

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**ESTUDIO PARA LA CONVERSIÓN DE RESIDUOS DE
ETIQUETAS CELULÓSICAS EN MATERIAL RECICLABLE**

TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR:

Lesly Alexandra Urbina Carrión.

Katherine Jessenia Alvarado Obando.

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

TUTOR:

MSc. Ing. Silvio Andrés Rojas Zambrana.

Managua, Nicaragua, Agosto 2020

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestras familias por haber sido apoyo a lo largo de toda nuestra carrera universitaria y a lo largo de nuestras vidas. A todas las personas y amigos especiales que nos acompañaron en esta etapa, aportando a nuestra formación tanto profesional y como ser humano.

Ofrecemos nuestro más profundo agradecimiento a aquellas personas que han contribuido a concretar la presente investigación. Entre ellos cabe resaltar la excelente labor de nuestro asesor Msc. Ing. Silvio Andrés Rojas Zambrana, quien asumió con responsabilidad la tarea de guiarnos y orientarnos con dedicación y paciencia en este largo trabajo.

De igual manera agradecemos sinceramente a los ingenieros Ing. Juan Alonso e Ing. Onell Morales por su valiosa colaboración, destacando, por encima de todo, la disponibilidad y amabilidad durante nuestras visitas a los laboratorios. No cabe duda que su apoyo ha hecho que el trabajo se realice con éxito, gracias compartir sus conocimientos.

A la Compañía Cervecera de Nicaragua por proporcionar los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación. Gracias por darnos la oportunidad, confiar en nosotras y abrirnos las puertas.

DEDICATORIA

Es de gran satisfacción dedicarle este trabajo a Dios, quien ha estado conmigo en cada paso que doy, siempre dándome la fortaleza necesaria para seguir adelante.

A mis padres Ericka Carrión Mejía y Rodolfo Urbina Arevalo, quienes son el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional. Muchos de mis logros son gracias a ellos, incluso este.

Así mismo, a las personas que fueron de gran apoyo en el transcurso de mi desarrollo profesional y personal durante esta ardua etapa.

Lesly Alexandra Urbina Carrión.

DEDICATORIA

A mi madre Francisca Obando, mis tíos Alba Obando y Omar Rayo, por haber sido apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida. A mi hermana Adriana Rayo por estar siempre presente, escuchándome, acompañándome y por el apoyo moral a lo largo de esta etapa.

A todas mis amigas, Alba Dinarte, Tharcia Santamaría, Allison Taleno y Lesly Urbina, con las que compartí dentro y fuera de las aulas muchos momentos memorables, gracias por apoyarme, extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día en todos estos años de estudio. A todos los que ya no están, *In memoriam*.

Katherine Jessenia Alvarado Obando.

OPINIÓN DEL CATEDRÁTICO GUÍA

El trabajo de diploma de Ingeniería Química titulado: "ESTUDIO PARA LA CONVERSIÓN DE RESIDUOS DE ETIQUETAS CELULÓSICAS EN MATERIAL RECICLABLE", sustentado por las bachilleres Lesly Alexandra Urbina Carrión y Katherine Jessenia Alvarado Obando, reúne los requisitos necesarios para ser presentado y defendido ante el tribunal examinador nombrado por el Decano de la Facultad de Ingeniería Química de la UNI, Dr. Rafael Gamero Paguaga.

Este trabajo responde a la necesidad y el encargo de una empresa nacional, que preocupada por el medio ambiente, intenta cumplir con la Normativa Ambiental exigida para el caso. Por tanto, es una respuesta de la Universidad a la demanda específica de la Sociedad.

Es de notar que, en Nicaragua, no existe tratamiento alguno a los residuos de etiquetas, papel y cartón. Las empresas de reciclado solo se dedican al acopio y posterior exportación de materiales celulósicos. La exigencia de la empresa era convertir la etiqueta retirada de las botellas de cerveza, ya sea metalizada o plastificada ambas con matriz celulósica, en un material de uso intermedio a nivel artesanal o un producto final de uso comercial o industrial.

Los experimentos y la información recopilada, condujeron a la determinación de un proceso que involucra mezcla de la pulpa de etiqueta con material celulósico sin tratar, de forma que se agrega a este material. El resultado de este proceso es un papel cuyas características físicas están entre papel Tissue y cartón.

El equipo de tesistas, debió emplear las herramientas de Ingeniería Química, diseño de procesos, diseño experimental y análisis estadístico para la realización de este trabajo. Sus conclusiones indican que es factible la conversión de ese desecho sólido en un material reusable. Como su guía o tutor valorando la importancia académica y técnica de este trabajo, más el esfuerzo realizado por las tesistas, solicito la máxima calificación del Jurado, y así dar por concluida su etapa de estudios de nuestra importante profesión.

Sin más que referir me despido atentamente.

MSc. Ing. Silvio Andrés Rojas Zambrana
Tutor del estudio
Profesor Titular
Facultad de Ingeniería Química
Universidad Nacional de Ingeniería

RESUMEN

El principal objetivo de esta investigación fue estudiar las diferentes condiciones de operación de los factores en estudio, aplicados en el método seleccionado de elaboración de papel reciclado a partir de los desechos de las etiquetas celulósicas provenientes de botellas de la Compañía Cervecera de Nicaragua, que permitieran la mejor incidencia en las propiedades físico-mecánicas de las hojas obtenidas.

El método de elaboración de papel seleccionado fue adaptado de una exploración previa de la recicladora salvadoreña Hispalia, en donde se desprecia la soda cáustica y goma adhesiva contenida en los residuos.

El estudio se encuentra dividido en tres etapas: Primeramente, se caracterizó la materia prima, los desechos de etiquetas celulósicas provenientes de botellas de la Compañía Cervecera de Nicaragua, efectuando mediciones generales de las muestras (% Materia seca, % Humedad, pH).

La segunda etapa consistió en el proceso de elaboración de papel a partir de fibra reciclada, el cual se realizó en 7 operaciones, las que se listan a continuación: pesado inicial, trituración, hidratación, pulpeado, filtración, prensado y secado. Se elaboraron las hojas del papel reciclado a partir de la fibra de etiqueta con composiciones de 25%, 50%, 75% y 100% de fibra de etiqueta (%FDE), completando la diferencia con fibra mixta sin destintar (%FMSD) con los diferentes tiempos de pulpeado: 3, 6, 9 y 12 minutos.

Finalmente, en la tercera etapa, se efectuaron las pruebas físico-mecánicas a las hojas recicladas obtenidas que consistieron en mediciones generales de sus propiedades (porcentaje de rendimiento, absorción y resistencia a la tensión).

El diseño experimental aplicado fue un factorial estándar 4^k , 4 niveles y 2 factores, $4^2 = 16$. Cada uno de los experimentos se replicó 3 veces, para un total de 48 experimentos. Los factores considerados fueron la concentración de fibra de etiqueta (%FDE) y el tiempo de pulpeado, las variables respuesta fueron % de rendimiento, absorción y resistencia a la tensión.

Se encontró que el %FDE influye significativamente en el rendimiento y en la absorción de las hojas recicladas sin embargo no presenta influencia ni diferencia significativa en la resistencia. El tiempo de pulpeado no presenta influencia ni diferencia significativa en ninguna variable por lo que se puede concluir en que el tiempo de pulpeado como factor único no influye en los resultados del experimento.

Se concluye que las mejores condiciones para la conversión de etiquetas en material reciclado se logra cuando el FDE es de 25% y un tiempo de pulpeado de 3 minutos.

Contenido	Página
AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA	iii
OPINIÓN DEL CATEDRÁTICO GUÍA	iv
RESUMEN.....	v
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. General.....	3
2.2. Específicos	3
III. MARCO TEÓRICO	4
3.1. Residuos y desechos sólidos	4
3.1.1. Clasificación de los residuos sólidos.....	4
3.1.2. Clasificación de los desechos solidos.....	5
3.2. El reciclaje	5
3.2.1. Proceso del reciclaje en Nicaragua.....	6
3.2.2. Reciclaje de papel.....	8
3.2.3. Propiedades técnicas del papel	18
IV. METODOLOGÍA	20
4.1. Material.....	20
4.1.1. Fibra de etiqueta	20
4.1.2. Fibra mixta sin destintar	21
4.1.3. Materiales de laboratorio	21
4.1.4. Equipos de laboratorio	22
4.2. Método	22
4.2.1. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de la FDE.....	22
4.2.2. Elaboración de papel a partir de fibra reciclada	23
4.2.3. Caracterización de las propiedades de las hojas de papel reciclado.	26
4.2.4. Diseño Experimental.....	27
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
5.1. Pruebas de caracterización de la fibra de etiqueta.....	29
5.2. Pruebas Físico-Mecánicas de hoja recicladas	31
5.2.1. Pruebas de rendimiento	31
5.2.2. Pruebas de gramaje.....	32
5.2.3. Pruebas de calibre	33

5.2.4. Pruebas de absorción	34
5.2.5. Pruebas de resistencia a la tensión	35
5.2.6. Pruebas de pH	36
5.3. Análisis estadístico	37
VI. CONCLUSIONES	50
VII. RECOMENDACIONES.....	51
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	52
IX. ANEXOS.....	55

Lista de tablas

No.	Descripción	Página
3.1	Cadena de reciclaje en Nicaragua.	7
4.1	Materiales de laboratorio.	21
4.2	Equipos de laboratorio.	22
4.3	Composición de las mezclas de fibra reciclada.	23
4.4	Factores y variables del diseño experimental.	27
4.5	Niveles del diseño experimental.	28
4.6	Distribución de los experimentos.	28
5.1	Resultados de pesaje de etiquetas húmedas.	29
5.2	Resultados de pesaje de etiquetas secas de 355 ml.	29
5.3	Resultados de mediciones de porcentaje de humedad y materia seca.	30
5.4	Resultados de mediciones pH de etiquetas húmedas.	30
5.5	Resultados de prueba de rendimiento de hojas recicladas a partir de fibra de etiqueta.	31
5.6	Resultados de prueba de gramaje de hojas recicladas a partir de fibra de etiqueta.	32
5.7	Resultados de la prueba de calibre de hojas recicladas a partir de fibra de etiqueta.	33
5.8	Resultados de las pruebas de absorción de hojas recicladas a partir de fibra de etiqueta.	34
5.9	Resultados de prueba de resistencia a la tensión de hojas recicladas a partir de fibra de etiqueta.	35
5.10	Resultados de las mediciones de pH de hojas recicladas a partir de fibra de etiqueta.	36
5.11	Análisis de varianza de rendimiento vs tiempo de pulpeado, %FDE.	37
5.12	Análisis de varianza de absorción vs tiempo de pulpeado, %FDE.	38
5.13	Análisis de varianza de resistencia vs tiempo de pulpeado, %FDE.	39
5.14	Análisis de Tukey – Rendimiento vs %FDE.	40
5.15	Análisis de Tukey – Absorción vs %FDE.	41
5.16	Análisis de Tukey – Resistencia vs %FDE.	42
5.17	Análisis de Tukey – Rendimiento vs Tiempo de pulpeado.	43
5.18	Análisis de Tukey – Absorción vs Tiempo de pulpeado.	44
5.19	Análisis de Tukey – Resistencia vs Tiempo de pulpeado.	45
	Anexo 1: Etiquetas celulósicas nuevas de la CCN.	

9.1	Características de etiquetas nuevas.	55
9.2	Peso de etiqueta nueva de una presentación de 355 ml.	55
9.3	Propiedades de etiquetas nuevas. Anexo 3: Resultados de pruebas de distintos materiales celulósicos.	55
9.4	Resultados prueba de gramaje de distintos materiales celulósicos.	57
9.5	Resultados prueba de calibre de distintos materiales celulósicos.	57
9.6	Resultados prueba de absorción de distintos materiales celulósicos.	58
9.7	Resultados prueba de resistencia a la tensión de distintos materiales celulósicos. Anexo 4: Cálculos para la caracterización de la FDE.	58
9.8	Cálculo de humedad de etiquetas a 105°C y 0 min de secado.	58
9.9	Cálculo de humedad de etiquetas a 105 °C y 5 min de secado.	59
9.10	Cálculo de humedad de etiquetas a 105 °C y 10 min de secado.	59
9.11	Cálculo de humedad de etiquetas a 105 °C y 15 min de secado. Anexo 5: Cálculos para la caracterización de las hojas recicladas.	59
9.12	Cálculo de rendimiento de hojas recicladas.	60
9.13	Cálculo de absorción de tanda 1 de hojas recicladas.	60
9.14	Cálculo de absorción de tanda 2 de hojas recicladas.	61
9.15	Cálculo de absorción de tanda 3 de hojas recicladas.	61
9.16	Resultados de absorción de todas las hojas recicladas en g/m ² .	62
9.17	Cálculo de absorción de diferentes fibras celulósicas.	63
9.18	Cálculo de gramaje de hojas recicladas con un área de 5 cm ² .	64
9.19	Cálculos de fuerza de rotura en Newton y Lbf de las hojas recicladas.	64
9.20	Cálculos de fuerza de rotura en Newton y Lbf de diferentes fibras celulósicas.	65

No.	Lista de figuras Descripción	Página
3.1	Sistema de dispersión	12
3.2	Eliminación de los contaminantes según el tamaño de las partículas.	15
4.1	Desecho de etiquetas de botellas de cerveza.	21
4.2	Diagrama de flujo del proceso de elaboración de papel a partir de desechos de etiquetas celulósicas.	25
5.1	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados-Rendimiento.	37
5.2	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados-Absorción.	38
5.3	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados-Resistencia.	39
5.4	Diagrama de caja- Rendimiento vs %FDE.	40
5.5	Diagrama de caja- Absorción vs %FDE.	41
5.6	Diagrama de caja- Resistencia vs %FDE.	42
5.7	Diagrama de caja- Rendimiento vs tiempo de pulpeado.	43
5.8	Diagrama de caja- Absorción vs tiempo de pulpeado.	44
5.9	Diagrama de caja- Resistencia vs tiempo de pulpeado.	45
5.10	Gráfica de interacción de factores para Absorción	46
5.11	Gráfica de efectos principales para Absorción	47
5.12	Gráfica de interacción de factores para Resistencia	48
5.13	Gráfica de efectos principales para Resistencia	49
	Anexo 1: Etiquetas celulósicas nuevas de la CCN.	
9.1	Estructura de una etiqueta normal.	56
9.2	Estructura de una etiqueta metalizada.	56
	Anexo 2: Gráfico Humedad - Tiempo de secado.	
9.3	Gráfico de masa de etiquetas húmedas vs tiempo de secado.	57
	Anexo 6: Pruebas de caracterización de FDE.	
9.4	Secado de etiquetas en bandeja de aluminio.	66
9.5	Medición de pH a muestras de etiquetas.	66
9.6	Pesaje de etiquetas húmedas.	66
	Anexo 7: Elaboración de papel a partir de FDE.	
9.7	Mezcla de FDE y FMSD trituradas.	67
9.8	Mezcla de fibras en etapa de hidratación.	67
9.9	Mezcla de fibras en etapa de pulpeado.	67
9.10	Filtración y prensado de la mezcla fibrosa.	68
9.11	Secado	68

9.12	Pesado final.	68
	Anexo 8: Pruebas de caracterización de papel reciclado a partir de FDE.	
9.13	Muestras de papel 5 cm ² .	69
9.14	Prueba de absorción.	69
9.15	Prueba de fuerza de rotura.	69
9.16	Prueba de medición de calibre.	70

I. INTRODUCCIÓN

El impacto del reciclado de residuos en la industria resulta muy importante desde el punto de vista ambiental. La reutilización masiva de papeles no solo implica la preservación de recursos forestales, sino que además representa una disminución en el volumen de desechos sólidos o una reducción de la necesidad de su incineración.

En comparación con otros países, Nicaragua carece de industrias que se dediquen al reciclado de residuos sólidos, en especial de papel y en su mayoría las empresas que se dedican al reciclaje de papel lo que realmente hacen es acopiar y exportar a otros países.

Las etiquetas no son de mayor interés para las empresas recicladoras debido a que éstas salen húmedas del proceso de lavado de botellas, condición que dificulta su transporte, además el material que compran los recicladores es previamente pesado para determinar su precio, por lo tanto, no pagarían por la humedad contenida.

La Compañía Cervecera de Nicaragua, S. A. (CCN), ha trabajado en diversos esfuerzos y proyectos para ser sostenibles basada en la normativa ISO 14001, una forma para lograr esto es convertir los desechos en residuos que puedan tener un segundo propósito. Por tal motivo, la CCN gestiona entre el 98 % y 99 % de sus residuos post industriales, sin embargo; deben completar alrededor del 1% adicional para cumplir su meta. Esta meta puede ser alcanzada si se logran reciclar los desechos provenientes de las etiquetas de cerveza.

En la actualidad los desechos de etiquetas de CCN, son llevados directamente al depósito de basura del municipio de Managua. La generación de desechos de etiquetas proveniente de la CCN varía año con año.

En El Salvador la planta cervecera Industrias La Constancia (ILC) (2016), en su reporte de "*Desarrollo sostenible 2016*" dio a conocer que, como parte de su plan de reciclaje dentro de la industria, estaban implementando el reciclado de papel y etiquetas, el cual transforma las etiquetas de cerveza en materia prima para fabricar papelería para la educación como cuadernos y materiales de librería. Esta planta ha logrado reciclar en su totalidad las etiquetas que salen del proceso de lavado de botellas. El reciclado representa un ahorro para la compañía y para la empresa que recibe la etiqueta, ya que reduce sus costos de producción de materias primas, generando así un impacto ambiental positivo logrado con la reducción de los desechos enviados al relleno sanitario.

Similar al reporte anterior, en Colombia la industria cervecera Bavaria (2016) en su reporte "*Informe de desarrollo sostenible un mundo mejor 2016*" informó que reutilizan alrededor del 99 % de sus residuos y una de las medidas de reciclaje utilizadas son las etiquetas de cerveza como materia prima para la producción de cubetas de huevo.

Natalia Peña y Mónica Tovar (2006) realizaron la investigación monográfica *"Elaboración de un material a partir de un residuo sólido no reciclable de una empresa de artes gráficas"* En Colombia, Universidad EAFIT, en la cual realizaron un diseño de experimentos, en el que se obtuvo la pulpa libre de adhesivo, y con ésta elaboraron hojas de papel, que posteriormente se analizaron para determinar sus propiedades y su posible uso comercial.

En Nicaragua, aunque se cuenta con una empresa de la industria cervecera masiva, hasta la fecha no se han llevado a cabo estudios o propuestas de reciclado celulósico proveniente de sus etiquetas; tampoco existen investigaciones de reciclaje de papel desechado en otro tipo de industrias.

A petición de la CCN a la UNI, se realizó la presente investigación cuyo propósito es determinar las condiciones de operación de los factores en estudio aplicadas al método de conversión seleccionado que permita la transformación de los desechos de etiquetas celulósicas, en pulpa reciclable, que presente propiedades físico-mecánicas aceptable para las recicladoras de papel a nivel nacional.

La información obtenida en este estudio servirá como base para lograr en un futuro el reciclaje de las etiquetas celulósicas y su aceptación por parte de las recicladoras, contribuyendo a la sostenibilidad de la CCN y una nueva opción para el tratamiento de este tipo de desechos que no se ha estudiado en el país.

