre concentration on low consistency refining of mechanical pulp. Nordic Pulp and Paper Research Journal (Mechanical pulping), 27(4): 702-706.

Andersson, S.; Sandberg, C.; Engstrand, P. (2012). The effect of rotor position on pulp properties in a two-zoned low consistency refiner. Nordic Pulp and Paper Research Journal (Mechanical pulping), 27(3): 525-530.

Area, M.C. (2006). Introducción a la fabricación de pulpa y papel. Programa de Investigación de celulosa y papel. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones, Posadas, Argentina.

Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón. (2015). Datos # 16 verdades sobre el papel: mitos frente a datos AIMP. Revista ASPAPEL. Recuperado de http://aspapel.es/sites/default/files/publicaciones/doc_413.pdf.

Avijit, D.; Dipankar, S.; Dasgupta, B.K. (1995). The current state of paper recycling - A global review. IPPTA, 7 (4): 1-12.

Bawden, A.D. & Kibblewhite, R.P. (1997). Effects of Multiple Drying Treatments on Kraft Fiber Walls. J. Pulp Paper Sci, 23 (7): J340-J346.

Beg, M.D.H. & Pickering, K.L. (2008). Mechanical performance of Kraft fibre reinforced polypropylene composites: Influence of fibre length, fibre beating and hygrothermal ageing. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 39(11): 1748-1752.

Bhardwaj, N.K.; Hoang, V.; Nguyen, K.L. (2007). A comparative study of the effect of refining on physical and electrokinetic properties of various cellulosic fibres. Bioresource Technology, 98(8): 1647-1654.

Bouchard, J. & Douek, M. (1993). The effects of recycling on the chemical properties of pulps. 2nd Research Forum on Recycling. CPPA, Montreal, Canada.

Boluarte Loayza, C.B.L. & Rosado Noriega, J.M. (2019). Análisis del sector de productos químicos para la fabricación de papel en Perú (Tesis de maestría). PAD Escuela de dirección, Lima, Perú.

Bortolan, R.H. (2012). Estudo do efeito do tipo de celulose utilizada e da intensidade de refino no proceso de refino da polpa celulósica (Tesis de ingeniería). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São paulo, Brasil.

Bureau of International Recycling Paper Division. (2021). Paper and board recycling in 2019: Overview of world statistics. Autor. Recuperado de <https://www.bir.org/publications/facts-figures>

Cadena Chamorro, E.M. (2008). Estudio del refinado de pastas de papel utilizando métodos biotecnológicos (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña, Terrasa, España.

Cancapa Cáceres, V. & Chambi Quispe, G. (2012). Determinación de parámetros del equipo refinador de pasta para la obtención de papel Kraft a partir de tallos de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) (Tesis de ingeniería). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Cea Parra, C.E. (2011). Evaluación de fibras celulósicas producidas en planta de celulosa Nueva Aldea (Tesis de maestría). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Centre technique du papier. (2014). Morfi Compact - Test reports. Grenoble, Francia.

Centre technique du papier. (2016). Pulp quality control. Grenoble, Francia.

Coellar Neira, P.G. (2005). Proyecto de apertura de una planta de recolección de fibras secundarias en la zona norte de la República del Perú, Piura (Tesis de maestría). Universidad de Azuay, Cuenca, Ecuador.

Considine, J.M.; Vahey, D.W.; Matthys, D.; Rowlands, R.E.; Turner, K.T. (2010). An inverse method for analyzing defects in heterogeneous materials. Proceedings of SEM annual conference and exposition on experimental and applied mechanics. Indianapolis, Indiana USA.

Da Silva Campos, E. (setiembre, 2009). Curso básico de fabricação de papel. Trabajo presentado en el congreso de la Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel sobre Fabricación de papel, São Paulo, Brasil. Resumen recuperado de https://www.academia.edu/17626950/apostila_completa_celulose_e_papel

Da Silva Campos, E. (2011). Curso básico de fabricação de papel. Trabajo presentado en el congreso de la Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel sobre Fabricación de papel, São Paulo, Brasil. Resumen recuperado de http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2011_Curso_Fabricacao_Celulose_Papel.pdf

Da Silva Cardoso, G. (2015). Modificação das fibras recicladas de papelão ondulado por tratamento enzimático (Tesis doctoral). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.

De la Cruz Yarasca, B.M. & Fuente Cuenca, D.A. (2013). Obtención de pulpa blanca a partir de papel impreso reciclado mediante el proceso de destintado electrolítico (Tesis de ingeniería). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

Ellis, R. & Sedlachek, K.M. (1993). Recycled vs. Virgin characteristics: a comparison. TAPPI, 76 (2): 143-146.

El-Sharkawy, K.; Haavisto, S.; Koskenhely, K.; Paulapuro, H. (2008). Effect of fiber flocculation and filling design on refiner loadability and refining characteristics. Bio Resources, 3(2): 403-424.

Enzing, C. (2005). Consequences, opportunities and challenges of modern biotechnology for Europe. Bio4eu, 2 (3).

Ferluc, A.; Lanouette, R.; Bousquet, J.P.; Bussiere, S. (2010). Optimum refining of TMP pulp by fractionation after the first refining stage. Appita J., 63(4): 308-314.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). Anuario FAO de productos forestales 2019. FAO STATISTICS. Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/statistics/80570/es/>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). FAO Pulp, Paper and Paperboard Capacity Survey 2020-2025. FAO STATISTICS. Recuperado de <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.fao.org%2Fforestry%2F49905-04746edbd1e78621ebce24e4603245a12.xls&wdOrigin=BROWSELINK>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). FAO Pulp, Paper and Paperboard Capacity Survey 2021-2026. FAO STATISTICS. Recuperado de https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.fao.org%2Ffileadmin%2Fuser_upload%2Ffaoweb%2Fstatistics%2Fquestionnaires%2FPULP_AND_PAPER_PRODUCTION_BY_COUNTRY_2021.xls&wdOrigin=BROWSELINK

Gavazzo, G.B. & Pavlik, C.A. (2008). Características de pulpas recicladas de papeles de oficina, cartones corrugados y periódicos y sus mezclas. Programa de Investigación de Celulosa y Papel. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Posadas, Argentina.

Gavazzo, G.B. (2016). Propiedades de las fibras secundarias: Curso PROCYP - AFCP [Diapositivas de PowerPoint]. Programa de Celulosa y Papel, Universidad Nacional de Misiones.

Gavazzo, G.B. (2019). Refinación de la pulpa y ensayos relacionados. Curso PROCYP - AFCP [Diapositivas de PowerPoint]. Programa de Celulosa y Papel, Universidad Nacional de Misiones.

Gavazzo, G. B. (2020). Fabricación de papel y cartón: Curso PROCYP - AFCP [Diapositivas de PowerPoint]. Programa de Celulosa y Papel, Universidad Nacional de Misiones.

Gavazzo, G.B. (2021). Reciclado del papel: Curso PROCYP - AFCP [Diapositivas de PowerPoint]. Programa de Celulosa y Papel, Universidad Nacional de Misiones.

Guo, W.; Wang, Y.; Wan, J. (2011). Effects of slushing process on the pore structure and crystallinity in old corrugated container cellulose fibre. Carbohydrate Polymers, 83(1): 1-7.

Howard R.C. & Bichard, W. (1992). The basic effects of Recycling on Pulp Properties. *Journal. of pulp and Paper Science*, 18(4): J151-J156.

Huang, F. (2006). The mechanism of rupture of early - and latewood in refining (le mécanisme de rupture du bois de printemps et bois d'été au cours du raffinage) (Tesis doctoral). Université du Québec a Trois - Rivières, Québec, Canadá.

Hubbe, M.A.; Venditti, R.A.; Rojas, O.J. (2007). What happens to cellulosic fibers during papermaking and recycling? A review. *BioResources*, 2(4). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/26485513_What_happens_to_cellulosic_fibers_during_papermaking_and_recycling_A_Review.

Hurtado, R. (noviembre, 2018). Materias primas recicladas. En Quiñones, N. (Presidencia). Fabricación de liner y corrugado medio y su conversión en cajas de cartón corrugado. Conferencia llevada a cabo en el congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón, Cali, Colombia.

Imtiaz, A. (2012). Study of the mechanical behavior of recycled fibers. Applications to papers and paperboards (Tesis para obtener el grado de doctor). Université de Grenoble, Francia.

INDECOPI (2014). Papel y cartón: Toma de muestras para determinar la calidad media (NTP-ISO 186).

International Organization for Standardization. (1999). *Pulps-Determination of drainability-Part 1: Schopper-Riegler method. (ISO 5267-1)*.

International Organization for Standardization. (2007). *Pulps-Determination of drainability-Part 2: Canadian Standard freeness method. (ISO 5267-2)*.

International Organization for Standardization. (2007). *Pulps-Determination of fibre length by automated optical Analysis-Part 2: Unpolarized light method. (ISO 16065-2)*.

International Organization for Standardization. (2012). Pulps - Basic guidelines for laboratory refining. (ISO 11371).

J&L Fiber Services. (2007). Refining System Optimization: A six-step approach [Diapositivas de PowerPoint].

Kerekes, R.J. & Senger, J.J. (2006). Characterizing refining action in low consistency refiners by forces on fibres. *J Pulp Pap. Sci*, 32(1): 1-8.

Lévesque, M. (1999). Le recyclage et le désencrage des papiers et des cartons, chapitre 5 "Contaminants usuels des vieux papiers et cartons". Centre collégial de développement de matériel didactique (CCDMD), Québec, Canada.

Lumiainen, J. (2000). Refining of Chemical Pulps. *ATIP*, 8.

Manfredi, M. (2010). Desenvolvimento de propriedades de papéis reciclados por tratamento ultrassônico das fibras e adição de xilanas (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa - Minas Gerais, Brasil.

Manfredi, M.; Chaves de Oliveira, R.; Quezada Reyes, R.I.; Da Silva, J.C. (2013). Ultrasonic treatment of secondary fibers to improve paper properties. *Nordic Pulp & Paper Research Journal (Paper physics)*, 28(2): 297-301.

Mohlin, U.B. (marzo, 2006). LC - refining of chemical pulps - refining intensity and gap clearance. Trabajo presentado en la Novena Conferencia Internacional de Refinación, Leatherhead, Inglaterra.

Molina Tirado, L.B. (2006). Influencia del reciclado sobre las propiedades de papeles encolados componentes de cartón corrugado (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Misiones, Misiones, Argentina.

Mutje, P.; Pelach, A.; Barbera, L. (2008). Capítulo V: Estado actual del reciclado de papel y cartón en la industria papelera. Trabajo presentado en el Panorama de la industria de celulosa y papel en Iberoamérica 2008 - RIADICY. Misiones, Argentina.

Nazhad, M. (2005). Recycled fiber quality - a review. *Pulp and Paper Technology*, 11(3). Recuperado de <https://www.cheric.org/research/tech/periodicals/view.php?seq=497896>

Núñez, C.E. (2008). Pulpa y papel I 4ª parte: Anatomía de la Madera - Macro. Recuperado de www.cenunez.com.ar

Ostos Rueda, A.J. (1997). Refinación de fibra celulósica a baja densidad. Beloit Pulping Group - J & L Services. 1997: 1-10.

Pakarinen, H & Göttching, L. (2010). *Papermaking Science and Technology: Secondary Fiber and Deinking*.

Paulapuro, H. (2000). *Papermaking Science and Technology: Paper and board grades*. Book 18. Helsinki, Finland: Finnish Paper Engineers' Association and TAPPI.

Prasetyo Nugroho, D.D. (2012). Low consistency refining of mixtures of softwood & hardwood bleached Kraft pulp: effects of refining power (Tesis de maestría). Asian Institute of Technology, Thailand.

Polan, M. (1993). Effects of refining on the flocculation of chemical pulp suspensions. Institute of Papermaking, Pulp and Paper. University of British Columbia, Darmstadt, Germany.

Posluszny, J.A. (1998). Efecto de la mezcla de papeles reciclados sobre las propiedades de las pulpas (Tesis parcial de maestría). Universidad Nacional de Misiones, Argentina.

Red Iberoamericana de Docencia e Investigación en Celulosa y Papel. (2008). Panorama de la industria de celulosa y papel en Iberoamérica 2008 (editado por María Cristina Area). 1ra ed. Misiones, Argentina: Innova Digital S.A.

Reis, E.A. (2002). Influência da refinação de alta consistência em papéis sack kraft. In: Congresso e exposição anual de celulose e papel (35°). São Paulo, Brasil: ABTCP.

Repetti, R. (1992). Introducción a la tecnología de fabricación de pastas celulósicas. ATIPCA.

Reynosa, T.A.M. (2004). Material didáctico: Métodos ópticos de análisis. Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Rodríguez Pozueta, M.A. (2013). Colección "Electrotecnia para Ingenieros no especialistas": Corriente alterna mono y trifásica.

Rubiano Berna, J.E.; Martinez, D.M.; Olson, J.A. (2018). A comminution model parametrization for low consistency refining. Powder Technol, 1(328): 288-299.

Rubiano Berna, J.E.; Martínez, D.M.; Olson, J.A. (2019). Power - gap relationships in low consistency refining. Nordic Pulp and Paper Research Journal (Mechanical pulping), 2019: 1-10.

Sagástegui Roncal, V.R. (2007). Manual técnico: la calidad del papel y su comportamiento durante la impresión gráfica. Trujillo, Perú: Quimigraf.

Sagástegui Roncal, V.R. (2016). Manual técnico: la calidad del papel y sus relaciones con la industria gráfica. Trujillo, Perú: Quimigraf.

Sanjuán Dueñas, R. (1997). Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel. Jalisco, México: Ágata editores.

Saxena R.K. (2001). Use of Secondary Fiber and its Selection. IPPTA. 13(3): 56-58.

Setasith, S. (2014). Effect of compressive and abrasive refining on structural changes in fiber and paper properties (Tesis de maestría). Aalto University School of Chemical Technology, Finland.

Seth, R.S. (2003). The measurement and significance of fines. Pulp & Paper Canada 104(2): T47-T50.

Sevilla Quintanilla, M.F. (2013). Análisis y control de la calidad del papel en el proceso productivo y producto terminado para el grupo Cartopel S.A.I. (Tesis de ingeniería). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Sixta, H. (2006). Handbook of pulp. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2: 1213-1280.

Smook, G.A. (1990). Manual para técnicos de pulpa y papel: Utilización de fibras secundarias. Atlanta: TAPPI Press. 1990: 199-209.

Smook, G.A. (2002). Handbook for pulp & paper technologists. Vancouver: Angus Wilde Publications, 205-217.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2006). Fiber length of pulp by classification (TAPPI T233 cm-06).

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2008). Brightness of pulp, paper, and paperboard (TAPPI T452 om-08).

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2010). Physical testing of pulp handsheets. (TAPPI T220 sp-10).

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2010). Thickness (caliper) of paper, paperboard, and combined board. (TAPPI T411 om-10).

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2011). Air resistance of paper (Gurley method). (TAPPI T460 om-11).

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2011). Opacity of paper (15/d geometry, illuminant A/2°, 89% reflectance backing and paper backing). (TAPPI T425 om-11).

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2012). Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525 °C (TAPPI T211 om-12).

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2012). Consistency (concentration) of pulp suspensions. (TAPPI T240 om-12).

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2012). Forming handsheets for physical tests of pulp. (TAPPI T205 sp-12).

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2012). Internal tearing resistance of paper (Elmendorf-type method). (TAPPI T414 om-12).

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2012). Moisture in pulp, paper and paperboard. (TAPPI T412 om-11).

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2013). Standard conditioning and testing atmospheres for paper, board, pulp handsheets, and related products. (TAPPI T402 sp-13).

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2013). Grammage of paper and paperboard (weight per unit area). (TAPPI T410 om-13).

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2013). Sampling and testing wood pulp shipments for moisture. (TAPPI T210 cm-13).

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2013). Tensile properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus). (TAPPI T494 om-13).

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2013). Folding endurance of paper (MIT tester). (TAPPI T511 om-13).

Tech Trade S.A.C. (2022). Informes técnicos: Análisis y resumen morfológico de muestras. Documento no publicado. Lima, Perú.

Test, I. D. M. (s/f). Productos pasta-pulpa. Idmtest.com. Recuperado el 18 de agosto de 2023, de <https://www.idmtest.com/productos/pasta-pulpa>

Torres López, A.L. (1988). Tecnología del papel. Trabajo presentado a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrasa, Cataluña, España.

Torres López, A.L. (2005). Últimos avances en la tecnología del refinado: Introducción al refinado - Aspectos generales. Trabajo presentado a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrasa, Cataluña, España.

Turrado, S.; Saucedo, C.; Pérez, R.; Iñiguez, C.; López, D.; Villar, G.; Mutje, P. (2008). Capítulo IV: Tecnología en la fabricación de papel.

Vallejos, M.E. (2002). Evaluación del comportamiento de pulpas SGW y recicladas en la fabricación de cartón multicapa (Tesis de maestría inédita). Universidad Nacional de Misiones, Misiones, Argentina.

Vidal Jane, J.; Torras Hostench, S.A. (s/f). Conferencia V: Evolución de la composición en tamaños de fibras de la pasta en el transcurso de la preparación y formación de la hoja.

Wan, J.; Yang, J.; Ma, Y.; Wang, Y. (2011). Effects of pulp preparation and papermaking processes on the properties of OCC fibers. *BioResources*, 6(2): 1615-1630.

Zanuttini, M.A. (2012). *Reciclado celulósico*. Santa Fe, Argentina: Industria Papelera.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Instalación del Sistema Prototipo a escala laboratorio.

PULPER

El diseño definitivo del pulper y del rotor, así como la construcción del sistema (equipos, piezas y partes), y su posterior instalación, fue realizada en el Laboratorio de Pulpa y Refinación, por el equipo técnico del Área de Maestranza, bajo la supervisión de gerencia.

Se diseñó y construyó un pulper con capacidad suficiente de 350 litros, para lograr un grado aceptable de desintegrado de las materias primas (DKL y OCC), con la premisa que el mismo opere por lotes y facilite la operación de desintegrado, evitando la acumulación de material sin pulpear.

Los elementos en contacto con la pulpa se construyeron en Acero Inoxidable; de igual forma, el rotor fue montado sobre un eje del mismo material con la facilidad de retirarse para su limpieza. El rotor se accionó con un motor eléctrico mediante un sistema de correas y poleas, ajustables según las condiciones óptimas de trabajo.

Por otro lado, debajo del rotor y conectada al eje del pulper, se instaló una placa con perforaciones circulares de 10 mm de diámetro. Al fondo del pulper se le conectó un sistema de tuberías accionadas mediante válvulas, lo cual permitió la descarga de pulpa al refinador.

REFINADOR

Se diseñó y fabricó un refinador de laboratorio, con dos discos circulares de 200 mm (8") de diámetro, sin diques y cuya configuración de discos fue de 2 mm x 3 mm x 6 mm (108 barras por disco), a una velocidad de trabajo de 1800 RPM.

La cámara y porta discos se fabricaron de acero inoxidable, mientras que la base y cuerpo del refinador en hierro nodular. La regulación de aproximación de los discos (entrehierro) dependió del tipo de prueba a realizarse dentro del marco experimental.

El refinador de laboratorio se acopló dentro de un sistema de recirculación de la pulpa, donde la conexión de agua fue directa a los discos para su limpieza y llenado. Su funcionamiento en el sistema prototipo fue regulada por un tablero eléctrico.

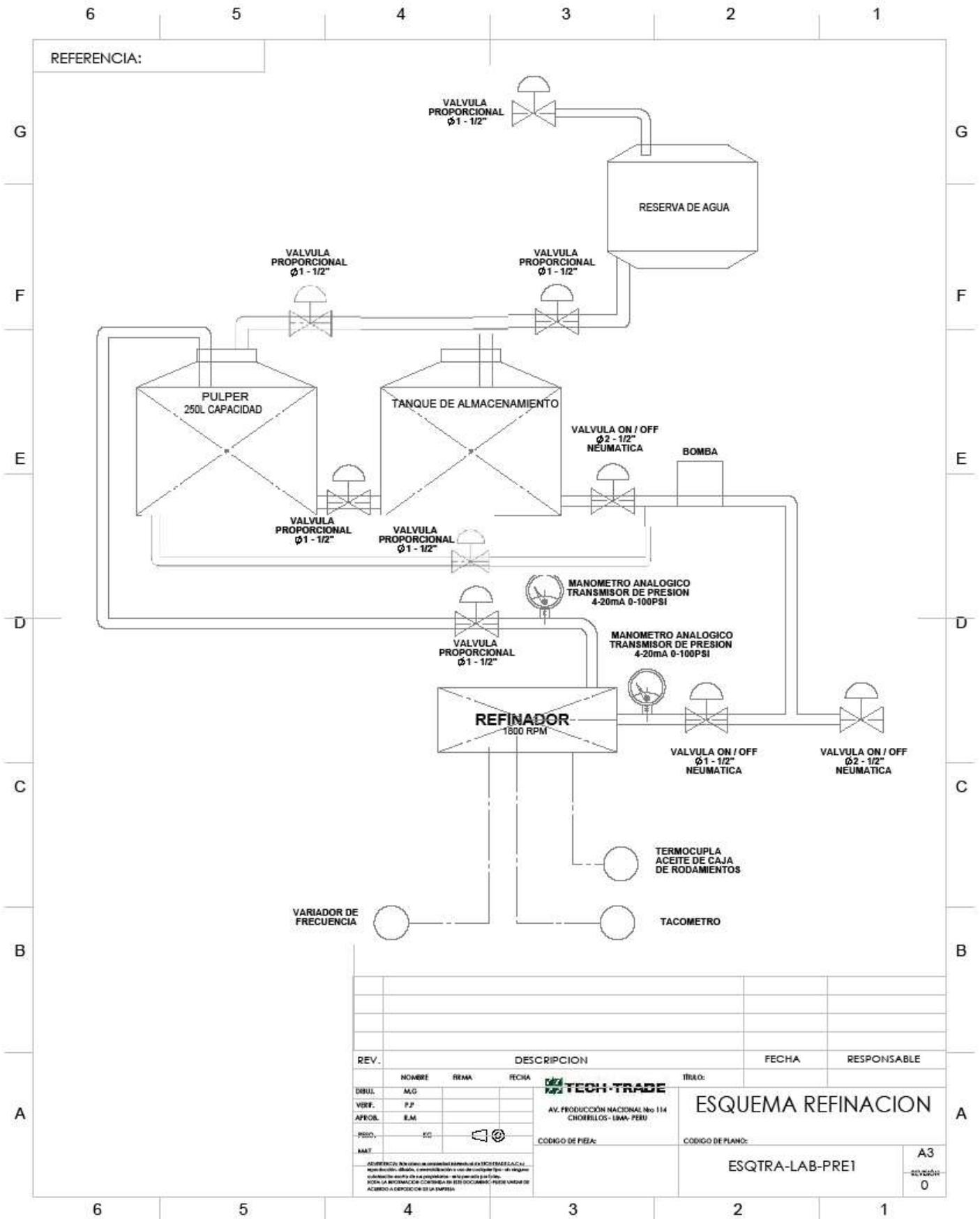
TABLERO ELÉCTRICO GENERAL

El tablero eléctrico fue acoplado a los siguientes equipos: tanque del pulper, tanque de almacenamiento y refinador. También, incluyó tuberías como medio de transporte para el material desintegrado, bombas y válvulas para la toma de muestras.

