



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



**EVALUACIÓN DE LAS DIFERENTES RESISTENCIAS DEL PAPEL KRAFF
MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE POLÍMEROS ORGÁNICOS QUE
PERMITAN REDUCIR EL PESO BASE DE DICHO
PAPEL EN LA LÍNEA PRODUCCIÓN.**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD
DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

Autor:

Lic. Celeste Fernández
Tutor Académico

Br. Neyla Noguera
C.I.: 17.197.355

Ing. Amparo Andrés
Tutor Industrial

Valencia, Noviembre de 2008



RESUMEN

Los fenómenos de adsorción de polímeros en suspensión acuosa son de gran importancia en aplicaciones papeleras donde participan fenómenos de coagulación y floculación de partículas. En esta investigación se evaluaron las diferentes resistencias del papel Kraft elaborado mediante la utilización de polímeros orgánicos que permitieran reducir el peso base de la producción, mediante una investigación enmarcada bajo la modalidad de tipo experimental, que permitió estudiar, recolectar la información y analizarla con el propósito de presentar una nueva alternativa en la producción. Se mezcló pulpa Kraft con diferentes polímeros orgánicos y se formaron hojas de mano de tamaño estándar según lo establecido en las norma de la industria papeleras. Esto mediante la adición de cantidades estandarizadas de polímero agregadas a la mezcla de pasta evidenciándose que al ocurrir la adición de los polímeros incrementan significativamente las propiedades de resistencia en seco. Luego de seleccionados los aditivos que funcionaron mejor y se evaluaron a diferentes dosificaciones para luego ser caracterizados y determinar así su posible incorporación en el proceso. De igual manera se seleccionó luego el mejor aditivo para este caso basado tanto en el comportamiento como en la mejora de las características, así como en la cantidad de polímero a agregar, destacándose que la dosificación óptima del polímero seleccionado fue de 1 g/kg generando para las hojas de 1.2 gramos de peso un incremento con respecto al producto final de: 160% en el índice de estallido, 20% en índice de desgarró y 95% longitud de ruptura por tracción. Una vez que se realizaron los diferentes análisis mediante la variación del peso base se evaluó de manera aproximada mediante una relación lineal el peso que permitió mantener las características de calidad, finalmente fue posible disminuir el peso base en un 13%. En base a los resultados obtenidos se recomendó una prueba a nivel de máquina para evaluar de manera más específica la variabilidad en el peso base así como también, una evaluación económica incluyendo la estructura de costos para así determinar el porcentaje de disminución en el producto final.

Palabras claves: Polímeros, Resistencia en seco, papel y peso base



ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
Introducción	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Formulación del problema	5
1.2.1. Situación actual	5
1.2.2. Situación deseada	5
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo general	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Justificación	7
CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL	
2.1. Antecedentes	9
2.2. Bases teóricas	14
2.2.1. El papel	14
2.2.2. Tipos de papel	14
2.2.3. Generalidades del papel	17
2.2.4. Materias primas utilizadas	18
2.2.4.1. Material Fibroso (Fibras)	18
2.2.4.1.1. Tipos de fibras	18
2.2.4.1.1.1. Fibras Vírgenes	18
2.2.4.1.1.2. Fibras recuperadas	20
2.2.4.1.2. Composición química del material fibroso	20



2.2.4.2. Materia prima no fibrosa (productos químicos)	22
2.2.4.2.1. Químicos primarios o funcionales	22
2.2.4.2.2. Aditivos utilizados para el control y mejoras del proceso	23
2.2.4.2.3. Agentes de retención	24
2.2.5. Propiedades del papel	25
2.2.5.1. Propiedades básicas del papel	25
2.2.5.2. Propiedades mecánicas del papel	29
2.2.5.3. Interrelación entre las Propiedades del papel	33
2.2.5.4. Propiedades del papel evaluadas en la empresa manufacturera	34
2.2.6. Variables que influyen en el proceso	35
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	37
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	75
CONCLUSIONES	105
RECOMENDACIONES	107
REFERENCIAS	109
APÉNDICES	113
Apéndice A: Tablas de datos.....	115
Apéndice B: Cálculos típicos.....	133



Índice de Tablas

Tabla	Contenido	Pág.
2.1	Propiedades del papel y relación entre ellas	34
3.1	Establecimiento de criterios para la pre selección del polímero.....	39
3.2	Ponderación de las alternativas de aditivos según los criterios de evaluación....	42
3.3	Normas aplicadas a la realización de ensayos de resistencia del papel	48
3.4	Establecimiento de criterios para la selección del aditivo	62
3.5	Ponderación de las alternativas según los criterios de evaluación.....	63
3.6	Factores utilizados para la obtención del valor de la viscosidad de Brookfield.....	69
3.7	Especificaciones de calidad establecidas para el papel Kraft natural.....	71
4.1	Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,2 g con los diferentes aditivos empleados	78
4.2	Propiedades de resistencia del papel Kraft natural de 1,2 g sin la adición de ningún polímero	80
4.3	Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,2 g con una dosificación igual a 3 g/kg de una solución al 0.1% de concentración del polímero A	80
4.4	Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,2 g con una dosificación igual a 3 g/kg de una solución al 0.1% de concentración del polímero B	81
4.5	Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,2 g con una dosificación igual a 3 g/kg de una solución al 0.1% de concentración del polímero C.....	81
4.6	Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,2 g con una dosificación igual a 3 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de almidón	82



4.7	Propiedades característica de los aditivos empleados para la mejora de la resistencia en seco	86
4.8	Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,2 g con las diferentes dosificaciones de polímero B y almidón	88
4.9	Propiedades de resistencia del papel Kraft natural de 1,2 g con las diferentes dosificaciones de polímero B.....	89
4.10	Propiedades de resistencia del papel Kraft natural de 1,2 g con las diferentes dosificaciones de almidón.....	90
4.11	Propiedades físicas del papel Kraft natural de diferentes pesos netos con la cantidad óptima de poliacrilamida anfotérica.	97
4.12	Propiedades de resistencia del papel Kraft natural de diferentes pesos netos con las cantidad óptima de poliacrilamida anfotérica	98
A.1	Propiedades físicas del papel Kraft natural sin la adición de ningún polímero.....	115
A.2	Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 3 g/kg de una solución al 0.1% de concentración del polímero A.....	116
A.3	Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 3 g/kg de una solución al 0.1% de concentración del polímero B.....	117
A.4	Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 3 g/kg de una solución al 0.1% de concentración del polímero C.....	118
A.5	Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 3 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de almidón.....	119
A.6	Datos necesarios para la caracterización de los aditivos a utilizar en la mejora de la resistencia del papel Kraft.....	120



A.7	Comportamiento de la solubilidad de la poliacrilamida anfotérica al aumentar su concentración en agua.....	121
A.8	Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 0,5 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de la poliacrilamida anfotérica.....	122
A.9	Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 1,0 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de la poliacrilamida anfotérica.....	123
A.10	Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 1,5 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de la poliacrilamida anfotérica.....	124
A.11	Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 5,0 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de la poliacrilamida anfotérica.....	125
A.12	Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 0,5 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de almidón.....	126
A.13	Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 1,0 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de almidón.....	127
A.14	Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 1,5 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de almidón.....	128
A.15	Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 5,0 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de almidón.....	129
A.16	Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,4 g con una dosificación igual a 1,0 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de la poliacrilamida anfotérica.....	130



A.17 Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,6 g con una dosificación igual a 1,0 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de la poliacrilamida anfotérica.....131

**Índice de Figuras**

Figura	Contenido	Pág.
1.1	Diagrama de bloques del proceso de fabricación de papel.....	4
2.1	Estructura molecular de la celulosa.....	21
3.1	Ruta introducción de alternativas de preselección de polímeros.....	40
3.2	Introducción de la selección de alternativas de preselección de polímeros.....	41
3.3	Modelo gráfico de la matriz de resultados de polímeros a utilizar.....	43
3.4	Equipo formador de hojas	45
3.5	Estufa	46
3.6	Balanza digital	46
3.7	Equipo eliminador de exceso de humedad	51
3.8	Micrómetro digital.....	53
3.9	Cuchilla calibrada.....	54
3.10	Equipo para la determinación de la resistencia a la tensión.....	55
3.11	Equipo para la determinación de la resistencia al rasgado.....	57
3.12	Equipo para la determinación de la resistencia al dobléz.....	59
3.13	Equipo para la determinación de la resistencia al estallido.....	59
3.14	Modelo gráfico de la matriz de resultados.	64
3.15	Hidrómetro.....	67
4.1	Modelo gráfico de la matriz de resultados de la preselección de polímeros.....	77
4.2	Modelo gráfico de la matriz de resultados de la selección del polímero.....	84



4.3	Comportamiento de los aditivos utilizando diferentes dosificaciones con respecto al índice de estallido.....	91
4.4	Comportamiento de los aditivos utilizando diferentes dosificaciones con respecto al índice de desgarro.....	92
4.5	Comportamiento de los aditivos utilizando diferentes dosificaciones con respecto a la longitud de ruptura por tracción.....	93
4.6	Comportamiento de los aditivos utilizando diferentes dosificaciones con respecto a en número de dobléz.....	94
4.7	Comportamiento del índice de desgarro con respecto al peso base de las hojas.....	100
4.8	Comportamiento de la longitud de ruptura por tracción con respecto al peso base de las hojas.....	101



INTRODUCCIÓN

La fibra tiene una tendencia de interactuar con el agua, esta propiedad es importante durante la elaboración del papel pero también es la razón de que los finos del papel se mantengan en solución y no precipiten. Debido a esto Muchos investigadores han realizado estudios de la adsorción de polímeros sobre fibras vegetales y minerales a fin de comprender los fenómenos e interacciones que ocurren en la suspensión fibrosa para fabricar papel.

Es de suma importancia igualmente el estudio de la utilización de los polímeros como agentes de retención en la fabricación de papel gracias a la gran aplicabilidad de ellos en el ámbito industrial debido a la capacidad que tiene algunos polímeros de alterar las fuerzas superficiales que mantienen separadas las partículas en una suspensión coloidal promoviendo de esta manera los procesos de coagulación y floculación.

Por otra parte hoy en día para las empresas es una necesidad mejorar su calidad y productividad pero a su vez disminuir costos, como condiciones necesarias para que sus productos puedan ser competitivos y sobrevivir en los mercados globalizados, es por ello necesario estudiar y ejecutar nuevas alternativas y acciones, con la posibilidad de disminuir el precio final del producto. Por tal razón surgió la propuesta de investigar el aprovechamiento de uno de los insumos más utilizados en dicha industria como son los agentes de retención, estudiando así su aplicación sobre la resistencia mecánica del papel Kraft.

La importancia de la investigación, radica en el hecho de que al ser implementada esta propuesta de adición, se logrará una disminución del 13 % en el peso base con respecto al valor actual utilizado para el papel Kraft natural de (81 ± 2) g/m², proporcionándole a la empresa un aumento en sus ganancias de producción, y ampliando su competitividad en el mercado del papel.



En la presente investigación se evaluaron cuatro diferentes polímeros de amplio uso en el mercado papelerero tales como las poliacrilamidas cationicas de diferentes pesos moleculares, poliacrilamidas anfotéricas y almidón, realizando un estudio sobre la influencia de cada uno de estos polímeros sobre las características tanto físicas como mecánicas del papel. Además de realizar luego variaciones en la dosificación aplicada para así determinar la dosis óptima del aditivo que presentó un mayor aumento en las propiedades del papel, todo esto con el fin de que este aditivo permita mantener en el papel las mismas propiedades de resistencia de calidad, aun cuando se disminuya la cantidad de fibra empleada, con lo cual se está generando una alternativa de ahorro para la industria papelera.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el siguiente capítulo se presenta detalladamente el problema en estudio explicándose su propósito, su situación actual, situación deseada, así como también, el objetivo general y los objetivos específicos. Igualmente se presentan la justificación de la investigación.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

La presente se desarrolla en una empresa manufacturera de papel localizada en la ciudad de Maracay, estado Aragua. Ésta empresa se desarrollada en el área de producción y conversión de papel para uso industrial, comercial, doméstico, escolar y de oficina.

Esta empresa trabaja de manera continua mediante tres maquinas papeleras y una planta de procesamiento de fibras secundarias lo que hace posible la elaboración de una gran diversidad de productos en forma de bobinas, las cuales posteriormente son destinados a las plantas de conversión tanto de papeles de impresión, escritura como de embalaje.

La producción o elaboración de los papeles de resistencia (MF-Kraft) se realiza en una de las maquinas, la cual elabora a su vez una variedad de productos como cartoncillos, cartulina, vasos cónicos y papel bond. La fabricación de estos productos está definido por una serie de etapas, las cuales son: desfibrado, refinación, depuración, formación, prensado, secado y bobinado respectivamente (figura 1.1)

En la zona o etapa de desfibrado, la pulpa es sometida a la acción mecánica en los denominados pulper, los cuales toman la pulpa seca y la transforman en una suspensión acuosa o pasta, mediante la adición de aditivos y fibras (dependen del



papel a elaborar). Posteriormente esta pasta es enviada a la zona de refinación, en la cual mediante la fricción originada al hacer pasar la pasta por medio de una serie de elementos mecánicos en movimiento, se produce un cambio en la estructura física de la pasta, lo cual origina posteriormente una mejor formación de la hoja. Luego de la zona de refinación la pasta pasa a la etapa de depuración, una vez allí es limpiada, al hacerla pasar por estructuras cilindro-cónicas, denominadas limpiadores, y las cuales mediante la acción hidráulica remueven las partículas o impurezas de la pasta; ésta última, una vez libre de impurezas pasa a la zona de formación, en donde es pasada a una malla o mesa formadora en la se proporciona forma física a la hoja y en la cual las fibras se entrelazan y el agua que poseía esta pasta es drenada; al pasar a la etapa de prensado el flujo de pasta es pasada a través de unas prensas en las cuales mediante la presión ejercida a la hoja de papel se elimina el exceso de agua.

Posteriormente esta hoja es pasada a la etapa de secado que consta de una serie de cilindros de superficies pulidas, que internamente presenta un sistema de calentamiento por medio de vapor de agua; y los cuales a través de un intercambio térmico evaporan el agua residual contenida en el papel. Finalmente este papel pasa a la zona de bobinado, en la cual las bobinas producidas son cortadas en rollos.

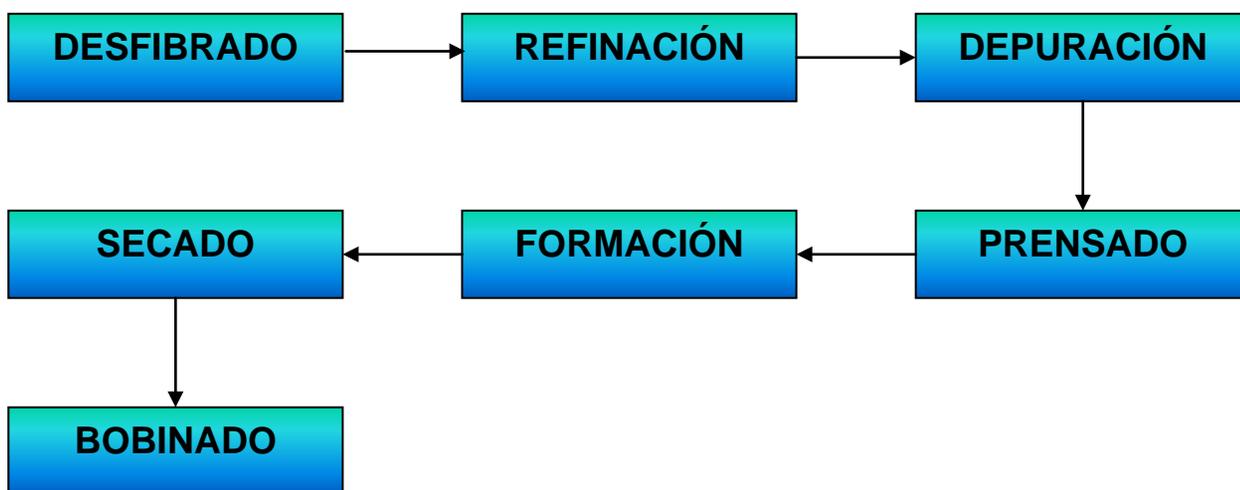


Figura 1.1. Diagrama de bloques del proceso de fabricación de papel.



En la actualidad debido a la incursión en el mercado de una gran cantidad de industrias manufactureras de papel; es necesario poseer precios competitivos. En consecuencia la empresa, se ve en la necesidad de evaluar la incorporación de un polímero como materia prima en la etapa de desfibrado, y determinar la dosificación o formulación de este que permita disminuir el peso base (la cantidad de pulpa) del papel sin afectar sus propiedades físicas o mecánicas.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

En la actualidad en las industrias papeleras o manufactureras de papel se invierten cantidades significativas de dinero debido al consumo de pulpa bien sea virgen o procesada, para mantener las características físicas y mecánicas del papel Kraft, más específicamente la resistencia en seco de este. Este consumo genera unos mayores costos de producción, y por lo tanto menores ganancias y competitividad con respecto a los precios en el mercado.

Es debido a esta situación que se plantea la posibilidad de evaluar la selección de un polímero que optimice la resistencia en seco del papel, para posteriormente evaluar las dosis óptimas de dicho polímero que permita disminuir la base del papel sin afectar sus características físicas.

1.2.1 Situación actual.

Para la producción de papel la principal materia prima utilizada por las empresas manufactureras es la pulpa; y es esta, la cual determina el peso base del papel Kraft y sus características físicas; sin embargo esta materia prima es la que representa el mayor costo, lo cual limita la posibilidad de disminuir el precio final del producto.

1.2.2 Situación deseada

Las empresas manufactureras requieren un estudio que permita disminuir los costos de producción mediante la integración de un polímero orgánico a la línea de papel Kraft,



que permita reducir la cantidad de pulpa requerida sin afectar las propiedades físicas del papel.

Para ello se contará con una serie de polímeros, y a nivel de laboratorio, se determinará cual es el más adecuado para el proceso de producción de dicho papel, y establecer la cantidad mínima requerida del polímero que permita mantener las especificaciones técnicas del producto.

Sin embargo fue posible desarrollar los resultados una vez debido a la disponibilidad de la máquina de fabricar el tipo de papel requerido, además con el fin de establecer una tendencia para el peso base se utilizaron únicamente tres valores.

Por otra parte se trabajó exclusivamente con los aditivos disponibles en la empresa, debido a limitaciones en el presupuesto para la presente investigación.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 Objetivo general

Evaluar las diferentes resistencias del papel Kraft elaborado mediante la utilización de polímeros orgánicos que permitan reducir la base de la producción.

1.3.2 Objetivos específicos

1.3.2.1 Identificar los diferentes polímeros a efectos que mejoren la resistencia del papel en seco.

1.3.2.2 Seleccionar el polímero que mejore en mayor proporción la resistencia en seco del papel Kraft, a fin de ofrecer el polímero óptimo para el proceso.

1.3.2.3 Caracterizar el polímero a utilizar con el fin de verificar que sea el adecuado para el proceso.



- 1.3.2.4 Establecer las dosificaciones de adición del polímero seleccionado con el fin de establecer la cantidad mínima requerida de dicho polímero sin afectar las características físicas del papel Kraft.
- 1.3.2.5 Analizar las propiedades mecánicas del papel Kraft a nivel de laboratorio para determinar el peso base óptimo que garantice las resistencias estándares del papel Kraft.

1.4 JUSTIFICACIÓN.

La presente investigación generará un beneficio para la empresa manufacturas de papel, ya que permitirá la obtención de mejoras en la formulación de la base del papel a partir de un polímero, y presentará una alternativa de igual calidad, lo cual logrará que la empresa sea más competitiva en el mercado tanto nacional como internacional.

Además la presente investigación ofrece un aporte metodológico ya que establecerá una estrategia de selección y dosificación de polímeros para la elaboración de papeles de resistencia MF-Kraft.

Desde el punto de vista teórico es de gran importancia para la escuela de ingeniería química de la Universidad de Carabobo ya que permite crear un respaldo a nivel investigativo tanto en el área de los polímeros como de resistencias de materiales, así como también permitirá profundizar en el campo de la producción de papel; lo cual representará referencias para próximos estudios, y dejando una base para su posterior continuidad.

Finalmente la presente investigación ofrece la oportunidad de enriquecer, fortalecer y permitir la aplicación de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria especialmente en el área de ingeniería de materiales, procesos y polímeros.



CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

En el presente capítulo se describen los aspectos teóricos y principios básicos que sustentan la investigación referente a la pulpa papelera y propiedades del papel que se desarrollará en este Trabajo Especial de Grado. Igualmente se describen algunas investigaciones realizadas que se relacionan con la resolución del problema en esta investigación.