II. OBJETIVOS

2.1. General

Determinar las condiciones adecuadas de elaboración en el proceso de conversión de etiquetas celulósicas provenientes de la Compañía Cervecera de Nicaragua en material reutilizable que mejor incida en las propiedades físico-mecánicas del papel reciclado.

2.2. Específicos

1. Caracterizar fisicoquímicamente los desechos de las etiquetas de la Compañía Cervecera de Nicaragua.
2. Determinar el efecto del %FDE y tiempo de pulpeado durante el tratamiento de las etiquetas, en las propiedades físico-mecánicas del papel reciclado según las normas TAPPI.
3. Evaluar las propiedades físico-mecánicas de las hojas de papel reciclado producto de los experimentos del estudio para la recomendación de su uso posterior.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Residuos y desechos sólidos

La *Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA, 2003)*, define un residuo como cualquier material desechado en forma sólida, líquida, o gaseosa que es botado, quemado, incinerado, o reciclado. Puede ser el subproducto de un proceso de fabricación o simplemente un producto comercial que se utiliza.

Según la Organización Mundial de la Salud (1997), los residuos sólidos son un conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico que no tiene utilidad práctica o valor comercial para la persona o actividad comercial que lo produce.

La *Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, 2007)* define desecho como todo lo que es generado como producto de una actividad, ya sea por la acción directa del hombre o por la actividad de otros organismos vivos, formándose una masa heterogénea que, en muchos casos, es difícil de reincorporar a los ciclos naturales.

En Nicaragua, el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), en la *Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para el manejo, tratamiento y disposición final de desechos sólidos no peligrosos, Gaceta No 96,2002 (NTON 05 014-0, 2002)*, define los residuos sólidos a aquellos residuos que se producen por las actividades del hombre o por los animales, que normalmente son sólidos y que son desechados como inútiles o superfluos. Así mismo considera que los desechos sólidos no peligrosos son todos aquellos desechos o combinación de desechos que no representan un peligro inmediato o potencial para la salud humana o para otros organismos vivos. Dentro de los desechos no peligrosos están: desechos domiciliarios, comerciales, institucionales, de mercados y barrido de calles.

3.1.1. Clasificación de los residuos sólidos

Para fines de estudio, los residuos sólidos se clasifican en dos grandes grupos, residuos sólidos biodegradables y residuos sólidos no biodegradables. (*Sociedad de acueducto alcantarillado y aseo de barranquilla s.a. e.s.p, 2003*).

Biodegradables: Aquellos residuos de origen orgánico que pueden descomponerse e incorporarse nuevamente a la naturaleza.

No biodegradables: Aquellos residuos que no sufren ningún proceso de descomposición o cuyo proceso no es espontáneo y requiere grandes periodos de tiempo, como son:

-
- Vidrios: Todo tipo de forma de botellas y colores, también espejos y vidrios rotos.
 - Papeles y cartones: Periódicos, cuadernos, libros y revistas en desuso.
 - Plásticos: Envases, juguetes, utensilios del hogar.
 - Metales: Paraguas, tornillos, herramientas y material metálico inservible,
 - Botellas plásticas: Recipientes desechables de bebidas.
 - Latas desechables: Envases de alimentos, aditivos, aceites vegetales y otros.
 - Recipientes desechables: Cajas, contenedores, vasos y platos de cartón o plásticos.

3.1.2. Clasificación de los desechos solidos

La composición física de los desechos sólidos no peligrosos, permite conocer las posibilidades de reciclaje, reutilización y recuperación de los residuos.

De acuerdo a su composición física y según *NTON 05 014-0*, los desechos sólidos se clasifican en:

- Desechos de alimentos
- Papel y cartón
- Desechos de Textiles
- Plástico
- Desechos de jardinería
- Cuero y caucho
- Metal
- Vidrio
- Cerámica y piedra
- Otros (tierra, cenizas)

3.2. El reciclaje

El reciclaje es el proceso cuyo objetivo es convertir desechos en nuevos productos o en materia para su posterior utilización, y gracias a él se consigue prevenir el desuso de materiales potencialmente útiles, reducir el consumo de nueva materia prima, además de reducir el uso de energía, la contaminación del aire a través de la incineración, y la contaminación del agua, a través de la filtración en los vertederos; según la *Fundación Bioplanet Paris 2015*.

Como parte de la estructura del manejo integral de residuos sólidos, el reciclaje permite que los residuos sean valorizables, es decir, que tengan valor económico. Diversos estudios han comprobado que el reciclaje brinda un sinnúmero de ventajas sociales, económicas y ambientales. Entre éstas sobresale el ahorro de

energía, menor descompresión de los recursos vírgenes, el incremento de los productos tangibles y; la generación de empleos, entre otros. (Chow P. Irene, Ibarra G. Carlos, 2005)

La Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense Ambiental para el manejo, tratamiento y disposición final de desechos sólidos no peligrosos presentada por el MARENA, define el reciclaje como un proceso mediante el cual ciertos materiales de los desechos sólidos se separan, recogen, clasifican y almacenan para reincorporarlos como materia prima al ciclo productivo.

Los tipos de desechos a reciclar, podrán ser:

- Desechos orgánicos.
- Papel y cartón.
- Plástico.
- Aluminio y cobre.
- Vidrio.
- Metales.
- Cuero y caucho.
- Otros de interés
(NTON 05 014-0, 2002)

Dadas las definiciones expresadas anteriormente se concluye que el reciclaje de residuos sólidos es un proceso en el cual estos son previamente extraídos de su cadena de disposición como desechos y se someten a procesos de acondicionamiento y transformación para ser utilizados como sustitutos de materia virgen en la manufactura de nuevos productos.

3.2.1. Proceso del reciclaje en Nicaragua

El proceso de reciclaje conlleva una serie de pasos o actividades, desde recolección y procesamiento de materiales, hasta la manufactura de productos con material reciclable y la compra de estos productos. (Chow P. Irene, Ibarra G. Carlos, 2005)

A continuación, se detallan estos pasos:

Paso 1: Recolección

Se deben de juntar cantidades considerables de materiales reciclables y separar elementos contaminantes o no reciclables y clasificar los materiales de acuerdo a su tipo específico.

Según la *Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos* (EPA, por sus siglas en inglés), existen 4 métodos primarios de recolección: recolección domiciliar de los residuos separados, entrega de los residuos a centro de acopio, entrega de los residuos en centro de compra de residuo y programas de depósito y reembolso. Los materiales recolectados son enviados a un centro de acopio para

ser clasificado y preparados para su utilización en la manufacturación de nuevo producto.

Los materiales reciclables son comprados y vendidos como cualquier otro producto y su precio varía dependiendo del mercado.

Paso 2: Manufactura

En esta etapa, los materiales clasificados se utilizan como nuevos productos o como materias primas para algún proceso. Una vez que los materiales son limpiados y separados, están listos para someterse a la segunda parte del proceso de reciclaje.

Algunos de los productos más comunes en hogares contienen materiales reciclados como son: periódicos, papel toalla, aluminio, plástico, botellas de vidrio, latas de aluminio, entre otros.

Paso 3: Consumo

La compra de nuevos productos generados a partir de materiales reciclables completa el ciclo de reciclaje. Estos productos deben ser consumidos para que el proceso de reciclaje sea exitoso. Los compradores deben demandar productos con el mayor porcentaje de materiales reciclados en ellos. Mientras los consumidores demanden productos amigables con el medio ambiente, las empresas manufactureras continuaran generando productos de buena calidad en base a materiales reciclables.

Cadena de reciclaje en Nicaragua

En Nicaragua no existe una industria propiamente del reciclaje. La cadena de este proceso está integrada principalmente por personas o empresas encargadas de recolectar y acopiar los residuos.

Los beneficios obtenidos del reciclaje son mayores cuando los residuos están limpios, ya que esto aumenta su valor de mercado, y cuando están disponibles en grandes cantidades. Dentro de este aspecto la separación en la fuente constituye un elemento fundamental para lograr la maximización del beneficio del programa de reciclaje. En Nicaragua no se cuenta con una Ley Especial de Residuos Sólidos, que obligue y regule la clasificación de los materiales desde el ámbito doméstico hasta las instituciones estatales y privadas. (*El reciclaje en Nicaragua, El observador económico, 2007*).

Tabla 3.1 Cadena de reciclaje en Nicaragua.

AUTOR	FUNCION
Recolectores	Identificar materiales reciclables desde la fuente hasta el local de los compradores.

Acopiadores	Comprar materiales reciclables y los revenden a una empresa manufacturera.
Corredores Independientes	Comprar y aceptar material reciclable y lo venden a más de un usuario final.
Recicladores	Empresa que someten el material recolectado a un proceso de limpieza y acondicionamiento industrial.
Usuarios finales	Los que adquieren y procesan grandes cantidades de subproductos reciclados.

Fuente: Chow e Ibarra, 2005. Diagnóstico Preliminar de la Situación Actual del Reciclaje de los Residuos Sólidos en la Ciudad de Managua.

3.2.2. Reciclaje de papel

La industria del reciclado celulósico tiene actualmente una vigencia que, se estima, se acentuará en los próximos años. La inversión y los recursos necesarios para producir papel a partir de material recuperado son sensiblemente menores a los necesarios cuando se recurre a los recursos vegetales. Por otra parte, sus emisiones ambientales son similares a la correspondiente a la fabricación de papel con base en fibra virgen.

El uso de fibras recicladas en reemplazo surgió especialmente para la producción de papel de embalaje y cartones; y este sigue siendo el principal producto reciclado. El desarrollo de nuevas tecnologías en el área de destintado, separación de las impurezas, fraccionamiento, blanqueo y fabricación del papel incentivó a las industrias papeleras a aumentar el consumo de papel recuperado para estas y para otras calidades de papel. (Zanuttini, 2012).

Grados de papel recuperado

La recolección de papel se realiza por:

- Una recolección doméstica y en pequeñas empresas.
- Una recolección en las operaciones industriales o de comercio, sitios de desembalaje como supermercados, oficinas, y en las plantas de conversión como imprentas o plantas de cartón corrugado.

El material pre-consumo es recuperado en plantas de conversión como material de relleno en las imprentas o recortes en las plantas de cartón corrugado u otra operación de conversión. Este material resulta con baja o nula presencia de contaminantes. El material recuperado post-consumo es aquel recuperado después que el producto ha servido al consumidor. (Zanuttini, 2012).

Reciclaje de papel en Nicaragua

Actualmente, nuestro país no cuenta con una empresa dirigida específicamente al reciclaje de papel. En su mayoría, el papel es acopiado y lo exportan comprimido a molinos que operan en El Salvador, Costa Rica y Guatemala. Sin embargo, existen dos empresas dedicadas a la elaboración de productos a partir de papel recuperado.

Carmen Herrera (2015) realizó la investigación “*Propuesta de un sistema de gestión ambiental en INNOVA industrias S.A en el periodo de septiembre-diciembre 2015*” en la Universidad Centroamericana UCA. La información suministrada por Herrera (2015), evidencia que existen empresas que se dedican al reciclado de papel, el cual utilizan como materia prima para elaboración de productos. Innova se dedica a la elaboración de papel higiénico a partir de papel y cartón reciclado.

Por otra parte, José Denis Cruz (2016) en el artículo “Innovación, el secreto para explotar el cartón”, menciona que, Ecocentro es la única planta recicladora del país que se dedica a reciclar el cartón desde el año 2006 en Nicaragua y procesa cada año aproximadamente 2000 toneladas de este desecho.

Hasta la fecha, ninguna de las empresas mencionadas utiliza etiquetas de botella como materia en su proceso productivo, sin embargo, Ecocentro es la única que ha considerado en el futuro realizar negociaciones con la CNN.

Propiedades papeleras de las fibras recicladas

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

En los procesos de reciclado existe, además:

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

Debido a esto, la pulpa de reciclado generalmente presenta una reducción en drenabilidad que puede afectar a la velocidad de la máquina papeleras. Además de esto, la principal pérdida de propiedades papeleras la produce el secado que han sufrido las fibras en ciclos de uso anteriores. (Zanuttini, 2012).

Proceso de fabricación del papel reciclado

A través del proceso de reciclado de papel se pueden recuperar la mayoría de las fibras de celulosa que este contiene. No obstante, este proceso no se puede repetir de forma indefinida, ya que las fibras recuperadas pierden resistencia en el proceso, siendo necesario aportar según la resistencia del papel que se quiera fabricar, una proporción de fibras vírgenes al proceso de reciclado, ya sea procedentes de madera o de otras fibras vegetales. (*León Nieto, Fuentes medina, 2012*).

Los sistemas de procesamiento de fibra reciclada se diferencian de acuerdo con el grado de papel a ser producido y el tipo de fibra usada. Se pueden dividir en dos categorías principales: procedimientos que aplican exclusivamente depuración mecánica, sin destintado. Empleados principalmente para la fabricación de productos como testliner, onda para cartón corrugado, cartón y cartulina y procesos que además incluyen etapas químicas como el destintado que puede estar seguido de una etapa de blanqueo, como papel periódico, sanitarios y absorbentes (tissue), papel de impresión y copiado, papel de revista, y los recubiertos livianos. (*Zanuttini, 2012*).

Tratamientos mecánicos

La pasta celulósica a partir de papel reciclado puede efectuarse mediante la aplicación de tratamientos mecánicos y químicos simultáneamente, los que están en dependencia de las características del papel que se desea obtener. Zanuttini M., (2012) en la revista "Reciclado celulósico" de la Universidad Nacional del Litoral, Argentina, presenta cada una de las etapas del proceso de fabricación de papel reciclado:

Desintegración o pulpeado

El primer paso en cualquier proceso de reciclado y destintado de papel recuperado es la operación de desintegración o pulpeado que tiene como objetivo conseguir una suspensión fibrosa apta para ser tratada posteriormente. Durante la desintegración es necesario conseguir una buena individualización de las fibras y, al mismo tiempo, una separación eficiente de los contaminantes utilizando la mínima energía posible y alcanzando la máxima eficacia.

En el proceso de desintegración del papel reciclado se da en un pulper con un efecto sinérgico entre variables térmicas, mecánicas y químicas. Cada una de ellas contribuye a la liberación de los contaminantes e individualización de las fibras, tanto de forma individual como combinada.

La separación de las tintas y de los contaminantes debe ser completa para permitir su posterior eliminación en las etapas de tamizado, depuración y flotación. Aun

así, los pegotes de tinta y adhesivos tienen que mantenerse en rangos de dimensión elevados para que sean eliminados eficientemente. Además, se debe evitar la fragmentación excesiva de la tinta porque en la etapa de flotación se reduciría la eliminación de ésta y aumentaría su redeposición en las fibras.

Despastillado

La operación de despastillado tiene como objetivo la separación de las fibras restantes en los grumos o haces fibrosos que no han sido desintegrados durante el proceso de pulpeado. Estos grumos y pastillas pueden proceder de calidades estucadas, de aplicación de tratamientos superficiales o contenidos elevados de resinas de resistencia en húmedo. Para desestructurar completamente estos grumos es necesaria la etapa de despastillado.

La operación de despastillado también mejora la separación de las tintas de impresión y reduce el tamaño de los pegotes y grumos que deben ser eliminados a posteriori en procesos de destintado.

Cuando se tratan papeles reciclados difíciles de desintegrar, la desintegración seguida de un despastillado es la combinación más económica desde el punto de vista energético. La eficiencia del despastillado depende enormemente de los contaminantes que contiene la pasta procedente del papel reciclado.

Tamizado y depuración

El tamizado y depuración son operaciones de separación mediante el uso de tamices o barreras cuyo objetivo principal es la eliminación de los contaminantes sólidos de la pasta reciclada. Gracias al tamizado se llegan a conseguir los requerimientos de limpieza de las pastas recicladas, eliminando desde películas plásticas hasta pequeñas partículas y gomas que están por debajo del límite visible. La suspensión fibrosa se tamiza a través de agujeros o ranuras más pequeños que la mayoría de las partículas que tienen que ser separadas, pero más grandes que las fibras. En la tecnología del tamizado se han conseguido avances importantes, especialmente cuando se habla del tamizado con ranuras.

La depuración centrífuga se aplicó por primera vez en la industria papelera en el año 1906 y hoy en día no existen fábricas que tratan fibras recuperadas que no tengan una etapa de depuración.

El principal objetivo de la depuración centrífuga es la eliminación de las partículas de la suspensión que afectan a la calidad del papel o que pueden provocar un desgaste excesivo en los equipos del proceso. Estos contaminantes que se eliminan pueden ser pesados como arena, piezas metálicas y fajos fibrosos o bien ligeros como espumas plásticas o material plástico en sí.

Dispersión y trituración

El proceso de dispersión y/o trituración forma parte actualmente de cualquier proceso moderno de producción de pasta reciclada y destintada.

Los objetivos principales de un sistema de dispersión y trituración dentro de un proceso de obtención de pastas recicladas y destintadas son los siguientes:

- Reducir los stickies¹ y specks² por debajo del límite visible distribuyéndolos finamente o convirtiéndolos en flotables.
- Romper las partículas de estucado o aquellas procedentes de tratamientos superficiales.
- Separar las partículas de tinta de las fibras recicladas antes del proceso de destintado o reducir su tamaño si ya han pasado por etapas de eliminación de tinta.
- Mezclar los agentes de blanqueo. (Peróxido de hidrógeno, Silicato sódico)
- Tratar las fibras mecánicamente para conservar o mejorar sus propiedades de resistencia.

La etapa de dispersión tiene que localizarse en aquellos puntos en los que haya un loop de separación de agua puesto que es ahí donde la pasta se espesa a altas consistencias. Trabajar a altas consistencias también favorece el blanqueo. Así, se pueden aprovechar los dispersores para hacer la función de mezcladores de los agentes de blanqueo. Si las demandas de propiedades sobre el estoc final son muy elevadas, la dispersión se puede dar en dos puntos del sistema, muchas veces, usando los mismos equipos.

La **Figura 3.1** muestra un sistema de dispersión completo con una prensa de tornillo para el espesamiento, el elemento calefactor y el dispersor.

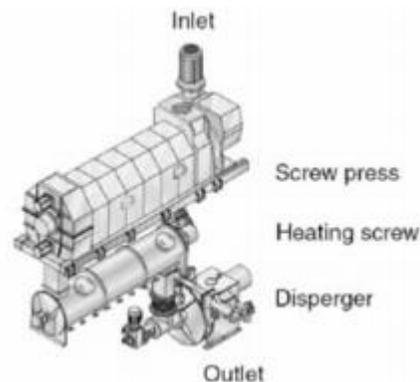


Figura 3.1 Sistema de dispersión completo.

Fuente: Zanuttini M. (2012), Reciclado celulósico.

¹Stickies: Materiales adhesivos

²Specks: pegotes de tinta

Prensado

En el proceso de fabricación de papel, con ayuda de una serie de elementos desgotadores, es posible eliminar una parte del agua contenida en la hoja. Luego, a lo largo de su recorrido hasta la formación total, el papel necesita eliminar el resto del agua que contiene. La hoja de papel, al entrar en la sección de prensas, tiene una consistencia aproximada de un 20%, es decir, contiene un 80% de agua. Al final de la operación de prensado quedará, con un 60% de agua.