A continuación, se presenta el sistema prototipo instalado en el Laboratorio de Pulpa y Refinación de la empresa TECH TRADE SAC:



Anexo 2: Esquema de preparación de pulpa a escala laboratorio.



Anexo 3: Datos de las repeticiones y promedios de consistencias según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

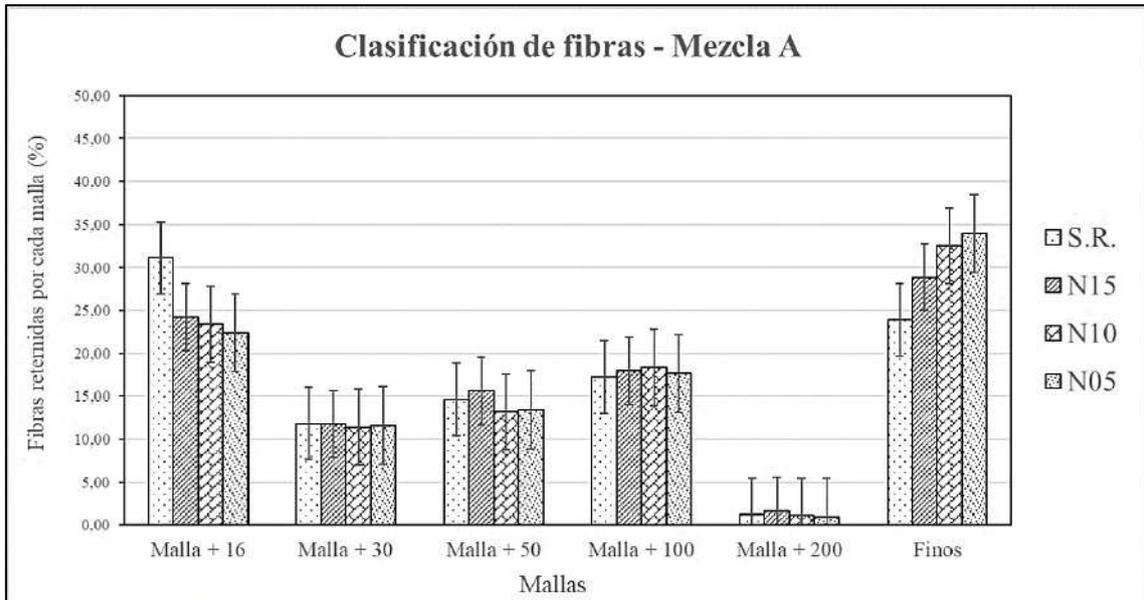
Proporción de mezcla		A (100 % DKL - 0 % OCC)										
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)					N₁₅ (0,15 mm)					
Consistencia	m.c.	m.c.+m.h.	m.h.	m.c.+m.s.	m.s.	%	m.c.	m.c.+m.h.	m.h.	m.c.+m.s.	m.s.	%
	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		gramos	gramos	gramos	gramos	gramos	
N° 1	65,398	129,734	64,336	68,087	2,689	4,18	62,895	144,475	81,580	66,028	3,133	3,84
N° 2	63,433	131,841	68,408	66,258	2,825	4,13	65,653	133,180	67,527	68,300	2,647	3,92
N° 3	67,079	144,194	77,115	70,248	3,169	4,11	74,108	153,078	78,970	77,204	3,096	3,92
												4,14
												3,89
Nivel de entrehierro		N₁₀ (0,10 mm)					N₀₅ (0,05 mm)					
N° 1	67,444	143,414	75,970	70,559	3,115	4,10	63,137	144,603	81,466	66,159	3,022	3,71
N° 2	69,703	122,493	52,790	71,904	2,201	4,17	68,214	132,279	64,065	70,706	2,492	3,89
N° 3	39,338	95,335	55,997	41,634	2,296	4,10	64,078	131,084	67,006	66,671	2,593	3,87
												4,12
												3,82
Proporción de mezcla		B (75 % DKL - 25 % OCC)										
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)					N₁₅ (0,15 mm)					
Consistencia	m.c.	m.c.+m.h.	m.h.	m.c.+m.s.	m.s.	%	m.c.	m.c.+m.h.	m.h.	m.c.+m.s.	m.s.	%
	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		gramos	gramos	gramos	gramos	gramos	
N° 1	63,437	141,875	78,438	66,653	3,216	4,10	61,953	131,843	69,890	64,609	2,656	3,80
N° 2	37,558	91,267	53,709	39,808	2,250	4,19	63,073	116,576	53,503	65,115	2,042	3,82
N° 3	65,656	108,235	42,579	67,410	1,754	4,12	65,469	123,791	58,322	67,714	2,245	3,85
												4,14
												3,82
Nivel de entrehierro		N₁₀ (0,10 mm)					N₀₅ (0,05 mm)					
N° 1	65,406	147,475	82,069	68,615	3,209	3,91	64,371	125,554	61,183	66,812	2,441	3,99
N° 2	62,900	132,713	69,813	65,546	2,646	3,79	67,212	132,168	64,956	69,765	2,553	3,93
N° 3	65,510	111,163	45,653	67,254	1,744	3,82	64,137	129,558	65,421	66,721	2,584	3,95
												3,84
												3,96

Proporción de mezcla		C (50 % DKL - 50 % OCC)											
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)					N ₁₅ (0,15 mm)						
Consistencia	m.c.	m.c.+m.h.	m.h.	m.c.+m.s.	m.s.	%	m.c.	m.c.+m.h.	m.h.	m.c.+m.s.	m.s.	%	
	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		gramos
N° 1	74,112	133,728	59,616	77,039	2,927	4,91	66,016	131,312	65,296	68,549	2,533	3,88	
N° 2	61,668	128,074	66,406	64,895	3,227	4,86	61,294	124,524	63,230	63,709	2,415	3,82	
N° 3	62,278	123,858	61,580	65,289	3,011	4,89	63,563	128,389	64,826	66,078	2,515	3,88	
						4,89							3,86
		N ₁₀ (0,10 mm)					N ₀₅ (0,05 mm)						
N° 1	77,465	143,549	66,084	80,075	2,610	3,95	62,335	133,157	70,822	65,196	2,861	4,04	
N° 2	65,518	128,109	62,591	68,009	2,491	3,98	65,649	133,002	67,353	68,316	2,667	3,96	
N° 3	62,934	127,532	64,598	65,511	2,577	3,99	65,479	130,999	65,520	68,080	2,601	3,97	
						3,97							3,99
Proporción de mezcla		D (25 % DKL - 75 % OCC)											
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)					N ₁₅ (0,15 mm)						
Consistencia	m.c.	m.c.+m.h.	m.h.	m.c.+m.s.	m.s.	%	m.c.	m.c.+m.h.	m.h.	m.c.+m.s.	m.s.	%	
	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		gramos
N° 1	64,243	126,987	62,744	67,066	2,823	4,50	67,200	138,791	71,591	70,056	2,856	3,99	
N° 2	63,468	125,687	62,219	66,237	2,769	4,45	65,747	134,983	69,236	68,503	2,756	3,98	
N° 3	65,696	129,548	63,852	68,544	2,848	4,46	64,369	140,358	75,989	67,378	3,009	3,96	
						4,47							3,98
		N ₁₀ (0,10 mm)					N ₀₅ (0,05 mm)						
N° 1	65,442	135,189	69,747	68,204	2,762	3,96	64,125	148,608	84,483	67,656	3,531	4,18	
N° 2	67,272	154,712	87,440	70,691	3,419	3,91	63,046	147,020	83,974	66,573	3,527	4,20	
N° 3	62,291	149,848	87,557	65,785	3,494	3,99	67,523	130,278	62,755	70,171	2,648	4,22	
						3,95							4,20

Proporción de mezcla		E (0 % DKL - 100 % OCC)										
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)					N ₁₅ (0,15 mm)					
Consistencia	m.c. gramos	m.c.+m.h. gramos	m.h. gramos	m.c.+m.s. gramos	m.s. gramos	%	m.c. gramos	m.c.+m.h. gramos	m.h. gramos	m.c.+m.s. gramos	m.s. gramos	%
N° 1	65,902	150,385	84,483	69,062	3,160	3,74	74,009	138,013	64,004	76,563	2,554	3,99
N° 2	61,683	145,657	83,974	64,857	3,174	3,78	67,258	135,817	68,559	70,021	2,763	4,03
N° 3	64,035	126,790	62,755	66,476	2,441	3,89	61,943	119,180	57,237	64,232	2,289	4,00
						3,80						4,01
		N ₁₀ (0,10 mm)					N ₀₅ (0,05 mm)					
N° 1	37,563	107,291	69,728	40,561	2,998	4,30	69,701	143,565	73,864	72,855	3,154	4,27
N° 2	63,507	131,285	67,778	66,449	2,942	4,34	65,493	143,635	78,142	68,791	3,298	4,22
N° 3	65,559	125,876	60,317	68,183	2,624	4,35	63,352	135,525	72,173	66,390	3,038	4,21
						4,33						4,23

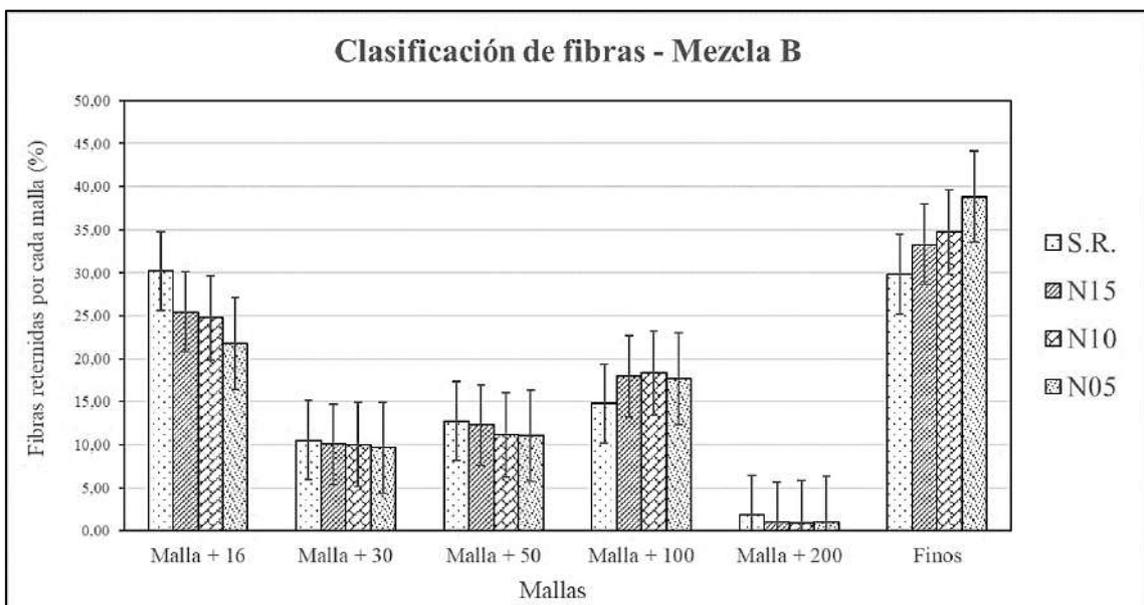
Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm, respectivamente; m.c. (masa del crisol); m.h. (masa de la muestra húmeda); m.s. (masa de la muestra seca) y % (porcentaje de consistencia de pulpa).

Anexo 4: Distribución de la clasificación de fibras para la mezcla 100 % DKL - 0 % OCC a diferentes niveles de entrehierro.



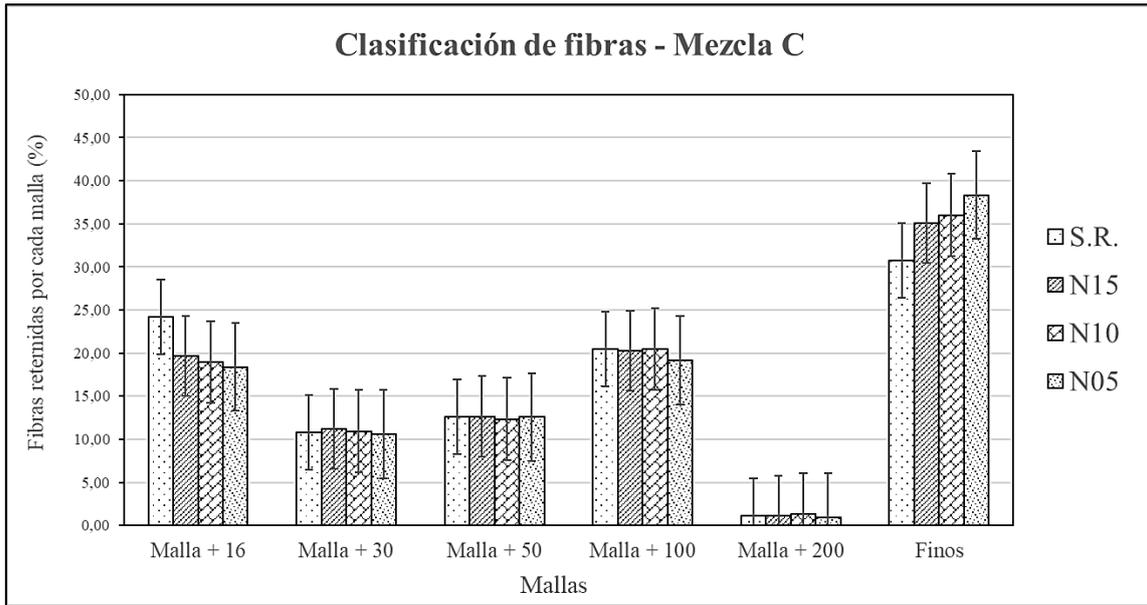
Dónde: A (proporción de mezcla 100 % DKL - 0 % OCC); S.R., sin refinado (discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Anexo 5: Distribución de la clasificación de fibras para la mezcla 75 % DKL - 25 % OCC a diferentes niveles de entrehierro.



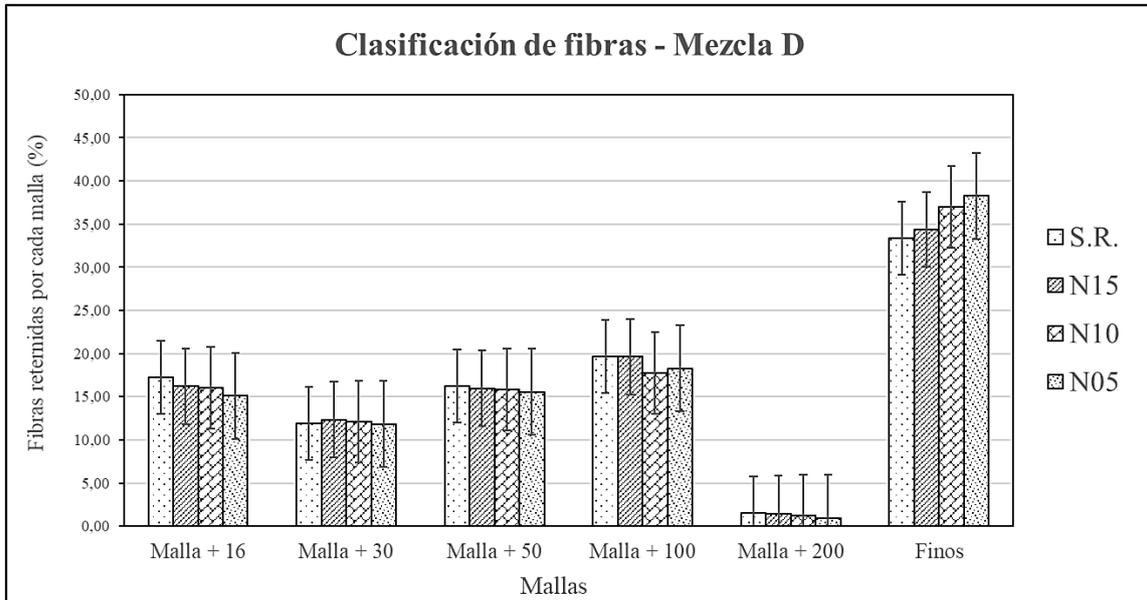
Dónde: B (proporción de mezcla 75 % DKL - 25 % OCC); S.R., sin refinado (discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Anexo 6: Distribución de la clasificación de fibras para la mezcla 50 % DKL - 50 % OCC a diferentes niveles de entrehierro.



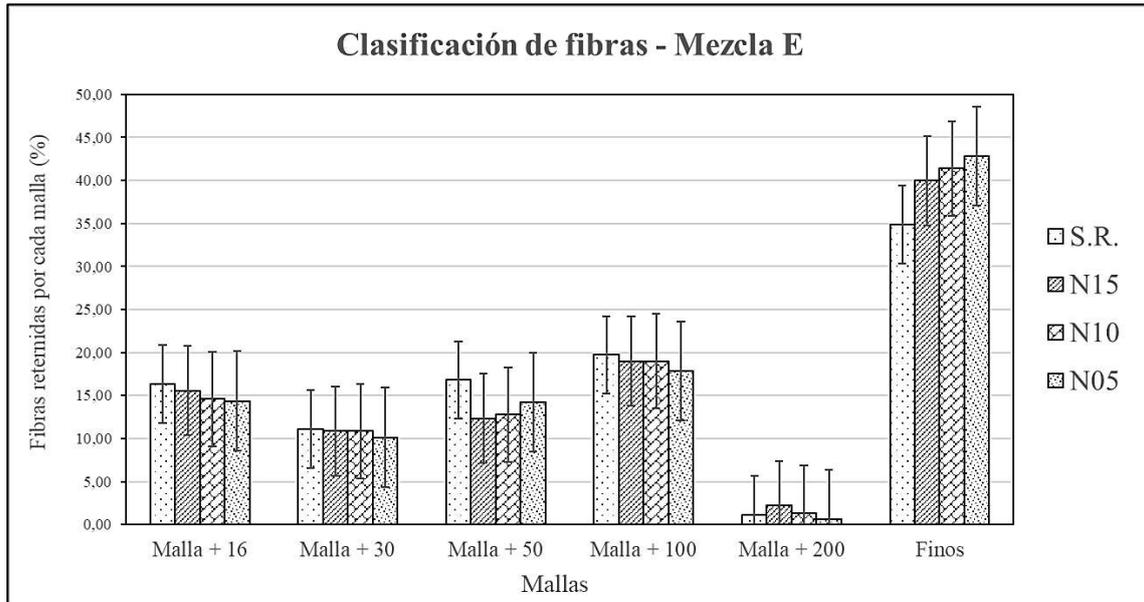
Dónde: C (proporción de mezcla 50 % DKL - 50 % OCC); S.R., sin refinado (discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Anexo 7: Distribución de la clasificación de fibras para la mezcla 25 % DKL - 75 % OCC a diferentes niveles de entrehierro.



Dónde: D (proporción de mezcla 25 % DKL - 75 % OCC); S.R., sin refinado (discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Anexo 8: Distribución de la clasificación de fibras para la mezcla 0 % DKL - 100 % OCC a diferentes niveles de entrehierro.