2.1 Antecedentes

Ashrat S., et al. (2007). **Application of polypyrrole (pp) to flexible substrates.** (Aplicación del polypyrrole en los substratos flexibles) Journal of applied polymers science, No 6.

El objetivo de este trabajo de investigación fue identificar la influencia de los polímeros conductores, en especial el PP, para el papel utilizado en empaçados, mediante la aplicación de dicho polímero a la pulpa. Para la realización de dicha investigación, de manera experimental lo primero fue la deposición del PP en una solución líquida y posteriormente dicha solución fue agregada a la materia prima, haciendo pasar la mezcla por diferentes procesos, como la adición de hipoclorito; finalmente el papel producido fue examinado microscópicamente encontrándose una mayor uniformidad en las fibras.

En base a esto se concluyó que la aplicación del polímero especificado en la pulpa utilizada para la fabricación del papel, en soluciones de bajas concentraciones, producen un papel que mantienen sus propiedades microscópicas constantes e inclusive las mejora. Por lo cual presenta un avance para el desarrollo de fibras de papel, lo cual presenta una mejora en los productos terminados así como también una disminución de costos para la fabricación de esta.



Este antecedente presenta similitud con la investigación que se desea llevar a cabo, en la metodología para la realización de algunas pruebas que permitan evaluar la resistencia del papel, además de que mediante la utilización directa de un polímero para modificar dicha propiedad. La diferencia básica es que en el presente trabajo solo se utiliza un polímero y no una selección del más adecuado para incorporar en la elaboración del papel de resistencia Kraft.

Zahorí, A., et al. (2006). **Enhancing dry-strength properties of kenaf (*Hibiscus cannabius*) paper through chitosan.** (Realzar las propiedades de resistencia en seco del papel del kenaf (*Hibiscus cannabius*) con chitosan). Polymer-plastics technology and engineering, No 1.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general la utilización del chitosan (amino polisacárido lineal) para aumentar las propiedades mecánicas, es decir, la resistencia en seco del papel; mediante la incorporación de este por diferentes métodos, como la adición directa, la aplicación en aerosol y la adsorción. Para la aplicación el chitosan fue disuelto en ácido acético, y luego fue incorporado de tres maneras diferentes; la aplicación directa se utilizó una deposición mediante grupos carboxilos en un pH entre 4 y 4.5; para el segundo método se utilizó la incorporación de grupos aminos bajo condiciones básicas; y finalmente para el tercer método se utilizó la aplicación en aerosol de diferentes dosificaciones de la solución de chitosan.

Entre las principales conclusiones se encuentran que el chitosan fue efectivo para aumentar la resistencia en seco del papel cuando se incorporó en condiciones ácidas, mediante estas condiciones la resistencia aumentó de una manera visible, y no fue necesaria la aplicación de ningún otro tratamiento adicional.

Dicho trabajo presentó cierta importancia debido a que no solo se presentan los efectos de la adición del polímero sino también los efectos de las condiciones de pH de la materia prima al momento de la incorporación del polímero y la influencia de esto en el producto final.



La similitud de este trabajo de investigación con el que se desea desarrollar es que en ambos se desea evaluar el aumento en la resistencia del papel mediante la adición en la pasta o pulpa de un polímero, así como también las diferentes dosificaciones de dicho polímero para obtener la cantidad óptima. La diferencia básica con la nueva investigación está en que no se evaluarán los diferentes métodos de adición o la influencia del pH de la pasta en las propiedades finales del producto.

Ates, S., et al. (2003). **Optimisation of wheat straw *Triticum* drum Kraft pulping.** (Optimización al reducir la pulpa de la paja del trigo *triticum* en el papel Kraft). Industrial crops and products, No 3.

El principal objetivo de este trabajo fue explicar los problemas causados por la materia prima y por los métodos usados para reducir la pulpa, utilizados en los molinos para producir la pulpa blanqueada de la paja del trigo mezclada con la de la caña, así como también las características que reducían la pulpa de la paja del trigo y los parámetros óptimos. Para esto se evaluaron las características de la pulpa de trigo mediante métodos estándares y el cual se realizó mediante el método de hipoclorito de sodio; de igual manera el pulpeo fue realizado en un digestor de laboratorio rotatorio y con calentamiento.

Se llegó a la conclusión de que el factor más importante para las características de la pulpa y las características de la resistencia de las hojas de papel es la alcalinidad de la pasta; además demostró que la capacidad de la producción del molino aumentaba.

Dicho trabajo presentó una importancia debido a que mediante métodos diferentes de pulpeo se obtuvieron diferentes valores de resistencia.

La principal similitud con el trabajo que se desarrolla radica en los métodos para la medición de las resistencias en seco del papel. Entre las principales diferencias se encuentran que el presente trabajo se analiza la influencia de la pulpa en el molino y los posibles problemas que podría generar cambios en la resistencia del papel, además de las posibles repercusiones ecológicas.



Paris, J., et al. (2007). **Flocculation of papermaking fines by poly(ethylene oxide) and various cofactors: Effects of PEO entanglement, salt and fines properties.**

(Floculación de los finos en la fabricación de papel por el poli óxido de etileno y otros cofactores: Efectos del enredo de PEO, sal y propiedades de los finos). *Colloids and surfaces*, No 1.

El principal objetivo del presente trabajo fue aumentar la floculación de los finos mediante el uso del Oxido de Polietileno y un cofactor, debido a que los finos tienen una influencia significativa en las características de la hoja. Para la verificación de dichos objetivos se realizaron pruebas en la maquina de papel de un laboratorio, para establecer el efecto del Oxido de Polietileno, se disolvió dicho polímero y se realizó una adición a la pulpa, dichas pruebas se realizaron disolviendo el polímero solo y en presencia de la sal o cofactor. Entre las principales conclusiones cabe destacar es necesario un cofactor para que el Oxido de Polietileno presentase un buen funcionamiento, en presencia de dicha sal y mediante la adición del Oxido de Polietileno aumentó la eficacia de la floculación de los finos y aumentó así la retención de estos, en consecuencia ocurre una mejora en las características del papel.

Esto presentó una importancia en la industria ya que permite evaluar los métodos de la adición de polímeros y la influencia que presentó esto en el producto final. Entre las principales similitudes se encuentran que en el trabajo a desarrollar ocurre igualmente una adición de polímeros para la mejora de las características del papel. Entre las principales diferencias se encuentran que el trabajo a desarrollar no solo se pretende mejorar las propiedades mecánicas del papel seco sino en consecuencia de esto reducir su base, para así disminuir costos de producción.

Mogollón, G., et al. (2002). **Potencial papelero de la fibra de sisal (*Agave sisalana*).** *Revista forestal venezolana*, No 46.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general estudiar las propiedades morfológicas y químicas de la fibra a manera de determinar las



condiciones de pulpeo más adecuadas para esta fibra mediante el proceso de soda-antraquinona así como también las propiedades físicas y mecánicas de dicha pulpa. El método utilizado para la realización de la investigación fue un estudio químico para la determinación de las condiciones de pulpeo mediante el proceso soda-antraquinona para el cual las condiciones de operación evaluadas más apropiadas para esta materia prima fueron el álcali activo, antraquinona; igualmente dicho estudio se realizó a 170°C como temperatura máxima de proceso. Se obtuvo entonces que el rendimiento del proceso de pulpeo químico (63%) fue superior al logrado en pulpas químicas de maderas (45-55%), lo que además indicó que las características morfológicas de la fibra de sisal indican que es una materia prima de fibras largas, y que aumenta el rendimiento del proceso de producción de una manera significativa.

Dicho trabajo fue de gran importancia debido a que representa una alternativa para mejorar las características del producto final sin la adición de agentes externos al proceso sino mediante la evaluación de pulpa obtenida de una materia prima diferente.

Las principales semejanzas del presente trabajo con el trabajo a desarrollar es la metodología para la realización de algunas pruebas que permitan evaluar la resistencia del papel. La diferencia básica es que en dicho trabajo se evalúa una mejora en las características del papel mediante la utilización de una materia prima diferente.

Bertaud, F., et al. (2006). **Fungal bio-treatment of spruce wood with *Trametes versicolor* for pitch control: Influence on extractive contents, pulping process parameters, paper quality and effluent toxicity.** (Bio-tratamiento fungicida de la madera *spruce* con tratamientos *versicolor* para el control de: Influencia en contenido extractivo, parámetros de proceso que reducen la pulpa, la calidad de papel y toxicidad del efluente). *Bioresour. Technol.*, No 2.

Los objetivos de la investigación fueron analizar los efectos del pre-tratamiento fungicida de las virutas de madera para reducir problemas en los componentes lipofílicos de virutas de madera, además la calidad de la pulpa y la toxicidad de los



efluentes. Esto se realizó utilizando la biotecnología para reducir la toxicidad de las aguas residuales durante la fabricación de papel lo cual indicó una capacidad más alta al quitar los compuestos no deseados en virutas industriales mediante la evaluación de las características toxicológicas de pulpas producidas y de aguas; el efecto más resaltante de este estudio fue que mediante la aplicación de dicho pre-tratamiento se redujo de una manera no significativa las características mecánicas del papel.

La similitud con el trabajo a desarrollar se manifiesta en la metodología para la realización de algunas pruebas que permitan evaluar la resistencia del papel). La diferencia básica es que en dicho trabajo se evalúa una mejora en la toxicidad de las aguas residuales, y el enfoque en las características mecánicas del papel no es de extrema relevancia.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. El papel:

El papel es una estructura obtenida en base a fibras vegetales de celulosa, las cuales se entrecruzan formando una hoja resistente y flexible.

Dependiendo del uso final que se le dará al papel, en su fabricación se utiliza una mezcla de los diferentes tipos de fibras, las que aportarán sus características específicas al producto final.

2.2.2. Tipos de papel:

Existen hoy en un día una gran variedad de productos a base de papel y de diferentes tipos, cada uno de ellos teniendo en consideración sus diferentes usos; es mediante esto que los diferentes tipos de papel se pueden clasificar en:

a) Papel prensa: Utilizado para la impresión de diarios y está fabricado mayoritariamente a base de papel recuperado o pasta mecánica. Puede ser blanco o



ligeramente coloreado y su gramaje habitual oscila entre 40 y 52 g/m², aunque puede llegar a 65 g/m². (Rodríguez, 1970)

b) Papel para impresión y escritura: Utilizado para revistas, libros, cuadernos, agendas, sobres, folletos, carteles, papeles de oficina, entre otros. Su composición varía desde el papel producido con pulpa mecánica hasta papeles de gran calidad fabricados con celulosa pura, con gramajes comprendidos entre los 50 y 90 g/m² en papeles para impresión y entre los 100 y los 320 g/m² en cartulinas y papeles de impresión de calidad superior. Dependiendo del uso a que esté destinado, puede ser estucado o no estucado. (MANPA, 1998)

El estucado es un proceso mediante el que se adicionan al papel (por una o por las dos caras) productos como caolín o carbonato cálcico, que permiten mejorar las características de impresión, haciendo el papel más brillante, más opaco y más uniforme. (Rodríguez, 1970)

c) Papel higiénico y sanitario: Fabricados a base de fibra virgen o papel recuperado o una mezcla de ambos, se utilizan en la higiene personal, en el ámbito doméstico y como material sanitario y de limpieza industrial como tisú, servilletas, manteles, papel higiénico, papel de cocina, entre otros. (MANPA, 1998)

d) Papel para envases y embalajes: Existen diferentes papeles para embalajes, siendo necesario realizar una clasificación entre:

- **Papeles para cartón ondulado:** El cartón ondulado está formado por una o varias hojas de papeles ondulados o papeles planos encoladas entre sí, los cuales son utilizados en las distintas capas de las cajas de cartón ondulado, se fabrican básicamente con papel recuperado, si bien pueden incorporar, en distinta proporción, pasta virgen. Básicamente se utiliza para embalajes de productos frágiles y cajas de embalaje en general. (MANPA, 1998)



▪ **Cartón compacto:** Este tipo de cartón se emplea para la realización de cajas y envases de mercancías. El cartón está formado por diversas hojas pegadas entre sí, con un grosor que puede alcanzar los 3 ó 4 mm. Se utiliza pulpa proveniente de recuperado, pudiendo utilizarse para la cubierta exterior pulpa Kraft.

▪ **Cartoncillo:** Empleado en la fabricación de estuches plegables o envases, es un material compacto hecho a base de pasta virgen y/o papel recuperado, con varias capas y normalmente acabado con recubrimiento de una capa de estuco. (Tipos de papel y sus usos, 2008. [[Documento en línea]])

▪ **Cartón gris:** se utiliza principalmente para cartonaje y encuadernación. Se fabrica a de papel recuperado (calidades ordinarias).

▪ **Papel Kraft:** El papel Kraft presenta unas cualidades específicas que le permite ser utilizado para la producción de sacos de gran capacidad y bolsas de papel. Éste tipo de papel se produce únicamente con pulpa Kraft con un compuesto vegetal proveniente de coníferas, y no contiene cargas por lo que la pasta presenta un alto grado de refinamiento. Las propiedades que presenta este papel son la tenacidad y la resistencia a la tracción, al alargamiento y a la rotura. (MANPA, 1998)

e) Papeles especiales: En la industria papelera, existe una amplísima gama de productos de alta tecnología, estos papeles son utilizados para diferentes usos específicos como la producción de sellos, de papeles de seguridad, papeles para la alimentación:

▪ **Papel de valores:** papel de seguridad que tiene la propiedad de ser resistente al plegado y al frotamiento superficial. Es un papel de alta calidad producido con pulpa arqueada y con pulpa de trapo, que suele tener un encolado superficial para mejorar calidad de la superficie.

Se emplea en papel de imprimir para títulos valores, seguros, bauches, billetes, etc. (Tipos de papel y sus usos, 2008. [Documento en línea])



- **Papel de estraza, papel de celulosa, papel parafinado:** se emplean en el sector alimentario como embalajes o como envoltorios. (Tipos de papel y sus usos, 2008. [Documento en línea])

- **Papel Biblia:** se fabrica con pulpa mecánica y el resultado es un papel con un gramaje mayor a los 50 g/m² con una resistencia importante al doblado y al rasgado. Se emplea para la impresión de Biblia, enciclopedias y diccionarios. (Libbi, 1968)

También existen otros papeles especiales como lo son: El papel impermeabilizado para embalaje de productos hortofrutícolas; el papel microrizado de gran extensibilidad; papel inter-leaving, el cual posee un excelente comportamiento frente a elevadas temperaturas para intercalar en usos industriales como el laminado en frío de acero; papel cushion para usos industriales como sustituto del poliuretano; papel metalizado directamente por alto vacío; papel autoadhesivo inhibidor del moho; papel acetato de celulosa transparente; entre otros. (Tipos de papel y sus usos, 2008. [Documento en línea])

2.2.3. Generalidades del papel:

Los primeros papeles se hicieron en China, alrededor del año 105, utilizando fibras de celulosa aportadas por cáñamo, restos de trapos y cortezas de arbustos. La fibra necesaria es siempre celulosa, aunque su fuente ha variado según la época y los países.

En cada especie vegetal, las fibras presentan características particulares que permiten identificar su origen y confieren propiedades específicas a los papeles que producen es por ello que distintos papeles, expuestos a circunstancias similares, reaccionan de manera diferente, ya que la variedad de sus comportamientos está determinada por su materia prima y método de fabricación.



2.2.4. Materias primas utilizadas:

Dependiendo del uso final que se le dará al papel, en su fabricación se utiliza una mezcla de los diferentes tipos de fibras, las que aportarán sus características específicas al producto final. Además de la fibra (principal componente del papel) también se utilizan otras materias primas, aditivos químicos, los cuales son agregados en función de las características del papel que se va a fabricar. El agua también es un elemento necesario e insustituible en la fabricación del papel.

2.2.4.1 Material Fibroso (Fibras)

El término fibra se emplea cuando se refiere a cualquier célula vegetal hallada en cualquier hoja de papel, independientemente de su designación exacta y su origen.

El material fibroso que se utiliza en la fabricación del papel se divide de la siguiente manera:

2.2.4.1.1. Tipos de fibras:

El material fibroso que se utiliza en la fabricación del papel se divide de la siguiente manera:

2.2.4.1.1.1. Fibras Vírgenes:

Se dividen en fibras madereras y fibras no madereras:

a) Fibras madereras:

Proviene de especies vegetales que desarrollan un tronco donde se acumulan preferentemente las mejores fibras. En función del tamaño de las fibras que proporcionan las diferentes especies se puede realizar una nueva clasificación:



- **Fibras cortas:** Corresponden a árboles de madera dura, como el eucalipto y algunas especies de frondosas (abedul, chopo, arce o haya), y su longitud está comprendida entre los 0,75 mm. y los 2 mm. de largo, conteniendo además un porcentaje más elevado de celulosa.
- **Fibras largas:** Proviene de árboles de madera blanda, fundamentalmente coníferas como el abeto y el pino, y su longitud está comprendida entre los 3 y 5 mm., resultando la pasta de papel más resistente. (Fibras de papel, 2008. Documento en línea)

b) Fibras no madereras

Son originarias de diferentes especies de arbustos. En los países industrializados se utilizan para producir papeles especiales, sin embargo, en otros países son la principal materia prima para la fabricación de papel. Estas fibras presentan un gran potencial de desarrollo para sustituir a las fibras madereras. (Fibras de papel, 2008. Documento en línea)

Las especies más utilizadas son:

- **Algodón:** Cuyas fibras tienen una longitud superior a los 12 mm y se utilizan en la fabricación de papeles finos de escritura.
- **Cáñamo:** Con fibras de longitud superior a los 5 mm, procedentes de cordeles viejos y otros desperdicios. Sirven como materia prima para la producción de papel de fumar.
- **Lino:** Sus fibras tienen una longitud entre 6 y 60 mm y se usan para fabricar papel moneda.
- **Paja de cereales:** Cuyas fibras se utilizan en la producción de envases para huevos, botes y tubos de papel. (Fibras de papel, 2008. Documento en línea)



2.2.4.1.1.2. Fibras recuperadas

Las fibras recuperadas o fibras secundarias se obtienen a partir de papel recuperado. Es decir, cualquier material fibroso que ha sufrido un proceso de manufacturado y es reciclado como materia prima para otro proceso de elaboración. La clasificación del papel recuperado se realiza según el tipo de pulpa empleada para la fabricación del papel original (mecánica, Kraft, química, etc.) y la cantidad de tinta u otros que tiene el papel usado. (MANPA, 1998).

A través del proceso de reciclado se pueden recuperar la mayoría de las fibras de celulosa que contiene el papel, sin embargo, este proceso no se puede repetir indefinidamente, pues las fibras recuperadas pierden resistencia, 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. Igualmente según el proceso de elaboración de la pulpa de celulosa, ésta se clasifica en mecánica o química, cada una de las cuales da origen a diferentes tipos de papel en cuanto a rigidez y blancura. (Fibras de papel, 2008. Documento en línea)

2.2.4.1.2. Composición química del material fibroso:

La composición química en general de las fibras celulósicas viene dada por: celulosa, hemicelulosa, lignina y extractivos

- **Celulosa:** La celulosa es el componente principal de las paredes celulares de las fibras de madera y otras plantas. Es insoluble en agua e insípida; además de ser un carbohidrato no reductor. Es una fibra vegetal, cuya longitud y espesor varía según el tipo de árbol o planta, las fibras de celulosa, son un constituyente esencial de los tejidos vegetales, cuya función es la de dar resistencia a los mismos. De igual manera, el contenido de celulosa varía según el tipo de árbol o planta que se considere. (Morrison, 1990)



Desde el punto de vista bioquímico, la celulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ con un valor mínimo de $n=200$, es un polímero natural, constituido por una larga cadena de carbohidratos polisacáridos. La estructura de la celulosa se forma por la unión de moléculas de β -glucosa a través de enlaces β -1,4-glucosídico. La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas asociadas de glucosa, haciéndolas muy resistentes e insolubles al agua. De esta manera, se originan fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales, dándoles así la necesaria rigidez. Tal y como se muestra en la figura 2.1:

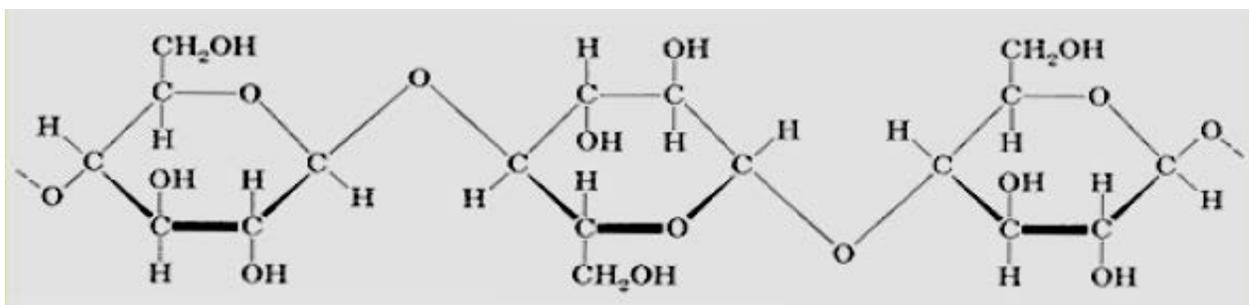


Figura 2.1. Estructura molecular de la celulosa. Fuente: La celulosa, 2008. [Documento en línea].