En este proceso, la hoja es transportada a través de unos rodillos que la presionan, los cuales consiguen extraer hasta un 20% más del agua y, a la vez, le dan al papel unas condiciones superficiales y de resistencia favorables para su posterior utilización.

Secado

En el secado se extrae la humedad que tiene el papel mediante la transferencia de calor y masa de forma simultánea. En promedio, el papel después de la sección de prensado se encuentra con un 40% de sequedad, al finalizar el proceso de secado el papel tiene una sequedad del 95%. Consiste en aplicar calor a la hoja, mediante el método apropiado, con el propósito de elevar su temperatura hasta conseguir la evaporación del agua.

Basándose en los distintos métodos de transmisión del calor, existe una amplia variedad de equipos de secado en la fabricación de papel:

- Secado por aire a través: Mediante el paso de aire caliente a través de la estructura porosa del papel. Se utiliza en papel tissue, papel de toallas o papel para filtro.
- Secado con cilindro Yankee: Mediante contacto del papel sobre un cilindro de grandes dimensiones calentado con vapor. Se utiliza en papel carbón, papel glassine y papel para envolturas.
- Secado por chorro de aire: Mediante el choque de un chorro de aire caliente sobre la cara del papel. Se utiliza para secar los revestimientos en muchos tipos de papel.
- Secado infrarrojo. Se utiliza para el secado de los recubrimientos y para el presecado de la hoja. Es muy empleado en papeles estucados.
- Secado con cilindros calentados (sequeria multicilindrica): Es el método general empleado en el secado de cualquier tipo de papel. Consiste en una serie de cilindros de diámetro variable y calentados con vapor. El papel queda en contacto con los cilindros superiores por una cara y con los cilindros inferiores por la otra, permitiendo el secado por ambas caras.

Destintado mecánico

Un proceso de destintado es una extensión del proceso de reciclado, imprescindible en la fabricación de papeles de alta calidad. Todos aquellos componentes que pueden provocar una reducción del grado de blancura, principalmente las tintas, deben ser eliminados. Desde un punto de vista de reciclaje, todos estos aditivos son contaminantes.

Las exigencias del mercado actual sobre las pastas recicladas y destintadas, para ser incorporadas en los procesos de fabricación de papeles para impresión y escritura son comparables a las demandadas en pastas vírgenes. No se admite la producción de papeles de alta calidad utilizando fibras recicladas si no se obtienen las mismas prestaciones finales.

- **Destintado por flotación**

Los procesos de lavado son muy efectivos en la remoción de partículas pequeñas, <20mm, las cuales tienen un impacto negativo en la brillantez. El destintado por flotación consiste en un proceso de separación selectivo que utiliza aire para separar las partículas de tinta.

Este proceso es llevado a cabo en una celda de flotación, que es un recipiente de tipo tanque agitado en el cual se introduce una suspensión acuosa de las dos sustancias a separar, las fibras de celulosa y las partículas de tinta despegadas de la fibra.

El ajuste físico-químico-mecánico es tal que las burbujitas de aire se adhieren a las partículas de tinta, pero no a las fibras. Como consecuencia, las partículas de tinta son arrastradas hacia arriba con las burbujas de aire.

- **Lavado**

El destintado por lavado es un proceso mecánico de eliminación de tinta, cargas y partículas contaminantes por espesamiento o aclarado de la suspensión papeleras. Es un proceso basado esencialmente en la diferencia de tamaños que existe entre las fibras y las partículas de tinta. El principio de separación consiste en depositar la suspensión de fibras y partículas de tinta sobre tamices de dimensiones de malla apropiadas que permiten el paso de las partículas de tinta y retienen las fibras.

La mayoría de los sistemas comerciales se basan en un flujo de agua a contracorriente para minimizar el consumo de agua e incrementar el rendimiento en fibras. En los casos ideales, la cantidad de tinta eliminada es proporcional a la cantidad de agua eliminada, siempre y cuando las partículas de tinta sean lo bastante pequeñas para no ser retenidas en la torta fibrosa.

Eliminación de los contaminantes por medios mecánicos

La **Figura 3.2** muestra la eficiencia de diferentes operaciones de separación en función de los tamaños de partículas contaminantes comparándolo con el tamaño de las fibras. (Zanuttini M. 2012).

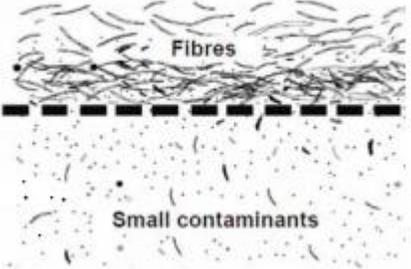
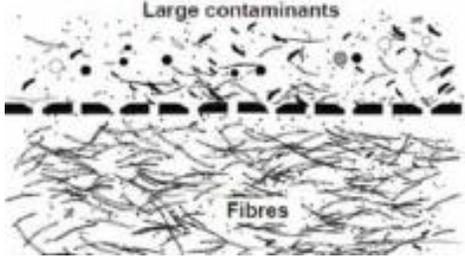
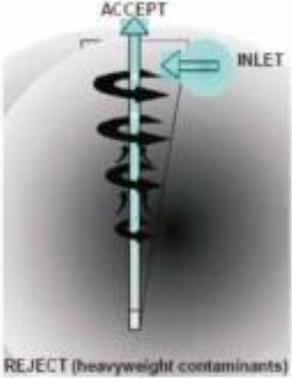
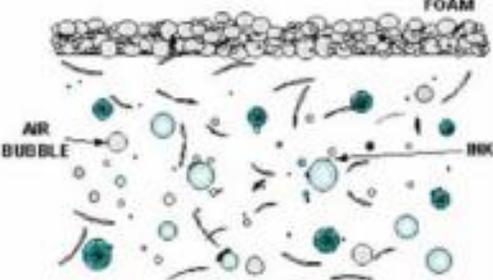
<p>Las partículas más pequeñas que las fibras se pueden eliminar por lavado.</p>	 <p>Fibres</p> <p>Small contaminants</p>
<p>Aquellos contaminantes mayores que las fibras, si son lo bastante rígidos, se pueden eliminar por tamizado.</p>	 <p>Large contaminants</p> <p>Fibres</p>
<p>Diferencias de densidad: Las etapas de depuración permiten eliminar partículas de alta densidad y también contaminantes ligeros.</p>	 <p>ACCEPT</p> <p>INLET</p> <p>REJECT (heavyweight contaminants)</p>
<p>Diferencias de propiedades superficiales: La flotación permite eliminar partículas hidrofóbicas.</p>	 <p>FOAM</p> <p>AIR BUBBLE</p> <p>INK</p>

Figura 3.2 Eliminación de los contaminantes según el tamaño de las partículas.

Fuente: Zanuttini M. (2012), *Reciclado celulósico*.

Tratamientos químicos

El tratamiento químico del papel se basa en la aplicación de aditivos, los cuales se clasifican en aditivos funcionales que se aplican en dependencia a la finalidad del papel que se desea obtener y los aditivos de proceso son utilizados para facilitar y mejorar el proceso de fabricación de papel.

A continuación, se mencionan algunos de los aditivos.

Aditivos de proceso:

- Ácidos, bases y sales: Control de pH, mejora de la formación, retención y drenaje
- Agentes de pulpeo y destintado: Proceso de cocción y destintado del papel
- Aditivos de retención: Mejora la retención de fibras, finos, cargas y pigmentos
- Aditivos de drenaje: Mejora la eliminación de agua
- Biosidas: Control de crecimiento de microorganismos
- Agentes de fijación: Control de grumos
- Inhibidores de incrustaciones y corrosión: Control de la formación de depósitos y de la corrosión
- Antiespumantes: Control de espumas

Aditivos funcionales:

- Encolantes internos: Control de la penetración de líquidos
- Encolantes superficiales Mejora de la resistencia superficial, de la lisura, de la resistencia al agua, de la abrasividad, etc.
- Aditivos de resistencia en seco: Aumento de la resistencia en seco
- Resinas de resistencia en húmedo: Aumento de la resistencia en húmedo
- Pigmentos: Colorantes, mejoran las propiedades ópticas de impresión
- Cargas: Sustitución de fibra celulósica
- Retardadores de llama: Mejora la resistencia al fuego
- Agentes de esponjosidad: Aumento del volumen por unidad de masa

Destintado químico

Las funciones principales de los productos químicos que se añaden a un tratamiento de papel reciclado son promover la liberación de la tinta, facilitar la estabilización y eliminación de ésta y evitar las pérdidas de blancura de la suspensión cuando contiene porcentajes importantes de pasta mecánica.

La combinación adecuada de los productos químicos depende fundamentalmente de la naturaleza del papel a reciclar y del proceso de destintado. Los productos químicos idóneos son aquellos capaces de convertir el papel en una pasta destintada de calidad aceptable.

Los productos químicos esenciales utilizados en el destintado por flotación de papel recuperado son: el hidróxido sódico, el silicato sódico, peróxido de hidrógeno y los tensioactivos. Estos reactivos químicos se añaden principalmente en la etapa de desintegración y las propiedades que ofrecen a la suspensión se detallan a continuación.

- **Hidróxido sódico**

El hidróxido sódico se utiliza en el proceso de destintado para mejorar la individualización de las fibras y la separación de la tinta. El pigmento de la tinta se libera de la matriz fibrosa por rotura del vehículo (generalmente aceites minerales o vegetales) que se saponifica por efecto del hidróxido sódico.

- **Peróxido de hidrógeno**

El peróxido de hidrógeno se añade al proceso de desintegración de papeles recuperados para contrarrestar la pérdida de blancura que aporta el medio alcalino sobre las fibras procedentes de pasta mecánica.

Para explicar su actuación como agente blanqueante hay dos corrientes de opinión. Una de ellas considera que el peróxido de hidrógeno previene la formación de grupos cromóforos coloreados, así como también evita la reversión de blancura en la pasta química.

La otra corriente considera que el peróxido no previene la formación de los grupos cromóforos sino que los oxida una vez formados para eliminar el color.

- **Silicato sódico**

La adición de silicato sódico en el proceso de desintegración se inició probablemente por sus propiedades desactivantes que descomponen el peróxido de hidrógeno y, por lo tanto, por su efecto estabilizador del medio en el cual actúa

el peróxido de hidrógeno. A este reactivo químico se le pueden atribuir tres funciones importantes:

1. Estabiliza el peróxido de hidrógeno actuando como quelante de metales pesados mediante un mecanismo de intercambio iónico.
2. Actúa tamponando el pH a un valor de 11,3, manteniendo así un nivel de alcalinidad adecuado para un destintado eficiente.
3. Actúa como detergente, dispersando la tinta que ha sido liberada y emulsificando el vehículo de ésta.

- **Tensioactivos**

Los tensioactivos son especies químicas constituidas por moléculas que contienen grupos con afinidades opuestas: un extremo polar y otro no polar. La parte polar es hidrofílica y favorece la disolución de la molécula en disolventes polares. La parte no polar es hidrofóbica o lipofílica y sólo muestra débiles interacciones soluto-disolvente.

La estructura molecular de los tensioactivos determina su comportamiento en las interfases y las propiedades físico-químicas de sus soluciones, y especialmente su capacidad de formar estructuras en medios coloidales.

3.2.3. Propiedades técnicas del papel

- El gramaje de papel

El gramaje es la masa por unidad de superficie del papel expresada en gramos por metro cuadrado. El peso o gramaje del papel puede aumentar agregando mayor cantidad de fibras en la pasta, es decir incrementado la densidad de ésta. Esta medida es importante ya que de la misma depende la regulación de la pasta de papel en la máquina, además, porque influye en el precio.

- Calibre del papel

El espesor del papel es el calibre, expresado en milésimas de pulgada, de una sola hoja de papel bajo una presión, colocada entre dos superficies circulares y paralelas.

- Lisura

Se refiere al contorno superficial del papel, está relacionada con el brillo, ya que tanto éste como la lisura resultan afectados por el calandrado. Es una propiedad importante en papeles para impresión.

-
- Resistencia a la tensión

Es un componente de las resistencias más complejas de explosión, doblez y rasgado. No es una resistencia a la tensión verdadera ya que mide la carga de ruptura por unidad de ancho, en lugar de hacerlo por unidad de área. La resistencia a la tensión es proporcional al gramaje del papel.

- El pH del papel

Define el grado de acidez, alcalinidad o neutralidad química de un material, los papeles de pH bajo son ácidos y se autodestruyen, los papeles de pH 7 o neutro tienen mejor oportunidad de vida, los papeles alcalinos de pH 7 a 8 tienen mayor potencial de larga vida.

- Absorción

Es la capacidad de absorción de agua del papel o el cartón, incluyendo el cartón ondulado, en condiciones normalizadas. El resultado se expresa en gramos de agua absorbida por metro cuadrado de papel.

- Blancura

Cuando se trata de medir la blancura de un papel, se mide la reflectancia. En cambio, en el caso de determinar la blancura en el papel, se mide una combinación de la reflectancia total de la luz blanca y su uniformidad en la reflectancia a todas las longitudes de onda del espectro visible.

- Resistencia a la explosión

La resistencia a la explosión se refiere a la cantidad de presión uniforme requerida para romper una hoja de papel. El ensayo consiste en aplicar una presión uniforme repartida sobre un área circular del papel.

- Resistencia al rasgado

La resistencia al rasgado se refiere a la energía necesaria para provocar un rasgado en el papel en una longitud determinada, es decir, la energía necesaria en Newton o gramos fuerza para rasgar el papel en el ensayo.

- Resistencia al despliegue

La resistencia al despliegue consiste en doblar repetidamente el papel sobre una misma línea, sometiéndolo a tensión después de cada doblez. El resultado se expresa como el número de dobleces antes de la ruptura.

IV. METODOLOGÍA

En este estudio se efectuó una investigación de corte transversal, de tipo experimental, en la que las pruebas ejecutadas fueron realizadas a muestras de etiquetas facilitadas por la CCN durante el mes de octubre 2019 y aplicando un diseño factorial estándar 4^2 , para el cual se realizaron 16 experimentos con 3 réplicas cada uno, con un total de 48 experimentos con diferentes proporciones de fibra de etiqueta y tiempos de pulpeado, detallados en la **Tabla 4.6**.

Los resultados de los experimentos obtenidos fueron analizados mediante la implementación de programas de análisis estadístico PASW Statistic y MiniTab.

Para el proceso de elaboración de las hojas de papel reciclado, por experiencia en previa exploración se utilizó como referencia la metodología empleada en la recicladora salvadoreña Hispalia, la cual recicla residuos de etiquetas de cerveza provenientes de Industrias La Constancia, quienes no consideran la eliminación de la soda cáustica presente en los residuos de las etiquetas al salir de la etapa de lavado de botellas ni aplican etapas de destintado al proceso de elaboración de materiales celulósicos a partir de la fibra reciclada dada la naturaleza de los materiales a obtener.

Así mismo, se adaptaron los procesos mecánicos de Zanuttini M., (2012), *Reciclado celulósico. Red Iberoamericana para la Revalorización del reciclado celulósico*.

La metodología de la recicladora salvadoreña Hispalia fue brindada a la CCN en una visita a sus instalaciones realizada en junio 2019 al Ing. Eder Molina e Ing. Ana Lacayo, quienes compartieron dicha información para fines del estudio.

El proceso de elaboración de papel a partir de fibra reciclada se llevó a cabo a nivel de laboratorio en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Química de la UNI en el periodo noviembre 2019 a febrero 2020, así mismo las pruebas de caracterización de la FDE y las hojas elaboradas.

4.1. Material

4.1.1. Fibra de etiqueta

La fibra de etiqueta (FDE), son los residuos de etiquetas celulósicas procedentes de la Compañía Cervecera de Nicaragua, la cual se obtiene después de la etapa de lavado de botellas.



Figura 4.1 Desecho de etiquetas de botellas de cerveza.

Fuente: Compañía cervecera de Nicaragua, 2019.

4.1.2. Fibra mixta sin destintar

La fibra mixta sin destintar (FMSD), es el material adicional utilizado para reforzar la fibra de etiqueta en porcentajes de 25, 50 y 75%. Esta es proveniente de papel que se acopió de oficinas y domicilios.

4.1.3. Materiales de laboratorio

En la tabla 4.1 se muestra una lista de los materiales de laboratorio que se utilizaron para llevar a cabo los experimentos.

Tabla 4.1 Materiales de laboratorio.

Material	Capacidad	Cantidad
Agitador de vidrio		1
Bandejas de aluminio	24 x 36 cm	5
Beaker	100 ml	5
Baker	500 ml	2
Guantes de látex	-	10 pares
Marco de madera	30 cm x 30 cm	4
Papel aluminio		1 Caja
Pipetas plásticas	5 ml	2
Recipiente plástico	20 Litros	2
Recipiente plástico	5 Litros	5
Malla (abertura 25 μ m)	40 cm. x 40 cm	3

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Equipos de laboratorio

En la tabla 4.2 se muestra una lista de los equipos de laboratorio que se utilizarán para desarrollar los experimentos, así como para determinar las características fisicoquímicas.

Tabla 4.2 Equipos de laboratorio.

Equipo	Marca	Cantidad
Balanza analítica	Sartorius LE	1
Blender	Vitalex 4L	1
Dinamómetro	Digital Force Gauge HF-500	1
Horno	Fisher Scientific Modelo 737F	1
Micrómetro	Anytime Tools	1
pH-metro	Thermo	1

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Método

La metodología implementada en esta investigación está dividida en tres partes para el respectivo análisis de los resultados, de manera que primeramente se caracterizó la materia prima, o sea la fibra de etiqueta proveniente de la CCN desechada efectuando mediciones generales de las muestras de la FDE y pruebas fisicoquímicas.

En la segunda parte se elaboraron las hojas del papel reciclado a partir de la fibra de etiqueta con composiciones de 25%, 50%, 75% y 100% de FDE completando la diferencia con FMSD con diferentes tiempos de pulpeado: 3, 6, 9 y 12 minutos. Finalmente, en la tercera parte, a los resultados de las hojas de papel reciclado obtenidos se realizaron las pruebas físico-mecánicas que consistieron en mediciones de propiedades fisicoquímicas, pruebas de porcentaje de rendimiento, absorción y resistencia a la tensión.

4.2.1. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de la FDE.

Para estudiar las propiedades fisicoquímicas de los desechos de las etiquetas de la CCN se efectuaron las pruebas de humedad y mediciones de pH.

Para el cálculo del porcentaje de humedad y porcentaje de materia seca, se adaptaron los procedimientos según el método de ensayo de las normas TAPPI T 412, "Métodos de prueba de humedad en pulpa, papel y cartón", las cuales son las normas más empleadas para pruebas y definiciones del papel. Para llevar a cabo esta prueba fue necesario recolectar las etiquetas de la CCN y en seguida se realizaron las pruebas para evitar pérdida de humedad en las muestras.

Inicialmente las etiquetas húmedas fueron pesadas para conocer la masa total tanto de etiqueta como el agua que contenían, luego se colocaron en bandejas de aluminio, cada bandeja contenía 9 etiquetas húmedas que posteriormente fueron deshidratadas en un horno a 105°C. Durante el proceso de deshidratación, las etiquetas se pesaron en intervalos de 5 minutos durante 15 minutos hasta obtener el peso constante.