Dónde: E (proporción de mezcla 0 % DKL - 100 % OCC); S.R., sin refinado (discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Anexo 9: Datos de las repeticiones de clasificación de fibras según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Cód.	Fracciones de fibra																				
	Malla +16				Malla +30				Malla +50				Malla +100				Malla +200				Finos
	m.f.	m.f.+ m.s.	m.s.	%	m.f.	m.f.+ m.s.	m.s.	%	m.f.	m.f.+ m.s.	m.s.	%	m.f.	m.f.+ m.s.	m.s.	%	m.f.	m.f.+ m.s.	m.s.	%	%
gramos				gramos				gramos				gramos				gramos					
AS.R.	0,813	3,967	3,154	31,54	0,835	1,972	1,137	11,37	0,831	2,201	1,370	13,70	0,831	2,556	1,725	17,25	0,823	0,927	0,104	1,04	25,10
	0,845	3,997	3,152	31,52	0,798	1,990	1,192	11,92	0,826	2,312	1,486	14,86	0,822	2,701	1,879	18,79	0,820	0,976	0,156	1,56	21,35
	0,865	3,895	3,030	30,30	0,789	2,015	1,226	12,26	0,955	2,485	1,530	15,30	0,964	2,535	1,571	15,71	0,791	0,909	0,118	1,18	25,25
	31,12				11,85				14,62				17,25				1,26	23,90			
AN ₁₅	0,840	3,178	2,338	23,38	0,820	1,985	1,165	11,65	0,850	2,192	1,342	13,42	0,834	2,595	1,761	17,61	0,850	0,946	0,096	0,96	32,98
	0,817	3,234	2,417	24,17	0,839	2,019	1,180	11,80	0,828	2,386	1,558	15,58	0,811	2,801	1,990	19,90	0,817	0,987	0,170	1,70	26,85
	0,963	3,459	2,496	24,96	0,894	2,077	1,183	11,83	0,825	2,620	1,795	17,95	0,795	2,426	1,631	16,31	0,892	1,109	0,217	2,17	26,78
	24,17				11,76				15,65				17,94				1,61	28,87			
AN ₁₀	0,879	3,119	2,240	22,40	0,838	1,968	1,130	11,30	0,843	2,161	1,318	13,18	0,840	2,757	1,917	19,17	0,841	0,951	0,110	1,10	32,85
	0,793	3,326	2,533	25,33	0,808	2,014	1,206	12,06	0,853	2,142	1,289	12,89	0,842	2,896	2,054	20,54	0,803	0,954	0,151	1,51	27,67
	0,785	3,032	2,247	22,47	0,827	1,917	1,090	10,90	0,789	2,136	1,347	13,47	0,852	2,392	1,540	15,40	0,748	0,817	0,069	0,69	37,07
	23,40				11,42				13,18				18,37				1,10	32,53			
AN ₀₅	0,865	3,282	2,417	24,17	0,831	2,007	1,176	11,76	0,857	2,322	1,465	14,65	0,837	2,631	1,794	17,94	0,812	0,903	0,091	0,91	30,57
	0,836	2,972	2,136	21,36	0,857	2,090	1,233	12,33	0,844	2,111	1,267	12,67	0,832	2,647	1,815	18,15	0,872	0,977	0,105	1,05	34,44
	0,789	2,950	2,161	21,61	0,784	1,870	1,086	10,86	0,856	2,150	1,294	12,94	0,921	2,595	1,674	16,74	0,827	0,919	0,092	0,92	36,93
	22,38				11,65				13,42				17,61				0,96	33,98			
BS.R.	0,874	3,898	3,024	30,24	0,829	1,885	1,056	10,56	0,789	2,065	1,276	12,76	0,826	2,303	1,477	14,77	0,920	1,119	0,199	1,99	29,68
	0,862	3,885	3,023	30,23	0,835	1,888	1,053	10,53	0,823	2,105	1,282	12,82	0,817	2,293	1,476	14,76	0,876	1,061	0,185	1,85	29,81
	0,856	3,876	3,020	30,20	0,841	1,893	1,052	10,52	0,851	2,119	1,268	12,68	0,829	2,312	1,483	14,83	0,855	1,041	0,186	1,86	29,91
	30,22				10,54				12,75				14,79				1,86	29,84			
BN ₁₅	0,834	3,376	2,542	25,42	0,839	1,851	1,012	10,12	0,795	2,029	1,234	12,34	0,836	2,638	1,802	18,02	0,816	0,915	0,099	0,99	33,11
	0,856	3,392	2,536	25,36	0,845	1,848	1,003	10,03	0,790	2,016	1,226	12,26	0,845	2,633	1,788	17,88	0,734	0,830	0,096	0,96	33,51
	0,814	3,372	2,558	25,58	0,817	1,817	1,000	10,00	0,782	2,004	1,222	12,22	0,856	2,655	1,799	17,99	0,798	0,896	0,098	0,98	33,23
	25,45				10,05				12,27				17,96				0,98	33,29			
BN ₁₀	0,865	3,350	2,485	24,85	0,833	1,844	1,011	10,11	0,918	2,039	1,121	11,21	0,918	2,757	1,839	18,39	0,948	1,044	0,096	0,96	34,48
	0,859	3,329	2,470	24,70	0,792	1,794	1,002	10,02	0,836	1,954	1,118	11,18	0,924	2,753	1,829	18,29	0,816	0,904	0,088	0,88	34,93

	0,841	3,313	2,472	24,72	0,855	1,857	1,002	10,02	0,815	1,932	1,117	11,17	0,831	2,666	1,835	18,35	0,863	0,958	0,095	0,95	34,79
	24,76				10,05				11,19				18,34				0,93		34,74		
BN ₀₅	0,853	3,032	2,179	21,79	0,814	1,783	0,969	9,69	0,836	1,936	1,100	11,00	0,839	2,607	1,768	17,68	0,796	0,896	0,100	1,00	38,84
	0,871	3,049	2,178	21,78	0,897	1,859	0,962	9,62	0,772	1,864	1,092	10,92	0,824	2,584	1,760	17,60	0,861	0,966	0,105	1,05	39,03
	0,793	2,969	2,176	21,76	0,762	1,725	0,963	9,63	0,867	1,992	1,125	11,25	0,866	2,629	1,763	17,63	0,725	0,829	0,104	1,04	38,69
	21,78				9,65				11,06				17,64				1,03		38,84		
CS.R.	0,745	3,167	2,422	24,22	0,802	1,888	1,086	10,86	0,882	2,143	1,261	12,61	0,813	2,863	2,050	20,50	0,845	0,957	0,112	1,12	30,69
	0,782	3,199	2,417	24,17	0,815	1,895	1,080	10,80	0,791	2,058	1,267	12,67	0,917	2,962	2,045	20,45	0,816	0,924	0,108	1,08	30,83
	0,723	3,135	2,412	24,12	0,759	1,841	1,082	10,82	0,799	2,058	1,259	12,59	0,854	2,902	2,048	20,48	0,855	0,970	0,115	1,15	30,84
	24,17				10,83				12,62				20,48				1,12		30,78		
CN ₁₅	0,862	2,827	1,965	19,65	0,842	1,960	1,118	11,18	0,856	2,126	1,270	12,70	0,936	2,969	2,033	20,33	0,815	0,931	0,116	1,16	34,98
	0,870	2,834	1,964	19,64	0,793	1,915	1,122	11,22	0,820	2,082	1,262	12,62	0,855	2,877	2,022	20,22	0,786	0,899	0,113	1,13	35,17
	0,868	2,837	1,969	19,69	0,817	1,935	1,118	11,18	0,901	2,163	1,262	12,62	0,813	2,838	2,025	20,25	0,902	1,013	0,111	1,11	35,15
	19,66				11,19				12,65				20,27				1,13		35,09		
CN ₁₀	0,765	2,651	1,886	18,86	0,732	1,823	1,091	10,91	0,763	2,002	1,239	12,39	0,790	2,835	2,045	20,45	0,761	0,887	0,126	1,26	36,13
	0,783	2,676	1,893	18,93	0,760	1,850	1,090	10,90	0,929	2,163	1,234	12,34	0,749	2,798	2,049	20,49	0,724	0,854	0,130	1,30	36,04
	0,779	2,691	1,912	19,12	0,922	2,019	1,097	10,97	0,835	2,066	1,231	12,31	0,877	2,921	2,044	20,44	0,818	0,949	0,131	1,31	35,85
	18,97				10,93				12,35				20,46				1,29		36,00		
CN ₀₅	0,792	2,632	1,840	18,40	0,930	1,991	1,061	10,61	0,865	2,127	1,262	12,62	0,821	2,732	1,911	19,11	0,823	0,924	0,101	1,01	38,25
	0,846	2,681	1,835	18,35	0,896	1,959	1,063	10,63	0,750	2,006	1,256	12,56	0,906	2,830	1,924	19,24	0,788	0,885	0,097	0,97	38,25
	0,829	2,666	1,837	18,37	0,817	1,873	1,056	10,56	0,838	2,095	1,257	12,57	0,811	2,724	1,913	19,13	0,886	0,978	0,092	0,92	38,45
	18,37				10,60				12,58				19,16				0,97		38,32		
DS.R.	0,911	2,636	1,725	17,25	0,800	1,990	1,190	11,90	0,758	2,379	1,621	16,21	0,909	2,884	1,975	19,75	0,900	1,056	0,156	1,56	33,33
	0,842	2,562	1,720	17,20	0,857	2,056	1,199	11,99	0,829	2,447	1,618	16,18	0,825	2,790	1,965	19,65	0,879	1,029	0,150	1,50	33,48
	0,738	2,460	1,722	17,22	0,823	2,015	1,192	11,92	0,814	2,443	1,629	16,29	0,836	2,802	1,966	19,66	0,753	0,908	0,155	1,55	33,36
	17,22				11,94				16,23				19,69				1,54		33,38		
DN ₁₅	0,832	2,456	1,624	16,24	0,988	2,221	1,233	12,33	0,869	2,463	1,594	15,94	0,894	2,863	1,969	19,69	0,793	0,943	0,150	1,50	34,30
	0,797	2,417	1,620	16,20	0,799	2,031	1,232	12,32	0,764	2,363	1,599	15,99	0,825	2,790	1,965	19,65	0,930	1,075	0,145	1,45	34,39
	0,965	2,585	1,620	16,20	0,786	2,025	1,239	12,39	0,780	2,377	1,597	15,97	0,829	2,784	1,955	19,55	0,918	1,064	0,146	1,46	34,43
	16,21				12,35				15,97				19,63				1,47		34,37		
DN ₁₀	0,727	2,316	1,589	15,89	0,856	2,070	1,214	12,14	0,766	2,351	1,585	15,85	0,717	2,494	1,777	17,77	0,729	0,860	0,131	1,31	37,04

	0,793	2,385	1,592	15,92	0,781	2,000	1,219	12,19	0,810	2,389	1,579	15,79	0,752	2,521	1,769	17,69	0,825	0,947	0,122	1,22	37,19
	0,761	2,381	1,620	16,20	0,822	2,035	1,213	12,13	0,813	2,397	1,584	15,84	0,763	2,538	1,775	17,75	0,817	0,941	0,124	1,24	36,84
	16,00				12,15				15,83				17,74				37,02				
DN₀₅	0,844	2,355	1,511	15,11	0,900	2,085	1,185	11,85	0,842	2,404	1,562	15,62	0,725	2,559	1,834	18,34	0,861	0,956	0,095	0,95	38,13
	0,838	2,344	1,506	15,06	0,896	2,075	1,179	11,79	0,862	2,417	1,555	15,55	0,800	2,627	1,827	18,27	0,862	0,953	0,091	0,91	38,42
	0,719	2,232	1,513	15,13	0,866	2,054	1,188	11,88	0,796	2,353	1,557	15,57	0,735	2,560	1,825	18,25	0,911	1,008	0,097	0,97	38,20
	15,10				11,84				15,58				18,29				0,94	38,25			
ES.R.	0,861	2,493	1,632	16,32	0,926	2,042	1,116	11,16	0,836	2,513	1,677	16,77	0,755	2,726	1,971	19,71	0,833	0,951	0,118	1,18	34,86
	0,716	2,339	1,623	16,23	0,894	2,003	1,109	11,09	0,845	2,525	1,680	16,80	0,792	2,766	1,974	19,74	0,792	0,904	0,112	1,12	35,02
	0,735	2,374	1,639	16,39	0,784	1,899	1,115	11,15	0,856	2,539	1,683	16,83	0,815	2,785	1,970	19,70	0,795	0,909	0,114	1,14	34,79
	16,31				11,13				16,80				19,72				1,45	34,89			
EN₁₅	0,777	2,338	1,561	15,61	0,839	1,928	1,089	10,89	0,780	2,020	1,240	12,40	0,789	2,691	1,902	19,02	0,883	1,105	0,222	2,22	39,86
	0,832	2,390	1,558	15,58	0,845	1,932	1,087	10,87	0,799	2,030	1,231	12,31	0,823	2,722	1,899	18,99	0,824	1,048	0,224	2,24	40,01
	0,831	2,385	1,554	15,54	0,817	1,904	1,087	10,87	0,882	2,117	1,235	12,35	0,851	2,748	1,897	18,97	0,866	1,087	0,221	2,21	40,06
	15,58				10,88				12,35				19,00				2,22	39,97			
EN₁₀	0,872	2,337	1,465	14,65	0,919	2,008	1,089	10,89	0,918	2,219	1,301	13,01	0,918	2,818	1,900	19,00	0,845	0,982	0,137	1,37	41,08
	0,825	2,287	1,462	14,62	0,802	1,889	1,087	10,87	0,836	2,096	1,260	12,60	0,924	2,819	1,895	18,95	0,817	0,953	0,136	1,36	41,60
	0,843	2,303	1,460	14,60	0,857	1,943	1,086	10,86	0,815	2,085	1,270	12,70	0,831	2,727	1,896	18,96	0,829	0,965	0,136	1,36	41,52
	14,62				10,87				12,80				18,97				1,36	41,38			
EN₀₅	0,791	2,228	1,437	14,37	0,810	1,820	1,010	10,10	0,826	2,246	1,420	14,20	0,816	2,607	1,791	17,91	0,792	0,850	0,058	0,58	42,84
	0,837	2,269	1,432	14,32	0,897	1,911	1,014	10,14	0,859	2,283	1,424	14,24	0,734	2,517	1,783	17,83	0,816	0,877	0,061	0,61	42,86
	0,799	2,235	1,436	14,36	0,862	1,878	1,016	10,16	0,768	2,192	1,424	14,24	0,810	2,595	1,785	17,85	0,900	0,962	0,062	0,62	42,77
	14,35				10,13				14,23				17,86				0,60	42,83			

Dónde: Cód. (código); A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente; m.f. (masa del papel filtro); m.s. (masa de la pulpa retenida) y % (porcentaje de pulpa retenida en cada malla).

Anexo 10: Resultados promedios de los parámetros morfológicos para cada proporción de mezcla a diferentes niveles de entrehierro.

Proporción de mezcla	Parámetros morfológicos		Nivel de entrehierro			
			1,00 mm	0,15 mm	0,10 mm	0,05 mm
100 % DKL - 0 % OCC	Longitud	mm	1,275	1,203	1,163	1,094
	Ancho	µm	25,30	24,52	24,36	24,48
	Coarseness	mg/m	0,2279	0,2204	0,2211	0,2177
	Dobleza	%	19,50	17,18	17,10	16,88
	Curvatura	%	6,58	6,00	6,00	5,94
	Macrofibrilación	%	1,100	1,104	1,119	1,175
	Extremos rotos	%	31,32	31,78	31,87	33,40
	Finos	%	14,98	18,99	19,28	20,60
75 % DKL - 25 % OCC	Longitud	mm	1,230	1,205	1,202	1,194
	Ancho	µm	24,90	24,68	24,38	24,22
	Coarseness	mg/m	0,2229	0,2171	0,2124	0,2084
	Dobleza	%	20,81	19,64	20,00	19,88
	Curvatura	%	6,60	6,46	6,58	6,60
	Macrofibrilación	%	1,064	1,075	1,079	1,104
	Extremos rotos	%	30,34	30,89	30,29	30,35
	Finos	%	15,19	17,87	18,69	18,78
50 % DKL - 50 % OCC	Longitud	mm	1,211	1,162	1,153	1,124
	Ancho	µm	24,62	23,98	23,74	23,72
	Coarseness	mg/m	0,2113	0,2103	0,2053	0,2061
	Dobleza	%	21,24	19,46	19,36	18,78
	Curvatura	%	6,74	6,38	6,26	6,20
	Macrofibrilación	%	1,006	1,045	1,051	1,088
	Extremos rotos	%	29,06	29,15	29,90	30,15
	Finos	%	16,26	18,75	19,25	19,70
25 % DKL - 75 % OCC	Longitud	mm	1,084	1,063	1,055	1,052
	Ancho	µm	23,44	23,22	23,28	23,34
	Coarseness	mg/m	0,1993	0,1984	0,1990	0,1991
	Dobleza	%	21,10	18,82	19,00	18,70
	Curvatura	%	6,68	6,14	6,10	6,14
	Macrofibrilación	%	1,008	1,031	1,030	1,042
	Extremos rotos	%	28,44	28,96	29,07	30,29
	Finos	%	18,74	20,30	20,36	21,62
0 % DKL - 100 % OCC	Longitud	mm	1,065	1,056	1,046	1,021
	Ancho	µm	23,52	23,04	22,76	22,88
	Coarseness	mg/m	0,1993	0,1929	0,1925	0,1940
	Dobleza	%	20,92	19,62	19,60	20,02
	Curvatura	%	6,90	6,50	6,50	6,28
	Macrofibrilación	%	0,935	0,999	1,037	1,049
	Extremos rotos	%	27,66	27,89	27,32	27,28
	Finos	%	20,19	20,42	21,14	22,96

Anexo 11: Datos de las repeticiones de parámetros morfológicos según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Proporción de mezcla		A (100 % DKL - 0 % OCC)											
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)						N₁₅ (0,15 mm)					
Parámetros morfológicos	Unidad	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	Prom.	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	Prom.
Longitud	mm	1,253	1,252	1,272	1,287	1,310	1,275	1,198	1,154	1,185	1,215	1,265	1,203
Ancho	µm	25,10	25,30	25,40	25,50	25,20	25,30	24,50	24,70	24,30	24,60	24,50	24,52
Coarseness	mg/m	0,2248	0,2232	0,2277	0,2336	0,2303	0,2279	0,2243	0,2181	0,2165	0,2129	0,2303	0,2204
Doblez	°	135	134	135	135	134	135	134	135	134	134	134	134
	%	18,70	19,70	19,50	19,70	19,90	19,50	17,40	17,40	17,40	16,40	17,30	17,18
Curvatura	%	6,40	6,50	6,70	6,70	6,60	6,58	6,00	5,90	6,10	6,10	5,90	6,00
Macrofibrilación	%	1,068	1,109	1,102	1,104	1,118	1,100	1,080	1,121	1,140	1,081	1,099	1,104
Extremos rotos	%	31,34	30,88	31,31	31,99	31,08	31,32	31,12	32,57	31,75	33,00	30,48	31,78
Finos	%	15,67	14,97	14,98	14,79	14,49	14,98	21,76	18,17	20,23	17,28	17,55	18,99
Nivel de entrehierro		N₁₀ (0,10 mm)						N₀₅ (0,05 mm)					
Longitud	mm	1,169	1,171	1,102	1,215	1,159	1,163	1,110	1,073	1,100	1,069	1,119	1,094
Ancho	µm	23,90	24,60	24,40	24,60	24,30	24,36	24,40	24,40	24,40	24,50	24,70	24,48
Coarseness	mg/m	0,2228	0,2303	0,2433	0,2129	0,1962	0,2211	0,2219	0,2280	0,2133	0,2128	0,2127	0,2177
Doblez	°	134	134	135	134	134	134	133	134	135	133	133	134
	%	17,10	17,10	18,00	16,40	16,90	17,10	16,50	17,00	18,00	16,60	16,30	16,88
Curvatura	%	6,00	6,00	6,00	6,10	5,90	6,00	5,90	6,00	6,00	5,90	5,90	5,94
Macrofibrilación	%	1,126	1,137	1,158	1,081	1,092	1,119	1,162	1,184	1,158	1,172	1,198	1,175
Extremos rotos	%	31,35	32,69	31,55	33,0	30,75	31,87	34,23	33,89	31,55	34,35	33,00	33,40
Finos	%	20,70	18,81	20,56	17,28	19,03	19,28	20,78	20,27	20,56	21,34	20,06	20,60
Proporción de mezcla		B (75 % DKL - 25 % OCC)											
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)						N₁₅ (0,15 mm)					
Parámetros morfológicos	Unidad	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	Prom.	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	Prom.
Longitud	mm	1,241	1,242	1,199	1,239	1,231	1,230	1,168	1,170	1,194	1,244	1,247	1,205
Ancho	µm	24,80	25,20	24,70	25,00	24,80	24,90	24,70	24,90	24,40	24,70	24,70	24,68
Coarseness	mg/m	0,2153	0,2287	0,2188	0,2292	0,2228	0,2229	0,2309	0,2175	0,2154	0,2043	0,2175	0,2171
Doblez	°	135	135	135	134	136	135	134	135	135	134	134	134

	%	20,40	20,30	22,10	20,40	20,88	20,81	19,70	19,52	19,60	19,00	20,40	19,64
Curvatura	%	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,40	6,40	6,50	6,30	6,70	6,46
Macrofibrilación	%	1,064	1,043	1,041	1,058	1,116	1,064	1,053	1,101	1,104	1,036	1,082	1,075
Extremos rotos	%	31,90	29,75	29,60	30,11	30,35	30,34	30,35	30,07	30,75	30,60	32,70	30,89
Finos	%	15,47	14,37	15,64	15,27	15,20	15,19	19,01	17,37	17,34	17,42	18,23	17,87
		N₁₀ (0,10 mm)					N₀₅ (0,05 mm)						
Longitud	mm	1,188	1,198	1,201	1,205	1,219	1,202	1,193	1,207	1,209	1,195	1,168	1,194
Ancho	µm	24,10	24,60	24,10	24,30	24,80	24,38	24,50	24,10	24,40	23,80	24,30	24,22
Coarseness	mg/m	0,2035	0,2122	0,2223	0,2089	0,2152	0,2124	0,2082	0,2025	0,2006	0,2184	0,2125	0,2084
	°	134	133	133	134	133	133	133	133	134	133	133	133
Doblez	%	19,80	20,30	20,00	19,00	20,90	20,00	19,90	20,60	19,50	19,80	19,60	19,88
Curvatura	%	6,60	6,60	6,60	6,50	6,60	6,58	6,90	6,60	6,60	6,40	6,50	6,60
Macrofibrilación	%	1,080	1,066	1,075	1,120	1,055	1,079	1,088	1,059	1,211	1,074	1,090	1,104
Extremos rotos	%	29,60	30,20	29,92	30,39	31,37	30,29	30,76	29,96	31,02	29,83	30,19	30,35
Finos	%	19,76	18,13	18,67	19,05	17,87	18,69	17,91	17,23	19,83	19,14	19,79	18,78
Proporción de mezcla													C (50 % DKL - 50 % OCC)
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)					N₁₅ (0,15 mm)						
Parámetros morfológicos	Unidad	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	Prom.	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	Prom.
Longitud	mm	1,228	1,199	1,196	1,223	1,213	1,211	1,137	1,189	1,181	1,140	1,165	1,162
Ancho	µm	24,60	24,50	24,60	24,80	24,60	24,62	24,20	24,10	23,80	23,90	23,90	23,98
Coarseness	mg/m	0,2052	0,2239	0,2123	0,2037	0,2116	0,2113	0,2075	0,2103	0,1976	0,2131	0,2232	0,2103
	°	134	134	134	134	134	134	134	134	134	135	134	134
Doblez	%	23,00	20,60	20,80	20,40	21,40	21,24	19,50	20,10	20,00	19,30	18,40	19,46
Curvatura	%	6,70	6,70	6,90	6,80	6,60	6,74	6,50	6,30	6,40	6,30	6,40	6,38
Macrofibrilación	%	1,039	1,017	0,974	0,996	1,006	1,006	1,097	1,035	0,995	0,992	1,108	1,045
Extremos rotos	%	29,87	29,25	28,95	28,76	28,46	29,06	29,21	29,56	29,00	28,84	29,13	29,15
Finos	%	16,30	15,63	16,33	16,75	16,31	16,26	18,80	17,88	18,81	18,09	20,20	18,75
		N₁₀ (0,10 mm)					N₀₅ (0,05 mm)						
Longitud	mm	1,121	1,110	1,191	1,147	1,198	1,153	1,138	1,078	1,148	1,119	1,136	1,124
Ancho	µm	23,70	23,50	23,70	24,00	23,80	23,74	23,70	23,60	24,20	23,70	23,40	23,72
Coarseness	mg/m	0,2053	0,2094	0,2084	0,2054	0,1982	0,2053	0,2127	0,2065	0,2048	0,2052	0,2015	0,2061