La unión en cadenas de “n” moléculas de β -glucosa, forman un polisacárido. Mientras mayor sea “n”, mayor será la longitud de la fibra de celulosa.

- **Hemicelulosa:** Está compuesta por polímeros de cinco distintos tipos de azúcares: glucosa, manosa, galactosa, xylosa y arabinosa. Las hemicelulosas son moléculas con estructura ramificada de cadena corta, se degradan y disuelven con facilidad, en comparación con la celulosa, por lo que su porcentaje es siempre menor en la pulpa que en la madera original. Las hemicelulosas tienen gran afinidad por el agua (hidrófilas), por lo tanto promueven la hidratación y facilitan la refinación. (Otero, 1982)
- **Lignina:** Es una sustancia amorfa, altamente polimerizada y su función principal es formar láminas medias en el exterior de las fibras, lo cual mantiene a las fibras unidas



entre si, actúa como agente cementante. La lignina es un material no celulósico por lo tanto no es apta para la fabricación de pulpa y su contenido es mayor en las coníferas que en las frondosas. (Otero, 1982)

- **Extractivos:** Los extractivos comprenden una cantidad de diversas sustancias que están presentes en las fibras, dependiendo de la naturaleza de la madera: ácidos grasos, ácidos resínicos, compuestos terpénicos y alcoholes. (Otero, 1982)

2.2.4.2. Materia prima no fibrosa (productos químicos)

Generalmente las fibras vegetales están provistas de un material hidrófilo, el cual al hidratarse actúa fortaleciendo las uniones, lo que permite la formación de la hoja, y proporcionalmente con la rigidez de estas uniones entre las fibras, así será la resistencia del papel; sin embargo, no siempre estos elementos naturales de enlace entre las fibras se encuentran en una posición óptima, es decir, se encuentran enmascarados en la fibra, bien sea por el grado de refino, porque no se logró una buena hidratación o por las impurezas existentes. (Rodríguez, 1970)

Todos estos defectos son evitados mediante la adición de productos químicos los cuales mejoran las propiedades del papel, o eliminan y controlan problemas de operación. Los químicos utilizados en la elaboración del papel se pueden clasificar en los siguientes grupos:

2.2.4.2.1. Químicos primarios o funcionales:

Son aquellos que se incluyen en la composición fibrosa y pasan a formar parte de los componentes del papel modificando. En la empresa, se utilizan los siguientes:

a) Almidón: El almidón que es un carbohidrato de forma empírica similar a la de la celulosa es capaz de gelatinizarse y comunicar buenas propiedades mecánicas al papel; es por ello que es generalmente utilizado para mejorar propiedades como: la resistencia a la tensión, el estallido y a la resistencia a los pliegues, se utiliza además



para mejorar la lisura, la rigidez y la resistencia a la abrasión superficial. (Rodríguez, 1970)

b) Complejo Resina-Alumbre: Controla la penetración de líquidos. La sustancia utilizada para encolar internamente el papel es la resma de colofonia que se obtiene de los árboles de coníferas Resma y Sulfato de Aluminio o Alumbre como precipitante. (MANPA, 1998).

2.2.4.2.2 Aditivos utilizados para el control y mejoras del proceso:

Estos aditivos se incorporan a la suspensión fibrosa y tienen como objetivo principal facilitar el proceso de fabricación del papel. Generalmente, se utilizan los siguientes:

a) Bactericidas: Evitan el desarrollo de microorganismos y la descomposición de las fibras y el almidón.

b) Matizantes: Colorantes químicos de color azul, rojo o violeta, que dan a la materia prima un matiz amarillento, dando tonalidades grisáceas o azuladas y resaltando el blanco.

c) Blanqueadores Ópticos: Colorantes incoloros que absorben la luz ultravioleta y reflejan la luz visible, haciendo que el papel se vea más blanco.

d) Antiespumantes: minimizan o eliminan la formación de espumas en la preparación de almidones.

e) Colorantes: sustancias empleadas para la coloración o teñido del papel, pueden ser solubles e insolubles. (MANPA, 1998)



2.2.4.2.3 Agentes de retención:

Son aquellos capaces de formar un floculo en el proceso de fabricación, neutralizando las cargas de tipo eléctrico de los componentes de la suspensión o bien actuando como puente químico entre partículas de una misma carga. Atendiendo a su naturaleza. (Rodríguez, 1970)

Los agentes de retención se pueden clasificar en cuatro grupos principales:

a) Compuestos inorgánicos: De los cuales los más importantes son, el sulfato de aluminio, el aluminato sódico y la sílice activada.

b) Compuestos orgánicos naturales: Siendo las colas animales, almidones y gomas vegetales los ejemplos más significativos.

c) Compuestos orgánicos naturales modificados: Que abarcan toda la gama de almidones, entre los que sobresalen los catiónicos. (Rodríguez, 1970)

d) Compuestos orgánicos sintéticos: Sin duda los que presentan una mayor gama de productos, que hacen que sean aplicables, con eficacia, en las más diversas condiciones de trabajo. Entre los más utilizados se encuentran:

- **Carboximetilcelulosa (CMC):** Aumenta la resistencia a la tracción y el estallido, así como también la estabilidad dimensional y el encolado.
- **Poliacrilaminas:** Mejoran las propiedades de resistencia en seco, retención de cargas y drenaje, lo que puede favorecer el aumento de producción en una máquina; en cambio, estas no aumentan la resistencia en húmedo.
- **Melamina:** Resultante de la reacción entre el amoníaco y la urea, es también muy utilizada y transfiere buenas propiedades mecánicas, tanto en seco como en húmedo.



- **Metilmelamina:** Que resulta de la melamina y formaldehído, presenta más afinidad por la fibra que la melamina, y comunica idénticas propiedades.
- **Polietilenimina:** Polímero de la etilenimina, se añade a la pasta después del refinado y permite proveer al papel buenas propiedades de resistencia al agua con bajo grado de encolado.
- **Resinas de Urea:** Mejoran en gran proporción el encolado del papel y en gran proporción llegan a hacerlo casi impermeable, este tipo de aditivos requiere de un período de maduración después de fabricado el papel.
- **Resinas poliamidas:** Son resinas solubles a base de poliamidas y epícloridrina, aumentan la resistencia en húmedo de igual manera que la melamina, pero con la ventaja de poder operar en medio ácido.
- **Soluciones de Viscosa Regenerada:** Añadidas al papel mejoran la resistencia al agua. No obstante, el uso de la viscosa presenta diferentes dificultades en su manipulación.
- **Poliaminas Anílicas:** Se emplean para mejorar el encolado. (Rodríguez, 1970)

2.2.5. Propiedades del papel

Las propiedades del papel se pueden agrupar en propiedades mecánicas o de resistencia y propiedades básicas.

2.2.5.1. Propiedades básicas del papel

Las propiedades básicas del papel, consideradas más significativas para fines de esta evaluación son:

- **Peso base o gramaje:** Es el peso en gramos de un metro cuadrado de papel. El peso base afecta a la mayoría de las propiedades físicas, ópticas y eléctricas del papel, por lo que es muy importante que sea uniforme para trabajar sin problemas tanto en los procesos de transformación como en el uso. Igualmente esta propiedad influye



directamente en el precio, debido a que el papel se puede vender por kilogramos o por número de hojas, por lo que la variación en su peso base, influye en el número de hojas que se pueden obtener de un kilogramo de papel. Se expresa en gramos por metro cuadrado (g/m^2) o en kilos por millar. (Rodríguez, 1970)

- **Calibre o espesor:** Es la distancia que separa las dos caras del papel perpendicularmente y se refiere al grueso del papel. El calibre influye en casi todas las propiedades físicas, ópticas y eléctricas del papel. Es importante mantener su uniformidad a lo ancho de la máquina de papel, tanto para la impresión, como para algunos otros usos.

El espesor del papel depende de su peso base, sin embargo, papeles del mismo gramaje pueden tener espesores diferentes ya que depende también de cuan compacta sea la hoja, es decir, de su densidad. Se acostumbra expresar en puntos, que son milésimas de pulgada o en milímetros. (Rodríguez, 1970)

Además el papel posee las siguientes propiedades físicas:

- **Densidad y bulk:** La densidad es el peso en gramos de un volumen de un centímetro cúbico de papel, se expresa en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3). El bulk es el recíproco de la densidad y representa el volumen que ocuparía un gramo de papel, se expresa en centímetros cúbicos por gramo (cm^3/g). (Rodríguez, 1970)
- **Formación:** Es la uniformidad con que están distribuidas las fibras y otras materias sólidas en la hoja de papel. En la práctica esto se refiere a la apariencia de la hoja al ser vista contra la luz. Se dice que un papel tiene mala formación cuando las fibras se encuentran distribuidas en forma poco uniforme y al ser observado al contraluz, le da al papel un aspecto moteado o de nubes. (Rodríguez, 1970)

La formación influye en el comportamiento del papel, debido a que de ella dependen, el calibre, la opacidad, las resistencias, la suavidad y la uniformidad de absorción. Una



formación mala, puede afectar las posibilidades del papel para ser recubierto y las características de impresión del papel. (Rodríguez, 1970)

- **Blancura:** La blancura es una característica óptica del papel y es fundamental en el resultado de la impresión multicolor. Se expresa en %. (Rodríguez, 1970)

- **Opacidad:** Es la cantidad de luz que pasa de un lado al otro del papel. Un papel perfectamente opaco, es aquel que impide absolutamente el paso de la luz a través de él. La opacidad es una propiedad influyente en los papeles para impresión, especialmente en gramajes bajos, por lo que generalmente forma parte de sus especificaciones. Se expresa en %. (Rodríguez, 1970)

- **Brillo impreso:** Se refiere al contraste entre el brillo de la impresión y el brillo del papel, este contraste se obtiene determinando el brillo del papel y el de la impresión. Esto sucede con los papeles cubiertos mates y semi mates. (Rodríguez, 1970)

- **Brillo:** Es la propiedad por la cual una superficie es capaz de reflejar la luz en forma semejante a como sucede en un espejo. El papel brillante es adecuado para llamar la atención en anuncios y revistas. En muchos impresos de calidad es muy apreciado un papel con brillo alto, como es el caso de los papeles cubiertos, debido a que estos papeles realzan la impresión. (Rodríguez, 1970)

- **Color:** El color lo define el proceso de fabricación, el sistema más utilizado para medirlo en el papel, es el "Hunter L,a,b" Este sistema ha tenido mucha aceptación debido a que es fácil de entender e interpretar. Se define por medio de tres valores que son:

L: Representa el valor de negro a blanco, es decir lo claro o lo oscuro de un color. Un blanco perfecto tiene un valor de 100 y un negro perfecto tiene un valor de cero en la escala.

a: Un valor positivo en la escala "a" indica lo rojo, un valor negativo en esa escala, lo



verde.

b: Un valor positivo en la escala “b”, indica lo amarillo, un valor negativo, lo azul. (Rodríguez, 1970)

- **Lisura:** La lisura es una propiedad que influye tanto en la apariencia como en la funcionalidad del papel. Esta propiedad se refiere a la estructura de las superficies

exteriores del papel. El papel más liso permite el contacto completo del papel con la película de tinta de la imagen, por lo que se logran impresiones más nítidas. (Rodríguez, 1970)

- **Direccionalidad:** El papel tiene dos direcciones o sentidos principales. Esto se debe a la orientación de las fibras que es mayor en el sentido en que corre la máquina de papel, a esta dirección se le llama sentido de fabricación o de la máquina, también se le conoce como hilo o grano del papel. La otra dirección, perpendicular a la primera, se denomina sentido transversal o contrahilo. (Rodríguez, 1970)

- **Humedad relativa:** La humedad absoluta es el peso total de agua contenida en un volumen determinado de aire, se acostumbra medir en kg/m^3 . Por lo tanto la humedad relativa es la relación entre la humedad existente en el aire a determinada temperatura y la humedad de saturación a la misma temperatura. Es importante que la humedad relativa del ambiente en que se trabaja esté en equilibrio con el contenido de humedad del papel para evitar problemas por falta de estabilidad dimensional. (Rodríguez, 1970)

- **Estabilidad dimensional:** Es la aptitud de un papel para conservar sus dimensiones y forma cuando varía su contenido de humedad, por ejemplo cuando está expuesto a cambios de humedad relativa del ambiente o cuando soporta esfuerzos físicos y mecánicos durante su impresión o transformación.

Como resultado de la expansión y contracción que sufre el papel al absorber o perder humedad, pueden cambiar sus dimensiones, su calibre, ondularse, enroscarse, enchinarse, arrugarse o desarrollar orillas onduladas o apretadas. (Rodríguez, 1970)



2.2.5.2. Propiedades mecánicas del papel

El papel muestra atributos mecánicos como son las resistencias que le permiten soportar los esfuerzos a los que se ve sometido durante su transformación y uso, también determinan su durabilidad. Las propiedades básicas de resistencia mecánica

del papel, consideradas más relevantes para fines de esta evaluación son:

- **Resistencia a la tensión:** La resistencia a la ruptura por la tracción del papel se define por la longitud de una banda del mismo que, suspendida por uno de sus extremos, se rompe por su propio peso; a la vez que la tensión, se mide el estiramiento que sufre el espécimen durante la prueba hasta el momento de la ruptura, esta propiedad se denomina elongación o alargamiento a la tracción. (Rodríguez, 1970)

La resistencia a la tensión determina el comportamiento del papel bajo tracción directa. Es una indicación de la durabilidad y potencial para el desempeño en el uso final de papeles que se emplean para impresión. En general, una tira de papel, fija en un extremo y sometida en el otro extremo a un esfuerzo de tracción, se rompe eventualmente; esta fuerza necesaria para provocar la ruptura se llama carga de ruptura y se expresa generalmente en Kg. (Rodríguez, 1970)

Sin embargo esta propiedad es susceptible a las variaciones de gramaje por lo se prefiere reportar la tensión como longitud de ruptura, que permite comparar la resistencia a la tensión de papeles con diferente peso base, esto mediante la ecuación 2.1, tal y como se muestra:

$$L = \frac{R \times 1000}{I \times f} \quad \text{Ec. 2.1 (Rodríguez, 1970)}$$

Donde:

L: Longitud de ruptura por tracción (m)



R: Carga de ruptura (g)

l: Ancho de la tira ensayada (mm)

f: Gramaje del papel (g/m^2)

Igualmente cuando la tira de papel es sometida a un esfuerzo de tracción y aun no se ha roto, dicha tira sufre un alargamiento de manera progresiva; al momento de producirse la ruptura, este alargamiento será máximo y se denomina alargamiento a la tracción. Y es determinado según se muestra a continuación en la ecuación 2.2:

$$A_R = \frac{A_E \times 1000}{E} \quad \text{Ec. 2.2} \quad (\text{Rodríguez, 1970})$$

Donde:

Ar: Alargamiento a la tracción (%)

Ae: Alargamiento a la tracción (mm)

E: longitud inicial de la tira ensayada (mm)

▪ **Resistencia a la explosión o Estallido:** Cuando un papel se somete a una presión uniformemente repartida sobre una parte circular de su superficie, de un diámetro determinado, llega un momento en que por efecto de la presión el papel revienta, esta presión expresada en (kg/cm^2), a la cual se produce la ruptura, es el valor del estallido del papel. Naturalmente esta resistencia es útil como indicador general de la resistencia o tenacidad del papel. (Rodríguez, 1970)

Principalmente esta propiedad se ve afectada por el gramaje del papel, es por ello que en lugar de emplearse el valor absoluto, se utiliza el llamado índice de estallido, el cual se expresa mediante la Ec. 2.3:

$$I_E = \frac{PR}{PB} \cdot 10000 \quad \text{Ec. 2.3} \quad (\text{Rodríguez, 1970})$$



Donde:

I_E : Índice de estallido (adim).

PR: Presión de reventamiento (g/cm^2)

PB: peso base (g/m^2)

- **Resistencia al rasgado:** Es el trabajo necesario que se debe realizar para rasgar una hoja de papel mediante a una fuerza repentina.

Esta propiedad es una de las más importantes en el caso de que se vaya a imprimir en prensa para bobinas.

Existen dos formas de medir la resistencia al rasgado, la más utilizada es la resistencia interna al rasgado, esta consiste en hacer un pequeño corte en el borde a la hoja de mano antes de la prueba, esto hace más vulnerable al papel al recibir un una fuerza repentina. (Rodríguez, 1970)

La otra es la resistencia al rasgado del borde, en la cual no se hace el corte y se aplica muy poco por lo que, generalmente, que se exprese la resistencia al rasgado, se entiende que es la resistencia interna al rasgado, a menos que se indique específicamente que es la del borde. Se determina en los dos sentidos del papel y los resultados suelen ser más altos en el sentido transversal. (Rodríguez, 1970)

Este valor generalmente se expresa en gramos, sin embargo esta resistencia no es independiente del gramaje del papel e igualmente es preferible expresarla como índice de desgarró, según la ecuación 2.4:

$$I_d = \frac{10^4 D}{M} \quad \text{Ec. 2.4 (Rodríguez, 1970)}$$

Donde:

I_d : Índice de desgarró, (adim).



D: Resistencia al desgarro (Newton x m)

M: Gramaje del papel (g/m^2)

▪ **Resistencia al doblez:** Se refiere al número de dobles pliegues que puede soportar una banda de papel, bajo tensión constante, antes de romperse. El aparato empleado

hacer pasar una banda de papel entre unos rodillos sometiéndola al movimiento. Esta propiedad está muy relacionada con la flexibilidad, un papel rígido resiste muchos menos dobleces que uno flexible, sin embargo, los dobles pliegues es extremadamente sensible a la humedad del papel.

Es muy importante en papeles para impresión offset (método de impresión, que consiste en aplicar una tinta, sobre una plancha metálica) en bobinas, que se someten a secado con calor y enseguida se doblan en la misma máquina para ello se debe mantener controlado el contenido de humedad para esta operación, ya que si se baja la humedad del límite adecuado, se vuelve quebradizo el papel. (Rodríguez, 1970)

Además el papel posee las siguientes propiedades mecánicas fundamentales:

▪ **Resistencia al levantamiento de la superficie del papel:** Es la resistencia que la superficie del papel opone a ser levantada o arrancada por una fuerza de tensión que tira de ella perpendicularmente, como la tinta al ser impreso.

La capa de tinta se divide en dos y da un tirón que ejerce una fuerza de tensión perpendicular sobre la superficie del papel; esta fuerza depende de la tinta, la velocidad de la prensa y el ángulo de separación, entre otros factores. (Rodríguez, 1970)

▪ **Rigidez:** Es la resistencia que opone un papel o cartón a flexionarse, cuando se le aplica una fuerza por una de sus caras; es decir, si una tira de papel la sometemos por sus dos extremos a sendas opuestas la tira se doblará tomando la forma de un semi círculo, en el caso de que el papel sea rígido e igualmente este volverá a su forma primitiva al cesar la fuerza. Es una propiedad extremadamente importante para muchos



usos del papel y del cartoncillo o el cartón, siendo conveniente que sea alta en papeles o cartoncillos para impresión. La rigidez es más alta en el sentido de fabricación. (Rodríguez, 1970)

- **Encolado:** El encolado es una característica que se le da al papel para retardar la penetración de los líquidos acuosos. Es importante en papeles para escritura e impresión. Los papeles encolados pueden tener distintos grados de encolado, desde bajo hasta fuerte. (Rodríguez, 1970)

2.2.5.3. Interrelación entre las propiedades del papel

Es conveniente tener en cuenta que cuando se desea aumentar una propiedad habrá otras que se deterioren y considerarlo para lograr un equilibrio que permita mejorar las propiedades que se desea pero sin pasar de un equilibrio que permita el buen funcionamiento del papel durante los procesos de transformación y en su uso final. (Tipos de papel y sus usos, 2008. [Documento en línea])

No existe una propiedad independiente en el papel. Por lo tanto, es imposible alterar una propiedad sin ocasionar un cambio simultáneamente en otras propiedades y este cambio puede ser favorable o desfavorable (tabla 2.1)

Tabla 2.1 Propiedades del papel y relación entre ellas.