Las ecuaciones siguientes fueron utilizadas para la realización de los cálculos:

$$\% \text{ Materia seca} = \frac{W_2}{W_1} * 100 \quad \text{Ec. 4.1}$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} * 100 \quad \text{Ec. 4.2}$$

Donde:

W₁: peso del espécimen inicial

W₂: Peso libre de humedad.

La medición de pH se adaptó de las normas TAPPI T 509 “Concentración de iones de hidrógeno (pH) de extractos de papel” esta consistió en sumergir una muestra de una etiqueta entera en 100 ml de agua, se agitó durante 5 minutos, dejando en reposo 1 hora y posteriormente se efectuó la medición. Para elaborar esta prueba se realizaron 10 repeticiones para obtener un dato promedio de las etiquetas en cuestión.

4.2.2. Elaboración de papel a partir de fibra reciclada

El proceso de elaboración de papel a partir de fibra reciclada se limitó de 7 etapas que se enlistan a continuación: pesado inicial, trituración, hidratación, pulpeado, filtrado, prensado, secado y pesado final.

Inicialmente se pesaron individualmente la FDE y FMSD, posteriormente fueron trituradas e hidratadas durante 24 horas en 20 litros de agua. Durante la hidratación, se mezclan las composiciones de fibra para completar 225 gr totales de acuerdo a los porcentajes que se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 4.3 Composición de las mezclas de fibra reciclada.

Composición	FDE	FMSD
Alto	100%	0 %
Medio Alto	75%	25 %
Medio	50%	50 %
Bajo	25%	75%

Fuente: Elaboración propia.

La mezcla de fibra se extrajo del recipiente donde se encontraba hidratando en un volumen de 3 litros y fue sometida al proceso de pulpeado por la acción de fuerzas mecánicas y de fricción en un blender industrial, según el tratamiento aplicado durante tiempos de 3, 6, 9 y 12 minutos.

En cada tiempo de pulpeado se extrajo un volumen de 750 ml de pulpa, el cual fue dividido en 3 partes iguales de 250 ml con los cuales se elaboró cada tanda de papel, cada una fue filtrada y comprimida a su vez para disminuir la humedad, utilizando un marco de madera forrado de una malla ultra fina (abertura 25 μm), en uno de los lados a modo de tamiz y presionando con una lámina de madera cubierta por una tela por encima para garantizar la formación de las hojas.

Luego del prensado se procedió a la etapa de secado, en la que los marcos de madera con la pulpa fueron secados al sol por aproximadamente 3 horas, para así finalmente desprender las hojas de papel de los marcos y proceder a su respectiva caracterización.

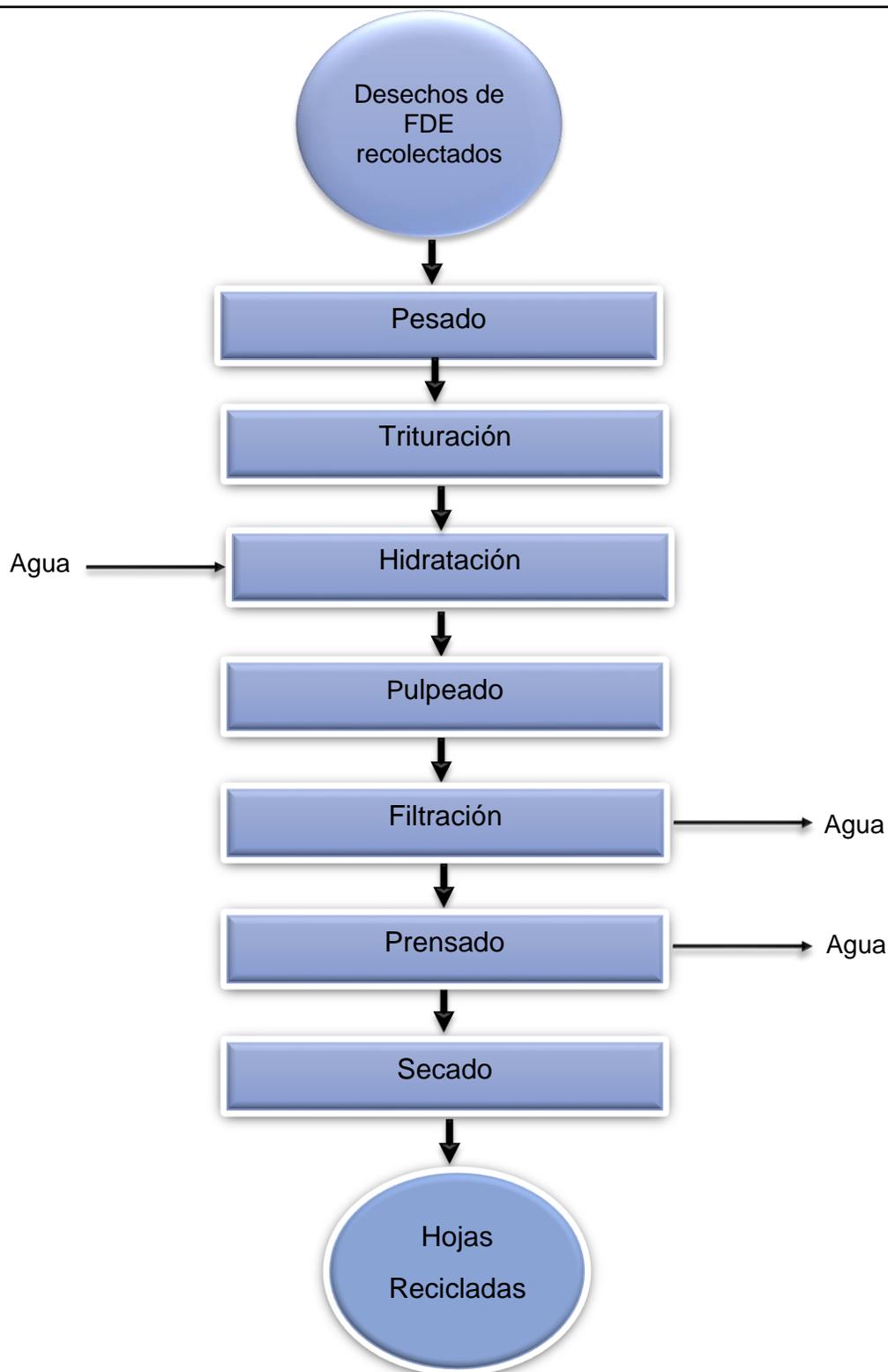


Figura 4.2 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de papel a partir de desechos de etiquetas celulósicas.

Fuente: Elaboración propia, adaptada de Zanuttini M., (2012) y por experiencia en previa exploración en la recicladora Hispalía, El Salvador.

4.2.3. Caracterización de las propiedades de las hojas de papel reciclado

Para el análisis de las propiedades de las hojas obtenidas en el proceso de reciclaje, se realizó la caracterización mediante pruebas de gramaje, calibre, pH, absorción y resistencia a la tensión. También se efectuaron pruebas de rendimiento para el cálculo del porcentaje de rendimiento que se obtiene de la FDE alimentada.

La prueba de gramaje se adaptó de las normas TAPPI T 410 “*Gramaje de papel y cartón (peso por unidad de superficie)*” para determinar la masa por unidad de superficie del papel expresada en gramos por metro cuadrado. Se utilizaron muestras de papel de 5 cm x 5cm, las cuales se pesaron al inicio, posteriormente El resultado se expresa en gramos por metro cuadrado de papel.

La prueba de absorción se adaptó de las normas TAPPI T 441 “*Absorción de agua de papel, cartón y cartón corrugado (prueba de Cobb)*” para determinar la cantidad de agua absorbida por el papel en un tiempo específico de 60 Segundos. Se utilizaron muestras de papel de 5 cm x 5cm, las cuales se pesaron al inicio, posteriormente se sumergieron en 50 ml de agua y se pesaron nuevamente para determinar la cantidad de agua absorbida. El resultado se expresa en gramos de agua absorbida por metro cuadrado de papel.

$$\text{Gramaje} = \frac{\text{Papel g}}{\text{Área}} \quad \text{Ec. 4.3}$$

$$\text{Absorción} = \frac{\text{H}_2\text{O g}}{\text{Área}} \quad \text{Ec. 4.4}$$

La prueba de calibre se adaptó de las normas “*TAPPI T 411 Espesor (calibre) de papel, cartón y tablero combinado*” consistió en el uso de un Micrómetro que mide el calibre de las hojas. La medición se realizó por cada una de las muestras, cabe señalar que la superficie elegida para la medición estaba exenta de arruga, pliegues, agujeros o cualquier otro defecto.

La prueba de resistencia a la tensión se adaptó de las normas “*TAPPI T 494: propiedades de tracción de papel y cartón*”. La resistencia a la tensión, determina el comportamiento del papel bajo tracción directa y es la fuerza por unidad de ancho del espécimen de prueba. Una vez obtenida las hojas de papel para llevar a cabo los ensayos de tracción directa, fueron cortadas en muestras de 25mm de ancho por 180 mm de largo. Las tirillas se sujetaron al dinamómetro con láminas de papel como refuerzo y se ejecutó la medición. El aparato ejerce fuerza de estiramiento a la tira hasta que ésta se rompe dando un resultado de fuerza de rotura expresado en Newton, este resultado en conjunto con el calibre se utilizó para obtener el valor de la resistencia a la tensión:

$$\text{Resistencia a la tensión} = \frac{\text{lbf}}{\text{Calibre}} * 0.1751 \quad \text{Ec. 4.5}$$

La prueba de rendimiento se adaptó de la conferencia TAPPI “Estimación de rendimiento de papel recuperado utilizando datos de contabilidad de laboratorio y fábrica, progreso en el reciclaje de papel, vol. 17, no. 2” la cual consistió en medir la cantidad de masa que se obtuvo del papel elaborado en comparación con la cantidad inicial utilizada para la elaboración.

Para esta prueba, inicialmente se pesaron 225 gr según la respectiva composición de FDE, o sea 100%, 75%, 50% y 25%, complementada con la composición de FMDS correspondiente. Al obtener las hojas recicladas, se procedió a pesar cada una de las 3 hojas para cada nivel y luego se calculó el rendimiento con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso Neto}}{\text{Peso Bruto}} * 100 \quad \text{Ec. 4.6}$$

Donde:

Peso Bruto: Peso de materia prima inicial.

Peso Neto: Peso de todas las hojas de papel obtenidas después de ensayo.

La medición de pH se adaptó de las normas TAPPI T 509 “Concentración de iones de hidrógeno (pH) de extractos de papel” esta consistió en sumergir una muestra de las hojas de 0.5 gr en 100 ml de agua, se agitó durante 5 minutos, dejando en reposo 1 hora y posteriormente se efectuó la medición.

4.2.4. Diseño Experimental

La investigación de este estudio es cuantitativa de tipo experimental, dado que, se aplicaron los tratamientos a nivel de laboratorio. Para el diseño experimental se utilizó el programa PASW Statistic (Conocido como SPSS) y MiniTab 2018.

La clase de diseño fue factorial estándar 4^k , que consiste en todas las combinaciones de los niveles de los factores o variables independientes, en este caso 4 niveles y 2 factores, $4^2 = 16$, cada uno de estos experimentos se replicó 3 veces, para un total de 48 experimentos, de esta manera se determinó el porcentaje óptimo de fibra mixta en la mezcla, tiempo de pulpeado, resistencia a la tensión (ruptura) del papel, rendimiento y su absorción por m^2 (Tabla 4.4).

Tabla 4.4 Factores y variables del diseño experimental.

Factores		
Factores	Niveles	Unidades
% de FDE	4	%
Tiempo de pulpeado	4	min
Respuestas		

Variables	Unidades
Resistencia a la tensión	$\frac{kg * m}{s^2}$
Absorción de Agua	m ²
Rendimiento	%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.5. Niveles del diseño experimental.

Niveles			
	Niveles	% de FDE	Tiempo de pulpeado
1	Alto	100% FDE	12 min
2	Medio Alto	75% FDE	9 min
3	Medio	50% FDE	6 min
4	Bajo	25% FDE	3 min

Fuente: Elaboración propia, adaptada de Natalia Peña y Mónica Tovar (2006), asumiendo los intervalos de tiempo de pulpeado de 3 min.

4.2.4.1. Definición de cada tratamiento

Tabla 4.6 Distribución de los experimentos.

Niveles Factor 1		Niveles Factor 2			
		Metodo I 100% FDE	Metodo II 75% FDE	Metodo III 50% FDE	Metodo IV 25% FDE
	Observaciones				
Metodo I 12 min	x3	100% FDE 0% FMSD Pulpeado 12 min	75% FDE 25% FMSD Pulpeado 12 min	50% FDE 50% FMSD Pulpeado 12 min	25% FDE 75% FMSD Pulpeado 12 min
Metodo II 9 min	x3	100% FDE 0% FMSD Pulpeado 9 min	75% FDE 25% FMSD Pulpeado 9 min	50% FDE 50% FMSD Pulpeado 9 min	25% FDE 75% FMSD Pulpeado 9 min
Metodo III 6 min	x3	100% FDE 0% FMSD Pulpeado 6 min	75% FDE 25% FMSD Pulpeado 6 min	50% FDE 50% FMSD Pulpeado 6 min	25% FDE 75% FMSD Pulpeado 6 min
Metodo IV 3 min	x3	100% FDE 0% FMSD Pulpeado 3 min	75% FDE 25% FMSD Pulpeado 3 min	50% FDE 50% FMSD Pulpeado 3 min	25% FDE 75% FMSD Pulpeado 3 min

Fuente: Elaboración propia.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Pruebas de caracterización de la fibra de etiqueta

A continuación, se presentan los pesos de 10 muestras de etiquetas húmedas tomadas de la FDE recién salida del proceso de lavado de botellas provenientes de la CCN.

Tabla 5.1 Resultados de pesaje de etiquetas húmedas.

Nº	Peso g
1	0.66
2	0.70
3	0.61
4	0.71
5	0.56
6	0.72
7	0.76
8	0.54
9	0.66
10	0.65
Media	0.66

Fuente: Elaboración propia.

Se observó que el peso promedio de las 10 etiquetas húmedas fue de 0.66 g. El peso de la etiqueta seca para una presentación de botella 355 ml es en promedio 0.356 según las mediciones realizadas en laboratorio.

Tabla 5.2 Resultados de pesaje de etiquetas nuevas de 355 ml.

Nº	Frente Peso g	Cuello Peso g
1	0.35	0.16
2	0.36	0.15
3	0.36	0.16
Media	0.356	0.156

Fuente: Elaboración propia.

La tabla anterior presenta el peso promedio de las mediciones de etiquetas nuevas para botellas de presentación de 355 ml.

La prueba de humedad y materia seca reflejó que en promedio el porcentaje de humedad de las etiquetas al salir de la etapa de lavado de botellas de la CCN es de 51.21%, como mínimo se obtuvo un 50.61% y un máximo de 51.91%. Respecto al porcentaje de materia seca, se obtuvo 48.79% en promedio, 48.09% como mínimo y un máximo de 49.39%.

Los datos calculados se representan en la siguiente tabla a continuación:

Tabla 5.3 Resultados de mediciones de porcentaje de humedad y materia seca.

Mediciones				
Nº	Masa de Etiquetas humedad (g)	Masa Etiqueta Seca (g)	% Materia seca	% Humedad
1	5.77	2.85	49.39%	50.61%
2	5.76	2.77	48.09%	51.91%
3	5.84	2.86	48.97%	51.03%
4	5.86	2.84	48.46%	51.54%
5	5.65	2.77	49.03%	50.97%
Media	5.78	2.82	48.79%	51.21%

Fuente: Elaboración propia.

Para las mediciones de pH, los resultados obtenidos arrojan que las muestras de FDE presentaban un pH de 11.48 en promedio, lo que indica que es altamente alcalino debido a la presencia de soda cáustica.

Tabla 5.4 Resultados de mediciones pH de etiquetas húmedas.

Nº	pH
1	11.50
2	11.77
3	11.63
4	11.70
5	11.44
6	11.32
7	11.37
8	11.26
9	11.30
10	11.49
Media	11.48

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Pruebas Físico-Mecánicas de hoja recicladas

5.2.1. Pruebas de rendimiento

La presente prueba de rendimiento muestra en sus resultados que el % de rendimiento incrementa conforme disminuye la composición de FDE en las hojas, lo que resulta de la capacidad que tienen las etiquetas de compactarse con si misma o con la FMSD.

Tabla 5.5 Resultados de prueba de rendimiento de hojas recicladas a partir de fibra de etiqueta.

% FDE	Tanda 1	Tanda 2	Tanda 3	Peso Neto (g)	% Rendimiento
	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)		
100% FDE	45.25	46.65	44	135.9	60.40%
75% FDE	47.19	45.71	48.95	141.85	63.04%
50% FDE	53.72	51.85	46.74	152.31	67.69%
25% FDE	59	59.06	56.32	174.38	77.50%

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo un rendimiento mínimo de 60.40% correspondiente al 100% de FDE y uno máximo de 77.5% correspondiente al 25% de FDE, la diferencia entre ambos rendimientos es de 17.1%, por lo tanto a partir de este análisis se comprueba que añadir FMSD a la FDE mejora considerablemente el rendimiento del papel reciclado obtenido.

5.2.2. Pruebas de gramaje

Mediante los resultados de la prueba de gramaje se puede observar que las hojas con menor concentración de FDE presentan un mayor gramaje que las que tienen altas concentraciones de FDE. Estas mediciones de gramajes obtenidos se compararon con las mediciones de otros materiales celulósicos (Anexo 4: Tabla 10.4), deduciendo que la capa de cartón corrugado es el material que se ajusta más a las mediciones de gramaje de los experimentos, siendo este de 104 g/m². Las demás opciones se encuentran muy por debajo o por encima de este dato.

Tabla 5.6 Resultados de prueba de gramaje de hojas recicladas a partir de fibra de etiqueta.

% FDE	Gramaje g/m ²				
		Tanda 1	Tanda 2	Tanda 3	Promedio
100%	3 min	108	100	104	104.0
	6 min	124	156	136	138.7
	9 min	152	116	132	133.3
	12 min	140	132	140	137.3
75%	3 min	160	152	160	157.3
	6 min	120	152	136	136.0
	9 min	116	128	132	125.3
	12 min	108	116	100	108.0
50%	3 min	136	148	120	134.7
	6 min	148	140	168	152.0
	9 min	140	124	168	144.0
	12 min	128	160	164	150.7
25%	3 min	128	140	176	148.0
	6 min	144	180	228	184.0
	9 min	160	172	156	162.7
	12 min	160	196	200	185.3

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla de mediciones se observa que el valor mínimo de gramaje es de 100 g/m² y se obtuvo dicho valor para los experimentos con mayor composición de FDE, 100% y 75% con tiempos de pulpeado de 3 minutos y 12 minutos respectivamente. Como el comportamiento del valor del gramaje de las hojas es mayor a medida que aumenta la concentración de FMSD, se observó que para un 25% de FDE y tiempo de pulpeado de 12 min se obtuvo un gramaje de 200 g/m²

5.2.3. Pruebas de calibre

En los resultados de las mediciones de calibre de los experimentos se puede observar que a mayores concentraciones de FDE el calibre de las hojas es menor, por lo tanto, a menores concentraciones de FDE el calibre es mayor. Comparando esta información con los resultados obtenidos de las mediciones de diferentes materiales celulósicos (Anexo 4: Tabla 10.5), se observa que el calibre al que más se ajustan los experimentos es el de la capa del cartón corrugado, siendo esta de 0.0134 pulgadas y la cartulina con 0.017 pulgadas.