Doblez	°	134	134	134	135	134	134	134	135	132	134	134	134
	%	19,40	19,20	19,40	20,20	18,60	19,36	17,90	19,20	19,00	19,10	18,70	18,78
Curvatura	%	6,30	6,20	6,30	6,40	6,10	6,26	6,20	6,00	6,40	6,20	6,20	6,20
Macrofibrilación	%	1,112	0,992	1,013	1,085	1,053	1,051	1,119	1,053	1,095	1,100	1,074	1,088
Extremos rotos	%	31,44	29,77	30,09	28,16	30,05	29,90	29,90	31,21	28,53	31,09	30,02	30,15
Finos	%	19,59	20,89	18,29	18,28	19,19	19,25	20,83	19,85	19,29	20,15	18,39	19,70

Proporción de mezcla		D (25 % DKL - 75 % OCC)											
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)						N ₁₅ (0,15 mm)					
Parámetros morfológicos	Unidad	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	Prom.	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	Prom.
Longitud	mm	1,115	1,064	1,085	1,057	1,101	1,084	1,049	1,066	1,052	1,076	1,070	1,063
Ancho	µm	23,40	23,30	23,60	23,20	23,70	23,44	23,30	23,20	23,10	23,20	23,30	23,22
Coarseness	mg/m	0,1941	0,2042	0,1999	0,1971	0,2011	0,1993	0,1988	0,1925	0,2019	0,1997	0,1992	0,1984
	°	133	134	133	135	134	134	134	133	133	133	133	133
Doblez	%	21,50	20,20	21,30	21,00	21,50	21,10	18,80	17,90	18,60	18,90	19,90	18,82
Curvatura	%	6,80	6,60	6,70	6,50	6,80	6,68	6,10	6,00	6,10	6,30	6,20	6,14
Macrofibrilación	%	0,995	1,067	1,010	0,982	0,985	1,008	1,022	0,960	1,025	1,098	1,052	1,031
Extremos rotos	%	29,16	27,84	28,48	28,27	28,47	28,44	29,13	28,41	30,46	28,16	28,66	28,96
Finos	%	19,14	18,59	18,75	19,22	18,02	18,74	20,61	20,47	18,87	20,35	21,20	20,30
		N ₁₀ (0,10 mm)						N ₀₅ (0,05 mm)					
Longitud	mm	1,070	1,049	1,043	1,043	1,072	1,055	1,010	1,028	1,067	1,088	1,066	1,052
Ancho	µm	23,00	23,30	23,20	23,30	23,60	23,28	23,30	23,10	23,50	23,60	23,20	23,34
Coarseness	mg/m	0,1998	0,2015	0,1942	0,2001	0,1995	0,1990	0,2030	0,2022	0,2014	0,1985	0,1906	0,1991
	°	135	134	133	133	134	134	134	133	134	134	135	134
Doblez	%	19,90	18,60	18,30	18,60	19,60	19,00	18,80	18,90	19,20	18,50	18,10	18,70
Curvatura	%	6,00	6,10	6,00	6,30	6,10	6,10	6,20	6,00	6,20	6,30	6,00	6,14
Macrofibrilación	%	1,064	1,012	1,015	0,963	1,096	1,030	0,977	1,036	1,062	1,041	1,095	1,042
Extremos rotos	%	29,07	28,78	28,95	29,08	29,46	29,07	30,3	29,02	31,84	31,24	29,06	30,29
Finos	%	20,02	20,56	21,20	20,73	19,31	20,36	23,93	23,76	18,62	21,04	20,77	21,62

Proporción de mezcla		E (0 % DKL - 100 % OCC)											
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)						N ₁₅ (0,15 mm)					
Parámetros morfológicos	Unidad	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	Prom.	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	Prom.
Longitud	mm	1,086	1,051	1,050	1,054	1,084	1,065	1,069	1,027	1,085	1,048	1,049	1,056
Ancho	µm	23,60	23,50	23,60	23,10	23,80	23,52	22,90	22,80	23,20	23,40	22,90	23,04
Coarseness	mg/m	0,1987	0,2039	0,1924	0,2060	0,1957	0,1993	0,1985	0,1921	0,1829	0,2019	0,1895	0,1929
Doblez	°	133	134	133	132	135	133	133	132	133	133	133	133
	%	21,50	20,80	20,00	21,40	20,90	20,92	20,20	19,80	19,00	18,90	20,20	19,62
Curvatura	%	6,90	6,90	7,00	7,00	6,70	6,90	6,50	6,30	6,60	6,50	6,60	6,50
Macrofibrilación	%	1,038	0,692	0,977	0,984	0,984	0,935	1,029	1,016	1,042	0,991	1,018	0,999
Extremos rotos	%	26,12	27,74	28,25	27,75	28,47	27,66	28,75	28,01	28,76	27,50	26,47	27,89
Finos	%	19,88	19,22	19,71	21,93	20,21	20,19	21,78	20,85	19,40	20,07	20,02	20,42
		N ₁₀ (0,10 mm)						N ₀₅ (0,05 mm)					
Longitud	mm	1,048	1,047	1,041	1,056	1,036	1,046	1,029	0,906	1,042	1,032	1,096	1,021
Ancho	µm	22,50	22,60	22,60	23,10	23,00	22,76	23,50	22,00	22,70	23,20	23,00	22,88
Coarseness	mg/m	0,1937	0,1880	0,1968	0,1888	0,1955	0,1925	0,1956	0,1661	0,2025	0,2081	0,1978	0,1940
Doblez	°	133	132	133	133	132	133	133	132	132	133	132	132
	%	20,30	19,40	19,80	19,10	19,40	19,60	20,60	19,80	20,60	19,80	19,30	20,02
Curvatura	%	6,40	6,60	6,50	6,60	6,40	6,50	6,60	5,70	6,30	6,40	6,40	6,28
Macrofibrilación	%	1,063	0,995	1,063	1,018	1,045	1,037	1,032	1,060	1,002	1,114	1,039	1,049
Extremos rotos	%	27,83	27,73	26,12	27,78	27,18	27,32	29,03	25,63	27,16	27,54	27,07	27,28
Finos	%	22,59	21,66	18,28	21,53	21,66	21,14	20,38	24,56	25,10	22,25	22,54	22,96

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente; N° 1, 2, 3, 4 y 5 (número de repeticiones) y Prom. (promedio de repeticiones).

Anexo 12: Datos de las repeticiones y promedios de drenabilidad según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Proporción de mezcla		A (100 % DKL - 0 % OCC)													
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)							N₁₅ (0,15 mm)						
Drenabilidad	Consist. %	m.h. gramos	m.s. gramos	m.f. gramos	m.f.+ m.s. gramos	m.s. gramos	° SR	Consist. %	m.h. gramos	m.s. gramos	m.f. gramos	m.f.+ m.s. gramos	m.s. gramos	° SR	
N° 1	4,14	48,309	2,000	0,890	2,830	1,940	28,00	3,89	51,414	2,000	0,932	2,784	1,852	37,00	
N° 2	4,14	48,309	2,000	0,878	2,849	1,971	27,00	3,89	51,414	2,000	0,894	2,707	1,813	36,50	
N° 3	4,14	48,309	2,000	0,915	2,880	1,965	26,00	3,89	51,414	2,000	0,879	2,777	1,898	33,00	
							27,00								35,50
Nivel de entrehierro		N₁₀ (0,10 mm)							N₀₅ (0,05 mm)						
N° 1	4,12	48,544	2,000	0,926	2,808	1,882	39,00	3,82	52,356	2,000	0,890	2,831	1,941	42,00	
N° 2	4,12	48,544	2,000	0,913	2,844	1,931	37,00	3,82	52,356	2,000	0,878	2,765	1,887	39,90	
N° 3	4,12	48,544	2,000	0,955	2,925	1,970	36,50	3,82	52,356	2,000	0,915	2,813	1,898	41,10	
							37,50								41,00
Proporción de mezcla		B (75 % DKL - 25 % OCC)													
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)							N₁₅ (0,15 mm)						
Drenabilidad	Consist. %	m.h. gramos	m.s. gramos	m.f. gramos	m.f.+ m.s. gramos	m.s. gramos	° SR	Consist. %	m.h. gramos	m.s. gramos	m.f. gramos	m.f.+ m.s. gramos	m.s. gramos	° SR	
N° 1	4,14	48,309	2,000	0,948	2,740	1,792	29,80	3,82	52,356	2,000	0,886	2,669	1,783	40,30	
N° 2	4,14	48,309	2,000	0,886	2,666	1,780	29,00	3,82	52,356	2,000	0,881	2,771	1,890	38,80	
N° 3	4,14	48,309	2,000	0,876	2,711	1,835	28,20	3,82	52,356	2,000	0,898	2,695	1,797	39,40	
							29,00								39,50
Nivel de entrehierro		N₁₀ (0,10 mm)							N₀₅ (0,05 mm)						
N° 1	3,84	52,083	2,000	0,955	2,761	1,806	41,00	3,96	50,505	2,000	0,879	2,631	1,752	50,50	
N° 2	3,84	52,083	2,000	0,881	2,719	1,838	42,00	3,96	50,505	2,000	0,921	2,714	1,793	48,50	
N° 3	3,84	52,083	2,000	0,895	2,687	1,792	40,00	3,96	50,505	2,000	0,885	2,662	1,777	48,00	
							41,00								49,00
Proporción de mezcla		C (50 % DKL - 50 % OCC)													
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)							N₁₅ (0,15 mm)						
Drenabilidad	Consist. %	m.h. gramos	m.s. gramos	m.f. gramos	m.f.+ m.s. gramos	m.s. gramos	° SR	Consist. %	m.h. gramos	m.s. gramos	m.f. gramos	m.f.+ m.s. gramos	m.s. gramos	° SR	

	%	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		%	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos	
N° 1	4,89	40,900	2,000	0,900	2,856	1,956	33,70	3,86	51,813	2,000	0,874	2,614	1,740	43,00	
N° 2	4,89	40,900	2,000	0,944	2,770	1,826	31,80	3,86	51,813	2,000	0,853	2,658	1,805	43,50	
N° 3	4,89	40,900	2,000	0,886	2,750	1,864	32,00	3,86	51,813	2,000	0,878	2,667	1,789	42,50	
							32,50								43,00
							N₁₀ (0,10 mm)								N₀₅ (0,05 mm)
N° 1	3,97	50,378	2,000	0,893	2,739	1,846	46,20	3,99	50,125	2,000	0,871	2,689	1,818	49,40	
N° 2	3,97	50,378	2,000	0,905	2,807	1,902	45,30	3,99	50,125	2,000	0,891	2,636	1,745	50,20	
N° 3	3,97	50,378	2,000	0,916	2,696	1,780	43,50	3,99	50,125	2,000	0,896	2,595	1,699	50,40	
							45,00								50,00
Proporción de mezcla								D (25 % DKL - 75 % OCC)							
Nivel de entrehierro								S.R. (1,00 mm)				N₁₅ (0,15 mm)			
Drenabilidad	Consist.	m.h.	m.s.	m.f.	m.f.+ m.s.	m.s.	° SR	Consist.	m.h.	m.s.	m.f.	m.f.+ m.s.	m.s.	° SR	
	%	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		%	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		
N° 1	4,47	44,743	2,000	0,918	2,905	1,987	34,90	3,98	50,251	2,000	0,857	2,711	1,854	47,50	
N° 2	4,47	44,743	2,000	0,906	2,719	1,813	34,60	3,98	50,251	2,000	0,903	2,639	1,736	48,50	
N° 3	4,47	44,743	2,000	0,903	2,777	1,874	34,00	3,98	50,251	2,000	0,891	2,598	1,707	48,00	
							34,50								48,00
							N₁₀ (0,10 mm)								N₀₅ (0,05 mm)
N° 1	3,95	50,633	2,000	0,901	2,621	1,720	52,80	4,20	47,619	2,000	0,908	2,624	1,716	53,80	
N° 2	3,95	50,633	2,000	0,887	2,634	1,747	53,40	4,20	47,619	2,000	0,927	2,638	1,711	53,00	
N° 3	3,95	50,633	2,000	0,893	2,630	1,737	52,80	4,20	47,619	2,000	0,879	2,603	1,724	53,70	
							53,00								53,50
Proporción de mezcla								E (0 % DKL - 100 % OCC)							
Nivel de entrehierro								S.R. (1,00 mm)				N₁₅ (0,15 mm)			
Drenabilidad	Consist.	m.h.	m.s.	m.f.	m.f.+ m.s.	m.s.	° SR	Consist.	m.h.	m.s.	m.f.	m.f.+ m.s.	m.s.	° SR	
	%	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		%	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		
N° 1	3,80	52,632	2,000	0,875	2,713	1,838	40,30	4,01	49,875	2,000	0,904	2,484	1,580	47,40	
N° 2	3,80	52,632	2,000	0,848	2,614	1,766	39,50	4,01	49,875	2,000	0,910	2,678	1,768	47,30	
N° 3	3,80	52,632	2,000	0,925	2,767	1,842	40,20	4,01	49,875	2,000	0,946	2,861	1,915	47,80	

		40,00										47,50			
		N₁₀ (0,10 mm)					N₀₅ (0,05 mm)								
N° 1		4,33	46,189	2,000	0,988	2,690	1,702	54,20	4,23	47,281	2,000	0,902	2,693	1,791	57,50
N° 2		4,33	46,189	2,000	0,951	2,727	1,776	53,70	4,23	47,281	2,000	0,905	2,631	1,726	58,30
N° 3		4,33	46,189	2,000	0,884	2,664	1,780	54,10	4,23	47,281	2,000	0,920	2,600	1,680	58,20
		54,00										58,00			

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente; N° 1, 2 y 3 (número de repeticiones); Consist. (consistencia de pulpa); m.h. (masa de la muestra húmeda); m.s. (masa de la muestra seca); m.f. (masa del papel filtro) y ° SR (grados Schopper Riegler de la pulpa).

Anexo 13: Datos de las repeticiones y promedios de cenizas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Proporción de mezcla		A (100 % DKL - 0 % OCC)										
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)					N₁₅ (0,15 mm)					
Cenizas	m.c.	m.c.+m.s.	m.s.	m.c.+m.c.	m.c.	%	m.c.	m.c.+m.s.	m.s.	m.c.+m.c.	m.c.	%
	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		gramos	gramos	gramos	gramos	gramos	
N° 1	65,398	68,087	2,689	65,482	0,084	3,12	62,895	66,028	3,133	62,992	0,097	3,09
N° 2	63,433	66,258	2,825	63,521	0,088	3,10	65,653	68,300	2,647	65,735	0,082	3,10
						3,11						3,10
Nivel de entrehierro		N₁₀ (0,10 mm)					N₀₅ (0,05 mm)					
N° 1	67,444	70,559	3,115	67,542	0,098	3,14	63,137	66,159	3,022	63,230	0,093	3,09
N° 2	69,703	71,904	2,201	69,773	0,070	3,17	68,214	70,706	2,492	68,291	0,077	3,10
						3,16						3,10
Proporción de mezcla		B (75 % DKL - 25 % OCC)										
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)					N₁₅ (0,15 mm)					
Cenizas	m.c.	m.c.+m.s.	m.s.	m.c.+m.c.	m.c.	%	m.c.	m.c.+m.s.	m.s.	m.c.+m.c.	m.c.	%
	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		gramos	gramos	gramos	gramos	gramos	
N° 1	63,437	66,653	3,216	63,559	0,122	3,79	61,953	64,609	2,656	62,053	0,100	3,78
N° 2	37,558	39,808	2,250	37,642	0,084	3,75	63,073	65,115	2,042	63,150	0,077	3,76
						3,77						3,77
Nivel de entrehierro		N₁₀ (0,10 mm)					N₀₅ (0,05 mm)					
N° 1	65,406	68,615	3,209	65,529	0,123	3,83	64,371	66,812	2,441	64,463	0,092	3,77
N° 2	62,900	65,546	2,646	63,001	0,101	3,81	67,212	69,765	2,553	67,309	0,097	3,79
						3,82						3,78
Proporción de mezcla		C (50 % DKL - 50 % OCC)										
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)					N₁₅ (0,15 mm)					
Cenizas	m.c.	m.c.+m.s.	m.s.	m.c.+m.c.	m.c.	%	m.c.	m.c.+m.s.	m.s.	m.c.+m.c.	m.c.	%
	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		gramos	gramos	gramos	gramos	gramos	
N° 1	74,112	77,039	2,927	74,320	0,208	7,11	66,016	68,549	2,533	66,196	0,180	7,10
N° 2	61,668	64,895	3,227	61,897	0,229	7,09	61,294	63,709	2,415	61,466	0,172	7,12
						7,10						7,11

	N₁₀ (0,10 mm)						N₀₅ (0,05 mm)					
N° 1	77,465	80,075	2,610	77,650	0,185	7,08	62,335	65,196	2,861	62,538	0,203	7,08
N° 2	65,518	68,009	2,491	65,694	0,176	7,05	65,649	68,316	2,667	65,838	0,189	7,07
	7,07						7,08					
Proporción de mezcla	D (25 % DKL - 75 % OCC)											
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)						N₁₅ (0,15 mm)					
Cenizas	m.c.	m.c.+m.s.	m.s.	m.c.+m.c.	m.c.	%	m.c.	m.c.+m.s.	m.s.	m.c.+m.c.	m.c.	%
	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		gramos	gramos	gramos	gramos	gramos	
N° 1	64,243	67,066	2,823	64,483	0,240	8,49	67,200	70,056	2,856	67,442	0,242	8,48
N° 2	63,468	66,237	2,769	63,704	0,236	8,52	65,747	68,503	2,756	65,982	0,235	8,52
	8,51						8,50					
	N₁₀ (0,10 mm)						N₀₅ (0,05 mm)					
N° 1	65,442	68,204	2,762	65,677	0,235	8,51	64,125	67,656	3,531	64,428	0,303	8,58
N° 2	67,272	70,691	3,419	67,562	0,290	8,47	63,046	66,573	3,527	63,350	0,304	8,62
	8,49						8,60					
Proporción de mezcla	E (0 % DKL - 100 % OCC)											
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)						N₁₅ (0,15 mm)					
Cenizas	m.c.	m.c.+m.s.	m.s.	m.c.+m.c.	m.c.	%	m.c.	m.c.+m.s.	m.s.	m.c.+m.c.	m.c.	%
	gramos	gramos	gramos	gramos	gramos		gramos	gramos	gramos	gramos	gramos	
N° 1	65,902	69,062	3,160	66,221	0,319	10,10	74,009	76,563	2,554	74,266	0,257	10,06
N° 2	61,683	64,857	3,174	61,997	0,314	9,90	67,258	70,021	2,763	67,537	0,279	10,10
	10,00						10,08					
	N₁₀ (0,10 mm)						N₀₅ (0,05 mm)					
N° 1	37,563	40,561	2,998	37,867	0,304	10,13	69,701	72,855	3,154	70,018	0,317	10,06
N° 2	63,507	66,449	2,942	63,804	0,297	10,09	65,493	68,791	3,298	65,826	0,333	10,10
	10,11						10,08					

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente; N° 1 y 2 (número de repeticiones); m.c. (masa del crisol); m.s. (masa de la muestra seca); m.c. (masa de la muestra calcinada) y % (porcentaje de cenizas de pulpa).