Al aumentar	Disminuye	Aumenta
--------------------	------------------	----------------



Peso Base	-	Calibre y resistencias
Calibre	-	Rigidez, peso base
Calibre a igual peso base	Densidad	Bulk
Blancura	Opacidad	
Brillo	Calibre, Opacidad, porosidad	Densidad
Lisura	Calibre, Opacidad, porosidad y rigidez	Densidad
Resistencia al dobléz	Resistencia al rasgado	Resistencia a la tensión y a la explosión

2.2.5.4. Propiedades del papel evaluadas en la empresa manufacturera:

Comúnmente las características o propiedades en la empresa son las siguientes:

- Peso Base
- Humedad
- Encolado
- Lisura
- Blancura
- Opacidad
- Estallido
- Resistencia a la Tensión (Transversal y Longitudinal)

- Resistencia al Rasgado (Transversal y Longitudinal)
- Rigidez (Transversal y Longitudinal)



- Calibre-Espesor
- Permeabilidad

2.2.6 Variables que influyen en el proceso:

Las propiedades del papel, son el resultado de la interacción de un gran número de factores, los cuales deben ser ajustados a fin de obtener productos con las propiedades deseadas, algunos de estos factores son:

a) Tipo de fibra utilizada.

b) Proceso de obtención y blanqueamiento de la pasta celulósica: Existen tres grandes grupos de procesado de la madera para la separación de las fibras y la lignina, que se clasifican en función de la naturaleza de la separación; estos son:

- **Procesos mecánicos:** La acción separadora ocurre debido a la aplicación de fuerzas mecánicas para romper el material de lignina que les une. Requiere de un alto consumo de energía (hidráulica o eléctrica). Son pastas menos resistentes. Se utilizan para la fabricación de papeles de baja resistencia, la cual es un factor importante para la mayoría de las calidades. (Fibras de papel, 2008. Documento en línea)

En los procesos mecánicos las propiedades de la pasta dependen ampliamente de la madera empleada así como también la forma de llevar a cabo la molienda de la pasta.

- **Procesos semiquímicos:** Se utiliza una combinación de tratamientos mecánicos con la adición de ciertos reactivos químicos que aceleran y optimizan la separación. El tratamiento químico ocurre primero, esto con el fin de debilitar químicamente las uniones que mantienen juntas las fibras; posteriormente el material fibroso parcialmente convertido en pulpa se somete a un tratamiento en el cuál se separan las fibras



(desfibración) para obtener una pulpa y procesado de la misma, para adaptarla a la fabricación del papel. (Fibras de papel, 2008. Documento en línea)

- **Procesos químicos:** Están basados en tratamientos puramente químicos, adicionando a la madera reactivos químicos que producen por sí solos la separación de la lignina de la celulosa la separación de las fibras celulósicas, esto ocasiona que la separación ocurra con una degradación mínima de su estructura. Las fibras conservan casi todas sus características intrínsecas de resistencias y las pastas químicas son más resistentes. Normalmente son llevados a cabo a alta temperatura y presión (Fibras de papel, 2008. Documento en línea)

c) Materias primas no fibrosas.

d) Tratamiento mecánico dado a la fibra en la preparación de la pasta.

e) Proceso de formación de la hoja, prensado y secado.



CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO.

En éste capítulo se describen de manera sintetizada y secuencial los pasos a seguir para el desarrollo y cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos, así como también, los pasos que permitan evaluar las alternativas de polímeros propuestos.

En primer lugar, es importante establecer que la investigación es de tipo experimental, debido a que la materia prima empleada en la producción del papel (pasta) fue sometida a diferentes condiciones, mediante la adición de polímeros, para finalmente obtener una combinación de dicha formula que permitió, mantener las características físicas del producto final y garantice una disminución en la cantidad de pulpa. En lo referente a la profundidad de la investigación es de tipo descriptiva, ya que, se realizó una medición de los atributos del uso e incorporación de diferentes polímeros orgánicos en las fórmulas de peso base para la producción de papel Kraft, de tal manera que fue posible especificar sus propiedades así como las características más importantes de la reducción de la cantidad de pulpa empleada en la industria manufacturera de papel.

3.1. Identificar los diferentes polímeros que mejoren la resistencia del papel en seco.

3.1.1. Revisión de la bibliografía disponible.

Se investigó en diferentes manuales de operación, revistas científicas y en los textos consultados los grupos de polímeros que son mayormente empleados para añadir mejoras en las propiedades del papel. Tomando en cuenta que se trabajó exclusivamente con los aditivos disponibles en la empresa, debido a limitaciones en el presupuesto para la presente investigación.



Por otra parte se investigó referente a la interacción entre las diferentes características y propiedades de los polímeros, con la pasta o pulpa Kraft; debido a que propiedades, como por ejemplo la polaridad del polímero, tienen una incidencia directa sobre la interacción entre las fibras y por lo tanto sobre la formación y finalmente la resistencia final del papel. Igualmente se revisó la interacción entre las diferentes propiedades de l papel, ya que no todas ellas guardan una relación directa, al contrario, el aumento de cierta característica podría resultar en la disminución de otra. Mediante este análisis fue posible establecer un criterio mediante el cual se evaluaron los diferentes polímeros previamente empleados en diferentes áreas del proceso, pero con la finalidad de mejorar alguna otra propiedad del papel. Igualmente se evaluaron polímeros empleados en estudios anteriores.

3.1.2. Identificación de los diferentes polímeros a utilizar.

Para seleccionar los polímeros a incorporar en la preparación del papel Kraft natural se utilizó como herramienta metodológica una matriz de selección, la cual se desarrollo mediante el uso del software (SSD-AAP) “Sistema de soporte a la decisión”, y mediante el cual se facilito la evaluación y resolución de la matriz de selección. (Consejo superior de administración electrónica, 2008. [Documento en línea])

Para la realización de dicha matriz fue necesario establecer los criterios de evaluación, teniendo en consideración que la resistencia del papel en seco no fue evaluada directamente sino que se consideró mediante la resistencia al estallido, dobléz y resistencia al desgarró. Para ello se generó una serie de alternativas para dichos criterios tales como: Disponibilidad, polaridad, facilidad de preparación de sus soluciones, pH, capacidad de aumentar propiedades de mecánicas de resistencia en seco, capacidad de aumentar propiedades de resistencia en húmedo, propiedades como agente floculante, tiempo de vida útil. Estas alternativas de criterios fueron analizadas en función a un mejor desempeño en el proceso, con ayuda tanto del



personal como de los manuales de fabricación y así fueron eliminados de igual manera criterios debido a que estas propiedades estaban previstas a evaluar posteriormente con mayor detenimiento; debido a esto se calificaron como características fundamentales a evaluar:

- Polaridad.
- Preparación de la solución de polímero.
- Tiempo de Vida útil.
- Aumento de propiedades mecánicas.
- Disponibilidad.

Una vez establecidos dichos criterios se seleccionó la opción “árbol de criterios”, se activó en dicha opción la casilla “comprobación de suma de pesos” y se introdujeron los criterios de evaluación en la columna definida como “descripción de criterios”, y simultáneamente se les asignó a cada uno de estos criterios, un valor según la importancia de este en el objetivo a evaluar, tal y como se muestra en la tabla 3.1:

Tabla 3.1. Establecimiento de criterios para la preselección de los aditivos.

Criterio	Peso Absoluto
Polaridad.	15
Preparación de la solución de polímero.	15
Tiempo de Vida útil.	10
Aumento de propiedades mecánicas	40
Disponibilidad.	20

Luego de establecer el árbol de criterios se definieron las alternativas planteadas, las cuales se fijaron evaluando la capacidad de retención de compuestos orgánicos sintéticos, dichas alternativas fueron:



- Carboximetilcelulosa (CMC)
- Poliacrilaminas.
- Melamina.
- Polietilenimina.
- Resinas de Urea.
- Resinas poliamidas.
- Poliaminas Anilicas.

Estas alternativas se introdujeron en la columna “descripción”, para ello se seleccionó la opción edición, alternativa y finalmente mantenimiento de alternativas. Tal y como se muestra en la figura 3.1 y 3.2:

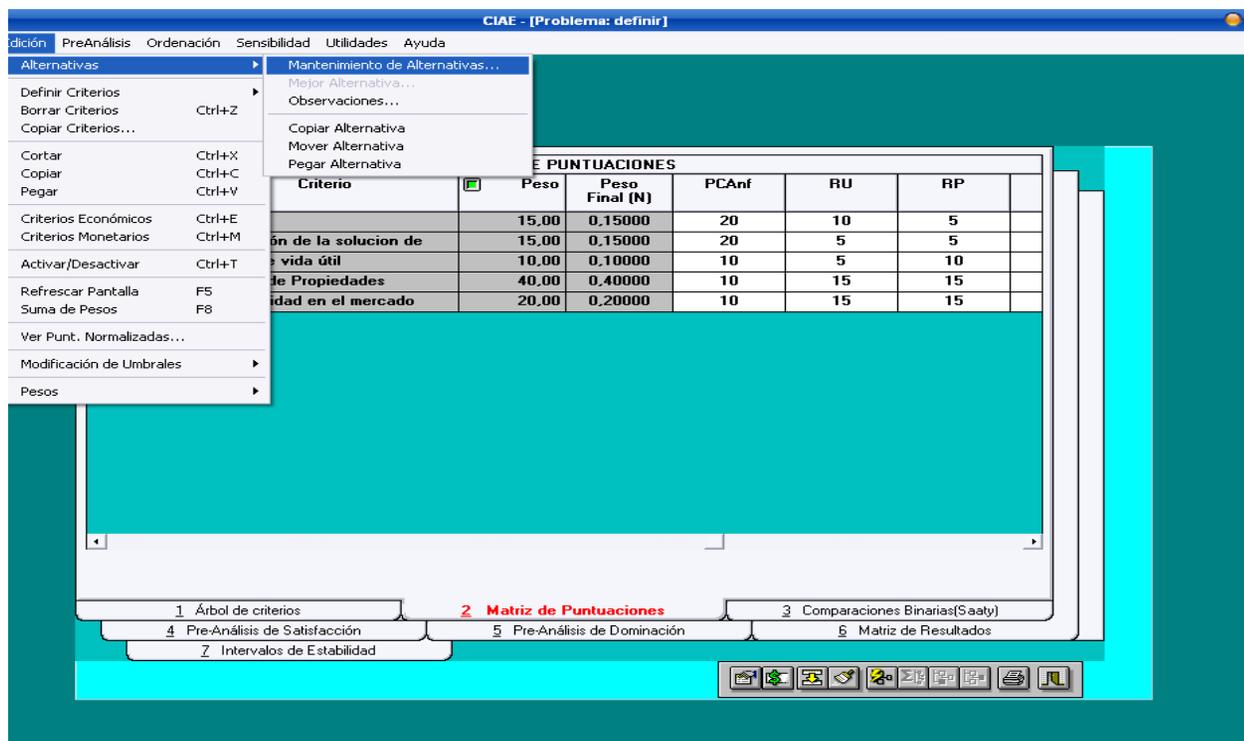


Figura 3.1. Ruta introducción de alternativas de preselección de polímeros. (Consejo superior de administración electrónica, 2008. [Documento en línea])

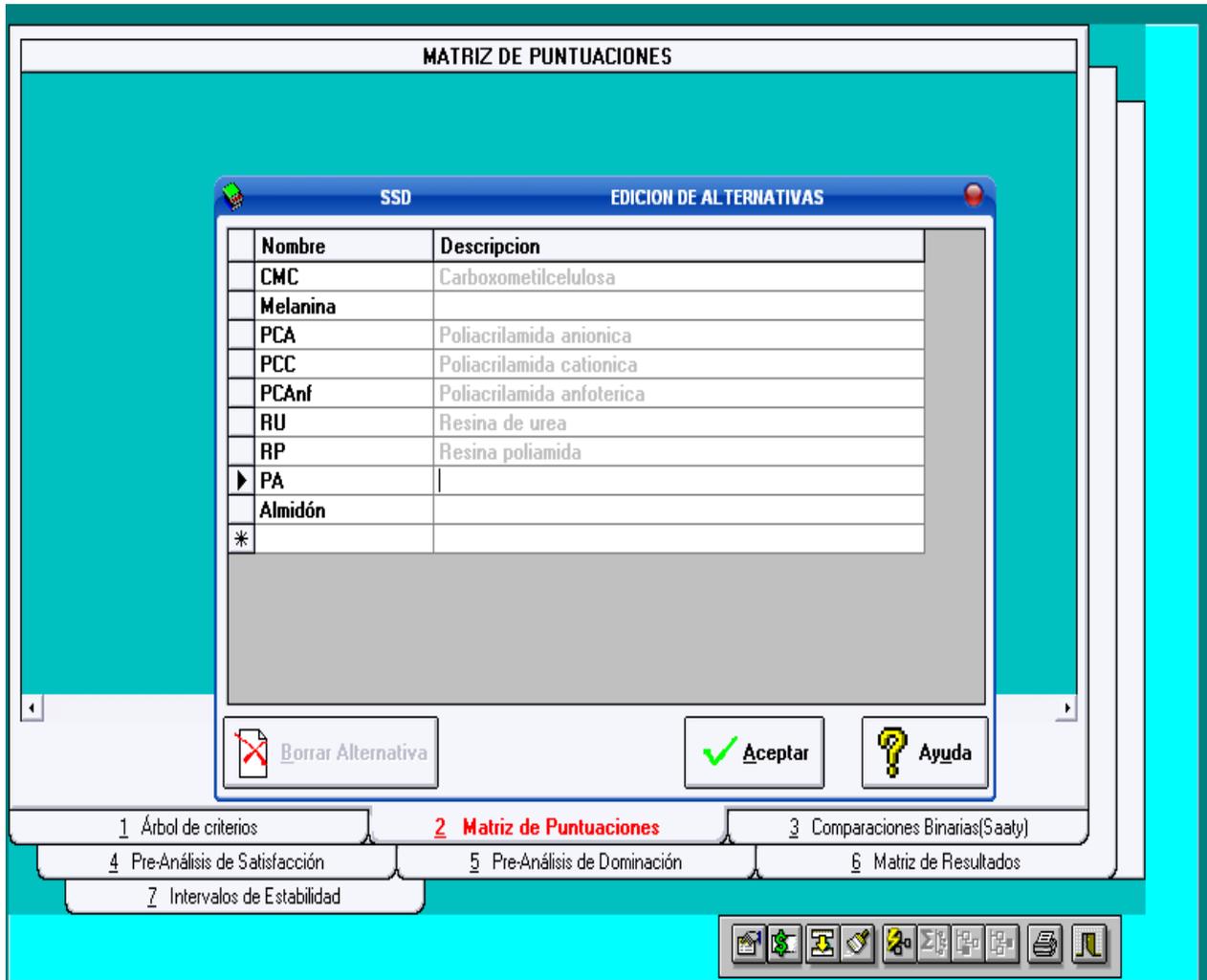


Figura 3.2. Introducción de la selección de alternativas de preselección de polímeros. (Consejo superior de administración electrónica, 2008. [Documento en línea])

Posteriormente se definió el peso en cada criterio para cada una de las alternativas, mediante la opción “matriz de puntuaciones” y se calificó cada alternativa según cada criterio de evaluación colocando valores de manera cuantitativa en la celda correspondiente. Dichos valores fueron establecidos en orden ascendente, en una escala del cero al 20, en la cual los valores menores eran referidos a un bajo comportamiento de la alternativa con respecto al criterio evaluado. (Tabla 3.2.)



Tabla 3.2. Ponderación de las alternativas de aditivos según los criterios de evaluación.

Alternativa	Ponderación				
	Polaridad	Preparación de la solución de polímero.	Tiempo de Vida útil.	Aumento de propiedades mecánicas.	Disponibilidad
Carboximetilcelulosa (CMC)	15	15	10	15	10
Melamina.	10	05	05	05	15
Resinas de Urea.	10	5	5	15	15
Poliaminas Anilicas	10	05	10	15	10
Poliacrilamidas cationicas.	20	20	10	10	15
Poliacrilamidas anfotéricas.	20	20	10	10	10
Polietilenimina.	10	05	10	10	15
Resinas poliamidas.	5	5	10	15	15

Una vez determinado el valor de cada criterio según las alternativas planteadas, el programa generó una matriz de resultados, en el cual, mediante el método de ponderación lineal el programa ordena las alternativas en orden ascendente, luego de normalizar las ponderaciones de cada alternativa propuesta. Una vez realizado esto el software arrojó la mejor alternativa representando de manera gráfica está, tal y como se observa en la figura 3.3:

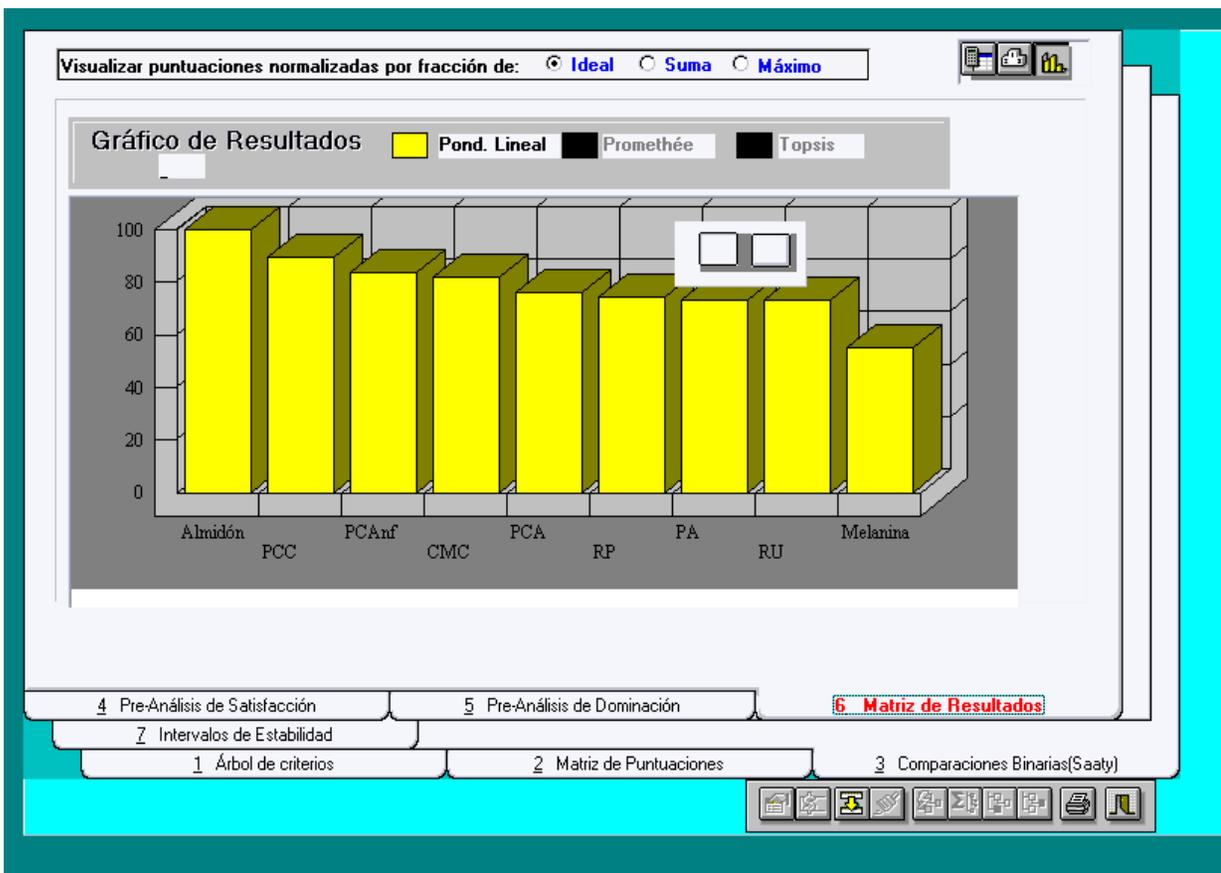


Figura 3.3. Modelo gráfico de la matriz de resultados de polímeros a utilizar. (Consejo superior de administración electrónica, 2008. [Documento en línea])

Finalmente se seleccionaron las 4 primeras opciones y se procedió a evaluar la disponibilidad de estos en la empresa.