Tabla 5.7 Resultados de la prueba de calibre de hojas recicladas a partir de fibra de etiqueta.

%FDE	Experimento	Tanda 1	Tanda 2	Tanda 3	Promedio
		Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	
100%	3 min	0.0154	0.0144	0.0157	0.0152
	6 min	0.0141	0.0146	0.0143	0.0143
	9 min	0.0142	0.0158	0.0141	0.0147
	12 min	0.0158	0.0144	0.0175	0.0159
75%	3 min	0.0198	0.0195	0.0183	0.0192
	6 min	0.0151	0.0142	0.0148	0.0147
	9 min	0.0167	0.0177	0.0152	0.0165
	12 min	0.0145	0.0175	0.0175	0.0165
50%	3 min	0.0165	0.0197	0.0175	0.0179
	6 min	0.0205	0.0177	0.018	0.0187
	9 min	0.0175	0.0151	0.0178	0.0168
	12 min	0.0155	0.0152	0.0172	0.0160
25%	3 min	0.0221	0.0238	0.0201	0.0220
	6 min	0.0275	0.0262	0.0302	0.0280
	9 min	0.022	0.0227	0.0239	0.0229
	12 min	0.0226	0.023	0.0238	0.0231

Fuente: Elaboración propia.

El valor mínimo de calibre es de 0.0141 correspondiente a los experimentos de 100% de FDE y el valor máximo de las mediciones es de 0.0302 correspondiente a la composición de 25% de FDE.

5.2.4. Pruebas de absorción

En las pruebas de absorción se observa como las hojas producto del experimento tienen una gran capacidad de absorción, los niveles de absorción menores están conformados por los experimentos de mayor composición de FDE y los niveles más altos de absorción los comprenden las hojas con una composición menor de FDE. Los resultados de las pruebas de absorción a distintos materiales celulósicos (Apéndice 4: Tabla 10.6) demuestra que la absorción de la cartulina es de 392 g/m² y para el cartón de fibra moldeada es de 800 g/m².

En la siguiente tabla se observan los resultados de las pruebas y se identifica que la absorción de la tanda 3, 100% FDE y 3 minutos de pulpeado se asemeja al valor de la cartulina y por otro lado, la tanda 3 de 6 y 12 minutos para 25% de FDE se asemeja a valor del cartón de fibra moldeada.

Tabla 5.8 Resultados de las pruebas de absorción de hojas recicladas a partir de fibra de etiqueta.

% FDE	Absorción g/m ²				
	Tiempo	Tanda 1	Tanda 2	Tanda 3	Promedio
100%	3 min	460.00	432.00	416.00	436.00
	6 min	532.00	488.00	484.00	501.33
	9 min	528.00	492.00	496.00	505.33
	12 min	472.00	508.00	488.00	489.33
75%	3 min	652.00	720.00	696.00	689.33
	6 min	480.00	568.00	516.00	521.33
	9 min	452.00	492.00	492.00	478.67
	12 min	432.00	436.00	392.00	420.00
50%	3 min	544.00	560.00	516.00	540.00
	6 min	532.00	588.00	592.00	570.67
	9 min	488.00	556.00	572.00	538.67
	12 min	472.00	588.00	572.00	544.00
25%	3 min	480.00	524.00	596.00	533.33
	6 min	556.00	688.00	764.00	669.33
	9 min	556.00	680.00	604.00	613.33
	12 min	548.00	696.00	768.00	670.67

Fuente: Elaboración propia.

Como valor mínimo de absorción, se obtuvo 392 gr/m² correspondiente a un experimento de composición de 75% FDE y 12 minutos de pulpeado y como valor máximo 768 gr/m² para un experimento de 25% de FDE y 12 minutos de pulpeado.

5.2.5. Pruebas de resistencia a la tensión

Las pruebas de resistencia a la tensión reflejan que para los distintos tiempos de pulpeado y concentraciones se observa un comportamiento similar. Los datos de resistencia a la tensión de los diferentes materiales celulósicos (Anexo 4: Tabla 10.7) no se asemejan específicamente a los obtenidos en los experimentos, los materiales más allegados a estos son el cartón de fibra moldeada con un promedio de 5.88 y el cartón corrugado con 7.77 kN/m. Las diferencias residen en que los calibres de los materiales son considerablemente mayores a los de los experimentos, por lo tanto su valor de resistencia es menor,

Tabla 5.9 Resultados de prueba de resistencia a la tensión de hojas recicladas a partir de fibra de etiqueta.

%FDE	Experimento	Tanda 1	Tanda 2	Tanda 3	Media
	Nº	kN/m	kN/m	kN/m	
100%	3 min	24.28	21.32	22.82	22.81
	6 min	23.45	22.92	22.85	23.07
	9 min	21.90	21.43	25.68	23.00
	12 min	19.93	22.96	20.69	21.20
75%	3 min	16.30	17.36	16.99	16.89
	6 min	25.03	23.01	23.94	23.99
	9 min	19.09	19.57	24.08	20.92
	12 min	23.08	19.57	20.69	21.11
50%	3 min	22.43	18.38	20.02	20.28
	6 min	19.59	20.68	19.90	20.06
	9 min	19.57	25.81	22.78	22.72
	12 min	28.19	26.93	22.43	25.85
25%	3 min	22.26	23.82	31.53	25.87
	6 min	19.47	16.98	20.07	18.84
	9 min	23.08	23.93	19.93	22.31
	12 min	24.91	23.79	25.14	24.61

Fuente: Elaboración propia.

El valor mínimo de resistencia a la tensión se obtuvo para una composición de 75% de FDE y 3 minutos de pulpeado siendo este de 16.03 kN/m, también se encontró que para una composición de 25% de FDE y 3 minutos de pulpeado se obtuvo un valor de 31.53 kN/m.

5.2.6. Pruebas de pH

En los siguientes resultados se observa que las mediciones de pH de todos los experimentos están en el rango de 8.2 – 8.3, lo que indica un pH ligeramente alcalino. Cabe recalcar que la FDE de la alimentación presentó un pH promedio de 11.48 dato que es considerablemente mayor en comparación al de las hojas, por lo tanto, en el proceso de elaboración de las hojas se disminuye considerablemente el pH permitiendo obtener un resultado con pH casi neutro.

Tabla 5.10 Resultados de las mediciones de pH de hojas recicladas a partir de fibra de etiqueta.

% FDE	Experimento	Tanda 1	Tanda 2	Tanda 3	Media
	Nº	pH	pH	pH	
100%	3 min	8.28	8.32	8.33	8.31
	6 min	8.27	8.31	8.32	8.30
	9 min	8.27	8.28	8.3	8.28
	12 min	8.26	8.31	8.32	8.30
75%	3 min	8.24	8.25	8.27	8.25
	6 min	8.28	8.27	8.28	8.28
	9 min	8.29	8.3	8.27	8.29
	12 min	8.3	8.29	8.29	8.29
50%	3 min	8.3	8.28	8.29	8.29
	6 min	8.3	8.29	8.31	8.30
	9 min	8.3	8.28	8.29	8.29
	12 min	8.32	8.28	8.27	8.29
25%	3 min	8.26	8.24	8.26	8.25
	6 min	8.26	8.24	8.24	8.25
	9 min	8.25	8.23	8.22	8.23
	12 min	8.23	8.22	8.21	8.22

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Análisis estadístico

Tabla 5.11 Análisis de varianza de rendimiento vs tiempo de pulpeado, %FDE.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	74.662	4.977	4.59	0.000
Lineal	6	63.352	10.559	9.74	0.000
Tiempo de Pulpeado	3	5.056	1.685	1.55	0.220
% FDE	3	58.296	19.432	17.92	0.000
Interacciones de 2 términos	9	11.310	1.257	1.16	0.353
Tiempo de Pulpeado*% FDE	9	11.310	1.257	1.16	0.353
Error	32	34.704	1.084		
Total	47	109.366			

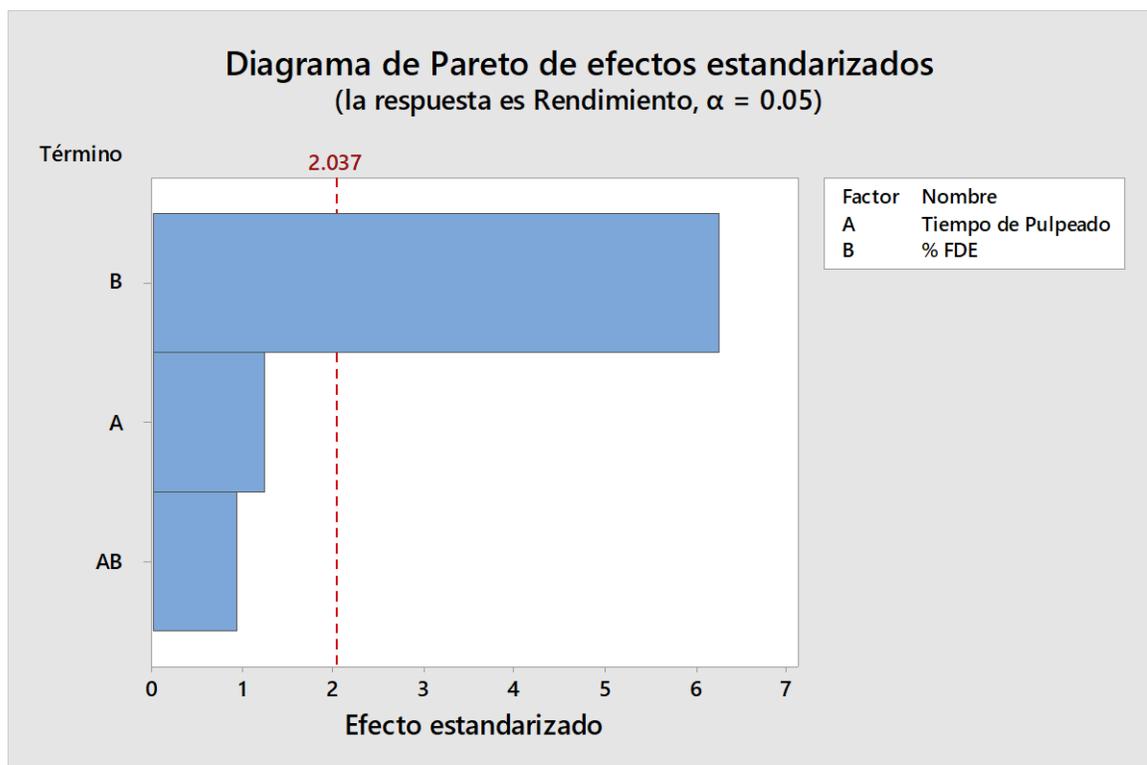


Figura 5.1 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados-Rendimiento.

Fuente: Elaborada con MiniTab.

De acuerdo a la Tabla 5.11 y Figura 5.1 se observa que el factor que influye en el rendimiento es el %FDE ($p < 0.05$). El tiempo de pulpeado no afecta al rendimiento y también se evidencia que no existe una interacción significativa entre ambos factores que influya en el rendimiento.

Tabla 5.12 Análisis de varianza de absorción vs tiempo de pulpeado, %FDE.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	289976	19332	6.91	0.000
Lineal	6	129730	21622	7.73	0.000
Tiempo de Pulpeado	3	9190	3063	1.10	0.365
% FDE	3	120540	40180	14.37	0.000
Interacciones de 2 términos	9	160246	17805	6.37	0.000
Tiempo de Pulpeado*% FDE	9	160246	17805	6.37	0.000
Error	32	89504	2797		
Total	47	379480			

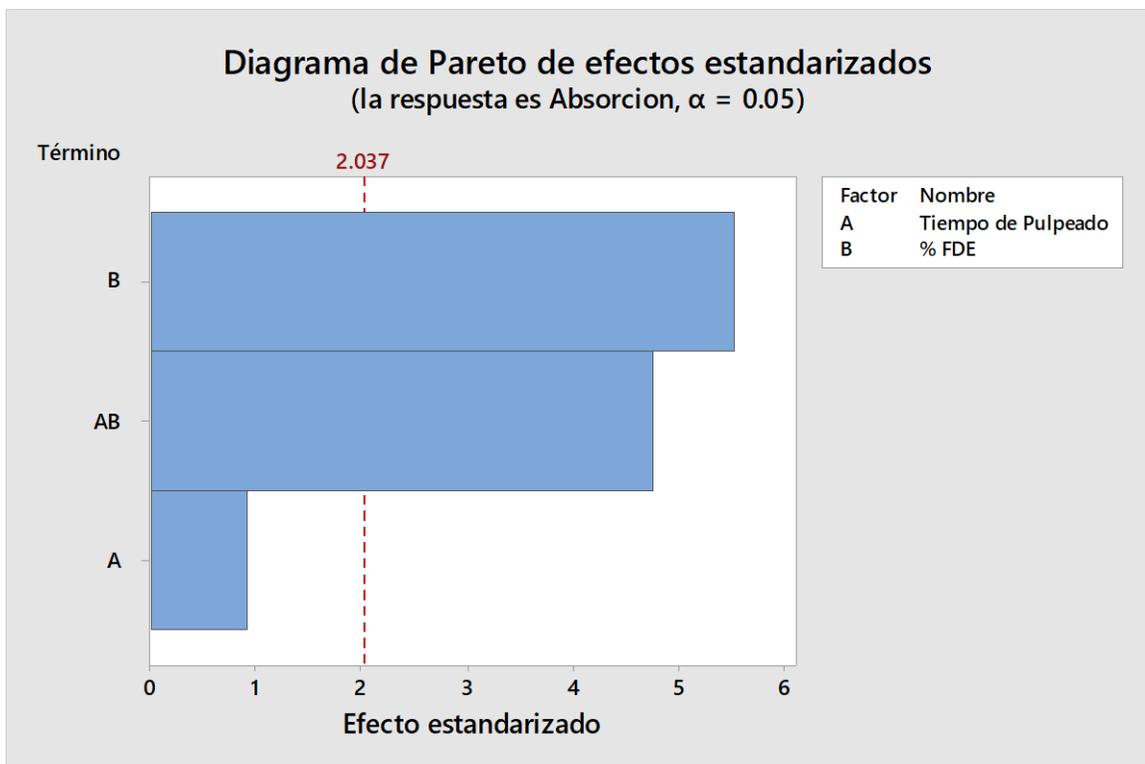


Figura 5.2 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados-Absorción.

Fuente: Elaborada con MiniTab.

De acuerdo a la Tabla 5.12 y Figura 5.2 se observa una interacción significativa entre los factores estudiados, los cuales son tiempo de pulpeado y el %FDE que afecta a la absorción de las hojas recicladas ($p < 0.05$). El resultado con mayor absorción de las hojas recicladas se obtiene con un tiempo de pulpeado de 3 min a 75% FDE y el menor con un tiempo de pulpeado de 12 min a 75% FDE.

Tabla 5.13 Análisis de varianza de resistencia vs tiempo de pulpeado, %FDE.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	268.14	17.876	3.67	0.001
Lineal	6	56.75	9.458	1.94	0.104
Tiempo de Pulpeado	3	23.95	7.983	1.64	0.200
% FDE	3	32.80	10.933	2.24	0.102
Interacciones de 2 términos	9	211.39	23.488	4.82	0.000
Tiempo de Pulpeado*% FDE	9	211.39	23.488	4.82	0.000
Error	32	155.96	4.874		
Total	47	424.10			

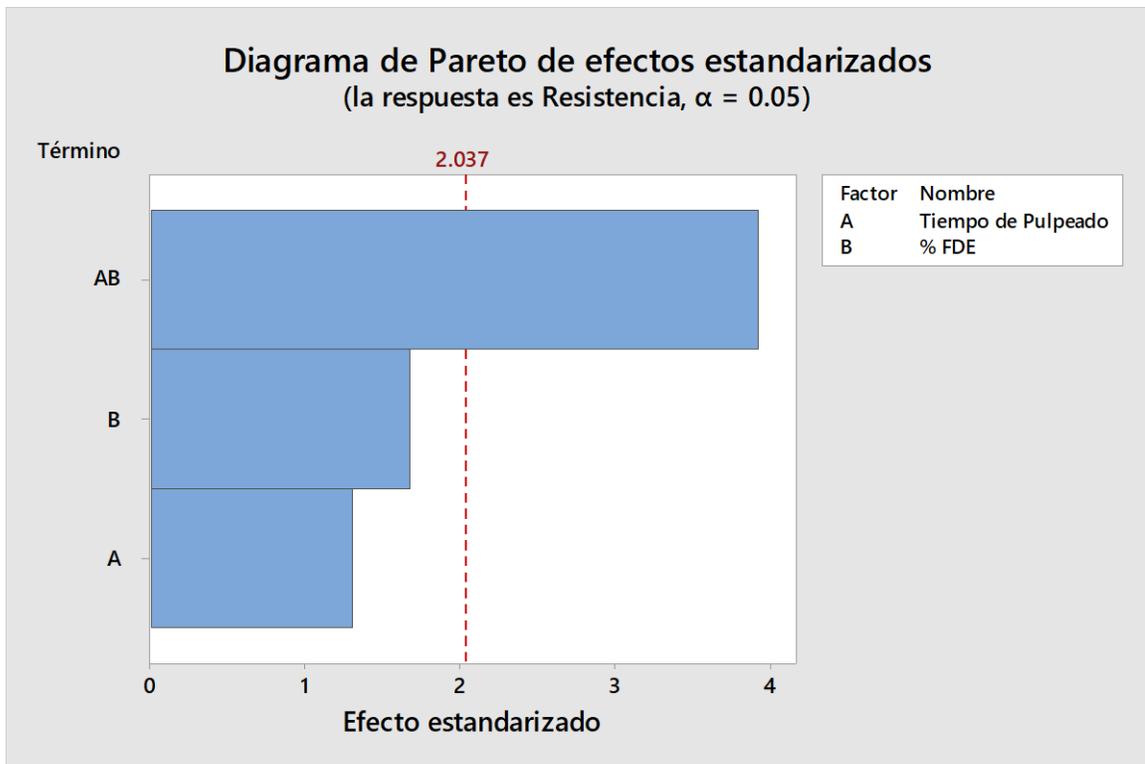


Figura 5.3 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados-Resistencia.

Fuente: Elaborada con MiniTab.

De acuerdo a la Tabla 5.13 y Figura 5.3 se observa una interacción significativa entre los factores estudiados, los cuales son tiempo de pulpeado y el %FDE que afecta a la resistencia de las hojas recicladas ($p < 0.05$). El resultado con mayor resistencia de las hojas recicladas se obtiene con un tiempo de pulpeado de 3 min a 25% FDE y el menor con un tiempo de pulpeado de 3 min a 75% FDE.