Anexo 14: Potencia, Velocidad de corte e Intensidad de refinado según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Código	Variables		Amperaje No Load (A)	Amperaje de operación (A)	Potencia No Load (kW)	Potencia de operación (kW)	Potencia neta (kW)	Longitud de barra de corte (km/rev)	Intensidad de refinado (Ws/m)
	Proporción de mezcla (%)	Nivel de entrehierro (mm)							
AS.R.	100 % DKL - 0 % OCC	1,00	9,50	18,00	3,00	5,69	2,69	0,81	0,11
AN₁₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,15	9,50	37,50	3,00	11,86	8,86	0,81	0,36
AN₁₀	100 % DKL - 0 % OCC	0,10	9,50	41,00	3,00	12,97	9,96	0,81	0,40
AN₀₅	100 % DKL - 0 % OCC	0,05	9,50	45,00	3,00	14,23	11,23	0,81	0,45
BS.R.	75 % DKL - 25 % OCC	1,00	7,50	20,00	2,37	6,33	3,95	0,81	0,16
BN₁₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,15	7,50	35,50	2,37	11,23	8,86	0,81	0,36
BN₁₀	75 % DKL - 25 % OCC	0,10	7,50	39,50	2,37	12,49	10,12	0,81	0,41
BN₀₅	75 % DKL - 25 % OCC	0,05	7,50	43,00	2,37	13,60	11,23	0,81	0,45
CS.R.	50 % DKL - 50 % OCC	1,00	8,00	22,00	2,53	6,96	4,43	0,81	0,18
CN₁₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,15	8,00	30,00	2,53	9,49	6,96	0,81	0,28
CN₁₀	50 % DKL - 50 % OCC	0,10	8,00	31,50	2,53	9,96	7,43	0,81	0,30
CN₀₅	50 % DKL - 50 % OCC	0,05	8,00	34,00	2,53	10,75	8,22	0,81	0,33
DS.R.	25 % DKL - 75 % OCC	1,00	8,00	24,00	2,53	7,59	5,06	0,81	0,20
DN₁₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,15	8,00	26,00	2,53	8,22	5,69	0,81	0,23
DN₁₀	25 % DKL - 75 % OCC	0,10	8,00	28,50	2,53	9,01	6,48	0,81	0,26
DN₀₅	25 % DKL - 75 % OCC	0,05	8,00	30,00	2,53	9,49	6,96	0,81	0,28
ES.R.	0 % DKL - 100 % OCC	1,00	7,50	20,00	2,37	6,33	3,95	0,81	0,16
EN₁₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,15	7,50	21,00	2,37	6,64	4,27	0,81	0,17
EN₁₀	0 % DKL - 100 % OCC	0,10	7,50	24,00	2,37	7,59	5,22	0,81	0,21
EN₀₅	0 % DKL - 100 % OCC	0,05	7,50	27,00	2,37	8,54	6,17	0,81	0,25

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Anexo 15: Datos de las repeticiones y promedios de humedad de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Proporción de mezcla		A (100 % DKL - 0 % OCC)											
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)			N₁₅ (0,15 mm)			N₁₀ (0,10 mm)			N₀₅ (0,05 mm)		
Humedad		m.a.	m.s.	%	m.a.	m.s.	%	m.a.	m.s.	%	m.a.	m.s.	%
		gramos	gramos		gramos	gramos		gramos	gramos		gramos	gramos	
N° 1		1,262	1,161	8,02	1,262	1,171	7,25	1,281	1,185	7,49	1,269	1,174	7,50
N° 2		1,257	1,159	7,79	1,257	1,162	7,59	1,274	1,179	7,51	1,269	1,172	7,66
N° 3		1,261	1,162	7,87	1,261	1,164	7,69	1,279	1,181	7,65	1,279	1,189	7,00
N° 4		1,268	1,166	8,10	1,268	1,169	7,80	1,269	1,172	7,67	1,274	1,179	7,48
N° 5		1,263	1,166	7,69	1,263	1,163	7,96	1,263	1,163	7,95	1,270	1,173	7,64
N° 6		1,256	1,156	7,91	1,256	1,158	7,75	1,255	1,162	7,47	1,265	1,170	7,52
N° 7		1,258	1,162	7,62	1,258	1,160	7,80	1,264	1,167	7,69	1,269	1,170	7,75
N° 8		1,263	1,161	8,05	1,263	1,163	7,92	1,267	1,167	7,87	1,270	1,170	7,92
N° 9		1,252	1,153	7,87	1,252	1,159	7,45	1,259	1,164	7,53	1,269	1,179	7,08
N° 10		1,252	1,153	7,91	1,252	1,153	7,87	1,226	1,132	7,72	1,247	1,151	7,66
				7,88			7,71			7,66			7,52
Proporción de mezcla		B (75 % DKL - 25 % OCC)											
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)			N₁₅ (0,15 mm)			N₁₀ (0,10 mm)			N₀₅ (0,05 mm)		
Humedad		m.a.	m.s.	%	m.a.	m.s.	%	m.a.	m.s.	%	m.a.	m.s.	%
		gramos	gramos		gramos	gramos		gramos	gramos		gramos	gramos	
N° 1		1,255	1,155	7,96	1,253	1,161	7,36	1,267	1,174	7,36	1,272	1,175	7,59
N° 2		1,264	1,164	7,87	1,262	1,167	7,53	1,272	1,177	7,47	1,270	1,174	7,58
N° 3		1,240	1,148	7,46	1,263	1,167	7,59	1,276	1,180	7,54	1,270	1,172	7,67
N° 4		1,259	1,166	7,39	1,255	1,156	7,87	1,275	1,180	7,43	1,273	1,179	7,38
N° 5		1,263	1,167	7,55	1,265	1,166	7,80	1,236	1,145	7,35	1,266	1,175	7,22
N° 6		1,228	1,136	7,47	1,262	1,168	7,44	1,229	1,137	7,43	1,267	1,167	7,91
N° 7		1,258	1,161	7,65	1,257	1,160	7,72	1,270	1,171	7,78	1,265	1,169	7,62
N° 8		1,256	1,161	7,60	1,272	1,176	7,50	1,277	1,180	7,55	1,266	1,173	7,36
N° 9		1,253	1,159	7,47	1,259	1,162	7,66	1,267	1,166	8,00	1,274	1,181	7,32
N° 10		1,262	1,165	7,66	1,269	1,174	7,45	1,266	1,168	7,73	1,270	1,170	7,91
				7,61			7,59			7,56			7,56

Proporción de mezcla		C (50 % DKL - 50 % OCC)													
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)			N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)				
Humedad		m.a.	m.s.	%	m.a.	m.s.	%	m.a.	m.s.	%	m.a.	m.s.	%		
		gramos	gramos		gramos	gramos		gramos	gramos		gramos	gramos			
N° 1		1,234	1,136	7,98	1,216	1,122	7,71	1,276	1,182	7,39	1,275	1,176	7,72		
N° 2		1,200	1,102	8,14	1,222	1,128	7,65	1,289	1,192	7,52	1,242	1,152	7,22		
N° 3		1,254	1,162	7,36	1,236	1,138	7,91	1,222	1,131	7,51	1,262	1,170	7,35		
N° 4		1,243	1,154	7,17	1,241	1,147	7,58	1,234	1,139	7,65	1,269	1,175	7,43		
N° 5		1,242	1,152	7,26	1,224	1,137	7,08	1,218	1,126	7,60	1,252	1,157	7,65		
N° 6		1,213	1,122	7,48	1,228	1,141	7,04	1,281	1,179	7,89	1,255	1,157	7,83		
N° 7		1,238	1,146	7,43	1,228	1,136	7,52	1,282	1,182	7,75	1,247	1,154	7,52		
N° 8		1,261	1,166	7,51	1,245	1,152	7,51	1,264	1,173	7,21	1,258	1,162	7,63		
N° 9		1,232	1,139	7,56	1,256	1,164	7,38	1,299	1,203	7,43	1,280	1,188	7,23		
N° 10		1,242	1,148	7,55	1,270	1,170	7,91	1,231	1,141	7,30	1,262	1,171	7,21		
				7,54					7,53					7,53	7,48
Proporción de mezcla		D (25 % DKL - 75 % OCC)													
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)			N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)				
Humedad		m.a.	m.s.	%	m.a.	m.s.	%	m.a.	m.s.	%	m.a.	m.s.	%		
		gramos	gramos		gramos	gramos		gramos	gramos		gramos	gramos			
N° 1		1,141	1,053	7,65	1,197	1,108	7,50	1,286	1,190	7,44	1,263	1,166	7,73		
N° 2		1,201	1,111	7,46	1,259	1,162	7,69	1,224	1,130	7,68	1,246	1,148	7,87		
N° 3		1,206	1,118	7,29	1,186	1,097	7,48	1,216	1,126	7,45	1,229	1,136	7,60		
N° 4		1,258	1,163	7,59	1,255	1,157	7,78	1,279	1,183	7,48	1,238	1,144	7,59		
N° 5		1,222	1,129	7,61	1,212	1,122	7,43	1,276	1,180	7,53	1,263	1,167	7,62		
N° 6		1,234	1,142	7,50	1,222	1,132	7,36	1,283	1,186	7,55	1,262	1,168	7,46		
N° 7		1,222	1,129	7,65	1,202	1,117	7,03	1,205	1,116	7,45	1,216	1,126	7,38		
N° 8		1,242	1,149	7,45	1,238	1,146	7,42	1,223	1,128	7,81	1,254	1,157	7,72		
N° 9		1,228	1,139	7,22	1,202	1,111	7,60	1,226	1,136	7,35	1,228	1,141	7,09		
N° 10		1,235	1,144	7,33	1,233	1,138	7,71	1,210	1,121	7,35	1,270	1,175	7,46		
				7,48					7,50					7,51	7,55

Proporción de mezcla		E (0 % DKL - 100 % OCC)											
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)			N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)		
Humedad		m.a. gramos	m.s. gramos	%	m.a. gramos	m.s. gramos	%	m.a. gramos	m.s. gramos	%	m.a. gramos	m.s. gramos	%
N° 1		1,203	1,114	7,37	1,183	1,096	7,39	1,217	1,123	7,71	1,222	1,126	7,81
N° 2		1,172	1,086	7,34	1,199	1,107	7,66	1,206	1,118	7,32	1,205	1,110	7,84
N° 3		1,239	1,147	7,42	1,180	1,091	7,55	1,220	1,130	7,43	1,199	1,108	7,66
N° 4		1,160	1,073	7,50	1,188	1,101	7,29	1,215	1,126	7,29	1,211	1,117	7,73
N° 5		1,221	1,131	7,37	1,191	1,104	7,32	1,241	1,146	7,70	1,235	1,142	7,52
N° 6		1,197	1,110	7,26	1,195	1,105	7,56	1,221	1,127	7,69	1,218	1,128	7,42
N° 7		1,158	1,072	7,38	1,198	1,108	7,55	1,219	1,125	7,74	1,240	1,148	7,44
N° 8		1,206	1,114	7,67	1,199	1,112	7,22	1,209	1,121	7,26	1,222	1,135	7,10
N° 9		1,165	1,080	7,33	1,198	1,108	7,49	1,234	1,146	7,16	1,217	1,129	7,22
N° 10		1,179	1,088	7,66	1,207	1,115	7,60	1,206	1,116	7,50	1,229	1,142	7,10
				7,43			7,46			7,48			7,48

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente; N° 1 - 10 (número de repeticiones); m.a. (masa de la hoja acondicionada); m.s. (masa de la hoja seca) y % (porcentaje de humedad de la hoja de mano).

Anexo 16: Datos de las repeticiones y promedios de gramaje de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Proporción de mezcla		A (100 % DKL - 0 % OCC)											
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)			N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)		
Gramaje	Área cm ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²
N° 1	200,00	1,262	63,110	58,049	1,264	63,175	58,595	1,281	64,025	59,223	1,269	63,455	58,696
N° 2	200,00	1,257	62,865	57,968	1,258	62,905	58,131	1,274	63,715	58,834	1,269	63,465	58,604
N° 3	200,00	1,261	63,070	58,106	1,256	62,815	57,985	1,279	63,930	59,455	1,279	63,940	59,464
N° 4	200,00	1,268	63,420	58,283	1,264	63,185	58,257	1,269	63,450	58,704	1,274	63,700	58,935
N° 5	200,00	1,263	63,155	58,298	1,268	63,420	58,372	1,263	63,165	58,339	1,270	63,485	58,635
N° 6	200,00	1,256	62,790	57,823	1,260	63,000	58,118	1,255	62,770	58,050	1,265	63,250	58,494
N° 7	200,00	1,258	62,910	58,116	1,259	62,965	58,054	1,264	63,190	58,293	1,269	63,435	58,519
N° 8	200,00	1,263	63,125	58,043	1,260	63,020	58,029	1,267	63,330	58,314	1,270	63,505	58,475
N° 9	200,00	1,252	62,600	57,673	1,267	63,350	58,630	1,259	62,960	58,502	1,269	63,455	58,962
N° 10	200,00	1,252	62,575	57,625	1,253	62,650	57,719	1,226	61,320	56,623	1,247	62,345	57,569
			62,962	57,999		63,049	58,189		63,186	58,434		63,404	58,635
Proporción de mezcla		B (75 % DKL - 25 % OCC)											
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)			N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)		
Gramaje	Área cm ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²
N° 1	200,00	1,255	62,730	57,737	1,253	62,640	58,030	1,267	63,370	58,706	1,272	63,575	58,750
N° 2	200,00	1,264	63,175	58,203	1,262	63,090	58,339	1,272	63,585	58,835	1,270	63,505	58,691
N° 3	200,00	1,240	62,015	57,389	1,263	63,155	58,362	1,276	63,810	58,999	1,270	63,475	58,606
N° 4	200,00	1,259	62,960	58,307	1,255	62,725	57,789	1,275	63,725	58,990	1,273	63,650	58,953
N° 5	200,00	1,263	63,125	58,359	1,265	63,225	58,293	1,236	61,790	57,248	1,266	63,295	58,725
N° 6	200,00	1,228	61,375	56,790	1,262	63,095	58,401	1,229	61,425	56,861	1,267	63,365	58,353
N° 7	200,00	1,258	62,875	58,065	1,257	62,845	57,993	1,270	63,480	58,541	1,265	63,255	58,435
N° 8	200,00	1,256	62,815	58,041	1,272	63,590	58,821	1,277	63,840	59,020	1,266	63,285	58,627
N° 9	200,00	1,253	62,630	57,952	1,259	62,945	58,123	1,267	63,350	58,282	1,274	63,710	59,046
N° 10	200,00	1,262	63,090	58,257	1,269	63,435	58,709	1,266	63,285	58,393	1,270	63,500	58,477
			62,679	57,910		63,075	58,286		63,166	58,388		63,462	58,666

Proporción de mezcla		C (50 % DKL - 50 % OCC)											
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)				N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)		
Gramaje	Área cm ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²
N° 1	200,00	1,234	61,710	56,786	1,216	60,785	56,098	1,276	63,810	59,094	1,275	63,735	58,815
N° 2	200,00	1,200	60,000	55,116	1,222	61,085	56,412	1,289	64,430	59,585	1,242	62,075	57,593
N° 3	200,00	1,254	62,690	58,076	1,236	61,790	56,902	1,222	61,115	56,525	1,262	63,115	58,476
N° 4	200,00	1,243	62,130	57,675	1,241	62,065	57,36	1,234	61,680	56,961	1,269	63,445	58,731
N° 5	200,00	1,242	62,095	57,587	1,224	61,190	56,858	1,218	60,910	56,281	1,252	62,620	57,830
N° 6	200,00	1,213	60,630	56,095	1,228	61,390	57,068	1,281	64,025	58,973	1,255	62,750	57,837
N° 7	200,00	1,238	61,900	57,301	1,228	61,400	56,783	1,282	64,085	59,118	1,247	62,370	57,680
N° 8	200,00	1,261	63,035	58,301	1,245	62,270	57,594	1,264	63,200	58,643	1,258	62,880	58,082
N° 9	200,00	1,232	61,605	56,948	1,256	62,820	58,184	1,299	64,970	60,143	1,280	64,005	59,377
N° 10	200,00	1,242	62,105	57,416	1,270	63,500	58,477	1,231	61,555	57,061	1,262	63,100	58,550
			61,790	57,130		61,830	57,174		62,978	58,239		63,010	58,297

Proporción de mezcla		D (25 % DKL - 75 % OCC)											
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)				N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)		
Gramaje	Área cm ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²
N° 1	200,00	1,141	57,025	52,663	1,197	59,865	55,375	1,286	64,300	59,516	1,263	63,170	58,287
N° 2	200,00	1,201	60,035	55,556	1,259	62,935	58,095	1,224	61,200	56,500	1,246	62,310	57,406
N° 3	200,00	1,206	60,290	55,895	1,186	59,290	54,855	1,216	60,820	56,289	1,229	61,445	56,775
N° 4	200,00	1,258	62,915	58,140	1,255	62,745	57,863	1,279	63,955	59,171	1,238	61,910	57,211
N° 5	200,00	1,222	61,100	56,450	1,212	60,580	56,079	1,276	63,810	59,005	1,263	63,145	58,333
N° 6	200,00	1,234	61,705	57,077	1,222	61,105	56,608	1,283	64,125	59,284	1,262	63,100	58,393
N° 7	200,00	1,222	61,100	56,426	1,202	60,075	55,852	1,205	60,265	55,775	1,216	60,785	56,299
N° 8	200,00	1,242	62,075	57,450	1,238	61,915	57,321	1,223	61,170	56,393	1,254	62,710	57,869
N° 9	200,00	1,228	61,400	56,967	1,202	60,110	55,542	1,226	61,310	56,804	1,228	61,390	57,037
N° 10	200,00	1,235	61,745	57,219	1,233	61,650	56,897	1,210	60,500	56,053	1,270	63,485	58,749
			60,939	56,384		61,027	56,449		62,146	57,479		62,345	57,636

Proporción de mezcla		E (0 % DKL - 100 % OCC)											
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)			N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)		
Gramaje	Área cm ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²	m.a. gramos	Acondic. g/m ²	Seco g/m ²
N° 1	200,00	1,203	60,130	55,698	1,183	59,155	54,783	1,217	60,860	56,168	1,222	61,085	56,314
N° 2	200,00	1,172	58,615	54,313	1,199	59,945	55,353	1,206	60,290	55,877	1,205	60,235	55,513
N° 3	200,00	1,239	61,950	57,353	1,180	59,015	54,559	1,220	61,010	56,477	1,199	59,970	55,376
N° 4	200,00	1,160	57,975	53,627	1,188	59,405	55,074	1,215	60,740	56,312	1,211	60,530	55,851
N° 5	200,00	1,221	61,025	56,527	1,191	59,535	55,177	1,241	62,055	57,277	1,235	61,740	57,097
N° 6	200,00	1,197	59,825	55,482	1,195	59,770	55,251	1,221	61,025	56,332	1,218	60,920	56,400
N° 7	200,00	1,158	57,885	53,613	1,198	59,915	55,391	1,219	60,945	56,228	1,240	61,990	57,378
N° 8	200,00	1,206	60,305	55,680	1,199	59,925	55,598	1,209	60,435	56,047	1,222	61,075	56,739
N° 9	200,00	1,165	58,245	53,976	1,198	59,900	55,413	1,234	61,700	57,282	1,217	60,855	56,461
N° 10	200,00	1,179	58,925	54,411	1,207	60,340	55,754	1,206	60,310	55,787	1,229	61,445	57,082
			59,488	55,068		59,691	55,236		60,937	56,379		60,985	56,421

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente; N° 1 - 10 (número de repeticiones); m.a. (masa de la hoja acondicionada); Acondic. (gramaje acondicionado) y Seco (gramaje en estado seco).

Anexo 17: Datos de las repeticiones y promedios de densidad de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Proporción de mezcla		A (100 % DKL - 0 % OCC)											
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)			N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)		
Densidad		Gramaje g/m ²	Espesor µm	g/cm ³									
N° 1		63,110	115,00	0,549	63,175	110,00	0,574	64,025	95,00	0,674	63,455	100,00	0,635
N° 2		62,865	110,00	0,572	62,905	110,00	0,572	63,715	95,00	0,671	63,465	100,00	0,635
N° 3		63,070	110,00	0,573	62,815	110,00	0,571	63,930	110,00	0,581	63,940	105,00	0,609
N° 4		63,420	120,00	0,529	63,185	115,00	0,549	63,450	110,00	0,577	63,700	100,00	0,637
N° 5		63,155	120,00	0,526	63,420	110,00	0,577	63,165	110,00	0,574	63,485	110,00	0,577
N° 6		62,790	110,00	0,571	63,000	115,00	0,548	62,770	105,00	0,598	63,250	110,00	0,575
N° 7		62,910	115,00	0,547	62,965	115,00	0,548	63,190	105,00	0,602	63,435	110,00	0,577
N° 8		63,125	115,00	0,549	63,020	110,00	0,573	63,330	110,00	0,576	63,505	115,00	0,552
N° 9		62,600	120,00	0,522	63,350	120,00	0,528	62,960	120,00	0,525	63,455	110,00	0,577
N° 10		62,575	110,00	0,569	62,650	120,00	0,522	61,320	120,00	0,511	62,345	110,00	0,567
				0,551			0,556			0,589			0,594
Proporción de mezcla		B (75 % DKL - 25 % OCC)											
Nivel de entrehierro		S.R. (1,00 mm)			N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)		
Densidad		Gramaje g/m ²	Espesor µm	g/cm ³									
N° 1		62,730	110,00	0,570	62,640	100,00	0,626	63,370	105,00	0,604	63,575	95,00	0,669
N° 2		63,175	110,00	0,574	63,090	110,00	0,574	63,585	100,00	0,636	63,505	100,00	0,635
N° 3		62,015	110,00	0,564	63,155	110,00	0,574	63,810	100,00	0,638	63,475	110,00	0,577
N° 4		62,960	115,00	0,547	62,725	105,00	0,597	63,725	110,00	0,579	63,650	110,00	0,579
N° 5		63,125	110,00	0,574	63,225	110,00	0,575	61,790	110,00	0,562	63,295	100,00	0,633
N° 6		61,375	115,00	0,534	63,095	110,00	0,574	61,425	105,00	0,585	63,365	100,00	0,634
N° 7		62,875	115,00	0,547	62,845	100,00	0,628	63,480	100,00	0,635	63,255	95,00	0,666
N° 8		62,815	110,00	0,571	63,590	105,00	0,606	63,840	105,00	0,608	63,285	105,00	0,603
N° 9		62,630	120,00	0,522	62,945	105,00	0,599	63,350	100,00	0,634	63,710	105,00	0,607
N° 10		63,090	120,00	0,526	63,435	100,00	0,634	63,285	105,00	0,603	63,500	110,00	0,577
				0,553			0,599			0,608			0,618

Proporción de mezcla			C (50 % DKL - 50 % OCC)									
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)			N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)		
Densidad	Gramaje g/m ²	Espesor µm	g/cm ³	Gramaje g/m ²	Espesor µm	g/cm ³	Gramaje g/m ²	Espesor µm	g/cm ³	Gramaje g/m ²	Espesor µm	g/cm ³
N° 1	61,710	115,00	0,537	60,785	105,00	0,579	63,810	110,00	0,580	63,735	95,00	0,671
N° 2	60,000	115,00	0,522	61,085	110,00	0,555	64,430	100,00	0,644	62,075	100,00	0,621
N° 3	62,690	100,00	0,627	61,790	110,00	0,562	61,115	100,00	0,611	63,115	100,00	0,631
N° 4	62,130	115,00	0,540	62,065	110,00	0,564	61,680	95,00	0,649	63,445	105,00	0,604
N° 5	62,095	115,00	0,540	61,190	105,00	0,583	60,910	105,00	0,580	62,620	95,00	0,659
N° 6	60,630	115,00	0,527	61,390	110,00	0,558	64,025	105,00	0,610	62,750	100,00	0,628
N° 7	61,900	110,00	0,563	61,400	105,00	0,585	64,085	110,00	0,583	62,370	105,00	0,594
N° 8	63,035	100,00	0,630	62,270	105,00	0,593	63,200	105,00	0,602	62,880	100,00	0,629
N° 9	61,605	115,00	0,536	62,820	110,00	0,571	64,970	105,00	0,619	64,005	95,00	0,674
N° 10	62,105	115,00	0,540	63,500	110,00	0,577	61,555	105,00	0,586	63,100	100,00	0,631
			0,556			0,573			0,606			0,634
Proporción de mezcla			D (25 % DKL - 75 % OCC)									
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)			N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)		
Densidad	Gramaje g/m ²	Espesor µm	g/cm ³	Gramaje g/m ²	Espesor µm	g/cm ³	Gramaje g/m ²	Espesor µm	g/cm ³	Gramaje g/m ²	Espesor µm	g/cm ³
N° 1	57,025	105,00	0,543	59,865	110,00	0,544	64,300	100,00	0,643	63,170	105,00	0,602
N° 2	60,035	110,00	0,546	62,935	110,00	0,572	61,200	105,00	0,583	62,310	100,00	0,623
N° 3	60,290	115,00	0,524	59,290	110,00	0,539	60,820	100,00	0,608	61,445	95,00	0,647
N° 4	62,915	115,00	0,547	62,745	110,00	0,570	63,955	100,00	0,640	61,910	105,00	0,590
N° 5	61,100	105,00	0,582	60,580	105,00	0,577	63,810	120,00	0,532	63,145	95,00	0,665
N° 6	61,705	110,00	0,561	61,105	105,00	0,582	64,125	110,00	0,583	63,100	95,00	0,664
N° 7	61,100	105,00	0,582	60,075	105,00	0,572	60,265	100,00	0,603	60,785	90,00	0,675
N° 8	62,075	110,00	0,564	61,915	110,00	0,563	61,170	100,00	0,612	62,710	100,00	0,627
N° 9	61,400	110,00	0,558	60,110	110,00	0,546	61,310	100,00	0,613	61,390	95,00	0,646
N° 10	61,745	110,00	0,561	61,650	105,00	0,587	60,500	115,00	0,526	63,485	110,00	0,577
			0,557			0,565			0,594			0,632

Proporción de mezcla		E (0 % DKL - 100 % OCC)										
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)			N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)		
Densidad	Gramaje g/m ²	Espesor µm	g/cm ³	Gramaje g/m ²	Espesor µm	g/cm ³	Gramaje g/m ²	Espesor µm	g/cm ³	Gramaje g/m ²	Espesor µm	g/cm ³
N° 1	60,130	100,00	0,601	59,155	105,00	0,563	60,860	100,00	0,609	61,085	95,00	0,643
N° 2	58,615	105,00	0,558	59,945	105,00	0,571	60,290	100,00	0,603	60,235	95,00	0,634
N° 3	61,950	100,00	0,620	59,015	100,00	0,590	61,010	100,00	0,610	59,970	100,00	0,600
N° 4	57,975	95,00	0,610	59,405	105,00	0,566	60,740	100,00	0,607	60,530	95,00	0,637
N° 5	61,025	120,00	0,509	59,535	100,00	0,595	62,055	100,00	0,621	61,740	100,00	0,617
N° 6	59,825	110,00	0,544	59,770	100,00	0,598	61,025	95,00	0,642	60,920	100,00	0,609
N° 7	57,885	100,00	0,579	59,915	105,00	0,571	60,945	95,00	0,642	61,990	95,00	0,653
N° 8	60,305	100,00	0,603	59,925	105,00	0,571	60,435	100,00	0,604	61,075	95,00	0,643
N° 9	58,245	100,00	0,582	59,900	110,00	0,545	61,700	100,00	0,617	60,855	100,00	0,609
N° 10	58,925	115,00	0,512	60,340	100,00	0,603	60,310	95,00	0,635	61,445	95,00	0,647
			0,572			0,577			0,619			0,629

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente y N° 1 - 10 (número de repeticiones).