3.1.3. Evaluación de la disponibilidad de los polímeros preseleccionados.

Una vez establecidos los polímeros a emplear en las pruebas, se verificó en las bases de datos la empresa, para obtener así él o polímeros (manufacturados) disponibles por dicha empresa pertenecientes a este grupo, así como también verificar la existencia de las cantidades necesarias para la realización de las pruebas y caracterización de los polímeros.



3.2. Seleccionar el polímero que mejore en mayor proporción la resistencia en seco del papel Kraft, a fin de ofrecer el polímero óptimo para el proceso

3.2.1. Planificación y diseño del experimento.

3.2.1.1. Identificación de las variables involucradas.

Se realizaron diferentes ensayos en el laboratorio central de la empresa, siguiendo una serie de procedimientos e instrucciones que permitieron medir algunas propiedades inherentes a cada variable, para posteriormente calcular su valor mediante correlaciones matemáticas.

Inicialmente se tomó una muestra de pasta para papel Kraft natural, a la salida de los refinadores de la máquina, debido a que en esta etapa ya la fibra ha sido sometida a todos los procesos mecánicos, los cuales prepararon dicha pasta para pasar al formador.

Para determinar la consistencia, fue necesario calcular la cantidad de fibra (gramos) que se encuentran contenida en 100 mL de pasta, para ello se colocaron 100 mL de pasta en el formador de hojas manual. (Figura 3.4).

El equipo se llenó hasta un cuarto de su capacidad e inmediatamente se añadieron en su interior 100 mL de pasta, se agitó la mezcla con ayuda del agitador del equipo para asegurar así la uniformidad de las fibras a lo largo de la malla formadora y garantizar mejores resultados al realizar los análisis posteriores.



Figura 3.4. Equipo Formador de hojas manual

Una vez que el agua alcanzó la marca indicada se drenó el líquido, y se retiró entonces la hoja colocando sobre ella un par de hojas secantes, una lamina circular de metal, se deslizando sobre ellas 3 veces el rodillo de 1 kg, con esto se retiró un poco la humedad de la hoja de mano y se facilitó que ella se adhiriera a las hojas secantes.

La hoja se colocó en la estufa (figura 3.5) a una temperatura de $(105 \pm 1) ^\circ\text{C}$ por aproximadamente 1 h, y se pesó en la balanza analítica (figura 3.6), determinando la cantidad de fibra en gramos.



Figura 3.5. Estufa



Figura 3.6. Balanza analítica



Esta cantidad, en peso, de fibra se sustituyó posteriormente en la siguiente correlación matemática:

$$C(\%) = \frac{P}{V} * 100 \quad (\text{TAPPI T205, 1998}) \quad \text{Ec 3.1}$$

Donde:

C = Consistencia de la pasta, (%).

P = Peso de la hoja seca, (g).

V = Volumen de la pasta, (mL).

3.2.1.2. Selección de la tecnología

Se evaluó la capacidad de los equipos de medición y se decidió trabajar dicho objetivo empleando hojas de 1.2 gramos según lo establece la normativa TAPPI (*Technical Association of the Pulp and Paper Industry*) T 205. Para los equipos empleados se trabajó con un formador de hojas manual, tal y como se observa en la figura 3.4 de la sección 3.2.1.1

Mientras que los análisis de resistencia se realizaron mediante las normas A.S.T.M. (*American Society for Testing and Materials*), TAPPI y Afnor (*Association Francaise de Normalisation*) referidas a el tipo de ensayo y a los equipos que permitieran la correcta aplicación de estos análisis. (Tabla 3.3)

El pesado de las probetas de papel al igual que para el pesado de las cantidades de polímeros necesarias para preparar la solución al 0.1 % de concentración de estos se utilizo una balanza digital la cual posee una apreciación de 0.001 g (Figura 3.6)



Tabla 3.3. Normas aplicadas a la realización de ensayos de resistencia al papel.

Ensayo	Número de normativa para su realización.		
	ASTM	TAPPI	Afnor
Determinación de la tensión	ASTM D 828-48	TAPPI 404-m-50	Q 03-004
Determinación del rasgado o desgarro	ASTM D 689-m-44	TAPPI 414-m-49	Q03-011
Dobles pliegues o resistencia al dobléz	ASTM D 643-43	TAPPI 423-m-50	Q 03-00
Determinación del estallido	ASTM D 774-476	TAPPI T 403-m-47	Q 03-00

Finalmente la determinación del calibre del papel se utilizó el equipo denominado micrómetro el cual evalúa la separación de sus partes y mediante esto determina el calibre del papel bien sea en mm o en pulg x 10⁻³.

Para la realización de los análisis de resistencia mecánica fue necesario segmentar las hojas de mano para generar las probetas con el tamaño adecuado para la realización de las pruebas, para esto se aplicó el procedimiento establecido en la normativa TAPPI T-205, utilizando para ello una cuchilla calibrada. (Figura 3.9)

La determinación de la tensión se realizó mediante el tensile tester digital, dicho instrumento aplica un esfuerzo de tracción a una tira de papel suspendida por un extremo, al momento de la ruptura el equipo indica la fuerza necesaria para romper el papel expresada en lb/pulg². La correcta aplicación de este método se encuentra descrita en las normas ASTM D 828-48, TAPPI 404-m-50 y Afnor Q 03-004



La descripción del método para realizar el ensayo de rasgado o desgarrado se encuentra en las normas ASTM D 689-m-44, TAPPI 414-m-49 y Afnor Q03-011. El fundamento es someter la probeta a la fuerza que mueve el péndulo al poner a este en posición de equilibrio inestable y dejarlo libre, así actúa como brazo de palanca y desgarrado, por la fuerza impresa en el movimiento pendular, la muestra que se encuentra en el otro extremo de la palanca. El equipo indica la longitud del desgarrado expresada en gramos.

El ensayo de dobles pliegues o resistencia al doblado se realiza haciendo pasar una banda de papel entre unos rodillos y sometiéndolo a movimientos constantes, un contador registra la cantidad de movimientos que debe realizar el equipo para romper la tira y se detiene al ocurrir la ruptura. La determinación de los dobles pliegues viene descrita en las normas ASTM D 643-43, TAPPI 423-m-50 y Afnor Q 03-00.

El método de determinación del estallido viene expuesto en las normas ASTM D 774-476, TAPPI T 403-m-47 y Afnor Q 03-00; y el equipo para su determinación consiste en una membrana de goma que, por efecto de una presión hidráulica que le comunica un motor, se va hinchando; sobre esta membrana se coloca el papel bien fijado hasta que llega un momento en el cual revienta. La aguja del manómetro marca esta presión que será la de reventamiento expresada en lb/pulg².

3.2.1.3. Diseño de los instrumentos de recolección de datos

Se estableció en primer lugar la evaluación de los polímeros tomando una dosificación estándar para cada uno de ellos, permaneciendo estable la cantidad de polímero a evaluar así como el tiempo de interacción entre el polímero y la pasta. Para la realización de los instrumentos utilizados para la evaluación de las propiedades fue necesario consultar la normativa TAPPI con el fin de establecer las características más importantes de la resistencia en seco, así como las unidades en las cuales estas debían ser expresadas.



Por otro lado se identificaron las unidades y características arrojadas por los instrumentos, en especial los de resistencia y calibre.

Se decidió, entonces, recolectar los valores de las propiedades mecánicas como resistencia al desgarro, estallido o tensión y resistencia al dobléz. Se recolectaron los valores del peso base para así referir, los valores obtenidos no solo a un valor absoluto si no a un índice, el cual establecerá una conexión entre hojas de mano realizadas con diferentes gramajes. Esto permitió la evaluación de la disminución de hasta obtener el índice especificado en las características de calidad del producto.

3.2.2. Adición de los polímeros.

Se prepararon las soluciones de los polímeros denominados polímero A y B pesando 0.1 g de cada polímeros en la balanza analítica (figura 3.6); luego se colocaron estos 0.1 g en balones aforados de 100 mL de capacidad, y se prepararon las soluciones utilizando agua de proceso.

Para la preparación del polímero identificado como C, se pesó igualmente 0.1 g en la balanza analítica y se colocaron en un beaker de 500 mL, se agregaron con ayuda de un cilindro graduado de 100 mL de capacidad, 100 mL de agua de proceso y se colocó en un agitador mecánico durante aproximadamente 30 min.

Para la preparación de la solución de almidón se pesaron 20 g de la muestra de almidón y se colocaron en el beaker de 600 mL. Se agregaron 480 ml de agua de proceso y se colocó un agitador mecánico y un termómetro dentro de la solución; está se llevó a una plancha eléctrica. Se encendió la plancha y se ajustó la temperatura llevó la temperatura hasta que alcanzó los 93 °C y se mantuvo en ese valor por aproximadamente 20 min. Posteriormente se dejó enfriar la muestra hasta que alcanzó los 60 °C y se mantuvo en este valor por aproximadamente 10 min.



Se realizaron 5 hojas de mano sin la adición de ningún tipo de polímero. Luego se tomó cada muestra de pasta medida con el cilindro graduado de 100 mL de capacidad y se le añadió una dosificación estándar de polímero, que se estableció como la dosificación generalmente empleada para los agentes de retención registrado en los manuales de fabricación (MANPA, 1998), dicha dosificación se estableció como 3 g/Kg de una solución al 0.1 % de concentración, medidos en un cilindro graduado de 10 mL de apreciación; los cuales se incorporaron a la formulación de la pasta.

Se agitó esta mezcla por aproximadamente un minuto con ayuda de un agitador mecánico y se agregó en el equipo formador para realizar las hojas de mano, tal y como se indico en la sección 3.2.1.1. Una vez retiradas las hojas de mano o probetas se eliminó la humedad remanente colocándolas en un equipo que mediante un aumento de presión elimina gran parte de la humedad remanente (figura 3.7)



Figura 3.7. Equipo eliminador de exceso de humedad.

Se colocaron las hojas sobre láminas de metal y aros de secado, por aproximadamente 24 h, aproximadamente, para así de manera natural y a la temperatura ambiente eliminar el exceso de humedad para así permitir una mejor formación de la hoja.



3.2.3. Determinación de la resistencia del papel.

Se procedió a realizar diferentes ensayos en el laboratorio de la empresa, siguiendo una serie de procedimientos e instrucciones que permitió medir algunas propiedades inherentes a la resistencia del papel.

3.2.3.1 Determinación del peso base

Se utilizó la balanza analítica (figura 3.6), para el pesado de las hojas de mano, y así luego se dividió este peso entre el área de las hojas de mano para de esta manera obtener el gramaje. Se determinó el área de las hojas de mano midiendo el diámetro de las mismas y luego reemplazando en la siguiente expresión matemática:

$$Ah = \frac{\pi * D^2}{4} * Fc1 \quad \text{Ec 3.2}$$

Donde:

Ah: Área de la hoja de mano (m²)

D: Diámetro de las hojas de mano (cm)

Fc1: Factor de conversión 1 (0.0001 m²/cm²)

Se determinó el peso base dividiendo el peso total de las hojas de mano entre el área correspondiente a las 5 hojas de mano, tal y como se muestra a continuación:

$$PB = \frac{Ph}{5 * Ah} \quad (\text{TAPPI T205, 1998}) \quad \text{Ec 3.3}$$

Donde:

PB = Peso Base, (g/m²).

Ph= Peso total de las hojas, (g).



3.2.3.2 Determinación del calibre del papel

Se colocó la hoja de mano las probetas en el micrómetro (figura 3.8). El equipo arrojó automáticamente el espesor de las hojas de manera digital en milésimas de pulgada.



Figura 3.8 Micrómetro digital

Esto se realizó en diferentes partes de la hoja, para luego promediar los valores de calibre según la relación matemática:

$$Cal = \frac{\sum_{i=1}^n Cal_i}{n} \quad \text{Ec 3.4}$$

Donde:

Cal = Calibre del papel, (pulg x 10^{-3}).

Cal_i = Calibre en diferentes lugares de la hoja, (pulg x 10^{-3}).

n = Número mediciones realizadas, (adim).



3.2.3.3 Segmentación de las hojas de mano

Se utilizó el procedimiento especificado en la norma TAPPI T 205 para dividir las muestras.

Se contó para esto con una cuchilla calibrada (figura 3.9), en la cual se colocaron las probetas, y se procedió a cortar estas según lo establecido en la normativa para así obtener la cantidad de muestras requeridas y de dimensión necesaria para la realización de los ensayos destructivos (desgarre, estallido, dobles pliegue y tensión)

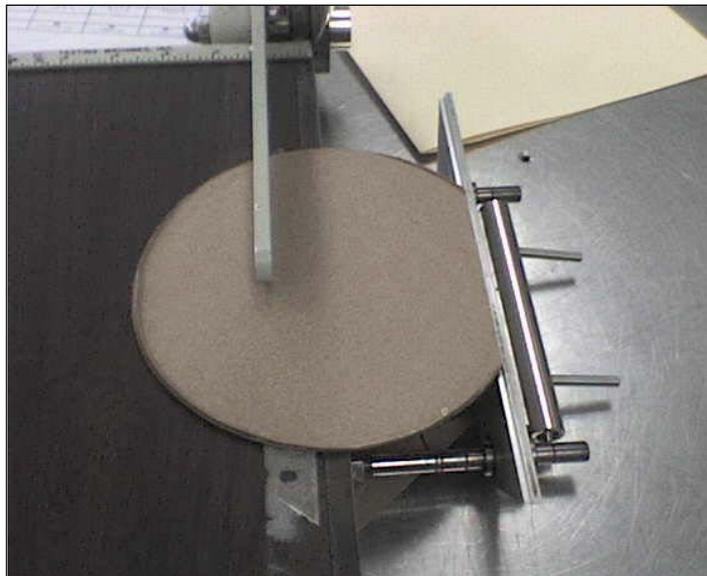


Figura 3.9. Cuchilla calibrada.

Se eliminó el sobrante colocando la cuchilla calibrada en la posición 2, para la obtención de las muestras necesarias para la resistencia al desgarro se colocó la cuchilla calibrada en la última posición. Luego se llevó la cuchilla a la posición número 2 nuevamente.

Se realizaron dos cortes simultáneos obteniéndose así las muestras requeridas para los ensayos de dobles pliegues y resistencia a la tensión.



3.2.3.4 Determinación de la longitud de ruptura por tracción

Siguiendo el procedimiento establecido en la normativa TAPPI 404-m-50 y una vez cortadas las tiras de papel se introdujeron en grupos de 10 en el sujetador superior del equipo (figura 3.10)



Figura 3.10. Equipo para la determinación de la resistencia a la tensión.

Luego de colocadas las muestras se colocó una de las tiras en el sujetador inferior y se cerró este, una vez sujeta la tira se encendió el equipo, el cual aplicó un esfuerzo de tracción a la probeta, al romperse esta última el equipo arrojó automáticamente el valor correspondiente a la presión de ruptura en lb/pulg². Se colocaron el resto de las probetas y se realizó el procedimiento anterior para cada una de ellas.

Los valores de resistencia a la ruptura o tensión expresados en unidades de fuerza, fueron promediados, según la relación 3.5:

$$R_R = \frac{\sum_{i=1}^n R_{Ri}}{n} \quad \text{Ec 3.5}$$



Donde:

R_R = Resistencia a la ruptura o tensión (lb/pulg²)

R_i = Resistencia a la ruptura de cada muestra, (g).

n = Número mediciones realizadas, (adim).

Posteriormente dicho valor de resistencia fue multiplicado por un factor correspondiente al equipo, mediante el cual la resistencia de ruptura pudo ser llevada a unidades de Carga de ruptura (unidades de masa) tal y como se indica en la siguiente correlación matemática:

$$R = R_R * F_{E1} \quad \text{Ec. 3.6}$$

Donde:

R = Carga de ruptura (lb)

F_{E1} = Factor establecido por el equipo (0.0003 pulg²)

Finalmente dicha carga es sustituida en la siguiente correlación matemática, para así obtener la longitud de ruptura por tracción:

$$L = \frac{R * 1000}{I * PB} * fc2 \quad (\text{Rodríguez, 1970}) \quad \text{Ec. 3.7}$$

Donde:

L = Longitud de ruptura por tracción (m)

I = Ancho de la tira ensayada (mm)

PB = Gramaje o peso base del papel (g/m²)

$Fc2$ = Factor de conversión 2 (453,59 g/lb)



3.2.3.5 Determinación del índice desgarró

Para determinar la resistencia al desgarró, se utilizó el procedimiento especificado en la norma (tabla 3.3); con ayuda del equipo indicado en la figura 3.11. En este se colocó la muestra verificando que coincidiera aproximadamente en el medio de la ranura del equipo y se liberó la guillotina, se aseguró está en su soporte una vez que se rompió la probeta y finalmente se registró el valor de la resistencia al desgarró indicado en el equipo.



Figura 3.11. Equipo para la determinación de la resistencia al rasgado.

Se obtuvieron 3 valores de resistencia al desgarró expresados gramos, los cuales fueron promediados mediante la siguiente correlación matemática para obtener la resistencia al desgarró.

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad \text{Ec 3.8}$$



Donde:

D = Resistencia al desgarro, (g).

D_i = Resistencia al desgarro de cada muestra, (g).

n = Número mediciones realizadas, (adim).

Posteriormente dicha resistencia es sustituida en la siguiente correlación matemática:

$$I_D = \frac{D * 100}{PB} \quad (\text{Rodríguez, 1970}) \quad \text{Ec. 3.9}$$

Donde:

I_D = Índice de desgarro, (adim).

D = Resistencia al desgarro (g)

PB = Gramaje o peso base del papel (g/m^2)

3.2.3.5 Determinación del número de dobles pliegues

Para determinar el número de dobles pliegues, se utilizó el procedimiento especificado en la norma TAPPI (tabla 3.3).

Para ello se contó con el equipo indicado en la figura 3.12; en el cual un extremo de la probeta se colocó en los rodillos fijos, mientras que el otro extremo se colocó en las partes móviles.

Se llevó el contador a cero, y se activó la máquina, la cual sometió a un movimiento continuo la tira de papel; y una vez rota está se detuvo registrándose el número de dobles pliegues o dobles.



Figura 3.12. Equipo para la determinación de la resistencia al doblar.

3.2.3.5 Determinación del índice de estallido

Se utilizó el procedimiento especificado en la norma TAPPI T 403-m-47. Se colocó la muestra sobre el diafragma del equipo (figura 3.13) y se aseguró roscando el soporte del equipo. Una vez fija la muestra se suministró presión hasta que ocurrió la ruptura de la muestra e inmediatamente se liberó la presión. Se registró el valor indicado en manómetro del equipo, correspondiente a la presión de estallido expresada en lb/pulg^2 .



Figura 3.13. Equipo para la determinación de la resistencia al estallido.



El análisis se realizó 2 veces a cada muestra y se obtuvieron así 10 valores de presiones de reventamiento expresados en lb/pulg², dichos valores fueron promediados para así obtener la presión de reventamiento.

$$PR = \frac{\sum_{i=1}^n PR_i}{n} \quad \text{Ec 3.10}$$

Donde:

PR = Resistencia al estallido, (lb/pulg²).

PR_i = Resistencia al estallido de cada muestra, (lb/pulg²).

n = Número mediciones realizadas, (adim).

Posteriormente esta resistencia al estallido es sustituida en la siguiente correlación matemática:

$$I_E = \frac{PR}{PB} * fc3 \quad (\text{Rodríguez, 1970}) \quad \text{Ec. 3.11}$$

Donde:

I_E = Índice de estallido (adim).

PR = Presión de reventamiento (lb/pulg²)

PB = Gramaje o peso base del papel (g/m²)

$Fc3$ = Factor de conversión 2 (703069,57 g*pulg²/lb*m²)

3.2.4. Análisis de las diferentes alternativas de polímeros evaluados

Para seleccionar el polímero que interactuó de mejor manera para aumentar la resistencia en seco del papel Kraft natural se utilizó como herramienta metodológica al igual que en objetivos anteriores, una matriz de selección, la cual se desarrolló



mediante el uso del software (SSD-AAP) “Sistema de soporte a la decisión”, y mediante el cual se facilitó la evaluación y resolución de la matriz de selección.

3.2.5. Establecimiento y selección de los criterios de ponderación

Para evaluar la matriz de selección lo primero que se realizó fue establecer los criterios de evaluación, para lo cual se consideraron los criterios más importantes evaluados en la industria, siendo estos: peso base, humedad, encolado, lisura, blancura, opacidad, estallido, resistencia a la tensión, resistencia al rasgado, rigidez , calibre-espesor, permeabilidad y doblez.