Tabla 5.14 Análisis de Tukey – Rendimiento vs %FDE.

Rendimiento					
	% FDE	N	Subset		
			1	2	3
Tukey HSD ^{a,b,c}	100	12	11.3250		
	75	12	11.8208	11.8208	
	50	12		12.6925	
	25	12			14.5317
	Sig.		.541	.104	1.000

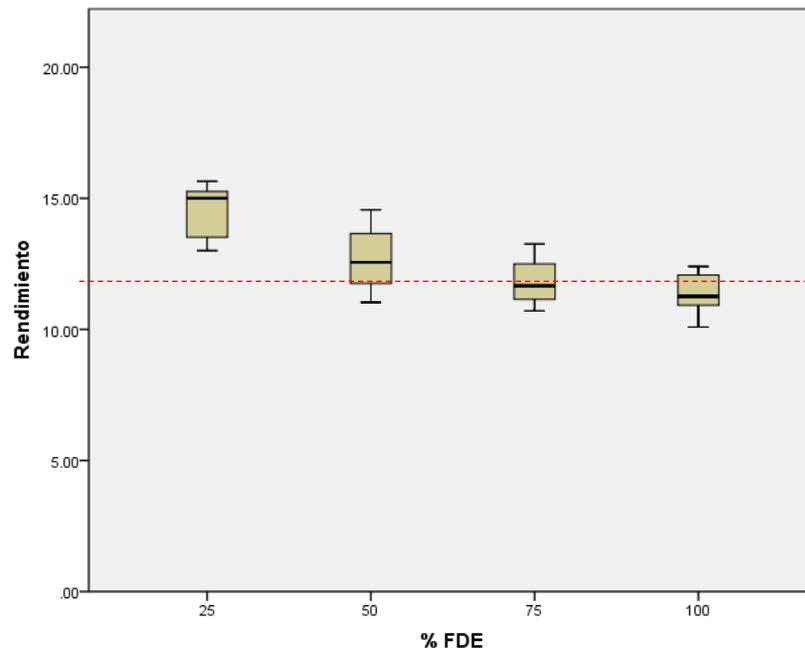


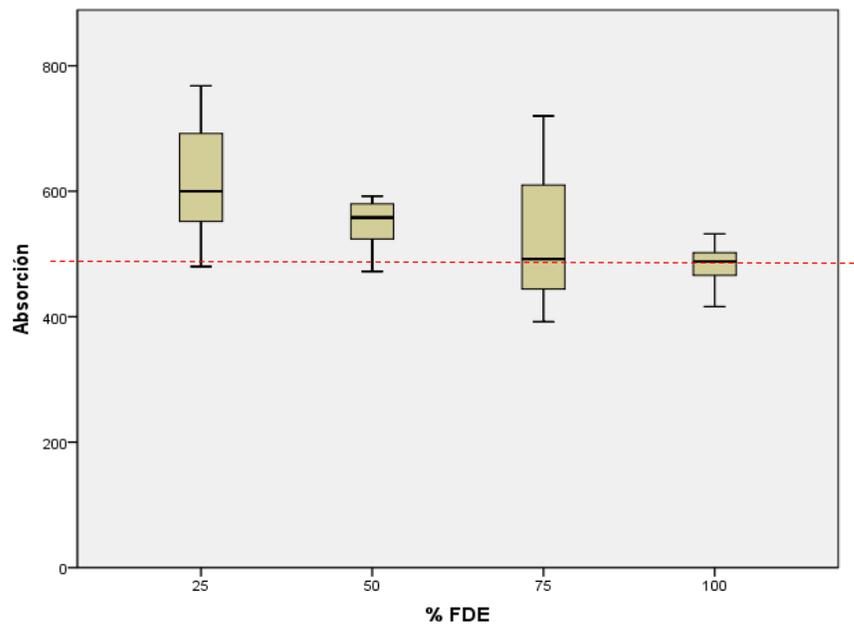
Figura 5.4 Diagrama de caja- Rendimiento vs %FDE.

Fuente: Elaborada con SPSS.

De acuerdo a la Tabla 5.14 y Figura 5.4 se observa que el factor 100% FDE se clasifica dentro del subconjunto 1, no muy lejos de este dato se encuentra 75% FDE en el subconjunto 1 y 2. En el subconjunto 2 se encuentra 50% FDE y finalmente en el subconjunto 3 con 25% FDE. Los resultados de rendimiento obtenidos para el 25% FDE son significativamente diferentes con respecto a las demás concentraciones.

Tabla 5.15 Análisis de Tukey – Absorción vs %FDE.

		Absorción			
	% FDE	N	Subset		
			1	2	3
Tukey HSD ^{a,b,c}	100	12	483.00		
	75	12	527.33	527.33	
	50	12		548.33	
	25	12			621.67
	Sig.		.190	.766	1.000



+

Figura 5.5 Diagrama de caja- Absorción vs %FDE.

Fuente: Elaborada con SPSS.

De acuerdo a la Tabla 5.15 y Figura 5.5 se observa que el factor 100% FDE se clasifica dentro del subconjunto 1, no muy lejos de este dato se encuentra 75% FDE en el subconjunto 1 y 2. En el subconjunto 2 se encuentra 50% FDE y finalmente en el subconjunto 3 con 25% FDE. Los resultados de rendimiento obtenidos para el 25% FDE son significativamente diferentes con respecto a las demás concentraciones.

Tabla 5.16 Análisis de Tukey – Resistencia vs %FDE.

Resistencia			
	% FDE	N	Subset
			1
Tukey HSD ^{a,b,c}	75	12	20.726325
	50	12	22.225417
	100	12	22.519592
	25	12	22.909033
	Sig.		.093

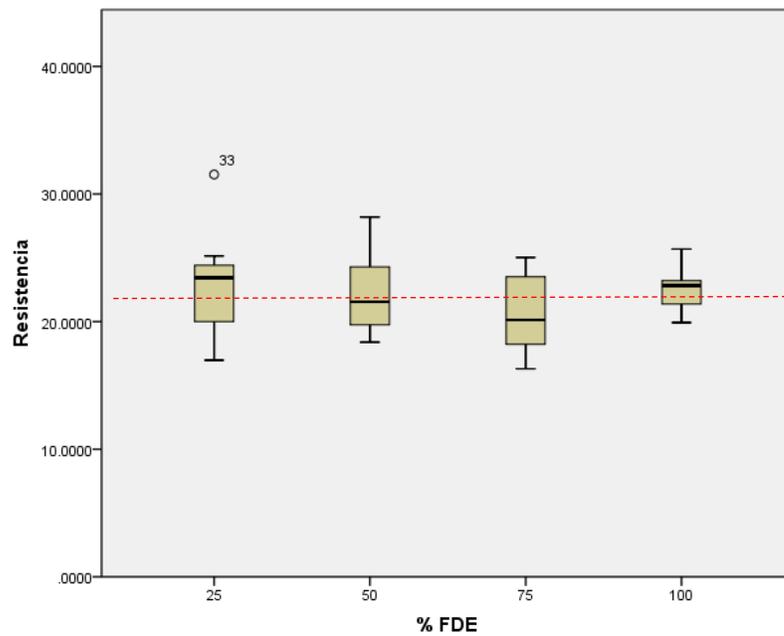


Figura 5.6 Diagrama de caja- Resistencia vs %FDE.

Fuente: Elaborada con SPSS.

De acuerdo a la Tabla 5.16 y Figura 5.6 se muestra que ninguna de las concentraciones de FDE es significativamente diferentes entre sí, lo que demuestra que la concentración de FDE no influye en la resistencia a la tensión de las hojas recicladas.

Tabla 5.17 Análisis de Tukey – Rendimiento vs Tiempo de pulpeado.

Tiempo de Pulpeado		N	Subset
			1
Tukey HSD ^{a,b,c}	12	12	12.0208
	9	12	12.5192
	6	12	12.8758
	3	12	12.9542
	Sig.		.074

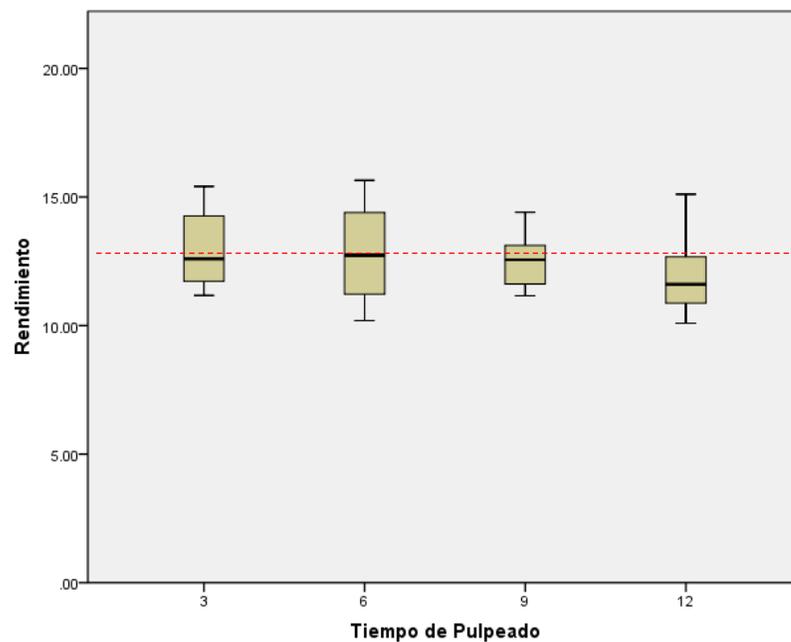


Figura 5.7 Diagrama de caja- Rendimiento vs tiempo de pulpeado.

Fuente: Elaborada con SPSS.

De acuerdo a la Tabla 5.17 y Figura 5.7 se muestra que los tiempos de pulpeado no son significativamente diferentes entre sí, lo que demuestra que este no influye en el rendimiento de las hojas recicladas.

Tabla 5.18 Análisis de Tukey – Absorción vs Tiempo de pulpeado.

Absorción			
Tiempo de Pulpeado		N	Subset
			1
Tukey HSD ^{a,b,c}	12	12	531.00
	9	12	534.00
	3	12	549.67
	6	12	565.67
	Sig.		.390

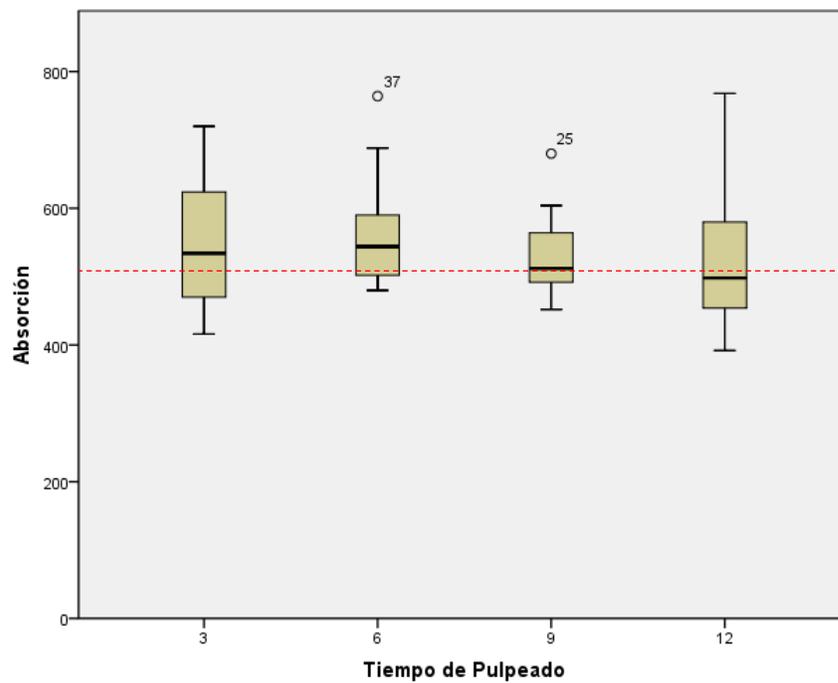


Figura 5.8 Diagrama de caja- Absorción vs tiempo de pulpeado.

Fuente: Elaborada con SPSS.

De acuerdo a la Tabla 5.18 y Figura 5.8 se muestra que los tiempos de pulpeado no son significativamente diferentes entre sí, lo que demuestra que este no influye en la absorción de las hojas recicladas.

Tabla 5.19 Análisis de Tukey – Resistencia vs Tiempo de pulpeado.

Resistencia			
Tiempo de Pulpeado		N	Subset
			1
Tukey HSD ^{a,b,c}	3	12	21.459800
	6	12	21.489658
	9	12	22.237950
	12	12	23.192958
	Sig.		.239

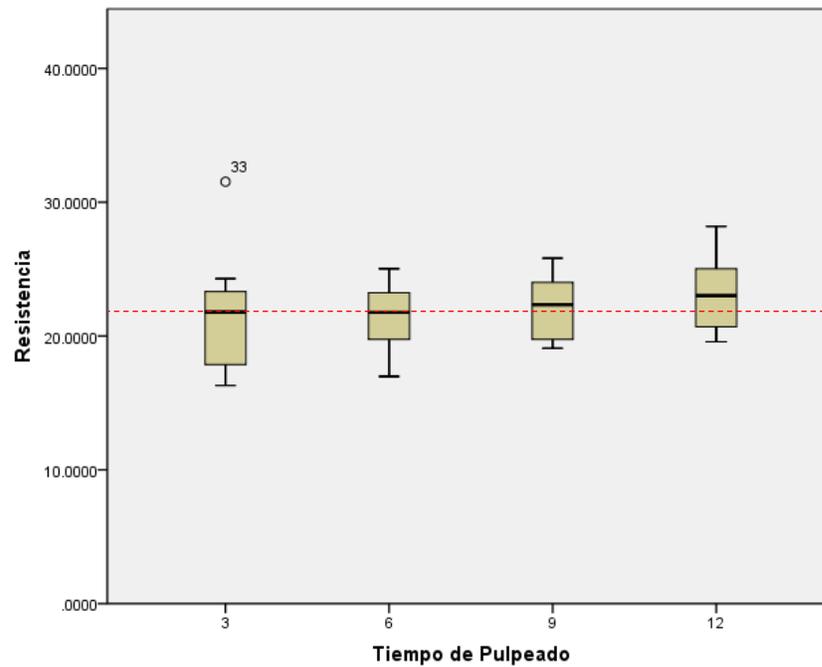


Figura 5.9 Diagrama de caja- Resistencia vs tiempo de pulpeado.

Fuente: Elaborada con SPSS.

De acuerdo a la Tabla 5.19 y Figura 5.9 se muestra que los tiempos de pulpeado no son significativamente diferentes entre sí, lo que demuestra que este no influye la resistencia de las hojas recicladas.

Gráficas de interacción de factores

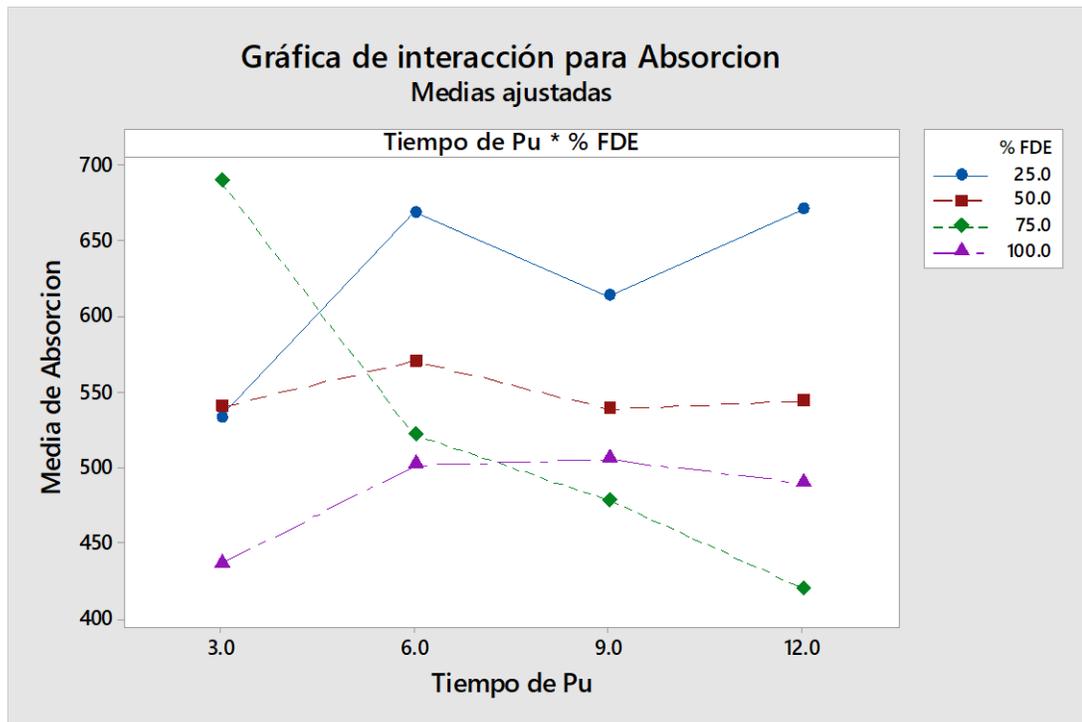


Figura 5.10 Gráfica de interacción de factores para la absorción.

Fuente: Elaborada con MiniTab.

Por definición, entre menos paralelas sean las líneas de la gráfica, mayor será la fuerza de interacción.

En la **Figura 5.10** se observa la gráfica de interacción que demuestra que la relación entre la absorción y %FDE no depende en su totalidad del tiempo de pulpeado pero si existe una interacción entre el tiempo de pulpeado y el % de FDE.

Si se utiliza un 75% FDE, el tiempo de pulpeado de 3 minutos estará asociado con la absorción media más alta, sin embargo si se utiliza un 75% FDE, el tiempo de pulpeado de 12 minutos estará asociado con la media de absorción más baja.

El comportamiento de los factores indica que la interacción de ambos predictores no es significativa.