Anexo 18: Datos de las repeticiones y promedios de permeabilidad al aire de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Proporción de mezcla		A (100 % DKL - 0 % OCC)			
Nivel de entrehierro	S.R.	N₁₅	N₁₀	N₀₅	
	(1,00 mm)	(0,15 mm)	(0,10 mm)	(0,05 mm)	
Permeabilidad seg 100cc					
N° 1	1,10	1,20	1,30	1,90	
N° 2	0,80	0,90	1,30	2,20	
N° 3	0,90	1,10	1,20	2,70	
N° 4	0,90	1,00	1,40	1,90	
N° 5	0,90	1,80	1,40	2,60	
N° 6	0,80	0,90	1,40	2,20	
N° 7	1,00	1,10	1,30	2,90	
N° 8	1,00	1,20	1,30	1,90	
N° 9	0,80	0,90	1,70	1,60	
N° 10	0,80	0,80	1,80	1,80	
	0,90	1,09	1,41	2,17	

Proporción de mezcla		B (75 % DKL - 25 % OCC)			
Nivel de entrehierro	S.R.	N₁₅	N₁₀	N₀₅	
	(1,00 mm)	(0,15 mm)	(0,10 mm)	(0,05 mm)	
Permeabilidad seg 100cc					
N° 1	2,00	2,00	4,00	11,00	
N° 2	1,90	2,80	4,00	12,20	
N° 3	1,50	2,70	3,70	11,60	
N° 4	1,50	2,70	4,00	8,70	
N° 5	1,30	3,80	4,00	9,60	
N° 6	1,70	3,30	3,80	12,00	
N° 7	1,60	2,40	3,80	12,00	
N° 8	1,40	2,10	3,60	11,00	
N° 9	2,10	3,50	4,00	11,10	
N° 10	2,00	3,40	4,00	10,40	
	1,70	2,87	3,89	10,96	

Proporción de mezcla		C (50 % DKL - 50 % OCC)			
Nivel de entrehierro	S.R.	N₁₅	N₁₀	N₀₅	
	(1,00 mm)	(0,15 mm)	(0,10 mm)	(0,05 mm)	
Permeabilidad seg 100cc					
N° 1	2,30	2,90	5,80	12,10	
N° 2	2,40	3,20	6,40	13,00	
N° 3	2,60	2,90	5,00	11,10	
N° 4	2,50	3,30	6,30	10,30	
N° 5	1,90	3,00	5,80	11,90	
N° 6	1,80	3,10	5,60	10,50	
N° 7	2,70	3,80	9,40	11,30	
N° 8	2,60	3,30	6,00	10,20	
N° 9	1,60	2,90	7,00	10,10	
N° 10	1,60	3,20	6,40	9,20	
	2,20	3,16	6,37	10,97	

Proporción de mezcla		D (25 % DKL - 75 % OCC)			
Nivel de entrehierro	S.R.	N₁₅	N₁₀	N₀₅	
	(1,00 mm)	(0,15 mm)	(0,10 mm)	(0,05 mm)	
Permeabilidad seg 100cc					
N° 1	3,10	5,10	11,50	16,50	
N° 2	3,40	4,80	11,10	13,50	
N° 3	3,40	3,60	9,50	14,20	
N° 4	3,20	4,90	9,10	14,40	
N° 5	3,00	4,50	10,30	15,90	
N° 6	3,80	4,90	9,80	16,00	
N° 7	3,80	8,60	12,10	13,00	
N° 8	4,50	9,90	12,10	12,50	
N° 9	4,20	5,20	11,10	17,00	
N° 10	4,00	4,80	10,80	14,80	
	3,64	5,63	10,74	14,78	

Proporción de mezcla		E (0 % DKL - 100 % OCC)			
Nivel de entrehierro	S.R.	N₁₅	N₁₀	N₀₅	
	(1,00 mm)	(0,15 mm)	(0,10 mm)	(0,05 mm)	
Permeabilidad seg 100cc					
N° 1	4,20	9,90	9,60	12,90	
N° 2	3,80	9,50	11,20	15,10	
N° 3	3,80	9,90	9,10	14,90	
N° 4	3,40	9,80	9,60	15,80	
N° 5	3,70	10,00	10,20	15,70	
N° 6	3,60	10,30	12,10	14,20	
N° 7	3,90	8,40	10,90	15,90	
N° 8	3,90	8,40	8,70	15,30	
N° 9	4,10	9,60	10,20	15,30	
N° 10	3,30	10,30	9,80	14,40	
	3,77	9,61	10,14	14,95	

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente y N° 1 - 10 (número de repeticiones).

Anexo 19: Datos de las repeticiones y promedios de blancura y opacidad de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Proporción de mezcla		A (100 % DKL - 0 % OCC)							
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)		N₁₅ (0,15 mm)		N₁₀ (0,10 mm)		N₀₅ (0,05 mm)		
	Blanc.	Opac.	Blanc.	Opac.	Blanc.	Opac.	Blanc.	Opac.	
	%	%	%	%	%	%	%	%	
N° 1	31,00	100,00	31,00	99,50	30,00	99,50	29,00	97,50	
N° 2	30,00	99,50	30,50	100,00	29,50	99,00	29,00	98,00	
N° 3	30,50	100,00	30,00	99,00	30,00	99,50	29,50	97,00	
N° 4	30,00	99,50	30,50	99,50	30,50	99,50	29,00	98,50	
N° 5	30,00	100,00	30,00	99,50	29,50	99,00	29,00	97,00	
N° 6	31,00	99,00	30,50	99,50	30,00	99,00	29,50	98,00	
N° 7	30,50	99,50	30,50	99,00	30,00	98,50	29,00	98,50	
N° 8	31,50	99,50	30,00	100,00	29,50	98,50	29,50	97,50	
N° 9	31,00	100,00	30,50	99,00	30,00	99,50	29,00	98,00	
N° 10	30,00	100,00	30,00	100,00	30,00	99,50	29,00	97,50	
	30,55	99,70	30,35	99,50	29,90	99,15	29,15	97,75	

Proporción de mezcla		B (75 % DKL - 25 % OCC)							
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)		N₁₅ (0,15 mm)		N₁₀ (0,10 mm)		N₀₅ (0,05 mm)		
	Blanc.	Opac.	Blanc.	Opac.	Blanc.	Opac.	Blanc.	Opac.	
	%	%	%	%	%	%	%	%	
N° 1	29,50	99,50	29,00	99,00	30,00	97,50	29,00	96,50	
N° 2	29,50	99,50	29,00	99,50	29,50	97,00	28,50	95,50	
N° 3	29,00	99,50	29,50	98,00	30,00	97,00	28,50	95,00	
N° 4	29,50	100,00	30,00	98,00	30,00	97,00	28,50	96,00	
N° 5	30,50	99,50	30,00	97,50	29,50	97,00	28,50	95,00	
N° 6	30,00	100,00	30,00	97,50	30,00	96,00	28,50	96,00	
N° 7	30,00	99,50	30,00	97,50	29,50	97,50	28,50	95,00	
N° 8	30,50	99,00	30,00	97,50	29,50	98,00	28,50	96,00	
N° 9	29,50	99,50	30,00	97,50	29,00	99,00	29,50	96,00	
N° 10	30,00	99,50	30,00	98,00	29,00	99,00	29,00	96,50	
	29,80	99,55	29,75	98,00	29,60	97,50	28,70	95,75	

Proporción de mezcla		C (50 % DKL - 50 % OCC)							
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)		N₁₅ (0,15 mm)		N₁₀ (0,10 mm)		N₀₅ (0,05 mm)		
	Blanc.	Opac.	Blanc.	Opac.	Blanc.	Opac.	Blanc.	Opac.	
	%	%	%	%	%	%	%	%	
N° 1	28,50	99,00	27,50	98,00	27,50	99,00	27,00	96,50	
N° 2	29,00	99,50	27,50	98,50	28,50	96,00	27,00	96,00	
N° 3	28,00	99,00	28,00	99,00	27,50	97,00	26,50	95,00	
N° 4	28,00	99,00	28,50	99,50	26,50	98,00	27,00	96,00	
N° 5	27,50	100,00	28,00	98,00	27,50	96,00	26,00	95,00	
N° 6	27,50	100,00	28,00	97,00	27,00	98,50	26,00	96,00	
N° 7	28,50	99,00	28,00	98,00	26,00	97,50	26,50	95,00	
N° 8	29,00	99,00	28,00	98,00	26,50	97,50	26,50	96,00	
N° 9	27,00	99,00	28,00	99,00	26,50	98,00	26,50	95,50	
N° 10	27,00	99,00	28,00	99,50	26,50	99,00	26,50	96,00	
	28,00	99,25	27,95	98,45	27,00	97,65	26,55	95,70	

Proporción de mezcla		D (25 % DKL - 75 % OCC)							
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)		N ₁₅ (0,15 mm)		N ₁₀ (0,10 mm)		N ₀₅ (0,05 mm)		
	Blanc. %	Opac. %	Blanc. %	Opac. %	Blanc. %	Opac. %	Blanc. %	Opac. %	
N° 1	27,00	99,00	27,50	98,00	27,00	99,00	25,50	98,00	
N° 2	27,00	99,50	27,00	98,00	27,00	100,00	26,00	98,00	
N° 3	27,00	98,00	26,00	98,50	26,00	97,00	26,50	98,50	
N° 4	27,00	100,00	27,00	98,50	26,00	98,00	27,00	99,00	
N° 5	27,00	98,00	27,00	98,50	26,00	98,00	26,00	97,00	
N° 6	27,00	98,00	27,00	98,50	26,00	98,00	27,00	98,00	
N° 7	27,00	98,00	26,50	98,50	26,50	97,00	26,50	97,00	
N° 8	27,00	98,50	27,00	99,00	27,00	98,00	27,00	97,00	
N° 9	27,00	99,00	27,00	99,00	27,00	97,00	25,50	98,00	
N° 10	27,00	99,00	27,00	99,00	27,00	98,00	25,50	99,00	
	27,00	98,70	26,90	98,55	26,55	98,00	26,25	97,95	

Proporción de mezcla		E (0 % DKL - 100 % OCC)							
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)		N ₁₅ (0,15 mm)		N ₁₀ (0,10 mm)		N ₀₅ (0,05 mm)		
	Blanc. %	Opac. %	Blanc. %	Opac. %	Blanc. %	Opac. %	Blanc. %	Opac. %	
N° 1	26,50	97,50	26,00	97,00	26,00	97,00	25,50	96,50	
N° 2	25,50	98,50	26,00	97,50	25,50	97,00	25,50	96,50	
N° 3	25,50	98,00	25,50	98,00	26,00	96,50	25,00	97,00	
N° 4	26,00	98,50	26,00	97,50	25,00	97,00	25,50	96,50	
N° 5	26,00	98,00	25,50	97,50	25,00	96,50	25,00	96,00	
N° 6	26,00	97,50	26,00	97,00	25,50	97,50	25,00	97,00	
N° 7	26,50	98,00	26,00	97,00	25,00	97,00	25,50	97,50	
N° 8	25,50	98,50	26,00	97,00	26,00	97,00	25,00	96,50	
N° 9	26,50	97,00	26,00	98,00	25,50	97,50	25,00	96,00	
N° 10	26,00	98,00	25,50	97,50	25,00	97,00	25,00	97,50	
	26,00	97,95	25,85	97,40	25,45	97,00	25,20	96,70	

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente; Blanc. (blancura); Opac. (opacidad) y N° 1 - 10 (número de repeticiones).

Anexo 20: Datos de las repeticiones y promedios de resistencia a la tensión y al alargamiento de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Proporción de mezcla		A (100 % DKL - 0 % OCC)															
		S.R. (1,00 mm)				N ₁₅ (0,15 mm)				N ₁₀ (0,10 mm)				N ₀₅ (0,05 mm)			
Nivel de entrehierro	Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud		Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud		Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud		Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud		
			a la rotura (m)	Alarg. (%)			a la rotura (m)	Alarg. (%)			a la rotura (m)	Alarg. (%)			a la rotura (m)	Alarg. (%)	
N° 1	2,00	58,05	2296,93	2,00	2,70	58,59	3071,94	2,00	2,50	59,22	2814,22	3,10	3,50	58,70	3975,29	3,00	
N° 2	2,00	58,05	2296,93	2,50	2,70	58,59	3071,94	2,50	2,00	59,22	2251,37	2,50	3,00	58,70	3407,39	2,50	
N° 3	2,50	57,97	2875,16	2,00	2,90	58,13	3325,85	2,50	2,50	58,83	2832,81	2,00	3,00	58,60	3412,76	2,00	
N° 4	2,50	57,97	2875,16	2,00	2,20	58,13	2523,06	2,00	3,50	58,83	3965,93	2,50	3,00	58,60	3412,76	3,00	
N° 5	2,00	58,11	2294,64	2,00	2,80	57,98	3219,25	2,00	3,50	59,45	3924,54	2,50	3,00	59,46	3363,37	2,50	
N° 6	2,00	58,11	2294,64	2,00	2,90	57,98	3334,22	2,50	3,50	59,45	3924,54	2,50	3,00	59,46	3363,37	3,00	
N° 7	2,00	58,28	2287,69	2,00	2,10	58,26	2403,16	2,00	3,00	58,70	3406,93	2,50	3,00	58,94	3393,56	2,50	
N° 8	2,50	58,28	2859,61	2,00	2,10	58,26	2403,16	2,00	3,00	58,70	3406,93	2,50	3,00	58,94	3393,56	2,50	
N° 9	2,50	58,30	2858,86	2,00	1,80	58,37	2055,79	1,50	3,00	58,34	3428,23	2,50	3,00	58,63	3410,95	2,50	
N° 10	2,00	58,30	2287,08	1,50	2,00	58,37	2284,21	1,50	2,00	58,34	2285,48	2,00	3,00	58,63	3410,95	1,50	
N° 11	2,00	57,82	2305,88	2,00	1,90	58,12	2179,49	1,50	2,50	58,05	2871,10	2,50	3,00	58,49	3419,18	2,50	
N° 12	2,50	57,82	2882,34	2,00	1,80	58,12	2064,78	2,50	2,50	58,05	2871,10	2,50	3,00	58,49	3419,18	2,50	
N° 13	3,00	58,12	3441,38	2,00	2,30	58,05	2641,23	2,50	3,50	58,29	4002,78	2,50	3,00	58,52	3417,71	3,00	
N° 14	2,50	58,12	2867,81	2,00	2,00	58,05	2296,72	2,00	3,00	58,29	3430,96	2,00	3,00	58,52	3417,71	2,00	
N° 15	2,00	58,04	2297,13	2,00	2,40	58,03	2757,25	2,00	2,50	58,31	2858,08	2,00	3,00	58,48	3420,24	2,00	
N° 16	2,50	58,04	2871,41	2,00	2,50	58,03	2872,14	2,00	2,00	58,31	2286,46	2,50	3,00	58,48	3420,24	2,50	
N° 17	2,50	57,67	2889,84	2,50	2,20	58,63	2501,55	2,00	3,50	58,50	3988,44	2,50	3,00	58,96	3391,99	3,00	
N° 18	2,00	57,67	2311,87	2,00	2,10	58,63	2387,84	2,00	3,00	58,50	3418,66	2,50	3,00	58,96	3391,99	2,50	
N° 19	2,00	57,63	2313,80	2,00	2,10	57,72	2425,53	2,00	3,00	56,62	3532,14	2,50	3,00	57,57	3474,07	2,50	
N° 20	2,00	57,63	2313,80	2,00	2,30	57,72	2656,53	2,00	2,00	56,62	2354,76	2,00	3,00	57,57	3474,07	2,00	
			2586,10	2,03			2623,78	2,05			3192,77	2,41			3439,52	2,48	

Proporción de mezcla

B (75 % DKL - 25 % OCC)

Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)				N ₁₅ (0,15 mm)				N ₁₀ (0,10 mm)				N ₀₅ (0,05 mm)			
	Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud a la rotura (m)	Alarg. (%)	Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud a la rotura (m)	Alarg. (%)	Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud a la rotura (m)	Alarg. (%)	Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud a la rotura (m)	Alarg. (%)
N° 1	2,00	57,74	2309,33	1,75	2,00	58,03	2297,67	2,00	3,00	58,71	3406,81	2,00	2,50	58,75	2836,90	2,50
N° 2	2,00	57,74	2309,33	2,00	2,50	58,03	2872,09	2,50	2,00	58,71	2271,21	2,00	3,00	58,75	3404,28	2,00
N° 3	2,00	58,20	2290,83	2,00	2,00	58,34	2285,48	2,50	2,50	58,84	2832,77	2,50	2,50	58,69	2839,72	2,00
N° 4	2,00	58,20	2290,83	2,00	2,00	58,34	2285,48	2,00	2,50	58,84	2832,77	2,00	3,00	58,69	3407,66	2,00
N° 5	1,00	57,39	1161,67	1,75	2,00	58,36	2284,61	2,00	2,00	59,00	2259,94	2,00	2,50	58,61	2843,83	2,50
N° 6	3,00	57,39	3485,01	1,50	2,00	58,36	2284,61	1,50	2,00	59,00	2259,94	2,00	2,50	58,61	2843,83	2,50
N° 7	2,00	58,31	2286,74	1,75	2,50	57,79	2884,08	2,00	2,00	58,99	2260,26	1,50	3,00	58,95	3392,55	2,50
N° 8	2,00	58,31	2286,74	2,00	2,00	57,79	2307,26	2,00	2,50	58,99	2825,33	2,50	3,00	58,95	3392,55	2,00
N° 9	1,00	58,36	1142,35	1,60	2,00	58,29	2287,28	1,50	2,50	57,25	2911,29	2,00	3,00	58,73	3405,70	2,00
N° 10	2,00	58,36	2284,71	1,90	2,50	58,29	2859,10	1,50	2,00	57,25	2329,03	2,00	2,00	58,73	2270,47	2,50
N° 11	2,00	56,79	2347,82	2,00	2,00	58,40	2283,08	2,00	2,00	56,86	2344,89	2,50	2,00	58,35	2284,95	1,50
N° 12	2,20	56,79	2582,60	1,75	2,50	58,40	2853,85	2,00	3,00	56,86	3517,34	2,50	2,50	58,35	2856,19	2,00
N° 13	3,00	58,07	3444,41	1,50	2,00	57,99	2299,11	2,00	3,00	58,54	3416,39	2,00	3,00	58,43	3422,61	2,50
N° 14	2,00	58,07	2296,27	1,75	2,00	57,99	2299,11	2,00	2,50	58,54	2847,00	2,50	3,20	58,43	3650,78	2,50
N° 15	1,50	58,04	1722,92	1,50	2,00	58,82	2266,77	1,50	2,00	59,02	2259,12	2,00	3,00	58,63	3411,38	2,50
N° 16	2,00	58,04	2297,22	1,50	2,00	58,82	2266,77	1,50	3,00	59,02	3388,68	2,00	3,00	58,63	3411,38	2,50
N° 17	2,00	57,95	2300,77	1,75	2,50	58,12	2867,46	2,00	2,50	58,28	2859,66	2,00	2,50	59,05	2822,64	3,00
N° 18	1,50	57,95	1725,58	2,00	2,50	58,12	2867,46	1,50	2,00	58,28	2287,73	2,00	2,50	59,05	2822,64	3,00
N° 19	2,00	58,26	2288,70	1,75	2,00	58,71	2271,08	1,50	2,00	58,39	2283,38	2,50	3,00	58,48	3420,14	2,00
N° 20	2,00	58,26	2288,70	1,75	2,00	58,71	2271,08	1,50	2,00	58,39	2283,38	1,50	2,50	58,48	2850,12	2,00
			2257,13	1,78			2459,67	1,85			2683,84	2,10			3079,52	2,30