Estas alternativas de criterios fueron analizadas en función al tipo de papel a evaluar, quedando así eliminadas blancura, lisura, opacidad y rigidez. De igual manera se eliminaron las características de resistencia en húmedo, tales como humedad, encolado y permeabilidad, debido a que estas no eran de mayor importancia para el cumplimiento de los objetivos; mientras que el peso base y el calibre o espesor fueron evaluados según su estabilidad. Finalmente se calificaron como criterios de evaluación:

- Estabilidad del peso base
- Estabilidad del calibre.
- Resistencia al estallido.
- Resistencia al doblez.
- Resistencia al desgarro.

Una vez establecidos dichos criterios se trabajo con el software de soporte a la decisión, tal y como se realizó anteriormente en el objetivo 3.2.1, introduciendo las ponderaciones de cada criterio, calificado según su importancia en las características del producto final, y establecidos en la tabla 3.4, a continuación.

**Tabla 3.4. Establecimiento de criterios para la selección del aditivo.**

Criterio	Peso Absoluto
Estabilidad del peso base	10
Estabilidad del de calibre.	05
Resistencia al estallido.	40
Resistencia al dobléz.	05
Resistencia al desgarró.	40

3.2.6. Descripción de cada propuesta de adición de polímero.

Cada una de las adiciones de polímeros se realizaron bajo una dosificación estándar, evaluada según las cantidades generalmente utilizadas de los agentes de retención, ya que fue necesario establecer las características de las muestras a iguales condiciones de adición, es por ello que, igualmente los tiempos de interacción entre la pasta y la solución de polímero se fijaron iguales a 1 minuto a fin de obtener las condiciones similares para cada adición.

3.2.7. Introducción de cada propuesta al programa.

Luego de establecer el árbol de criterios, se realizó el procedimiento indicado en el objetivo 3.2.1. Introduciendo las alternativas de adición al programa, de manera que la primera alternativa corresponde al papel sin ningún aditivo, las alternativas de la 2 a la 4 corresponden a los polímeros A, B y C respectivamente y finalmente la alternativa 5 corresponde a la formulación con almidón.



Posteriormente se definió el peso en cada criterio para cada una de las alternativas, mediante la opción “matriz de puntuaciones”, se calificó cada alternativa según cada criterio de evaluación colocando valores de manera cuantitativa en la celda correspondiente.

Los valores fueron establecidos en orden ascendente, en una escala del cero al 100, en la cual estos valores eran referidos al comportamiento de la alternativa con respecto al mayor valor obtenido de cada criterio. (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Ponderación de las alternativas de aditivos según los criterios de evaluación.

Ponderación	Alternativa				
	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5
Estabilidad del peso base	20	60	80	60	60
Estabilidad del de calibre.	35	60	90	50	60
Resistencia al estallido.	15	30	40	70	100
Resistencia al desgarro.	50	90	80	100	75
Resistencia al dobléz.	10	30	65	40	100

3.2.8. Aplicación de la herramienta de soporte a la decisión.

Una vez se determinó el valor de cada una de las alternativas planteadas, con respecto al criterio correspondiente, el programa generó una matriz de resultados y arrojó la mejor alternativa de manera gráfica. (Figura 3.14)

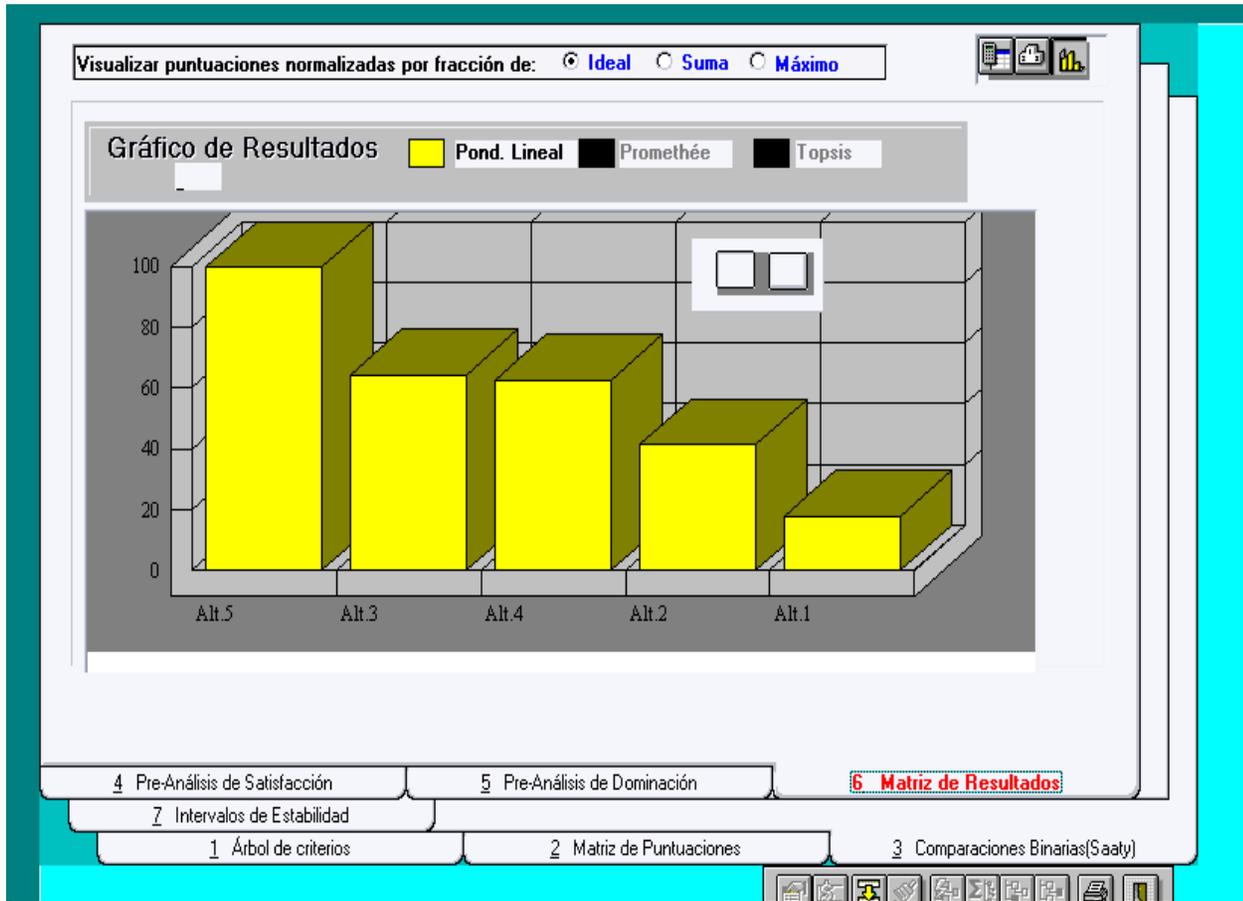


Figura 3.14. Modelo gráfico de la matriz de resultados. (Consejo superior de administración electrónica, 2008. [Documento en línea])

3.2.9. Análisis técnico según el desempeño de cada alternativa de polímero.

Se evaluaron las alternativas arrojados por el programa con el objetivo de determinar el desempeño de cada polímero en lo referente a la resistencia. Observándose así directamente la opción gráfica (figura 3.14) ya que en esta es posible determinar el comportamiento de todas las alternativas propuestas. Mediante este análisis grafico se determinó y seleccionó el polímero ideal para mejorar las propiedades del papel, tanto mecánicas como físicas.



3.2.10. Selección del polímero.

Finalmente se seleccionó no solo la primera opción arrojada por el programa sino que también se procedió a evaluar la segunda debido a que las mejoras en la resistencia fueron similares y significativas para ambas opciones, por ello se procedió a caracterizar ambos polímeros para posteriormente determinar la cantidad óptima a añadir.

3.3. Caracterizar el polímero a utilizar para verificar que sea el adecuado para el proceso.

3.3.1. Comprensión de cada uno de los métodos propuestos en la normativa.

Para comprender los métodos en la realización de los ensayos de caracterización de soluciones de polímeros, se investigó en la normativa ASTM (D-1298, D-5888, D-2196 y D-2042) así como en la bibliografía correspondiente. Las propiedades mediante las cuales se decidió caracterizar el polímero fueron: gravedad específica, viscosidad de Brookfield, pH y finalmente solubilidad, debido a que dichas variables se encuentran involucradas directamente en el proceso de formación de la hoja y es fundamental verificar la incorporación de dichos polímeros al proceso.

3.3.2. Planificación del experimento.

3.3.2.1. Identificación de las variables involucradas en la toma de datos

Una vez elegidos los métodos adecuados para cada una de las pruebas se identificaron las variables de cada experimento por separado.



De igual manera se verificaron las unidades de trabajo de los equipos y finalmente las posibles correlaciones matemáticas a emplear (ecuación 3.12) y/o los factores de correcciones, en caso de ser necesarios para la obtención de los valores (ecuación 3.13).

3.3.2.2. Diseño de los instrumentos de recolección de datos.

Una vez establecidos la cantidad de datos a recolectar y los instrumentos utilizados para la evaluación de las propiedades se realizaron las tablas de recolección de datos tomando en cuenta los valores arrojados por el instrumento.

3.3.3. Toma de las muestras.

Para la realización de las pruebas en el almidón fue necesario realizar dichas pruebas en una solución 0.1% de concentración (p/v); debido a que este se encuentra en estado sólido, por lo que fue necesario trabajar con la solución al porcentaje en el cual fue evaluado.

Por otro lado fue necesario una cantidad suficiente de polímero, 1000 mL de muestra, dada las características necesarias para la determinación de la densidad y viscosidad de la muestra.

3.3.4. Caracterización del polímero.

3.3.4.1. Determinación de la gravedad específica

Para la determinación de la densidad inicialmente se llevaron las muestras de polímero y de la solución de almidón a la temperatura de referencia (15,6 °C).



Se transfirieron los aditivos a un beaker de 600 mL evitando que se formaran burbujas, se introdujo entonces el hidrómetro de manera vertical (figura 3.15) y se agitaron las muestras, comprobando que el filamento de mercurio se encuentre sumergido completamente en las soluciones.

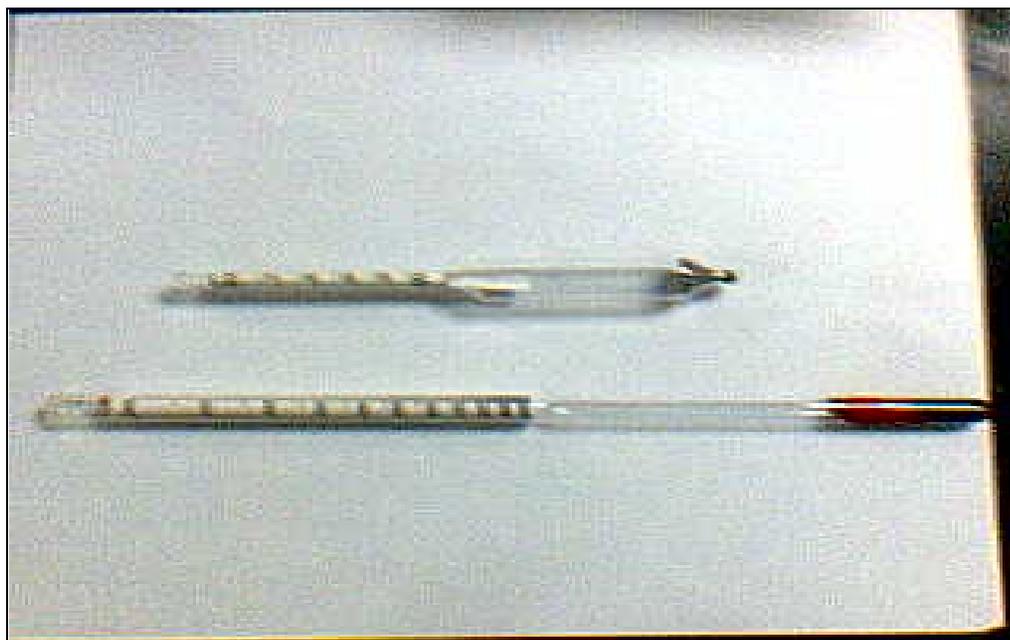


Figura 3.15.Hidrómetro.

Una vez realizado esto se liberó el hidrómetro hasta que esté llegó a su posición de equilibrio; y se registró la lectura de la escala del hidrómetro que se encontraba al nivel del liquido expresada en g/ml; finalmente se registró la temperatura de la muestra para verificar que no ocurrieran variaciones mayores a 0.5 °C

El valor registrado en la escala representa la densidad del líquido, el cual se utilizó para la determinación de la gravedad específica, sustituyendo dicho valor en la ecuación:

$$g_E = \frac{\rho|_{60^\circ F}}{\rho_{H_2O_{60^\circ F}}} \quad (\text{Himmelblau, 1978}) \quad \text{Ec. 3.12}$$



Donde:

g_E = Gravedad específica (Adim)

$\rho|_{60^\circ F}$ = Densidad de la sustancia (g/mL)

$\rho|_{H_2O_{60^\circ F}}$ = Densidad del agua a 60 °F (g/mL)

3.3.4.2. Determinación del pH al 0.1%

Se prepararon las soluciones de polímero y de almidón según lo indicado en la sección 3.2.2; Una vez preparadas éstas se tomaron 100 mL, y se sumergió el electrodo del medidor de pH en las soluciones y registraron así los valores indicados en la pantalla digital.

3.3.4.3. Determinación de la viscosidad Brookfield.

La determinación de la viscosidad de Brookfield se aplicó al almidón en solución debido a la viscosidad del producto al 100% no podría ser determinada debido a que este se encuentra en estado sólido, de igual manera se aplicó al polímero al 100% de concentración así como a la solución de este a 0.1 % de concentración (p/v).

Se tomó una muestra suficiente de polímero y se colocó en un beaker de 600 mL y se colocó la aguja correspondiente y verificando que esta no tocara las paredes o el fondo del beaker. Una vez que la aguja indicadora permaneció estable en un valor, se detuvo el dial del viscosímetro y simultáneamente se apagó éste para observar de mejor manera la lectura indicada en la escala.

Debido a que la escala del instrumento es limitada, para conocer la viscosidad del instrumento es necesario aplicar un factor para obtener el valor de la viscosidad; tal y como se indica en la ecuación:



$$v = Lectura \times Factor \quad \text{Ec. 3.13}$$

Donde:

v: Viscosidad de la sustancia (cps)

Lectura: Lectura indicada por el instrumento (Adim)

Factor: Factor de corrección indicado por el instrumento (cps)

Dicho factor viene dado por las especificaciones del equipo y depende tanto de la velocidad de giro de la aguja en RPM así como también del número de aguja (tabla 3.6). Finalmente el valor resultante de la ecuación corresponde con la viscosidad de la sustancia.

Tabla 3.6. Factores utilizados para la obtención del valor de la viscosidad de Brookfield.

Velocidad (RPM) \ Aguja (N°)	1	2	3	4	5	6	7
2	50	200	500	1000	2000	5000	20000
4	25	100	250	500	1000	2500	10000
10	10	40	100	200	400	1000	4000
20	5	20	50	100	200	500	2000

3.3.4.4. Determinación de la solubilidad.

En vista de que la metodología generalmente contempla para el estudio de la solubilidad en términos de la estructura de los polímeros. Por lo cual se decidió evaluar la solubilidad de manera cualitativa clasificándolos como “solubles, parcialmente solubles o insolubles”, para ello se realizaron adiciones de diferentes cantidades de



polímero para así establecer una variabilidad en la solubilidad del producto y determinar la solubilidad de la sustancia a temperatura y presión ambiente.

Para la determinación de la solubilidad del almidón, sin embargo este procedimiento no puede ser aplicado ya que este requiere una cocción a una temperatura muy alta, diferente a la ambiente además de un tiempo de mezclado. (MANPA, 1998). Debido a lo mencionado anteriormente se analizó la solubilidad de éste mediante su estructura, ya que la estructura molecular nos da la suficiente información para determinar si el producto es soluble, parcialmente soluble o insoluble.

3.4. Establecer las dosificaciones de adición del polímero seleccionado con el fin de establecer la cantidad mínima requerida de dicho polímero sin afectar las características físicas del papel kraft.

3.4.1. Determinación de las cantidades de polímero a agregar

Para establecer las dosificaciones que se desean agregar se estableció como punto a alcanzar la dosificación estándar del agente encolante generalmente usado. Es por lo cual se decidió evaluar así el comportamiento de los polímeros a valores inferiores a este, empezando con un valor bajo de 0.5 g/kg y continuando una diferencia de 0.5 g/kg entre los valores hasta llegar a 1.5 g/kg; igualmente se tomó la dosificación en la media estándar de 3 g/kg; y Finalmente se decidió evaluar un valor muy superior a este para verificar si el comportamiento del polímero continuaba su tendencia a valores altos.

3.4.2. Establecimiento de las características de calidad.

Generalmente los papeles de cualquier tipo en especial los papeles del tipo Kraft poseen características de calidad, establecidas según los requerimientos de su uso, estas características se basan no solo en las propiedades superficiales sino en las características mecánicas de dicho material. (MANPA, 1998). En base a esto se



evaluaron los estándares requeridos por la empresa en cuanto a resistencia en seco y se establecieron los rasgos en los cuales podían variar estos valores (tabla 3.7)

Tabla 3.7. Especificaciones de calidad establecidas para el papel Kraft natural.

Características	Valores de calidad	Rango establecido	
		Mínimo	Máximo
Peso Base (g/m ²)	81	76	90
Humedad (%)	7,75	7	8,5
Resistencia a la Ruptura (R _R ± 0,01) lb/pulg ²	24	22	26
Carga de Ruptura (R ± 0,0003) lb	0,7920	0,7260	0,8580
Longitud de ruptura por tracción (L ± 0,02) m	554,40	508,25	600,65
Resistencia al Desgarro (D ± 0,1) g	100	96	104
Índice de Desgarro (ID ± 6) Adim	123	119	128
Permeabilidad (s)	4 mínimo	-	-
Calibre	No especificado	-	-

Estándares de calidad de papel Kraft natural (MANPA)

3.1.1. Formulación de la mezcla con diferentes cantidades del polímero seleccionado.

Una vez que fueron seleccionadas las dosificaciones de polímero a utilizar, se preparó la solución de éste tal y como se detalla en la sección 3.2.2. Una vez realizado esto se



procedió a medir 0.5 mL de ésta con ayuda de un cilindro graduado de 10 mL, y fueron añadidos a la pasta a utilizar previamente medida, tal y como se realizó previamente en el objetivo 3.2.2 e igualmente se sometió esta mezcla a una agitación de aproximadamente 1 min, para posteriormente conformar la hoja de mano; dicho procedimiento se repitió hasta completar las 5 probetas con esta formulación; y posteriormente se repitió para las consiguientes formulaciones de 1, 1.5, 3 y 5 g/kg. De igual manera se realizó este procedimiento utilizando la solución de almidón previamente preparada tal y como se indica en la sección 3.2.2.

3.1.2. Aplicación de diferentes pruebas específicas.

Por otra parte se analizó cada una de las dosificaciones del producto terminado en cuanto a la formación de la hoja, comportamiento de la pasta en el equipo formador (malla formadora) apariencia del producto final, entre otros, ya que estas características no solo afectan el resultado final de los diferentes parámetros de resistencia en seco sino que a su vez podrían dar un indicio del comportamiento de la formulación en la diferentes etapas del proceso; es por ello que se realizó dicho análisis cualitativo.

3.1.3. Determinación de la resistencia en seco.

Para la determinación de los análisis de resistencia se separaron cuidadosamente las hojas según su formulación y producto agregado; y se realizaron los análisis de resistencia en seco para cada grupo de ellas tal y como se realizó anteriormente en el objetivo 3.2.3. (TAPPI, 1998)

3.1.4. Análisis de cada propuesta del producto formulado.

Una vez realizados los diferentes análisis y pruebas para la fabricación de las hojas de mano con diferentes formulaciones para los dos aditivos, se realizaron gráficos en el



programa Excel para determinar según el comportamiento de los valores la mejor dosificación para cada producto e igualmente se seleccionó la mejor alternativa de propuesta de adición.

3.2. Analizar las propiedades mecánicas del papel kraft a nivel de laboratorio para determinar el peso base óptimo que garantice las resistencias estándares del papel Kraft.

3.2.1. Planificación y diseño del experimento.

3.2.1.1. Identificación de las variables involucradas.

Las variables a utilizar se aplican igualmente a las especificadas previamente en el objetivo 3.2.1.1 haciendo énfasis en identificar la cantidad de pulpa utilizada.