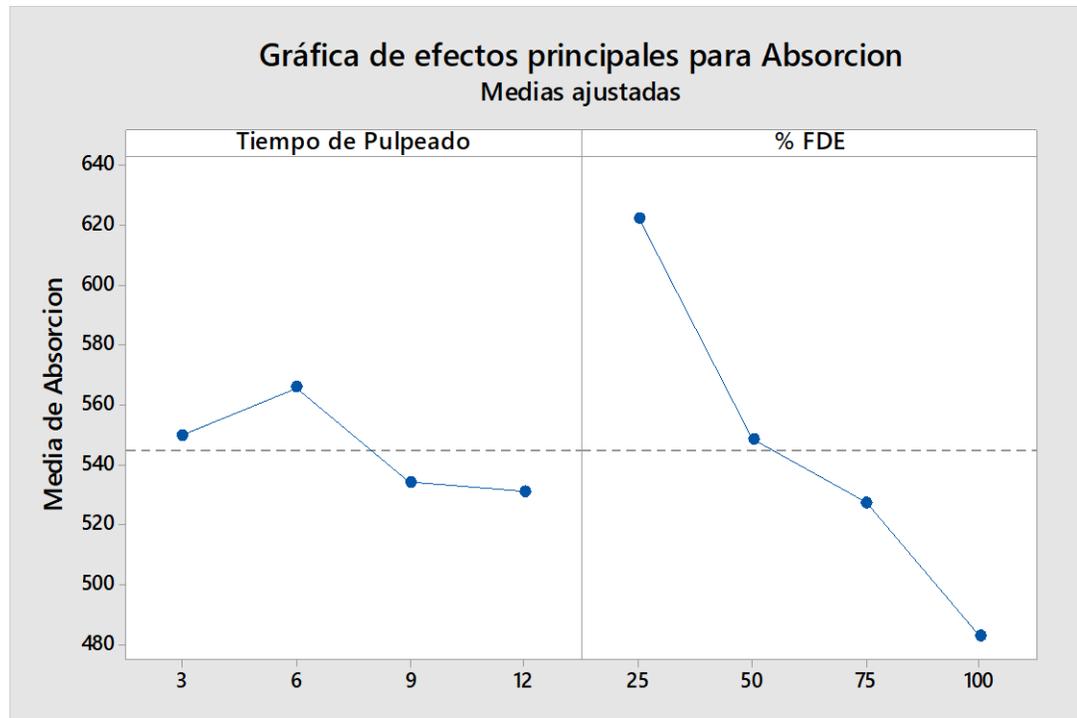


Figura 5.11 Gráfica de efectos principales para la absorción.

Fuente: Elaborada con MiniTab.

Por definición, cuando la línea del efecto es paralela al eje X, no está presente un efecto principal. En caso contrario, cuanto más pronunciada sea la pendiente de la línea, mayor será la magnitud del efecto principal.

En la **Figura 5.11** se puede observar efecto individual de cada factor sobre la variable absorción, el %FDE está asociado con las medias más altas para la absorción, de forma que con bajas concentraciones de FDE se obtienen valores de absorción más altos respecto a los que se obtienen con altas concentraciones de FDE.

Referente al tiempo de pulpeado tiene una influencia mínima sobre la absorción ya que claramente se observa como incrementa la absorción para 6 min pero luego los valores de absorción disminuyen conforme incrementa el tiempo de pulpeado.

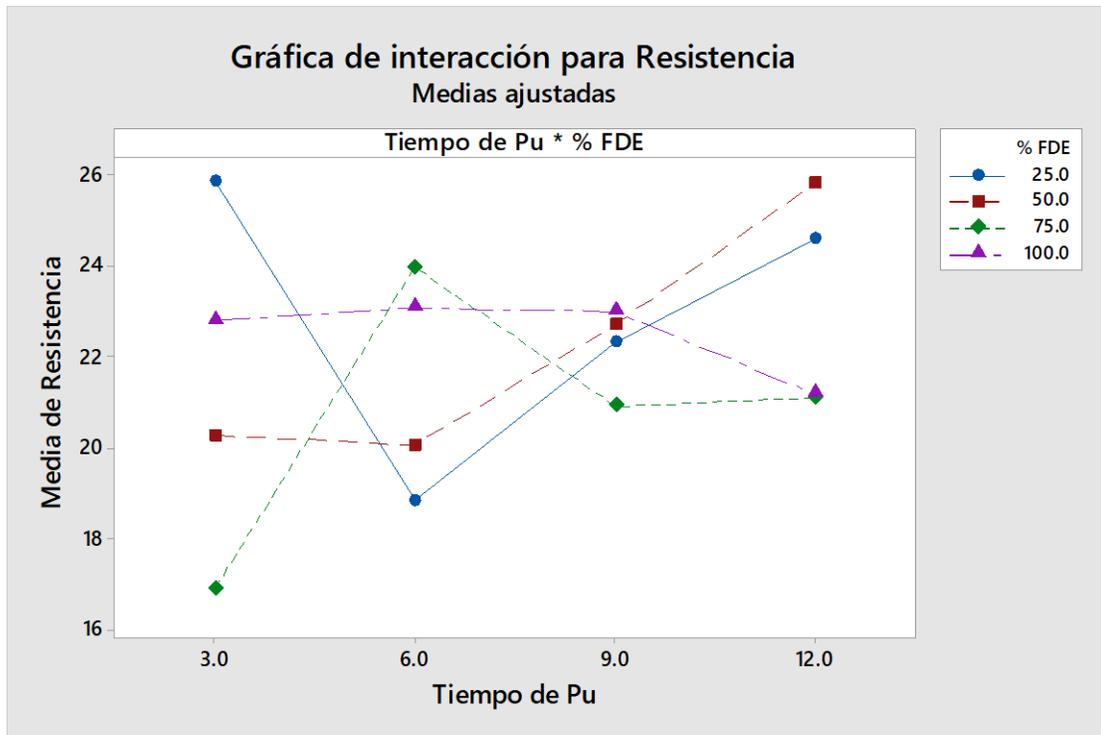


Figura 5.12 Gráfica de interacción de factores para la resistencia.

Fuente: Elaborada con MiniTab.

La **Figura 5.12** indica que, si se utiliza un 75% FDE, el tiempo de pulpeado de 3 minutos estará asociado con la resistencia media más baja, sin embargo, si se utiliza un 25% FDE, el tiempo de pulpeado de 3 minutos estará asociado con la media de resistencia más alta.

Según estos resultados se propone como más conveniente la combinación de 25% FDE y tiempo de pulpeado de 3 minutos para obtener la media de resistencia más alta.

El comportamiento de los factores indica que la interacción de ambos predictores no es significativa.

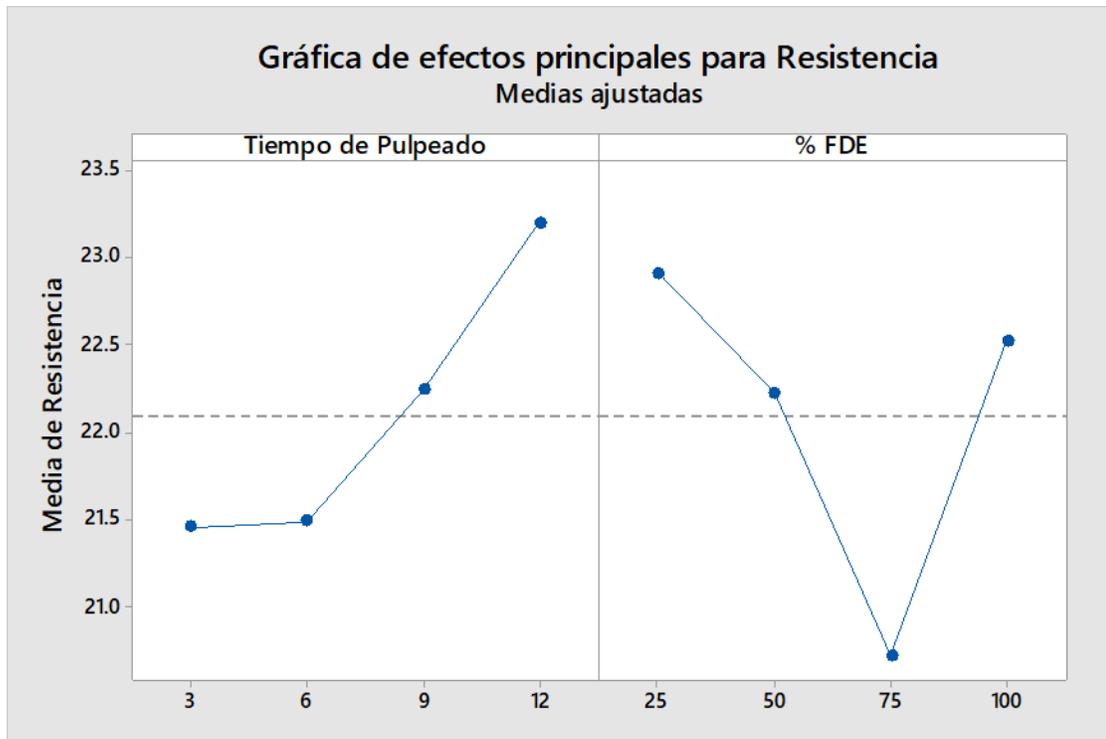


Figura 5.13 Gráfica de efectos principales para la resistencia.

Fuente: Elaborada con MiniTab.

En la **Figura 5.13** se observa el efecto individual de cada factor en la variable resistencia a la tensión. El tiempo de pulpeado está asociado con las medias más altas para la resistencia a la tensión, de forma que con un mayor tiempo de pulpeado se consiguieron valores un poco más altos de medias de resistencia.

Considerando el efecto del %FDE, tiene un comportamiento irregular sobre la resistencia a la tensión, y se observa a 25% FDE se alcanzan las mayores resistencias.

En resumen, considerando el efecto conjunto de ambos factores en la resistencia a la tensión, para un valor de 25% FDE los tiempos de pulpeado más adecuados son de 3 y 12 minutos, por lo que se recomienda para disminuir costos de proceso utilizar un tiempo de 3 minutos, ya que en promedio se obtienen los valores más altos en resistencia.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

Las etiquetas provenientes de la cervecera presentan como características un peso promedio de 0.356 g (frente) y 0.156 (cuello). Al salir de la etapa de lavado cada etiqueta (frente) presenta un peso promedio de 0.66 g, lo que de acuerdo a las pruebas de humedad es un porcentaje de aproximadamente 51.21% de humedad y 48.79% de materia seca. Al realizar las pruebas de pH, se obtuvo un promedio de 11.48, lo cual es básico, esto se debe a la alta concentración de soda caustica a que son sometidas las botellas en la etapa de lavado.

El método de elaboración de papel reciclado a las etiquetas celulósicas fue adaptado de la recicladora salvadoreña Hispalia para la elaboración de papel a partir de fibra reciclada consiste de 7 etapas, las cuales son: pesado inicial, trituración, hidratación, pulpeado, filtración, prensado, secado y pesado final.

Al evaluar las propiedades de las hojas recicladas obtenidas mediante pruebas de calibre, gramaje, absorción, resistencia a la tensión y rendimiento se demostró que la concentración de fibra de etiqueta %FDE influye significativamente en el rendimiento másico del papel y la absorción de agua de las hojas recicladas, pero no en la resistencia a la tensión de las mismas.

Respecto al tiempo de pulpeado, este no influye significativamente en las variables de respuesta, no hay diferencias en las propiedades del papel al utilizar tiempos de pulpeado de 3 a 12 minutos, por lo que se concluye que el tiempo de pulpeado no afecta las propiedades finales de las hojas recicladas.

Las propiedades de las hojas de papel reciclado demuestran que la fibra de etiqueta en conjunto con fibra mixta sin destintar es apta para elaborar láminas de cartón, cartón de fibra modelada y cartulina, dado que los datos obtenidos se ajustan a los de las mediciones efectuadas a dichos materiales celulósicos.

Considerando los resultados de este estudio, el reciclado de etiquetas celulósicas de la Compañía cervecera de Nicaragua es posible, sin embargo, se debe tomar en cuenta que la mayor absorción y rendimiento de las hojas recicladas fue al 25% de FDE, por lo tanto las mejores condiciones para la conversión de etiquetas en material reutilizable se logra cuando el FDE es de 25% y un tiempo de pulpeado de 3 minutos.

VII. RECOMENDACIONES

- Para economía de los recicladores, se propone considerar un tiempo de pulpeado mínimo para reducir costos en el proceso, así como una concentración de 25% FDE.
- Si se desea profundizar en este estudio, se recomienda elaborar láminas de papel que presenten calibres mayores y moldes con diferentes texturas para obtener productos semejantes al cartón y cartón de fibra modelada.
- Para facilitar la compra y transporte a empresas de reciclaje/acopio, se recomienda a la cervecería tomar en consideración una etapa de deshidratación de los desechos de etiquetas después que son separadas de la botella.
- Para dar continuidad a este estudio, se recomienda utilizar y dar seguimiento a este proceso en la recicladora Ecocentro ubicada en Granada de la cual no se pudo conseguir, una visita, durante este estudio.
- Se recomienda que en futuras investigaciones que adopten el presente proceso de elaboración de papel a partir de FDE, formar las hojas inmediatamente después de salir de la etapa de pulpeado, ya que las fibras sufren hinchamiento al estar en reposo, dificultando el prensado de las hojas.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2009). Manejando sus residuos peligrosos, Estados Unidos.
- Andrés F. y Peirano S., (2014). Papel de etiquetas de cerveza, alternativa de uso en la industria de la construcción. Universidad Tecnológica nacional, Santa Fe, Argentina.
- Asociación técnica de la industria del papel y la pulpa (TAPPI, 2006). TAPPI T 494 “Propiedades de tracción de papel y cartón.”
- Asociación técnica de la industria del papel y la pulpa (TAPPI, 2006). TAPPI T 509 “Concentración de iones de hidrógeno (pH) de extractos de papel”
- Asociación técnica de la industria del papel y la pulpa (TAPPI, 2006). TAPPI T 410 “Gramaje de papel y cartón (peso por unidad de superficie)”
- Asociación técnica de la industria del papel y la pulpa (TAPPI, 2006). TAPPI T 411 “Espesor (calibre) de papel, cartón y tablero combinado”
- Asociación técnica de la industria del papel y la pulpa (TAPPI, 2006). TAPPI T 412 “Métodos de prueba de humedad en pulpa, papel y cartón.”
- Asociación técnica de la industria del papel y la pulpa (TAPPI, 2006). TAPPI T 441 “Absorción de agua de papel, cartón y cartón corrugado.”
- Bavaria (2016). Informe de desarrollo sostenible 2016, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://www.bavaria.co/sites/g/files/ogq8776/f/201709/informe-desarrollo-sostenible-2016.pdf>
- Bustos C. (2009). La problemática de los desechos sólidos. Revista Economía XXXIV (Nº 27). Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- Chow I. e Ibarra C. (2004). Diagnóstico preliminar de la situación actual del reciclaje de residuos sólidos en la ciudad de Managua. Trabajo Monográfico para obtener el Título de Ingeniero en Calidad Ambiental. Universidad Centroamericana, Managua, Nicaragua.
- Fundación Bioplanet (2015). Reciclaje: el uso inteligente de las materias primas Recuperado de: https://paris2015cop21.org/#welcome_id

-
- Fundación Internacional para el Desafío Económico Global (FIDEG, 2007). El Reciclaje en Nicaragua. El observador económico. Managua, Nicaragua. Recuperado de: <http://www.elobservadoreconomico.com/articulo/450>
 - Industrias La Constancia, (2016). Reporte de desarrollo sostenible 2016. San Salvador, El Salvador. Recuperado de: <https://www.laconstancia.com/reporte-de-desarrollo-sostenible> (pp. 27-28)
 - López M. (2010). Variables críticas en la fabricación de papel reciclado. Revista Ingeniería Primero (Nº 17). Universidad Rafael Landívar, Guatemala, Guatemala.
 - Ministerio de fomento, industria y comercio (MIFIC, 2002). Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para el manejo, tratamiento y disposición final de desechos sólidos no peligrosos (NTON 05 014-01).
 - Natalia P. y Mónica T. (2006) Elaboración de un material a partir de un residuo sólido no reciclable de una empresa de artes gráficas. Universidad EAFIT, Colombia.
 - Nieto C. y Fuentes M. (2012). Diseño de un proceso para la fabricación de papel reciclado ecológico a escala laboratorio usando peróxido de hidrógeno. Trabajo Monográfico para optar por el título de Ingeniero Químico, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.
 - Organización Internacional de Normalización. Sistemas de gestión ambiental, ISO 14001:2015.
 - Reyes I. y Sáenz S. (2006). Reciclaje y Comercialización de papel desechado por el personal de limpieza de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León, en el período comprendido de marzo-abril del 2006. Trabajo Monográfico para optar al Título de Licenciatura en Administración de Empresas, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua.
 - Robert de J. (2008) “Estimación de rendimiento de papel recuperado utilizando datos de contabilidad de laboratorio y fábrica, progreso en el reciclaje de papel, vol. 17, no. 2,”
 - Santiago F., (2011) Análisis De La Varianza, MLG. Universidad Autónoma de Madrid, España.

-
- Zanuttini M., (2012), Reciclado celulósico. Red Iberoamericana para la Revalorización del reciclado celulósico. Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral, Argentina.
 - Zarruk A. y S. (2004). Diseño de un plan integral de manejo de residuos sólidos en la Universidad Centroamericana. Trabajo Monográfico para obtener el Título de Ingeniero en Calidad Ambiental. Universidad Centroamericana, Managua, Nicaragua.

IX. ANEXOS

Anexo 1: Etiquetas celulósicas nuevas de la CCN.

Tabla 9.1 Características de etiquetas nuevas.

Parámetro	UM	Objetivo	Tolerancia
Gramaje	g/m ²	70	± 5%

Fuente: Compañía cervecera de Nicaragua, 2019.

Tabla 9.2 Peso de etiqueta nueva de una presentación de 355 ml.

Frente (gr)	Cuello (gr)
0.3540	0.1569
0.3599	0.1566
0.3574	0.1552

Fuente: Compañía cervecera de Nicaragua, 2019.

Tabla 9.3 Propiedades de etiquetas nuevas.

Humedad Etiqueta Nueva	HR: 60 – 70% Mantener en su empaque original
Sustrato	Blanco Linado (Niklakett)
Dirección de Fibra	Horizontal
Tintas	Pantone

Fuente: Compañía cervecera de Nicaragua, 2019.

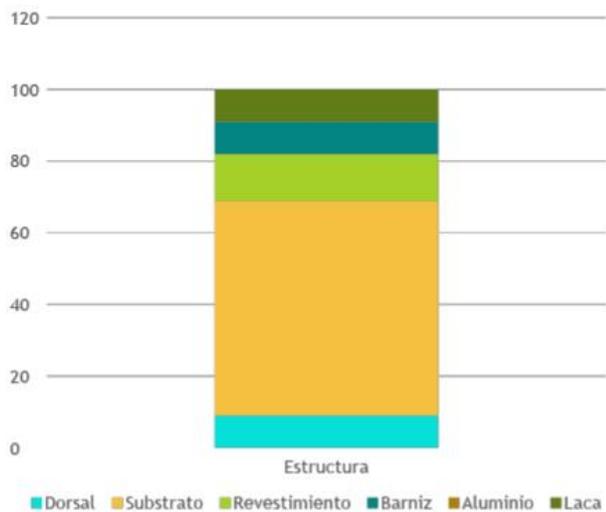


Figura 9.1 Estructura de una etiqueta normal.

Fuente: Compañía cervecera de Nicaragua, 2019.

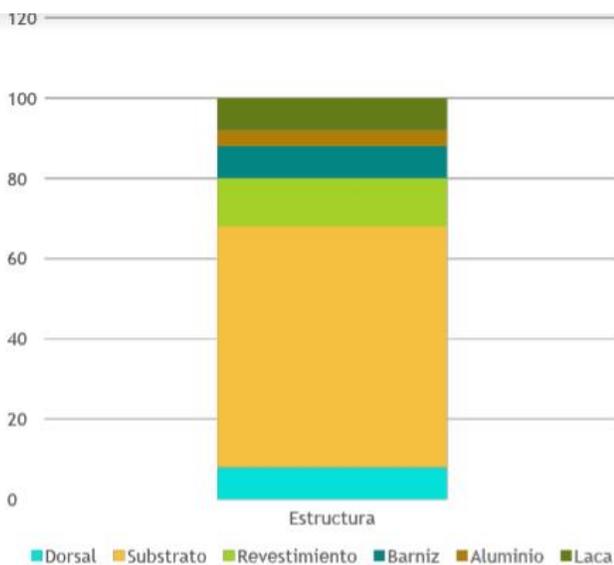


Figura 9.2 Estructura de una etiqueta metalizada.