Proporción de mezcla				C (50 % DKL - 50 % OCC)												
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)				N ₁₅ (0,15 mm)				N ₁₀ (0,10 mm)				N ₀₅ (0,05 mm)			
	Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud a la rotura (m)	Alarg. (%)	Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud a la rotura (m)	Alarg. (%)	Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud a la rotura (m)	Alarg. (%)	Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud a la rotura (m)	Alarg. (%)
N° 1	1,50	56,79	1761,01	2,00	2,00	56,10	2376,77	1,50	1,50	59,09	1692,21	1,50	2,50	58,81	2833,76	2,00
N° 2	1,50	56,79	1761,01	1,00	1,50	56,10	1782,58	2,00	2,00	59,09	2256,28	1,50	3,00	58,81	3400,51	2,00
N° 3	1,60	55,12	1935,31	1,00	1,50	56,41	1772,67	1,50	1,50	59,58	1678,28	1,00	2,70	57,59	3125,37	2,00
N° 4	1,70	55,12	2056,27	2,00	2,00	56,41	2363,56	1,50	1,50	59,58	1678,28	1,00	2,40	57,59	2778,11	2,00
N° 5	1,70	58,08	1951,47	1,50	1,50	56,90	1757,39	1,00	2,50	56,53	2948,53	2,00	3,00	58,48	3420,20	2,50
N° 6	2,10	58,08	2410,63	1,50	2,00	56,90	2343,19	2,00	2,50	56,53	2948,53	2,00	2,50	58,48	2850,17	2,50
N° 7	2,00	57,68	2311,79	1,50	2,00	57,36	2324,48	1,50	2,50	56,96	2925,95	2,00	3,00	58,73	3405,35	2,50
N° 8	2,10	57,68	2427,38	1,50	2,00	57,36	2324,48	1,50	2,50	56,96	2925,95	2,50	2,50	58,73	2837,80	2,00
N° 9	2,00	57,59	2315,34	1,40	1,50	56,86	1758,78	1,00	2,50	56,28	2961,34	2,50	2,50	57,83	2882,03	2,00
N° 10	1,70	57,59	1968,04	1,00	1,50	56,86	1758,78	2,00	3,00	56,28	3553,61	3,00	2,50	57,83	2882,03	2,00
N° 11	1,80	56,09	2139,23	1,50	2,00	57,07	2336,39	1,50	2,00	58,97	2260,91	1,50	2,50	57,84	2881,68	2,50
N° 12	1,80	56,09	2139,23	2,00	2,00	57,07	2336,39	2,00	2,00	58,97	2260,91	1,50	3,00	57,84	3458,01	2,00
N° 13	1,80	57,30	2094,21	1,50	1,50	56,78	1761,10	2,50	2,50	59,12	2819,20	2,00	3,00	57,68	3467,42	2,00
N° 14	1,80	57,30	2094,21	1,50	1,50	56,78	1761,10	2,00	2,50	59,12	2819,20	2,00	2,50	57,68	2889,52	2,00
N° 15	2,00	58,30	2286,98	1,00	1,50	57,59	1736,31	1,50	2,00	58,64	2273,63	2,00	2,50	58,08	2869,49	3,00
N° 16	1,60	58,30	1829,58	1,50	1,50	57,59	1736,31	1,50	2,00	58,64	2273,63	1,50	2,50	58,08	2869,49	2,50
N° 17	1,50	56,95	1756,00	2,00	2,00	58,18	2291,59	2,00	1,50	60,14	1662,71	1,50	2,50	59,38	2806,90	2,00
N° 18	1,40	56,95	1638,93	2,00	2,00	58,18	2291,59	1,50	2,50	60,14	2771,19	2,50	2,00	59,38	2245,52	3,00
N° 19	1,50	57,42	1741,67	1,50	2,00	58,48	2280,09	2,00	2,00	57,06	2336,66	2,00	2,50	58,55	2846,55	2,50
N° 20	1,50	57,42	1741,67	2,00	2,00	58,48	2280,09	2,00	2,00	57,06	2336,66	2,00	2,50	58,55	2846,55	2,00
			2018,00	1,55			2068,68	1,70			2469,18	1,88			2979,82	2,25

Proporción de mezcla

D (25 % DKL - 75 % OCC)

Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)				N ₁₅ (0,15 mm)				N ₁₀ (0,10 mm)				N ₀₅ (0,05 mm)			
	Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud		Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud		Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud		Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud	
			a la rotura (m)	Alarg. (%)			a la rotura (m)	Alarg. (%)			a la rotura (m)	Alarg. (%)			a la rotura (m)	Alarg. (%)
N° 1	1,00	52,66	1265,92	1,20	1,50	55,38	1805,86	1,60	2,00	59,52	2240,29	1,20	2,00	58,29	2287,53	2,00
N° 2	1,00	52,66	1265,92	0,80	1,50	55,38	1805,86	1,40	2,00	59,52	2240,29	1,60	2,00	58,29	2287,53	1,50
N° 3	1,00	55,56	1199,98	1,20	2,00	58,10	2295,08	1,20	1,50	56,50	1769,92	2,00	2,00	57,41	2322,63	2,50
N° 4	2,00	55,56	2399,96	1,40	2,00	58,10	2295,08	1,40	1,50	56,50	1769,92	1,60	2,00	57,41	2322,63	2,00
N° 5	2,00	55,89	2385,64	1,40	1,50	54,86	1822,98	1,20	2,00	56,29	2368,73	1,60	2,00	56,78	2348,44	1,50
N° 6	2,00	55,89	2385,64	1,20	1,50	54,86	1822,98	1,20	2,00	56,29	2368,73	2,00	2,00	56,78	2348,44	2,00
N° 7	1,50	58,14	1719,99	1,00	1,50	57,86	1728,21	1,40	2,00	59,17	2253,35	2,00	2,00	57,21	2330,55	2,00
N° 8	2,00	58,14	2293,32	1,50	1,50	57,86	1728,21	1,20	2,00	59,17	2253,35	1,60	2,00	57,21	2330,55	2,00
N° 9	2,00	56,45	2361,97	1,50	1,50	56,08	1783,20	1,30	2,00	59,01	2259,69	1,60	2,50	58,33	2857,14	2,00
N° 10	1,50	56,45	1771,48	1,00	1,50	56,08	1783,20	1,20	2,00	59,01	2259,69	2,20	2,00	58,33	2285,71	1,80
N° 11	1,00	57,08	1168,01	0,90	2,00	56,61	2355,39	1,20	2,00	59,28	2249,08	2,00	1,10	58,39	1255,86	2,00
N° 12	1,00	57,08	1168,01	1,00	1,50	56,61	1766,55	1,20	1,50	59,28	1686,81	1,60	1,60	58,39	1826,71	2,00
N° 13	2,00	56,43	2362,98	1,50	1,50	55,85	1790,45	1,60	1,50	55,78	1792,91	1,60	2,00	56,30	2368,30	2,00
N° 14	1,50	56,43	1772,24	1,00	2,00	55,85	2387,27	1,50	2,00	55,78	2390,55	2,00	2,00	56,30	2368,30	1,50
N° 15	1,50	57,45	1740,63	1,50	1,50	57,32	1744,56	1,80	1,00	56,39	1182,19	1,80	2,00	57,87	2304,06	1,80
N° 16	2,00	57,45	2320,84	1,50	1,50	57,32	1744,56	1,60	1,00	56,39	1182,19	1,40	2,00	57,87	2304,06	2,00
N° 17	2,00	56,97	2340,54	2,00	1,50	55,54	1800,45	1,20	1,00	56,80	1173,63	2,00	2,50	57,04	2922,06	2,00
N° 18	2,00	56,97	2340,54	2,00	2,00	55,54	2400,60	1,00	1,50	56,80	1760,45	2,00	2,50	57,04	2922,06	2,00
N° 19	2,00	57,22	2330,22	1,60	1,50	56,90	1757,57	1,30	2,00	56,05	2378,69	1,20	1,50	58,75	1702,16	1,50
N° 20	1,50	57,22	1747,64	1,20	1,50	56,90	1757,57	1,40	1,50	56,05	1784,02	1,40	1,50	58,75	1702,16	2,50
			1917,07	1,32			1918,78	1,35			1968,22	1,72			2269,85	1,93

Proporción de mezcla					E (0 % DKL - 100 % OCC)											
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)				N ₁₅ (0,15 mm)				N ₁₀ (0,10 mm)				N ₀₅ (0,05 mm)			
	Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud		Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud		Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud		Tensión DM (kg)	Gr. (g/m ²)	Longitud	
			a la rotura (m)	Alarg. (%)			a la rotura (m)	Alarg. (%)			a la rotura (m)	Alarg. (%)			a la rotura (m)	Alarg. (%)
N° 1	1,50	55,70	1795,38	1,00	1,00	54,78	1216,91	1,20	1,00	56,17	1186,92	1,00	1,00	56,31	1183,83	1,00
N° 2	1,75	55,70	2094,61	1,20	1,00	54,78	1216,91	1,20	1,00	56,17	1186,92	1,00	0,75	56,31	887,87	0,80
N° 3	1,00	54,31	1227,46	1,20	1,00	55,35	1204,39	1,00	1,25	55,88	1491,38	1,20	1,00	55,51	1200,93	1,20
N° 4	1,50	54,31	1841,19	1,00	1,50	55,35	1806,58	1,20	1,00	55,88	1193,10	1,00	1,00	55,51	1200,93	1,00
N° 5	1,75	57,35	2034,17	1,00	1,50	54,56	1832,87	1,20	1,00	56,48	1180,42	1,20	0,75	55,38	902,91	0,80
N° 6	1,50	57,35	1743,58	0,80	1,40	54,56	1710,67	1,00	1,00	56,48	1180,42	1,00	0,90	55,38	1083,50	0,60
N° 7	1,50	53,63	1864,74	1,00	1,50	55,07	1815,73	1,00	1,00	56,31	1183,88	1,00	1,00	55,85	1193,65	1,00
N° 8	1,00	53,63	1243,16	1,00	1,50	55,07	1815,73	1,00	1,00	56,31	1183,88	1,20	0,75	55,85	895,24	1,10
N° 9	1,25	56,53	1474,21	0,90	2,00	55,18	2416,46	1,20	1,25	57,28	1454,92	1,00	1,00	57,10	1167,60	1,20
N° 10	1,25	56,53	1474,21	1,20	1,50	55,18	1812,35	1,00	1,00	57,28	1163,94	1,00	1,00	57,10	1167,60	0,60
N° 11	1,00	55,48	1201,60	1,20	1,00	55,25	1206,61	1,20	1,10	56,33	1301,80	1,00	0,95	56,40	1122,94	0,70
N° 12	1,00	55,48	1201,60	1,00	1,00	55,25	1206,61	1,20	1,00	56,33	1183,46	1,20	1,00	56,40	1182,04	0,80
N° 13	1,50	53,61	1865,22	0,80	2,00	55,39	2407,11	1,10	1,00	56,23	1185,65	1,00	0,90	57,38	1045,70	1,20
N° 14	1,50	53,61	1865,22	1,00	1,00	55,39	1203,56	1,00	1,10	56,23	1304,22	1,20	1,00	57,38	1161,89	1,20
N° 15	1,75	55,68	2095,32	1,00	1,50	55,60	1798,61	1,20	1,00	56,05	1189,47	1,00	0,75	56,74	881,23	1,10
N° 16	1,50	55,68	1795,99	0,90	1,50	55,60	1798,61	0,90	1,10	56,05	1308,42	1,00	0,75	56,74	881,23	1,00
N° 17	1,00	53,98	1235,13	1,00	1,00	55,41	1203,08	1,00	1,00	57,28	1163,83	1,00	1,00	56,46	1180,75	0,80
N° 18	1,00	53,98	1235,13	1,20	1,50	55,41	1804,61	1,20	1,00	57,28	1163,83	1,00	0,75	56,46	885,56	0,70
N° 19	1,00	54,41	1225,23	1,10	1,50	55,75	1793,59	1,00	1,00	55,79	1195,03	1,20	1,00	57,08	1167,90	1,00
N° 20	1,25	54,41	1531,54	1,00	1,50	55,75	1793,59	1,00	1,00	55,79	1195,03	1,00	1,00	57,08	1167,90	0,80
			1602,23	1,03			1653,23	1,09			1229,83	1,06			1078,06	0,93

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente; Gr. (gramaje); Alarg. (alargamiento) y N° 1 - 20 (número de repeticiones).

Anexo 21: Datos de las repeticiones y promedios de resistencia al rasgado de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Proporción de mezcla		A (100 % DKL - 0 % OCC)										
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)			N₁₅ (0,15 mm)			N₁₀ (0,10 mm)			N₀₅ (0,05 mm)		
	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m²)	Resistencia al rasgado (mN.m²/g)	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m²)	Resistencia al rasgado (mN.m²/g)	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m²)	Resistencia al rasgado (mN.m²/g)	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m²)	Resistencia al rasgado (mN.m²/g)
N° 1	17,00	58,05	9,18	17,00	58,59	9,10	16,00	59,22	8,47	14,00	58,70	7,48
N° 2	18,00	57,97	9,74	16,00	58,59	8,56	16,00	58,83	8,53	15,00	58,60	8,03
N° 3	15,00	58,11	8,10	16,50	58,13	8,90	15,00	59,45	7,91	16,00	59,46	8,44
N° 4	17,50	58,28	9,42	16,00	58,13	8,63	16,00	58,70	8,55	15,50	58,94	8,25
N° 5	18,00	58,30	9,68	17,00	57,98	9,19	17,00	58,34	9,14	14,00	58,63	7,49
N° 6	19,00	57,82	10,30	16,00	57,98	8,65	15,00	58,05	8,10	14,00	58,49	7,51
N° 7	20,00	58,12	10,79	15,50	58,26	8,34	15,00	58,29	8,07	15,00	58,52	8,04
N° 8	18,00	58,04	9,73	16,00	58,26	8,61	15,50	58,31	8,34	16,00	58,48	8,58
N° 9	17,00	57,67	9,24	15,00	58,37	8,06	16,00	58,50	8,58	15,00	58,96	7,98
N° 10	19,00	57,63	10,34	16,00	58,37	8,60	15,00	56,62	8,31	15,00	57,57	8,17
			9,65			8,67			8,40			8,00

Proporción de mezcla		B (75 % DKL - 25 % OCC)										
Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)			N₁₅ (0,15 mm)			N₁₀ (0,10 mm)			N₀₅ (0,05 mm)		
	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m²)	Resistencia al rasgado (mN.m²/g)	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m²)	Resistencia al rasgado (mN.m²/g)	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m²)	Resistencia al rasgado (mN.m²/g)	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m²)	Resistencia al rasgado (mN.m²/g)
N° 1	19,00	57,74	10,32	16,00	58,03	8,65	13,00	58,71	6,94	14,50	58,75	7,74
N° 2	18,00	58,20	9,70	16,00	58,34	8,60	16,00	58,84	8,53	15,00	58,69	8,01
N° 3	17,00	57,39	9,29	17,00	58,36	9,14	15,00	59,00	7,97	14,00	58,61	7,49
N° 4	15,00	58,31	8,07	15,00	57,79	8,14	15,00	58,99	7,97	13,00	58,95	6,92
N° 5	15,00	58,36	8,06	16,00	58,29	8,61	16,00	57,25	8,76	14,00	58,73	7,48
N° 6	15,00	56,79	8,28	15,00	58,40	8,05	15,00	56,86	8,27	14,00	58,35	7,52
N° 7	15,00	58,07	8,10	14,00	57,99	7,57	16,00	58,54	8,57	13,00	58,43	6,98
N° 8	15,00	58,04	8,10	15,00	58,82	8,00	15,00	59,02	7,97	14,00	58,63	7,49

N° 9	15,00	57,95	8,12	16,00	58,12	8,63	16,00	58,28	8,61	14,00	59,05	7,44
N° 10	16,00	58,26	8,61	14,00	58,71	7,48	14,00	58,39	7,52	13,50	58,48	7,24
			8,67			8,29			8,11			7,43

Proporción de mezcla

C (50 % DKL - 50 % OCC)

Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)			N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)		
	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m ²)	Resistencia al rasgado (mN.m ² /g)	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m ²)	Resistencia al rasgado (mN.m ² /g)	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m ²)	Resistencia al rasgado (mN.m ² /g)	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m ²)	Resistencia al rasgado (mN.m ² /g)
N° 1	14,50	56,79	8,01	12,00	56,10	6,71	12,00	59,09	6,37	10,00	58,81	5,33
N° 2	16,00	55,12	9,10	12,00	56,41	6,67	12,00	59,58	6,32	11,00	57,59	5,99
N° 3	15,00	58,08	8,10	14,00	56,90	7,72	14,00	56,53	7,77	15,00	58,48	8,04
N° 4	14,00	57,68	7,61	16,00	57,36	8,75	14,00	56,96	7,71	12,00	58,73	6,41
N° 5	14,00	57,59	7,62	14,00	56,86	7,72	15,00	56,28	8,36	16,00	57,83	8,68
N° 6	14,00	56,09	7,83	14,00	57,07	7,69	14,00	58,97	7,45	15,00	57,84	8,13
N° 7	16,00	57,30	8,76	12,00	56,78	6,63	14,00	59,12	7,43	12,00	57,68	6,52
N° 8	15,00	58,30	8,07	16,00	57,59	8,71	13,00	58,64	6,95	13,00	58,08	7,02
N° 9	14,00	56,95	7,71	15,00	58,18	8,09	12,00	60,14	6,26	14,00	59,38	7,39
N° 10	14,00	57,42	7,65	14,00	58,48	7,51	12,00	57,06	6,60	12,00	58,55	6,43
			8,05			7,62			7,12			6,99

Proporción de mezcla

D (25 % DKL - 75 % OCC)

Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)			N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)		
	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m ²)	Resistencia al rasgado (mN.m ² /g)	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m ²)	Resistencia al rasgado (mN.m ² /g)	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m ²)	Resistencia al rasgado (mN.m ² /g)	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m ²)	Resistencia al rasgado (mN.m ² /g)
N° 1	12,00	52,66	7,15	15,00	55,38	8,49	12,00	59,52	6,32	13,00	58,29	6,99
N° 2	14,00	55,56	7,90	14,00	58,10	7,56	13,00	56,50	7,22	12,00	57,41	6,55
N° 3	14,00	55,89	7,86	15,00	54,86	8,57	14,00	56,29	7,80	12,00	56,78	6,63
N° 4	15,00	58,14	8,09	12,00	57,86	6,50	13,00	59,17	6,89	13,00	57,21	7,13
N° 5	14,00	56,45	7,78	12,00	56,08	6,71	14,00	59,01	7,44	13,00	58,33	6,99
N° 6	14,00	57,08	7,69	12,00	56,61	6,65	12,00	59,28	6,35	12,00	58,39	6,44
N° 7	13,00	56,43	7,22	14,00	55,85	7,86	12,00	55,78	6,75	12,00	56,30	6,68

N° 8	14,00	57,45	7,64	13,00	57,32	7,11	12,00	56,39	6,67	12,00	57,87	6,50
N° 9	13,00	56,97	7,16	12,00	55,54	6,78	13,00	56,80	7,18	13,00	57,04	7,15
N° 10	12,00	57,22	6,58	12,00	56,90	6,61	12,00	56,05	6,71	12,00	58,75	6,41
			7,51			7,29			6,93			6,75

Proporción de mezcla

E (0 % DKL - 100 % OCC)

Nivel de entrehierro	S.R. (1,00 mm)			N ₁₅ (0,15 mm)			N ₁₀ (0,10 mm)			N ₀₅ (0,05 mm)		
	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m ²)	Resistencia al rasgado (mN.m ² /g)	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m ²)	Resistencia al rasgado (mN.m ² /g)	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m ²)	Resistencia al rasgado (mN.m ² /g)	Rasgado DM (g-cm)	Gram. (g/m ²)	Resistencia al rasgado (mN.m ² /g)
N° 1	12,00	55,70	6,76	12,00	54,78	6,87	12,00	56,17	6,70	11,00	56,31	6,13
N° 2	13,00	54,31	7,51	12,50	55,35	7,08	11,00	55,88	6,17	10,50	55,51	5,93
N° 3	12,50	57,35	6,83	11,00	54,56	6,32	10,00	56,48	5,55	11,00	55,38	6,23
N° 4	13,00	53,63	7,60	12,00	55,07	6,83	12,00	56,31	6,68	11,00	55,85	6,18
N° 5	14,00	56,53	7,77	11,50	55,18	6,54	12,00	57,28	6,57	11,00	57,10	6,04
N° 6	12,00	55,48	6,78	12,50	55,25	7,09	11,00	56,33	6,12	10,00	56,40	5,56
N° 7	13,00	53,61	7,60	12,00	55,39	6,79	11,50	56,23	6,41	10,50	57,38	5,74
N° 8	13,00	55,68	7,32	13,00	55,60	7,33	11,00	56,05	6,15	10,00	56,74	5,53
N° 9	12,00	53,98	6,97	11,00	55,41	6,23	12,00	57,28	6,57	11,00	56,46	6,11
N° 10	12,00	54,41	6,92	12,00	55,75	6,75	11,00	55,79	6,18	11,00	57,08	6,04
			7,21			6,78			6,31			5,95

Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente; Gram. (gramaje) y N° 1 - 10 (número de repeticiones).

Anexo 22: Datos de las repeticiones y promedios de resistencia al doblado de las hojas según proporción de mezcla y nivel de entrehierro.