3.2.1.2. Selección de la tecnología.

Una vez establecidas las características necesarias de resistencia en seco que debe poseer el producto terminado se decidió disminuir el peso base disminuyendo la cantidad de pulpa a emplear para la realización de las hojas de mano, sin embargo debido a las características de los instrumentos de medición así como también el manejo del equipo formador de hojas, no permitían la realización de hojas de mano con una cantidad de pasta menor a 1,2 g.

Además el peso base de las hojas formadas con 1.2 g es menor al establecido en la máquina, por lo cual se decidió desarrollar hojas de mayor peso base por lo que se establecieron como cantidades de pasta a utilizar 1,4 g y 1,6 g, respectivamente, para así estimar una tendencia y establecer una tendencia con respecto a las diferentes variables de resistencia en seco con respecto a la cantidad de pasta.



3.2.2. Diseño de los instrumentos de recolección de datos.

Al igual que para la determinación de la resistencia se utilizaron las mismas tablas de recolección de datos, indicando para cada instrumento de recolección la cantidad de pasta utilizada.

3.2.3. Determinación de las propiedades mecánicas y físicas del papel

Para la determinación de los análisis de resistencia se separaron cuidadosamente las hojas según su formulación y producto agregado; y se realizaron los análisis de resistencia en seco para cada grupo de ellas tal y como se realizó anteriormente en el objetivo 3.2.3.

3.2.4. Determinación del peso base.

Con ayuda del programa “Excel” se graficaron por separado todas las variables de las propiedades mecánicas de resistencia del papel Kraft natural para cada una de las cantidades de pasta utilizada, para así de esta manera mediante la correlación matemática más cercana a la tendencia de los datos determinar la cantidad de pasta o bien el peso base ideal que mantenga las variables de resistencia dentro de los límites establecidos previamente según los estándares de calidad. (Capítulo IV)



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En éste capítulo se dan a conocer el análisis de todos los resultados obtenidos a lo largo de la realización de la presente investigación, los cuales dan cumplimiento a cada objetivo planteado para la evaluación de las diferentes resistencias del papel Kraff mediante la utilización de polímeros orgánicos

4.1. Identificar los diferentes polímeros que mejoren la resistencia del papel en seco.

Una vez investigados, de manera bibliográfica, los aditivos empleados en la industria papelera y sus efectos sobre el papel, así como la interacción entre las diferentes propiedades físicas y mecánicas del papel, estos polímeros fueron evaluados mediante el software (SSD-AAP) “sistema de soporte a la decisión” (figura 4.2), el cual arrojó que las mejores alternativas en respectivo orden y tomando en consideración la polaridad, la facilidad de preparación de la solución, el tipo de vida útil, el aumento en las propiedades de resistencia y la disponibilidad en el mercado; fueron las siguientes:

Poliacrilamidas catiónicas: Presenta la polaridad adecuada para trabajar con el papel Kraft natural. Tienen la ventaja de disolverse con rapidez, lo cual aumenta la facilidad de preparar sus soluciones. Su tiempo de vida útil, por ser un derivado orgánico, es corto ya que se descompone fácilmente. Según Salazar y Rojas (2002) las poliacrilamidas ayuda a la floculación de los finos, para de esta manera formen enlaces con la fibra y así logran un aumento en las propiedades de resistencia. Finalmente en cuanto a la disponibilidad dicho aditivo se encuentra disponible para diferentes áreas de la industria. (Catálogo de productos. LIPESA, 2007)



Poliacrilamidas anfotéricas: Por ser anfotéricas pueden trabajar fácilmente con el papel Kraft natural. Se disuelven fácilmente por lo que es fácil preparar sus soluciones. Por ser un derivado orgánico se descompone fácilmente. Adicionalmente ayuda a la floculación de los finos, para de esta manera formen enlaces con la fibra y así logran un aumento en las propiedades de resistencia. Dicho aditivo se encuentra disponible para diferentes áreas de la industria. (Catálogo de productos. LIPESA, 2007)

Carboximetilcelulosa o CMC: Por ser una sal su polaridad no afecta el proceso. Su carácter hidrofílico permite una buena disolución y una fácil preparación de soluciones. El CMC posee un comportamiento adhesivo por lo cual mejora la unión en la fibra. En cuanto a la disponibilidad de éste, es sumamente baja ya que a pesar de ser usado en diversos tipos de industria no se encuentra tan fácilmente debido a su costo. (Catálogo de productos. LIPESA, 2007)

Almidón: Presenta la polaridad adecuada para trabajar con el papel Kraft natural. En cuanto a la facilidad de preparación no es la mejor opción ya que para la preparación se necesita una cocción previa, además de un correcto calentamiento para mantener la temperatura ideal y evitar la sobrecocción de éste. Se descompone fácilmente. Por ser un derivado natural de estructura molecular muy similar a la estructura de la fibra (celulosa) permite que se formen enlaces muy fuertes lo que se traduce en un aumento de las propiedades mecánicas del papel seco. Finalmente, en cuanto a la disponibilidad, éste aditivo es el más disponible no solo en la industria del papel. (Catálogo de productos. LIPESA, 2007)

Debido a la baja disponibilidad de la carboximetilcelulosa este no pudo ser evaluado y se decidió trabajar entonces con dos poliacrilamidas catiónicas de diferente peso molecular, las cuales se denominaron como polímero A y C (siendo A la de menor peso); una poliacrilamida anfotérica, la cual se denominó polímero B y finalmente el almidón catiónico.

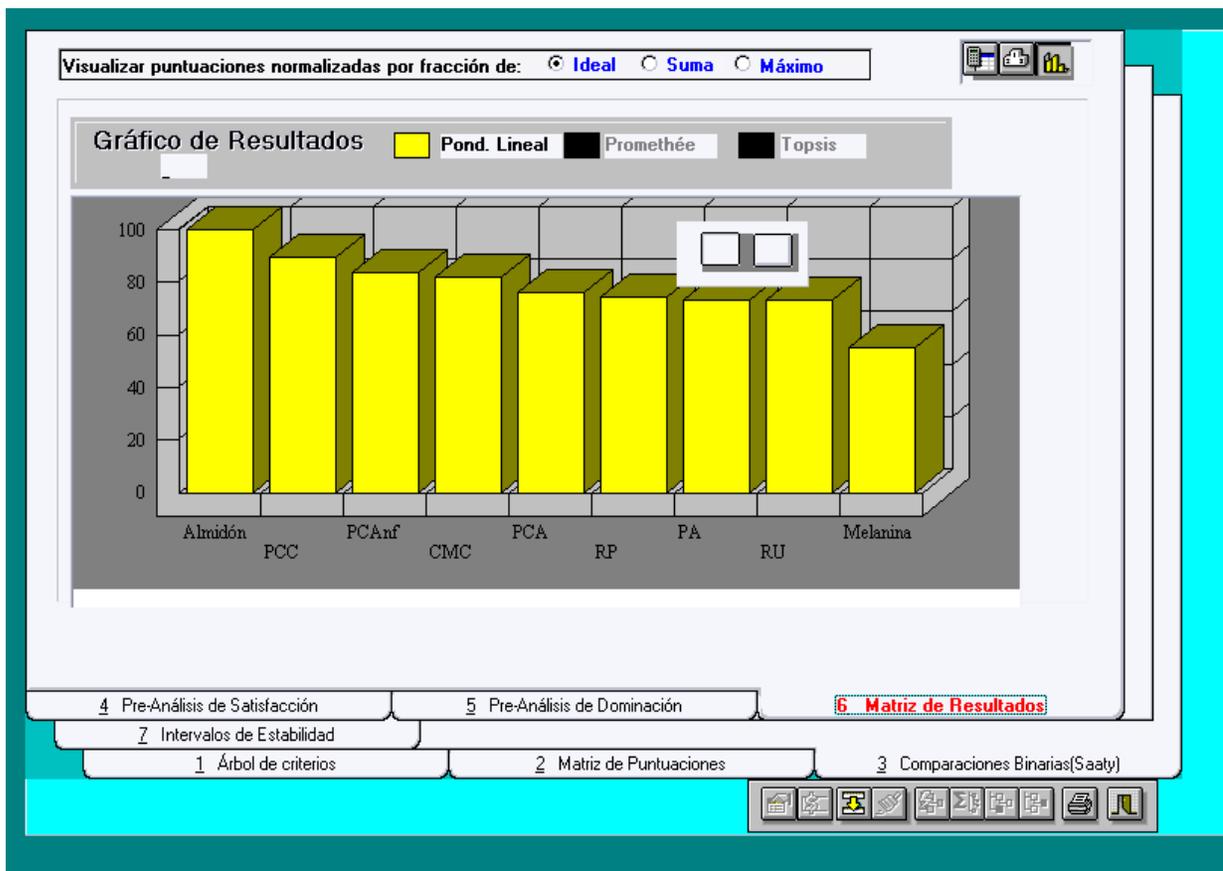


Figura 4.1. Modelo gráfico de la matriz de resultados de la preselección de polímeros. (Consejo superior de administración electrónica, 2008. Documento en línea)

4.2. Seleccionar el polímero que mejore en mayor proporción la resistencia en seco del papel Kraft, a fin de ofrecer el polímero óptimo para el proceso

Una vez que se determinó la consistencia de la pasta (capítulo III) ésta fue de $(2.2656 \pm 0.0002) \%$ (ver apéndice B); se decidió trabajar con hojas de mano de 1.2 g cada una, según lo indicado en la normativa TAPPI T 205,

Según esto que se determinó el volumen de pasta necesario para la fabricación de dichas hojas, el cual fue de $(53 \pm 1) \text{ mL}$ y se estableció que la cantidad de polímero a adicionar fue de 3 g/Kg



Se realizaron hojas de mano sin adición de ningún polímero a fin de que estas sirvieran como referencia del comportamiento del producto final una vez agregado los diferentes aditivos; y finalmente se realizaron las hojas adicionando cada unos de los polímeros y el almidón.

En la tabla 4.1 se observan los resultados de las propiedades físicas del papel, tales como peso base, doblez y calibre, tanto para las hojas realizadas sin ningún tipo de aditivo como para las realizadas incorporando cada uno de ellos. Obsérvese que a existe una variación de peso base y se observa un ligero incremento del peso base con respecto a las hojas sin ningún aditivo, esto se debe a que a interacción de la fibra mejora y por tanto forma enlaces más fuertes que permiten que una menor cantidad de fibra permanezcan en solución y ayuda a que ésta precipite, por lo estos valores se encuentran más cercanos al peso base ideal resultante si ocurriera la precipitación de los 1.2 g de fibra, siendo este valor de gramaje igual a $(63 \pm 2) \text{ g/m}^2$. De igual manera ocurrió una ligera discrepancia con respecto a los valores de calibre del papel debido a la no uniformidad de las hojas de mano.

Tabla 4.1.

Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,2 g con los diferentes aditivos empleados

Aditivos	Peso Base (PB \pm 2) g/m²	Dobleza (Db \pm 1) adim	Calibre (Cal \pm 0,01) pulg x 10⁻³
Sin Aditivo	50	10	4,57
Polímero A	53	17	5,98
Polímero B	59	75	6,07
Polímero C	60	52	5,33
Almidón	61	759	4,31



Por otra parte se observó un incremento en cuanto al número de doblez de las muestras, esto es debido a que al adicionar un polímero orgánico se incrementa el área de contacto, es decir, la superficie que participa en la unión aumentando la flexibilidad y plasticidad de las fibras; en lo que respecta a las hojas formadas con la adición de almidón las propiedades moleculares de este y la similitud con la estructura de la celulosa, el área de contacto aumenta en mayor proporción lo cual se refleja en el número de doblez pliegues capaces de resistir el papel. Según Ashrat S., et al (2007) la aplicación de polímeros en la pulpa utilizada para la fabricación del papel produce un papel que mantienen sus propiedades microscópicas constantes e inclusive las mejora, por lo cual se observa una mejora en los en las características de doblez así como también en otras propiedades mecánicas del papel.

En las tablas 4.2 a la 4.6 se observa el comportamiento de las propiedades mecánicas de la hojas reflejado según: la presión de reventamiento, el índice de estallido, la resistencia al desgarro, el índice de desgarro, la resistencia a la ruptura, carga de ruptura y la longitud de ruptura por tracción; tanto para las hojas realizadas sin ningún tipo de aditivo como para las realizadas incorporando cada uno de ellos.

Se puede observar en los valores, que la adición de los polímeros ayuda a incrementar el índice de estallido y desgarro al igual que el largo de ruptura, esto es debido a que todos son compatibles con la fibra, además al adicionar estos polímeros ellos cumplen el papel de “finos” y se entrelazan con la fibra, lo cual aumenta la superficie dispuesta para la unión de las fibras, por lo tanto la resistencia.

Tabla 4.2.

Propiedades de resistencia del papel Kraft natural de 1,2 g sin la adición de ningún polímero.

Presión de Reventamiento $(P_R \pm 1) \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Índice de Estallido $(I_E \pm 9000) \text{ adim}$	Resistencia al Desgarro $(D \pm 0,1) \text{ g}$	Índice de Desgarro $(I_D \pm 6) \text{ adim}$	Resistencia a la Ruptura $(R_R \pm 0,01) \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Carga de Ruptura $(R \pm 0,0003) \text{ lb}$	Longitud de ruptura por tracción $(L \pm 0,02) \text{ m}$
6	89401	64,3	128	4,38	0,1446	162,90

Tabla 4.3.

Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,2 g con una dosificación igual a 3 g/kg de una solución al 0.1% de concentración del polímero A

Presión de Reventamiento $(P_R \pm 1) \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Índice de Estallido $(I_E \pm 9000) \text{ adim}$	Resistencia al Desgarro $(D \pm 0,1) \text{ g}$	Índice de Desgarro $(I_D \pm 6) \text{ adim}$	Resistencia a la Ruptura $(R_R \pm 0,01) \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Carga de Ruptura $(R \pm 0,0003) \text{ lb}$	Longitud de ruptura por tracción $(L \pm 0,02) \text{ m}$
12	163006	89,2	168	6,65	0,2193	234,36

Tabla 4.4.

Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,2 g con una dosificación igual a 3 de una solución al 0.1% de concentración del polímero B

Presión de Reventamiento $(P_R \pm 1) \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Índice de Estallido $(I_E \pm 9000) \text{ adim}$	Resistencia al Desgarro $(D \pm 0,1) \text{ g}$	Índice de Desgarro $(I_D \pm 6) \text{ adim}$	Resistencia a la Ruptura $(R_R \pm 0,01) \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Carga de Ruptura $(R \pm 0,0003) \text{ lb}$	Longitud de ruptura por tracción $(L \pm 0,02) \text{ m}$
23	276174	105,8	180	10,01	0,3302	318,33

Tabla 4.5.

Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,2 g con una dosificación igual a 3 de una solución al 0.1% de concentración del polímero C

Presión de Reventamiento $(P_R \pm 1) \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Índice de Estallido $(I_E \pm 9000) \text{ adim}$	Resistencia al Desgarro $(D \pm 0,1) \text{ g}$	Índice de Desgarro $(I_D \pm 6) \text{ adim}$	Resistencia a la Ruptura $(R_R \pm 0,01) \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Carga de Ruptura $(R \pm 0,0003) \text{ lb}$	Longitud de ruptura por tracción $(L \pm 0,02) \text{ m}$
20	237554	90,0	149	9,36	0,3088	289,99

Tabla 4.6.

Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,2 g con una dosificación igual a 3 de una solución al 0.1% de concentración de almidón

Presión de Reventamiento $(P_R \pm 1) \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Índice de Estallido $(I_E \pm 9000) \text{ adim}$	Resistencia al Desgarro $(D \pm 0,1) \text{ g}$	Índice de Desgarro $(I_D \pm 6) \text{ adim}$	Resistencia a la Ruptura $(R_R \pm 0,01) \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Carga de Ruptura $(R \pm 0,0003) \text{ lb}$	Longitud de ruptura por tracción $(L \pm 0,02) \text{ m}$
52	606919	80,0	132	13,66	0,4509	421,94



Igualmente se observa que a pesar de ser el polímero A y el polímero C ambos poliácridamidas existe una variación de todos los valores de propiedades de resistencia, esto es debido a que ambos polímeros a pesar de pertenecer al mismo grupo poseen diferentes pesos moleculares y estructuras. El “polímero C” posee un mayor peso molecular que el “polímero A” y una estructura ramificada, lo cual se refleja en la interacción entre estos con las fibras, ya que por ser una molécula más grande ocupa un mayor área superficial de sustrato, de tal manera que una molécula mayor ocupará una mayor área superficial y promoverá la floculación de los finos de la fibra; reflejándose esto en uniones más fuertes así como en la resistencia del papel.

Se puede observar que la resistencia a la tensión, representada mediante el índice de estallido es significativamente mayor en el caso del almidón, ya que este último tiene la propiedad, como se mencionó anteriormente, de actuar como adhesivo. Esto sucede como lo mencionan Rutiaga et. al (2002) al lograr que el enlace entre las fibras mejore ya que aumenta el contacto entre las superficies que contienen grupos hidróxilos, esto se representa mediante un incremento por tanto la resistencia.

Los valores para cada criterio fueron introducidos en el software (SSD-AAP) “sistema de soporte a la decisión” y designando como primera alternativa las hojas desarrolladas sin ningún aditivo, la segunda alternativa las hojas formuladas con el “polímero A” poliácridamida catiónica, la tercera alternativa de adición sería el “polímero B” poliácridamida anfotérica, como cuarta y quinta alternativas la poliácridamida catiónica “polímero C” y el almidón, respectivamente. Una vez valorados cada alternativa de adición, la matriz de selección mediante el método de ponderación lineal arrojó como mejores alternativas el almidón y la poliácridamida anfotérica (polímero B) respectivamente (figura 4.2)

En vista de que almidón es un producto que posee una excelente disponibilidad y a fin de desarrollar de una manera más amplia la selección de polímero se decidió trabajar



los objetivos siguientes de tal manera de establecer las dosificaciones ideales para ambos aditivos, con el objeto de contar, no solo con la opción de mejorar la resistencia sino con la opción de desarrollar ésta resistencia con una dosis mínima de aditivo.

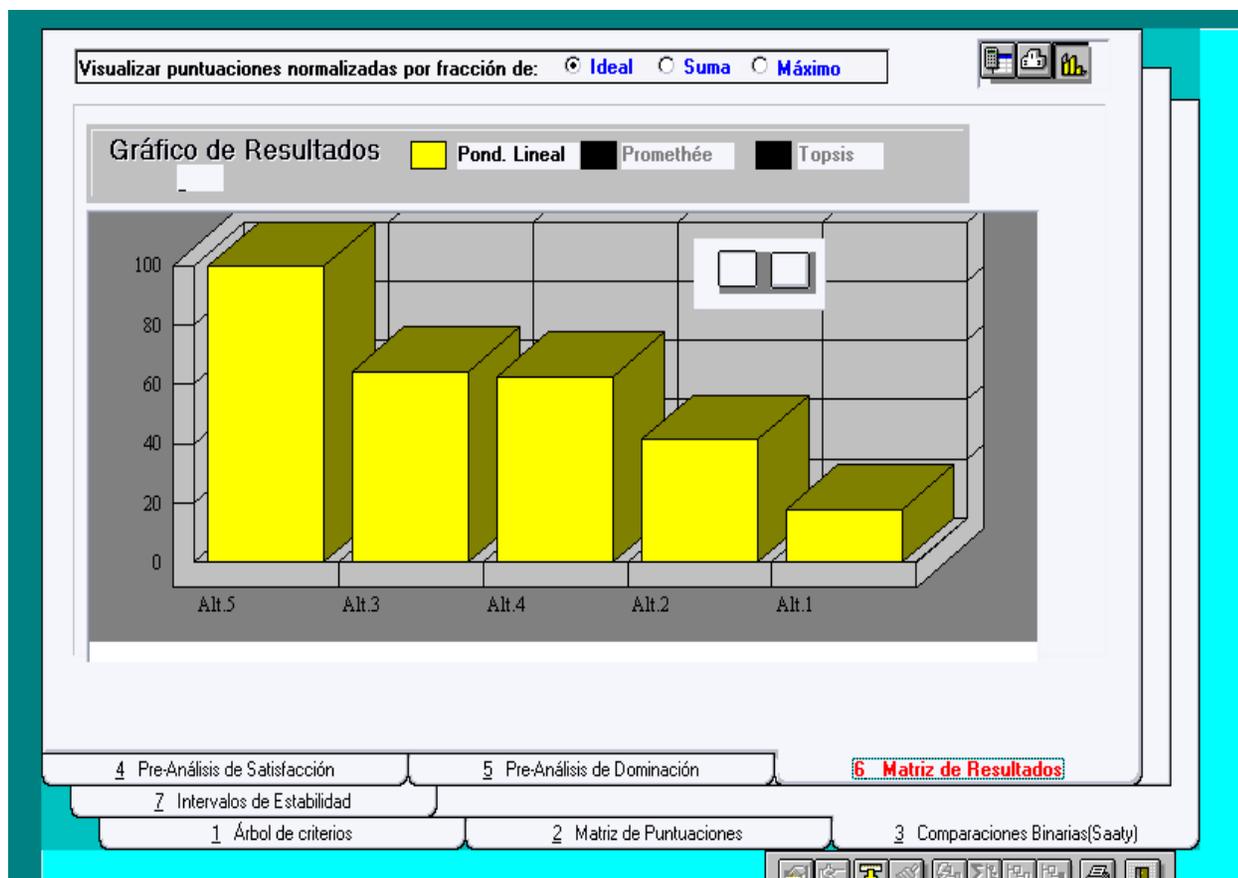


Figura 4.2. Modelo gráfico de la matriz de resultados de la selección del polímero. (Consejo superior de administración electrónica, 2008. Documento en línea)

4.3. Caracterizar el polímero a utilizar para verificar que sea el adecuado para el proceso.

El conocimiento de la estructura y propiedades de los polímeros es importante para el entendimiento del comportamiento de las moléculas en solución; debido a que un polímero se ve afectado en particular por el tipo de grupo funcionales que lo forman, la



distribución de dichos grupos funcionales y por peso molecular; es decir, las propiedades de los polímeros en solución están determinadas por las características estructurales de la cadena macromolecular.