Fuente: Compañía cervecera de Nicaragua, 2019.

Anexo 2: Gráfico Humedad - Tiempo de secado.

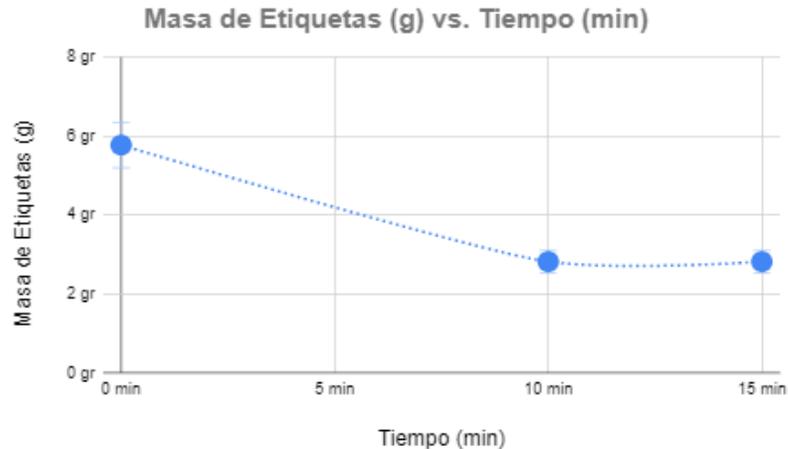


Figura 9.3 Gráfico de masa de etiquetas húmedas vs tiempo de secado.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Resultados de pruebas de distintos materiales celulósicos.

Tabla 9.4 Resultados prueba de gramaje de distintos materiales celulósicos.

Material	Papel Seco (g)	Gramaje g/m ²
Papel toalla	0.11	44
Papel Higiénico	0.06	24
Papel Bond	0.2	80
Cartulina	1.06	424
Cartón de fibra moldeada	0.41	455.56
Cartón corrugado	0.95	380
Cartón corrugado-Capa	0.26	104

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.5 Resultados prueba de calibre de distintos materiales celulósicos.

Material	Pulgadas
Papel toalla	0.0042
Papel Higiénico	0.0027
Papel Bond	0.0034
Cartulina	0.017
Cartón de fibra moldeada	0.5065
Cartón corrugado	1.0203
Cartón corrugado-Capa	0.0134

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.6 Resultados prueba de absorción de distintos materiales celulósicos.

Material	Absorción g/m²
Papel toalla	180
Papel Higiénico	148
Papel Bond	140
Cartulina	392
Cartón de fibra moldeada	800
Cartón corrugado	880
Cartón corrugado-Capa	232

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.7 Resultados prueba de resistencia a la tensión de distintos materiales celulósicos.

Material	Tanda 1	Tanda 2
	kN/m	kN/m
Papel toalla	138.71	134.03
Papel Higiénico	84.56	93.31
Papel Bond	237.34	185.24
Cartulina	94.01	104.66
Cartón de fibra moldeada	6.10	5.66
Cartón corrugado	7.71	7.83
Cartón corrugado-Capa	82.84	89.01

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4: Cálculos para la caracterización de la FDE.

Tabla 9.8 Cálculo de humedad de etiquetas a 105°C y 0 min de secado.

Tiempo 0 minutos					
Nº	Masa Bandeja (g)	Masa Etiquetas + Bandeja (g)	Masa de Etiquetas Húmedas (g)	Masa Etiqueta Seca (g)	Masa de Agua (g)
1	40.14	45.91	5.77	2.85	2.92
2	40.39	46.15	5.76	2.77	2.99
3	40.32	46.16	5.84	2.86	2.98
4	31.88	37.74	5.86	2.84	3.02
5	41.13	46.78	5.65	2.77	2.88
		Media	5.78	2.82	2.96

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.9 Cálculo de humedad de etiquetas a 105 °C y 5 min de secado.

Tiempo 5 minutos					
Nº	Masa Bandeja (g)	Masa Etiquetas + Bandeja (g)	Masa de Etiquetas Húmedas (g)	Masa Etiqueta Seca (g)	Masa de Agua (g)
1	40.14	43.09	2.95	2.85	0.1
2	40.39	43.31	2.92	2.77	0.15
3	40.32	43.3	2.98	2.86	0.12
4	31.88	34.85	2.97	2.84	0.13
5	41.13	44.01	2.88	2.77	0.11
		Media	2.94	2.82	0.12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.10 Cálculo de humedad de etiquetas a 105 °C y 10 min de secado.

Tiempo 10 minutos					
Nº	Masa Bandeja (g)	Masa Etiquetas + Bandeja (g)	Masa de Etiquetas Húmedas (g)	Masa Etiqueta Seca (g)	Masa de Agua (g)
1	40.14	42.99	2.85	2.85	0
2	40.39	43.16	2.77	2.77	0
3	40.32	43.18	2.86	2.86	0
4	31.88	34.72	2.84	2.84	0
5	41.13	43.9	2.77	2.77	0
		Media	2.82	2.82	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.11 Cálculo de humedad de etiquetas a 105 °C y 15 min de secado.

Tiempo 15 minutos					
Nº	Masa Bandeja (g)	Masa Etiquetas + Bandeja (g)	Masa de Etiquetas Húmedas (g)	Masa Etiqueta Seca (g)	Masa de Agua (g)
1	40.14	42.99	2.85	2.85	0
2	40.39	43.16	2.77	2.77	0
3	40.32	43.18	2.86	2.86	0
4	31.88	34.72	2.84	2.84	0
5	41.13	43.9	2.77	2.77	0
		Media	2.82	2.82	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5: Cálculos para la caracterización de las hojas recicladas.

Tabla 9.12 Cálculo de rendimiento de hojas recicladas.

% FDE	Tiempo	Tanda 1	Tanda 2	Tanda 3	Peso Neto (g)	% Rendimiento
		Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)		
100%	3 min	11.28	11.17	12.4	135.9	60.40%
	6 min	11.24	12.21	10.19		
	9 min	12.04	11.16	11.32		
	12 min	10.69	12.11	10.09		
75%	3 min	13.24	12.21	11.19	141.85	63.04%
	6 min	11.61	10.88	13.26		
	9 min	11.24	11.91	12.79		
	12 min	11.1	10.71	11.71		
50%	3 min	13.47	12.79	12.17	152.31	67.69%
	6 min	13.84	14.56	11.21		
	9 min	14.41	13	12.33		
	12 min	12	11.5	11.03		
25%	3 min	15.41	15.07	15.05	174.38	77.50%
	6 min	15.63	15.65	14.23		
	9 min	13	13.23	13.8		
	12 min	14.96	15.11	13.24		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.13 Cálculo de absorción de tanda 1 de hojas recicladas.

%FDE	Tanda 1	Papel Seco (g)	Papel + Agua (g)	Agua (g)	Absorción g/cm ²	Absorción g/m ²
100%	3 min	0.27	1.42	1.15	0.05	460.00
	6 min	0.31	1.64	1.33	0.05	532.00
	9 min	0.38	1.7	1.32	0.05	528.00
	12 min	0.35	1.53	1.18	0.05	472.00
75%	3 min	0.4	2.03	1.63	0.07	652.00
	6 min	0.3	1.5	1.2	0.05	480.00
	9 min	0.29	1.42	1.13	0.05	452.00
	12 min	0.27	1.35	1.08	0.04	432.00
50%	3 min	0.34	1.7	1.36	0.05	544.00
	6 min	0.37	1.7	1.33	0.05	532.00
	9 min	0.3	1.52	1.22	0.05	488.00
	12 min	0.32	1.5	1.18	0.05	472.00

25%	3 min	0.32	1.52	1.2	0.05	480.00
	6 min	0.36	1.75	1.39	0.06	556.00
	9 min	0.4	1.79	1.39	0.06	556.00
	12 min	0.4	1.77	1.37	0.05	548.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.14 Cálculo de absorción de tanda 2 de hojas recicladas.

%FDE	Tanda 2	Papel Seco (g)	Papel + Agua (g)	Agua (g)	Absorción g/cm ²	Absorción g/m ²
100%	3 min	0.25	1.33	1.08	0.04	432.00
	6 min	0.39	1.61	1.22	0.05	488.00
	9 min	0.29	1.52	1.23	0.05	492.00
	12 min	0.33	1.6	1.27	0.05	508.00
75%	3 min	0.38	2.18	1.8	0.07	720.00
	6 min	0.38	1.8	1.42	0.06	568.00
	9 min	0.32	1.55	1.23	0.05	492.00
	12 min	0.29	1.38	1.09	0.04	436.00
50%	3 min	0.37	1.77	1.4	0.06	560.00
	6 min	0.35	1.82	1.47	0.06	588.00
	9 min	0.31	1.7	1.39	0.06	556.00
	12 min	0.4	1.87	1.47	0.06	588.00
25%	3 min	0.35	1.66	1.31	0.05	524.00
	6 min	0.45	2.17	1.72	0.07	688.00
	9 min	0.43	2.13	1.7	0.07	680.00
	12 min	0.49	2.23	1.74	0.07	696.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.15 Cálculo de absorción de tanda 3 de hojas recicladas.

%FDE	Tanda 3	Papel Seco (g)	Papel + Agua (g)	Agua (g)	Absorción g/cm ² .	Absorción g/m ² .
100%	3 min	0.26	1.3	1.04	0.04	416.00
	6 min	0.34	1.55	1.21	0.05	484.00
	9 min	0.33	1.57	1.24	0.05	496.00
	12 min	0.35	1.57	1.22	0.05	488.00

75%	3 min	0.4	2.14	1.74	0.07	696.00
	6 min	0.34	1.63	1.29	0.05	516.00
	9 min	0.33	1.56	1.23	0.05	492.00
	12 min	0.25	1.23	0.98	0.04	392.00
50%	3 min	0.3	1.59	1.29	0.05	516.00
	6 min	0.42	1.9	1.48	0.06	592.00
	9 min	0.42	1.85	1.43	0.06	572.00
	12 min	0.41	1.84	1.43	0.06	572.00
25%	3 min	0.44	1.93	1.49	0.06	596.00
	6 min	0.57	2.48	1.91	0.08	764.00
	9 min	0.39	1.9	1.51	0.06	604.00
	12 min	0.5	2.42	1.92	0.08	768.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.16 Resultados de absorción de todas las hojas recicladas en g/m².

% FDE	Absorción en g/m²					
	Tiempo	Tanda 1	Tanda 2	Tanda 3	Promedio	Rango de valor
100%	3 min	460.00	432.00	416.00	436.00	410-460
	6 min	532.00	488.00	484.00	501.33	480-540
	9 min	528.00	492.00	496.00	505.33	490-530
	12 min	472.00	508.00	488.00	489.33	470-510
75%	3 min	652.00	720.00	696.00	689.33	650-720
	6 min	480.00	568.00	516.00	521.33	480-570
	9 min	452.00	492.00	492.00	478.67	450-500
	12 min	432.00	436.00	392.00	420.00	390-440
50%	3 min	544.00	560.00	516.00	540.00	510-560
	6 min	532.00	588.00	592.00	570.67	530-600
	9 min	488.00	556.00	572.00	538.67	480-580
	12 min	472.00	588.00	572.00	544.00	470-590
25%	3 min	480.00	524.00	596.00	533.33	480-600
	6 min	556.00	688.00	764.00	669.33	550-770
	9 min	556.00	680.00	604.00	613.33	550-680
	12 min	548.00	696.00	768.00	670.67	540-770

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.17 Cálculo de absorción de diferentes fibras celulósicas.

Papel Toalla				
Papel	Papel + Agua (g)	Agua (g)	Absorción g/cm²	Absorción g/m²
0.11	0.56	0.45	0.02	180.00
Papel Bond				
Papel	Papel + Agua (g)	Agua (g)	Absorción g/cm²	Absorción g/m²
0.2	0.55	0.35	0.01	140.00
Papel Higiénico				
Papel	Papel + Agua (g)	Agua (g)	Absorción g/cm²	Absorción g/m²
0.06	0.43	0.37	0.01	148.00
Cartón de fibra moldeada				
Papel	Papel + Agua (g)	Agua (g)	Absorción g/cm²	Absorción g/m²
0.41	1.13	0.72	0.08	800.00
Cartón corrugado				
Papel	Papel + Agua (g)	Agua (g)	Absorción g/cm²	Absorción g/m²
0.95	3.15	2.2	0.09	880.00
Cartón corrugado-Capa superior				
Papel	Papel + Agua (g)	Agua (g)	Absorción g/cm²	Absorción g/m²
0.26	0.84	0.58	0.02	232.00
Papel Cartulina				
Papel	Papel + Agua (g)	Agua (g)	Absorción g/cm²	Absorción g/m²
1.06	2.04	0.98	0.04	392.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.18 Cálculo de gramaje de hojas recicladas con un área de 5 cm².

% FDE	Tiempo	Tanda 1		Tanda 2		Tanda 3	
		Papel Seco (g)	Gramaje g/m ²	Papel Seco (g)	Gramaje g/m ²	Papel Seco (g)	Gramaje g/m ²
100%	3 min	0.27	108	0.25	100	0.26	104
	6 min	0.31	124	0.39	156	0.34	136
	9 min	0.38	152	0.29	116	0.33	132
	12 min	0.35	140	0.33	132	0.35	140
75%	3 min	0.4	160	0.38	152	0.4	160
	6 min	0.3	120	0.38	152	0.34	136
	9 min	0.29	116	0.32	128	0.33	132
	12 min	0.27	108	0.29	116	0.25	100
50%	3 min	0.34	136	0.37	148	0.3	120
	6 min	0.37	148	0.35	140	0.42	168
	9 min	0.35	140	0.31	124	0.42	168
	12 min	0.32	128	0.4	160	0.41	164
25%	3 min	0.32	128	0.35	140	0.44	176
	6 min	0.36	144	0.45	180	0.57	228
	9 min	0.4	160	0.43	172	0.39	156
	12 min	0.4	160	0.49	196	0.5	200

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.19 Cálculos de fuerza de rotura en Newton y Lbf de las hojas recicladas.

% FDE	Tiempo	Tanda 1		Tanda 2		Tanda 3	
		Newton	Lbf	Newton	Lbf	Newton	Lbf
100%	3 min	9.50	2.14	7.80	1.75	9.10	2.05
	6 min	8.40	1.89	8.50	1.91	8.30	1.87
	9 min	7.90	1.78	8.60	1.93	9.20	2.07
	12 min	8.00	1.80	8.40	1.89	9.20	2.07
75%	3 min	8.20	1.84	8.60	1.93	7.90	1.78
	6 min	9.60	2.16	8.30	1.87	9.00	2.02
	9 min	8.10	1.82	8.80	1.98	9.30	2.09
	12 min	8.50	1.91	8.70	1.96	9.20	2.07
50%	3 min	9.40	2.11	9.20	2.07	8.90	2.00
	6 min	10.20	2.29	9.30	2.09	9.10	2.05
	9 min	8.70	1.96	9.90	2.23	10.30	2.32
	12 min	11.10	2.50	10.40	2.34	9.80	2.20
25%	3 min	12.50	2.81	14.40	3.24	16.10	3.62
	6 min	13.60	3.06	11.30	2.54	15.40	3.46
	9 min	12.90	2.90	13.80	3.10	12.10	2.72
	12 min	14.30	3.21	13.90	3.12	15.20	3.42

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.20 Cálculos de fuerza de rotura en Newton y Lbf de diferentes fibras celulósicas.

Material	Tanda 1		Tanda 2	
	Newton	Lbf	Newton	Lbf
Papel toalla	14.80	3.33	14.3	3.21
Papel Higiénico	5.80	1.30	6.4	1.44
Papel Bond	20.50	4.61	16	3.60
Cartulina	40.60	9.13	45.2	10.16
Cartón de fibra moldeada	78.5	17.65	72.8	16.37
Cartón corrugado	199.9	44.94	203	45.64
Cartón corrugado-Capa	28.20	6.34	30.3	6.81

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6: Pruebas de caracterización de FDE.



Figura 9.4 Secado de etiquetas en bandeja de aluminio.

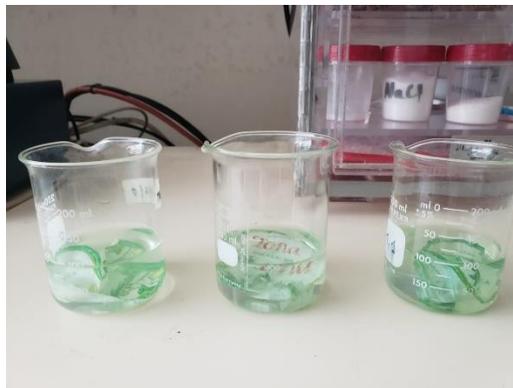


Figura 9.5 Medición de pH a muestras de etiquetas.



Figura 9.6 Pesaje de etiquetas húmedas.

Anexo 7: Elaboración de papel a partir de FDE.



Figura 9.7 Mezcla de FDE y FMSD trituradas.



Figura 9.8 Mezcla de fibras en etapa de hidratación.



Figura 9.9 Mezcla de fibras en etapa de pulpeado.



Figura 9.10 Filtración y prensado de la mezcla fibrosa.



Figura 9.11 Secado



Figura 9.12 Pesado final.

Anexo 8: Pruebas de caracterización de papel reciclado a partir de FDE.

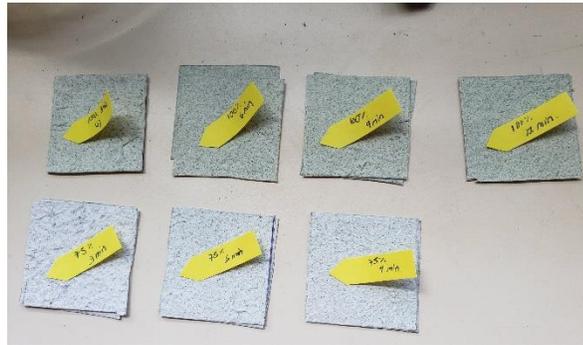


Figura 9.13 Muestras de papel 5 cm².

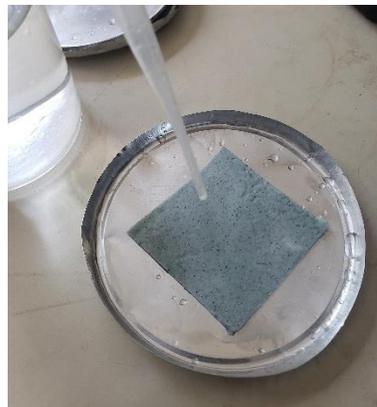


Figura 9.14 Prueba de absorción.



Figura 9.15 Prueba de fuerza de rotura.



Figura 9.16 Prueba de medición de calibre.