Proporción de mezcla		A (100 % DKL - 0 % OCC)			
	S.R. (1,00 mm)	N₁₅ (0,15 mm)	N₁₀ (0,10 mm)	N₀₅ (0,05 mm)	
Nivel de entrehierro	Resistencia al doblado (#)				
N° 1	3,15	7,44	10,25	12,67	
N° 2	2,96	5,69	12,83	13,59	
N° 3	4,22	6,62	11,56	17,22	
N° 4	3,62	5,12	14,63	16,92	
N° 5	3,10	5,99	15,27	15,38	
N° 6	3,00	6,55	11,35	14,86	
N° 7	2,23	6,27	13,96	15,41	
N° 8	3,84	5,28	10,40	15,39	
N° 9	3,22	4,32	11,32	13,24	
N° 10	4,01	6,11	12,88	16,23	
	3,34	5,94	12,45	15,09	

Proporción de mezcla		B (75 % DKL - 25 % OCC)			
	S.R. (1,00 mm)	N₁₅ (0,15 mm)	N₁₀ (0,10 mm)	N₀₅ (0,05 mm)	
Nivel de entrehierro	Resistencia al doblado (#)				
N° 1	2,30	5,87	5,14	10,47	
N° 2	2,79	6,04	5,90	11,87	
N° 3	2,98	6,91	6,30	10,56	
N° 4	3,26	4,72	5,75	10,60	
N° 5	2,59	5,28	5,31	11,78	
N° 6	2,26	5,93	8,53	9,78	
N° 7	2,22	3,48	7,16	12,48	
N° 8	2,45	4,35	5,60	14,51	
N° 9	2,67	2,71	5,30	9,48	
N° 10	3,65	3,62	6,83	11,34	
	2,72	4,89	6,18	11,29	

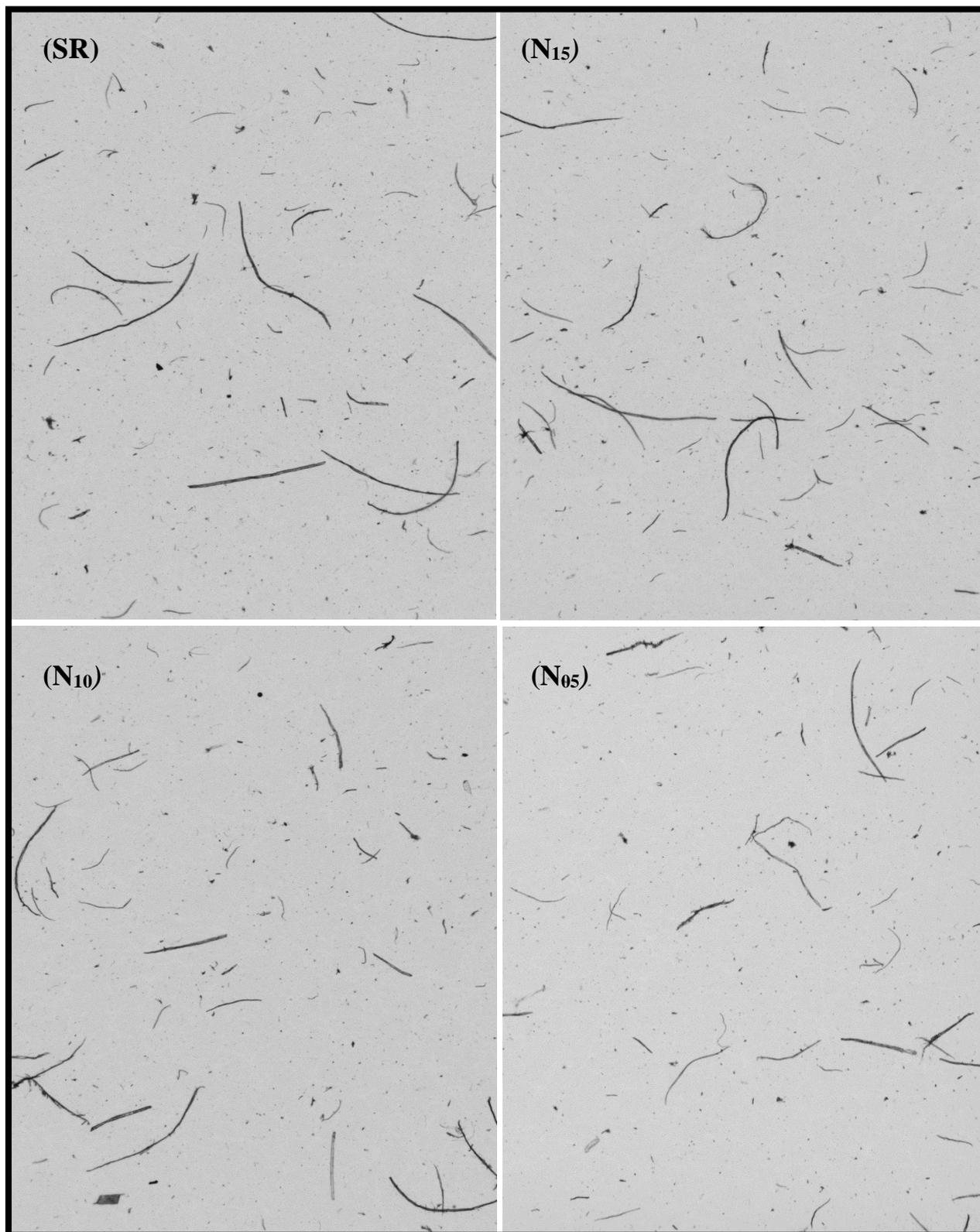
Proporción de mezcla		C (50 % DKL - 50 % OCC)			
	S.R. (1,00 mm)	N₁₅ (0,15 mm)	N₁₀ (0,10 mm)	N₀₅ (0,05 mm)	
Nivel de entrehierro	Resistencia al doblado (#)				
N° 1	2,70	2,71	4,85	6,01	
N° 2	2,10	2,52	3,60	4,24	
N° 3	2,34	3,16	5,18	4,66	
N° 4	1,87	2,76	4,29	4,02	
N° 5	2,30	4,03	5,17	3,70	
N° 6	2,14	2,55	3,47	4,50	
N° 7	2,73	2,68	4,34	4,08	
N° 8	2,59	3,88	5,23	5,14	
N° 9	3,10	2,45	2,37	5,56	
N° 10	2,42	3,27	2,87	4,99	
	2,43	3,00	4,14	4,69	

Proporción de mezcla		D (25 % DKL - 75 % OCC)			
	S.R. (1,00 mm)	N₁₅ (0,15 mm)	N₁₀ (0,10 mm)	N₀₅ (0,05 mm)	
Nivel de entrehierro	Resistencia al doblado (#)				
N° 1	2,85	2,00	2,40	3,27	
N° 2	1,51	2,24	3,18	4,06	
N° 3	2,07	2,04	3,34	3,83	
N° 4	2,04	2,41	3,18	3,46	
N° 5	1,73	1,59	2,84	4,16	
N° 6	1,92	1,88	2,76	3,91	
N° 7	2,15	2,89	2,44	3,54	
N° 8	1,91	2,09	3,27	3,53	
N° 9	1,69	1,93	2,82	3,81	
N° 10	2,21	2,44	2,50	4,71	
	2,01	2,15	2,87	3,83	

Proporción de mezcla		E (0 % DKL - 100 % OCC)			
	S.R. (1,00 mm)	N₁₅ (0,15 mm)	N₁₀ (0,10 mm)	N₀₅ (0,05 mm)	
Nivel de entrehierro	Resistencia al doblado (#)				
N° 1	2,10	2,28	1,12	1,05	
N° 2	1,19	2,14	1,46	0,84	
N° 3	1,89	2,35	1,28	0,96	
N° 4	2,61	2,11	1,92	1,27	
N° 5	1,82	2,72	1,62	1,39	
N° 6	1,37	2,03	1,50	0,92	
N° 7	1,27	2,10	1,36	0,84	
N° 8	2,24	1,92	1,72	1,28	
N° 9	1,80	2,13	1,63	1,30	
N° 10	2,24	2,47	1,41	1,02	
	1,85	2,23	1,50	1,09	

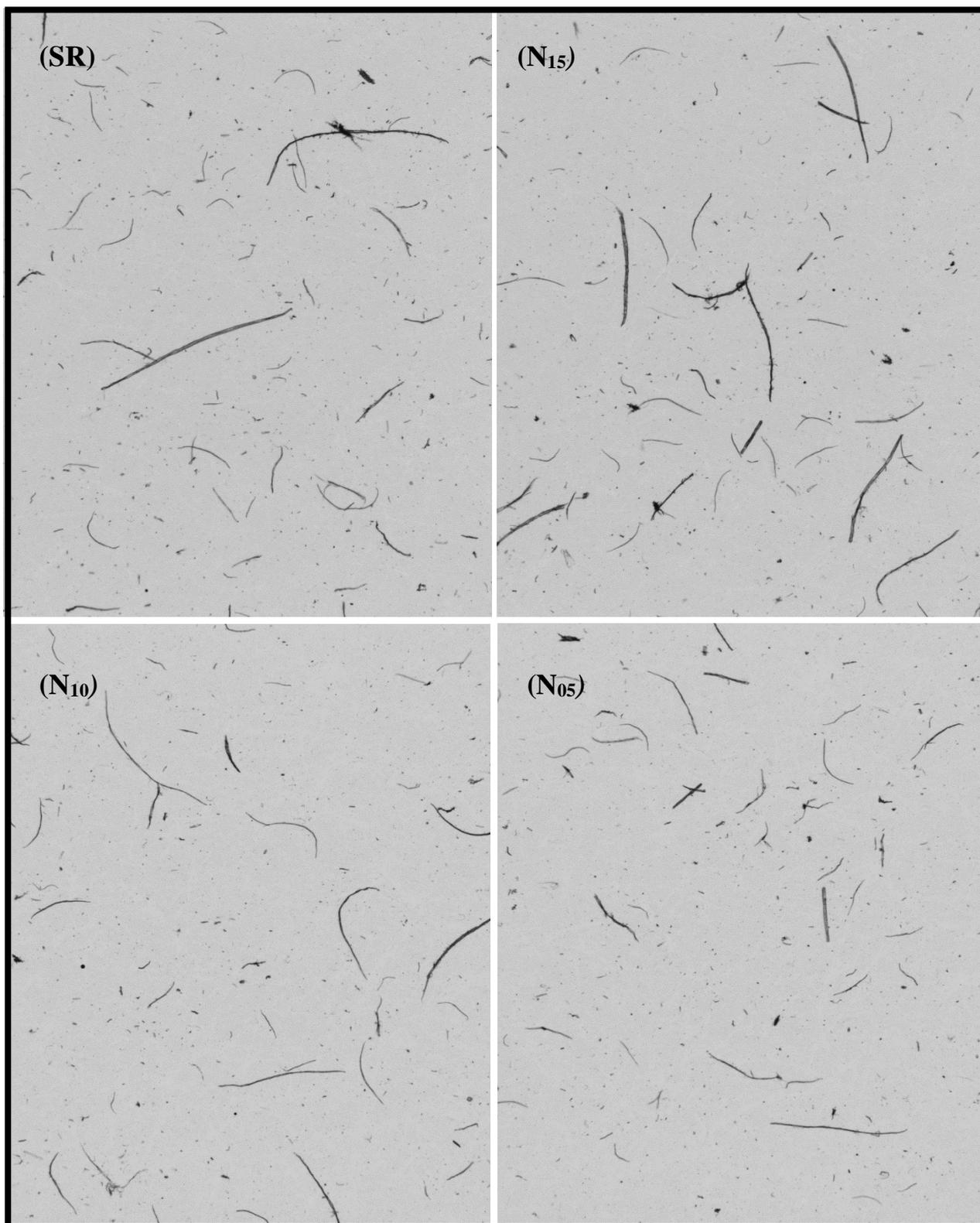
Dónde: A, B, C, D y E (proporción de mezcla); S.R., sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, refinado a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente; # (número de dobleces) y N° 1 - 10 (número de repeticiones).

Anexo 23: Imágenes de las fibras en pulpas antes y después del refinado para la mezcla A (100 % DKL - 0 % OCC).



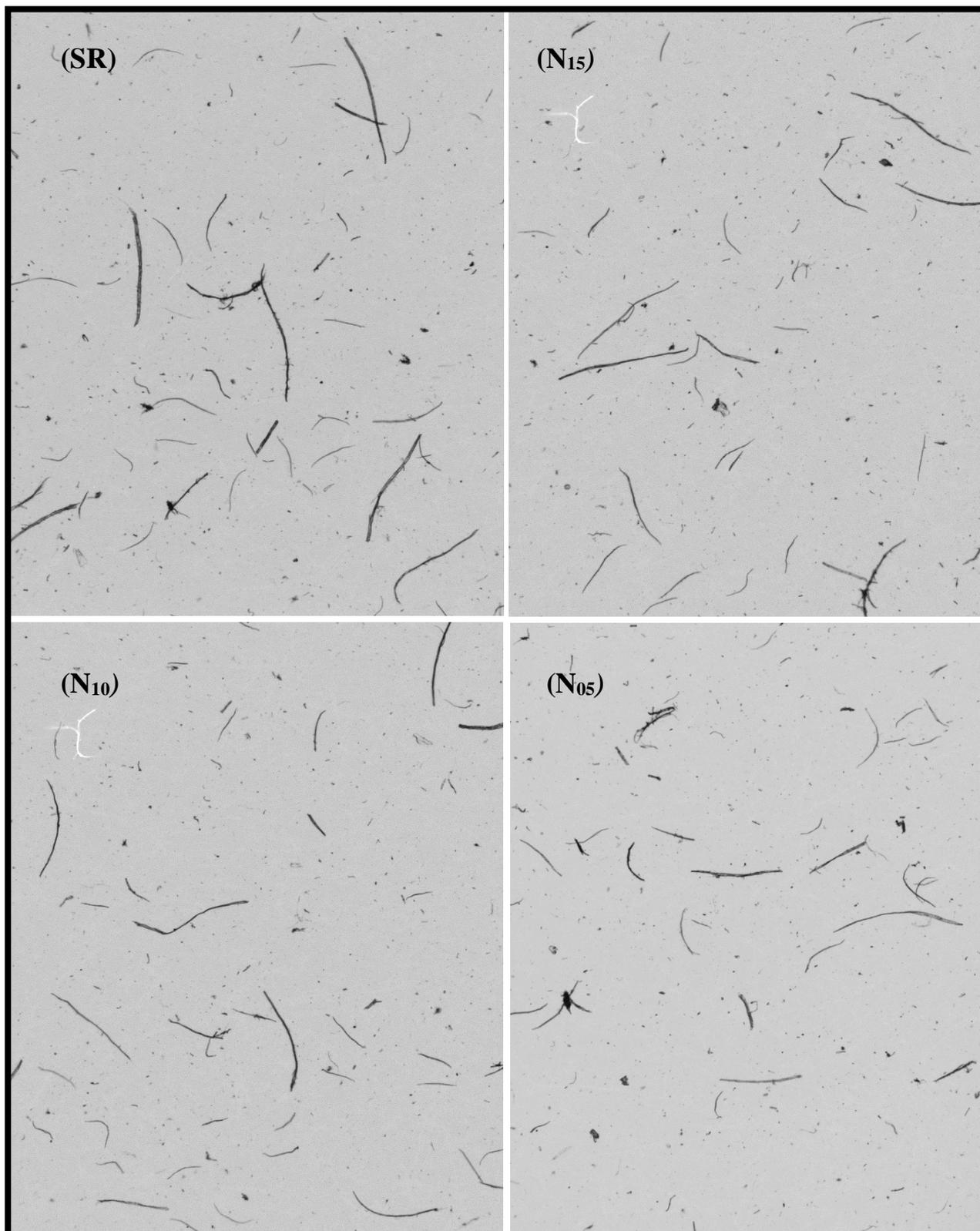
Dónde: SR, pulpa sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, pulpa refinada a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Anexo 24: Imágenes de las fibras en pulpas antes y después del refinado para la mezcla B (75 % DKL - 25 % OCC).



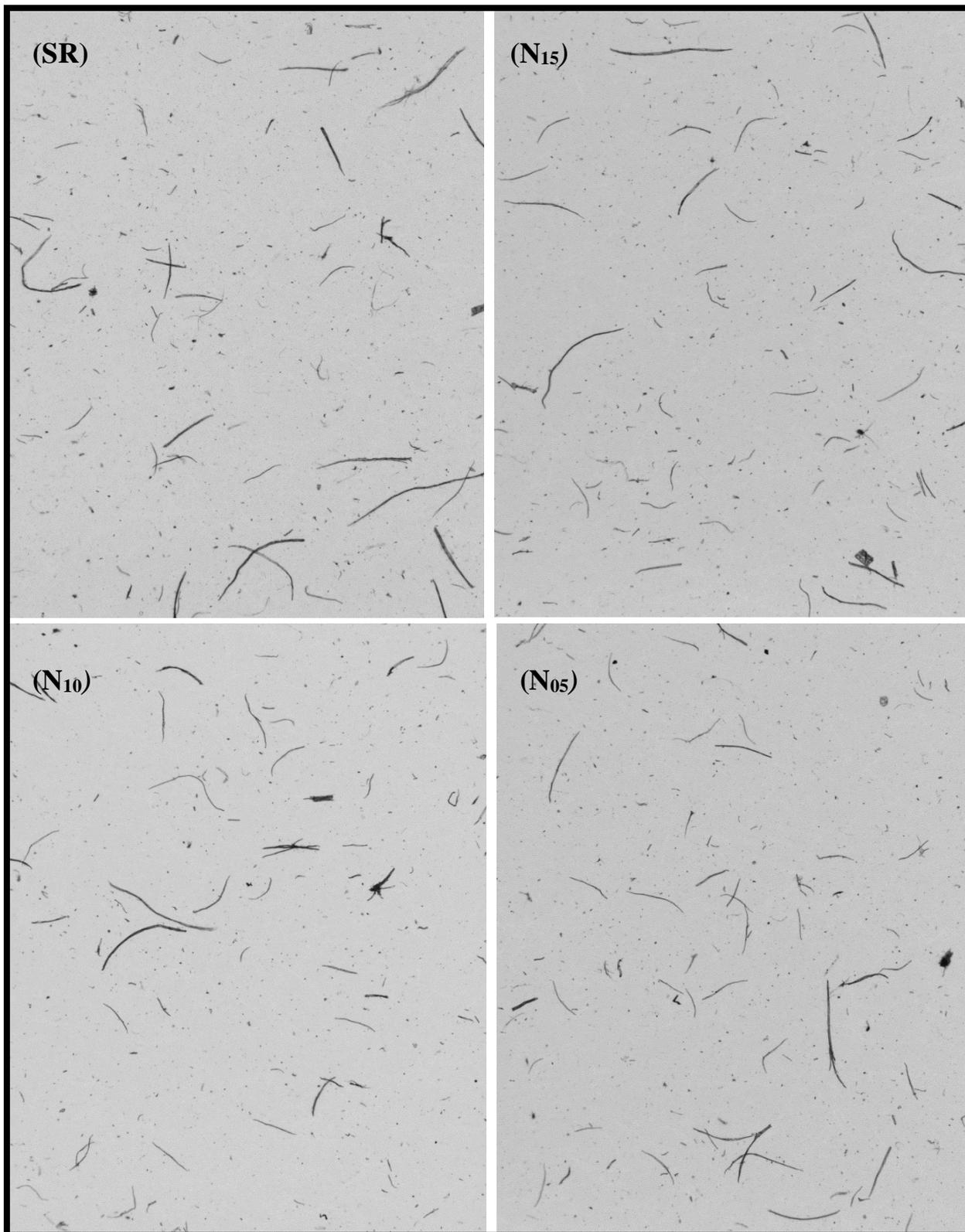
Dónde: SR, pulpa sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, pulpa refinada a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Anexo 25: Imágenes de las fibras en pulpas antes y después del refinado para la mezcla C (50 % DKL - 50 % OCC).



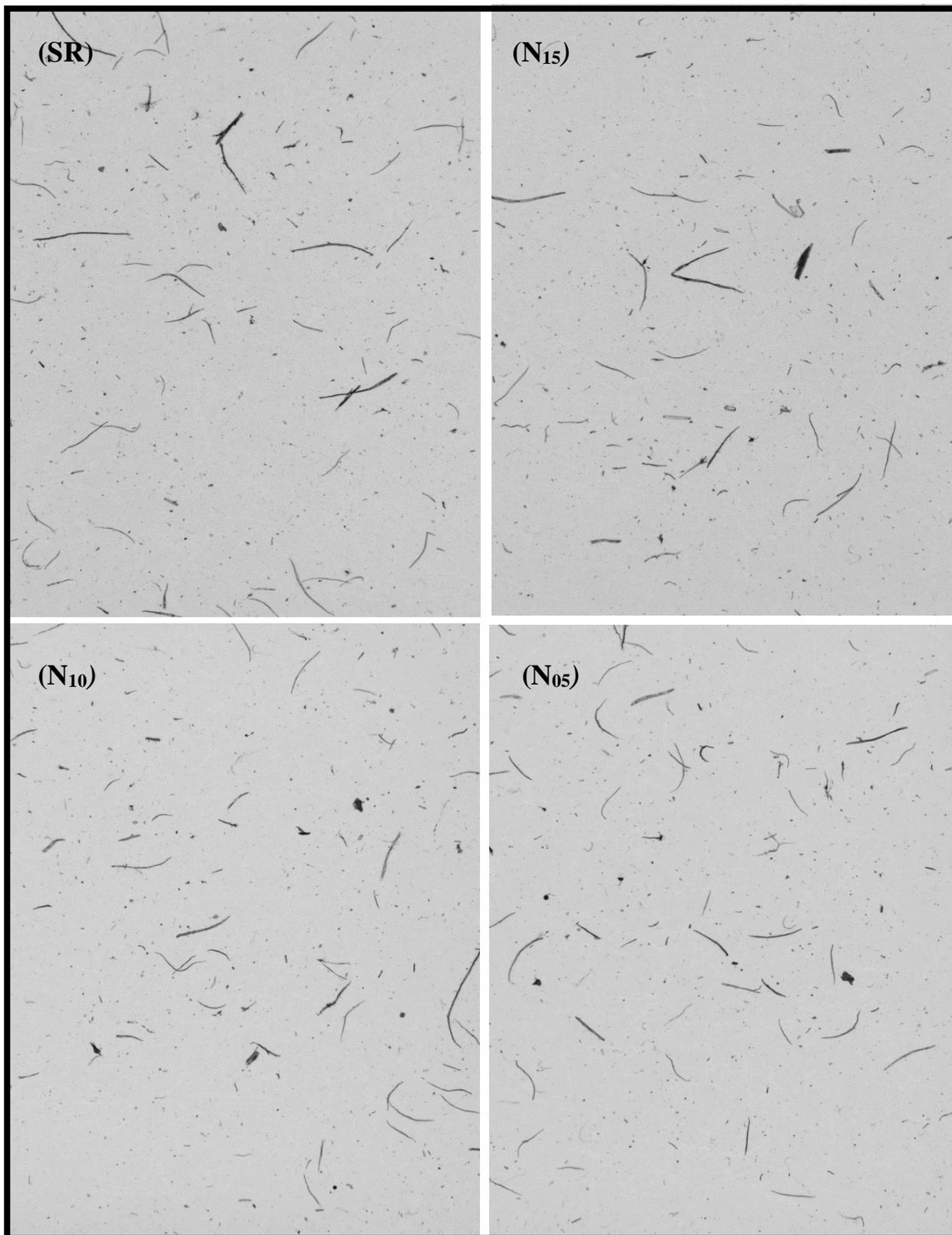
Dónde: SR, pulpa sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, pulpa refinada a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Anexo 26: Imágenes de las fibras en pulpas antes y después del refinado para la mezcla D (25 % DKL - 75 % OCC).



Dónde: SR, pulpa sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N15, N10 y N05, pulpa refinada a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.

Anexo 27: Imágenes de las fibras en pulpas antes y después del refinado para la mezcla E (0 % DKL - 100 % OCC).



Dónde: SR, pulpa sin refinado (los discos abiertos a 1,00 mm); N₁₅, N₁₀ y N₀₅, pulpa refinada a 0,15 mm, 0,10 mm y 0,05 mm de entrehierro, respectivamente.