Los criterios para la caracterización de estos polímeros, se deben a la importancia de estas propiedades para el entendimiento de estos, por ejemplo, se sabe un polímero es soluble en agua cuando posee un número suficiente de grupos hidrófilos a lo largo de la cadena principal o de las cadenas laterales. Estos grupos comprenden principalmente aminas, amidas y grupos carboxilos; que son especialmente importantes en la solubilidad del aditivo.

Por otra parte, las características del polímero son fundamentales para verificar si es posible la incorporación de estos polímeros al proceso, con el objeto de evitar problemas en la producción así como retrasos al momento del bombeo o de realizar los cambios necesarios para la preparación de un tipo diferente de papel. En la tabla 4.7 se observan las características más sobresalientes sobre el almidón catiónico y la poliacrilamida anfotérica evaluada.

Además la viscosidad y la gravedad específica son fundamentalmente importantes ya que de ser muy altas podrían ocasionar diversas fallas en la malla formadora tales como: malla tupida, mal drenaje, suciedad o mal formación de la hoja, además de disminuir el tiempo de vida de la malla formadora lo cual implicara paradas más frecuentes para remplazar esta.

Se puede observar, que a pesar, de ser alta la viscosidad de la poliacrilamida anfótera está referida al polímero concentrado, mientras que para el caso del almidón la viscosidad está representada en una solución de 0.1 % de concentración de este. Por lo cual la viscosidad de la solución de polímero fue representada también en dicha tabla siendo esta menor que la viscosidad del almidón. Para el caso de la gravedad específica de igual manera se representó para la poliacrilamida concentrada.



Tabla 4.7.

Propiedades características de los aditivos empleados para la mejora de la resistencia en seco

Características	Aditivo		Rango Requerido
	Poliacrilamida Anfotérica	Almidón Catiónico.	
Gravedad Especifica ($g_E \pm 0.001$) adim	1.171	0.360	(0.200 – 1.500)
pH de la solución ($pH \pm 0.01$) adim	4.88	5.57	(4.50 – 6.50)
Viscosidad de la sustancia. ($v \pm 1$) cps	20000	140 (en solución)	(50 – 200)
	80 (en solución)		
Solubilidad	Soluble hasta 2,1 %	Parcialmente Soluble	-

Por ello ambos aditivos presentan ventajas y pueden ser trabajados en el proceso, sin embargo al momento de la realización de las hojas de mano utilizando el almidón como aditivo, se observaron problemas en las formaciones de las hojas, lo cual se vieron reflejados en los valores de calibre (tabla A.1 del apéndice A) mientras que en el caso del polímero se observó una buena estabilidad y constancia en los valores de calibre, esto puede deberse a la diferencia en las viscosidades de la solución de almidón y el polímero de solución, lo cual ocasionaba ligeras obstrucciones en la malla formadora y por lo tanto, irregularidades en la hoja.



En el caso del pH ambas soluciones presentaron pH ácidos y muy cercanos entre si, lo cual se ajusta perfectamente al proceso de elaboración de este tipo de papel. (tabla 4.7)

En lo que respecta a la solubilidad se evaluó la capacidad del polímero de disolverse mientras se variaba la concentración de polímero a temperatura ambiente, resultando ser completamente soluble hasta que alcanzó la concentración de 2,1 %. Esto no influye directamente en el proceso ya que no se contemplan manejar solución de dicha concentración, por lo cual no influye en el proceso de fabricación.

En los que respecta al almidón la estructura de éste (figura 2.1) presenta grupos oxidrilos debido a las estructuras amilosa y amilopectina. Sin embargo a grandes concentraciones y altas temperaturas ambas moléculas interaccionan mediante enlaces tipo puentes de hidrógeno, dejando espacios en donde queda agua atrapada lo cual le confiere una apariencia gelatinosa y alta viscosidad a bajas concentraciones.

4.4. Establecer las dosificaciones de adición del polímero seleccionado con el fin de establecer la cantidad mínima requerida de dicho polímero sin afectar las características físicas del papel kraff.

Una vez establecidas las dosificaciones a adicionar de cada aditivo en cada volumen de pasta para la realización de las hojas de mano de 1.2 g, y se realizó la incorporación de las cantidades de aditivos a cada volumen de pasta a utilizar para la elaboración de las hojas de mano.

Luego de formadas las hojas se ejecutaron los análisis para determinar las propiedades físicas de las hojas (tabla 4.8), realizadas usando almidón catiónico y la poliacrilamida anfotérica como aditivos.



Tabla 4.8.

Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,2 g con las Diferentes dosificaciones de polímero B y almidón

Aditivos	Dosis de Aditivo $\frac{g}{kg}$	Peso Base (PB \pm 0,01) $\frac{g}{m^2}$	Dobleces (Db \pm 1) Adim	Calibre (Cal \pm 0,01) pulg 10⁻³
Polímero B	0,5	63	28	5,97
	1,0	62	49	5,83
	1,5	60	56	6,03
	3,0	59	75	6,07
	5,0	65	78	6,13
Almidón	0,5	62	365	3,77
	1,0	59	395	3,70
	1,5	63	524	3,87
	3,0	61	759	4,31
	5,0	63	709	4,40

Se realizaron luego los ensayos destructivos para determinar los valores de resistencia de las hojas respectivamente (Tablas 4.9 y 4.10).

Dichos valores fueron graficados para así establecer una tendencia entre los valores de resistencia y la cantidad de aditivo agregado; de igual manera se facilitó la identificación de la dosis del aditivo que mejoró el índice de estallido, de desgarró, la longitud de ruptura por tracción y el número de dobleces; tanto para el almidón catiónico como para la poliacrilamida anfotérica. (Figuras 4.3 a la 4.6)

Tabla 4.9.

Propiedades de resistencia del papel Kraft natural de 1,2 g con las diferentes dosificaciones de polímero B.

Dosis de aditivo (g/Kg)	Presión de Reventamiento $(P_R \pm 1) \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Índice de Estallido $(I_E \pm 9000) \text{ adim}$	Resistencia al Desgarro $(D \pm 0,1) \text{ g}$	Índice de Desgarro $(I_D \pm 6) \text{ adim}$	Resistencia a la Ruptura $(R_R \pm 0,01) \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Carga de Ruptura $(R \pm 0,0003) \text{ lb}$	Longitud de ruptura por tracción $(L \pm 0,02) \text{ m}$
0,5	19	208446	98,1	155	9,16	0,3023	270,28
1,0	31	346098	117,7	179	15,23	0,5024	456,78
1,5	22	252402	107,7	179	10,31	0,2404	320,73
3,0	23	276174	105,8	180	10,01	0,3302	318,33
5,0	21	223968	104,8	160	9,91	0,3272	284,09

Tabla 4.10.

Propiedades de resistencia del papel Kraft natural de 1,2 g con las diferentes dosificaciones de almidón.

Dosis de aditivo (g/Kg)	Presión de Reventamiento ($P_R \pm 1$) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Índice de Estallido ($I_E \pm 9000$) adim	Resistencia al Desgarro ($D \pm 0,1$) g	Índice de Desgarro ($I_D \pm 6$) adim	Resistencia a la Ruptura ($R_R \pm 0,01$) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Carga de Ruptura ($R \pm 0,0003$) lb	Longitud de ruptura por tracción ($L \pm 0,02$) m
0,5	23	257810	55,3	90	9,87	0,3257	299,64
1,0	30	356133	55,9	94	8,86	0,2924	279,95
1,5	31	346064	67,7	108	10,75	0,3546	321,33
3,0	52	606919	80,0	132	13,66	0,4509	421,94
5,0	54	599477	77,5	123	10,56	0,3485	313,14

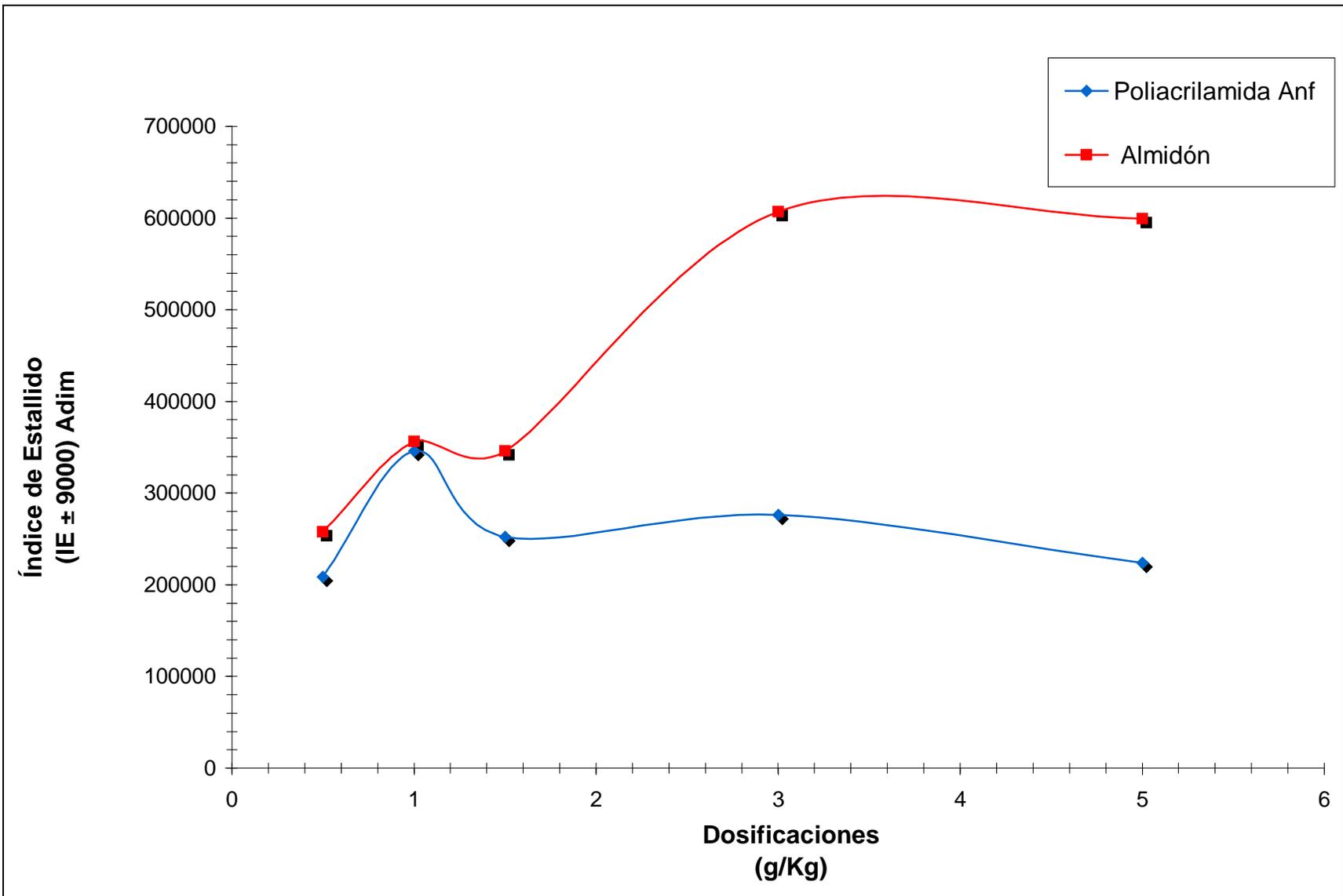


Figura 4.3. Comportamiento de los aditivos utilizando diferentes dosificaciones con respecto al índice de estallido.

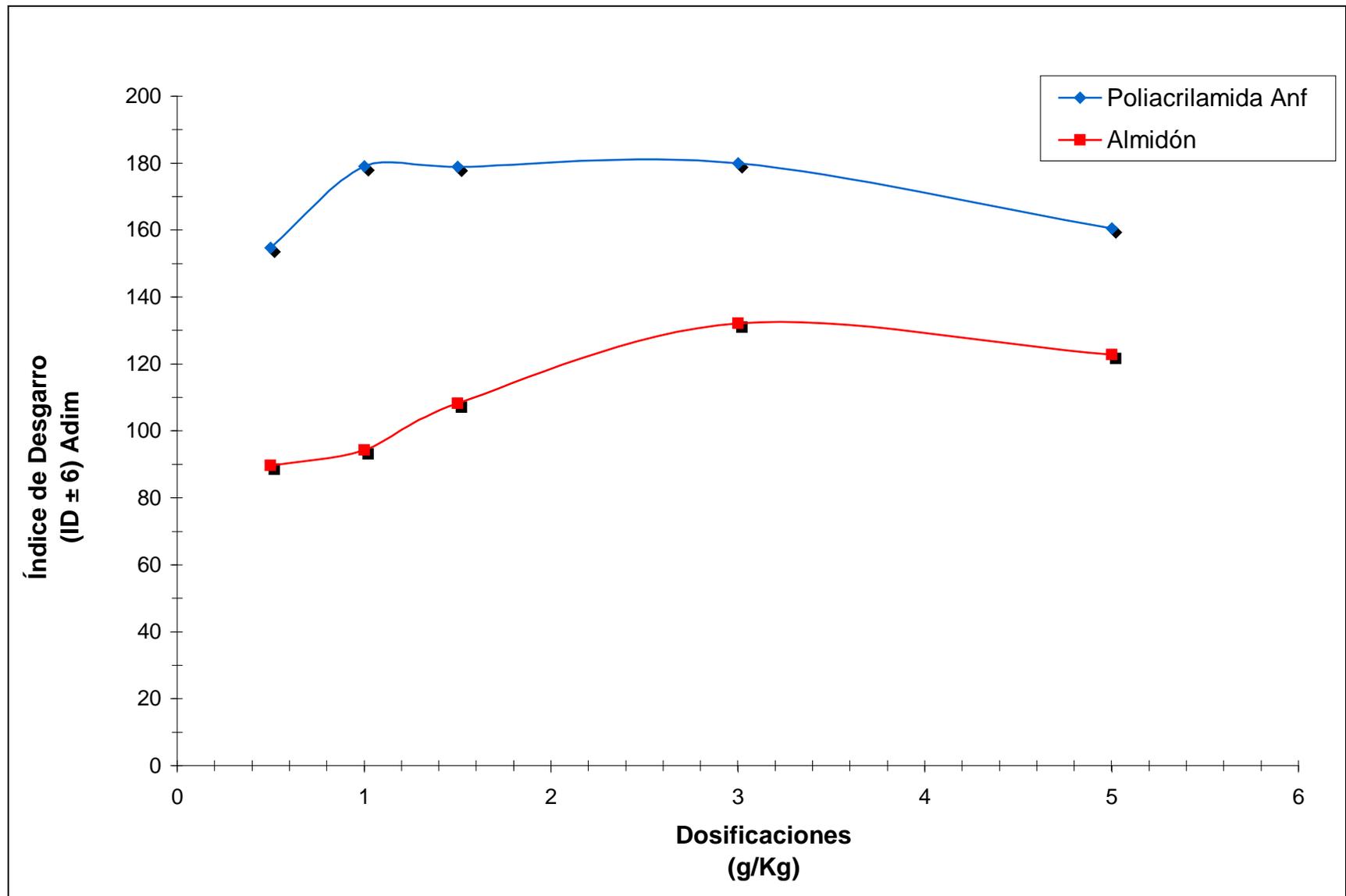


Figura 4.4. Comportamiento de los aditivos utilizando diferentes dosificaciones con respecto al índice de desgarró.

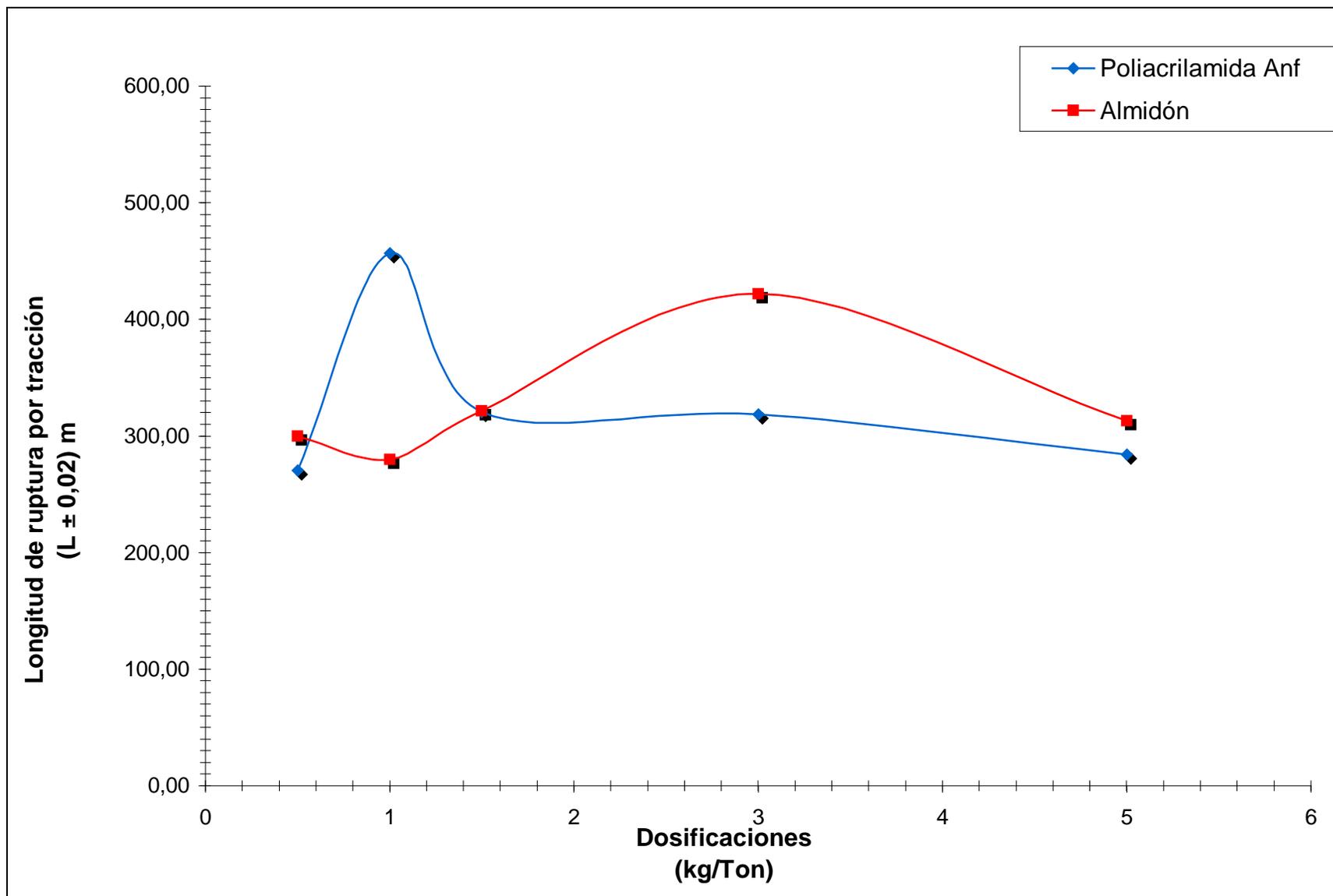


Figura 4.5. Comportamiento de los aditivos utilizando diferentes dosificaciones con respecto a la longitud de ruptura por tracción.

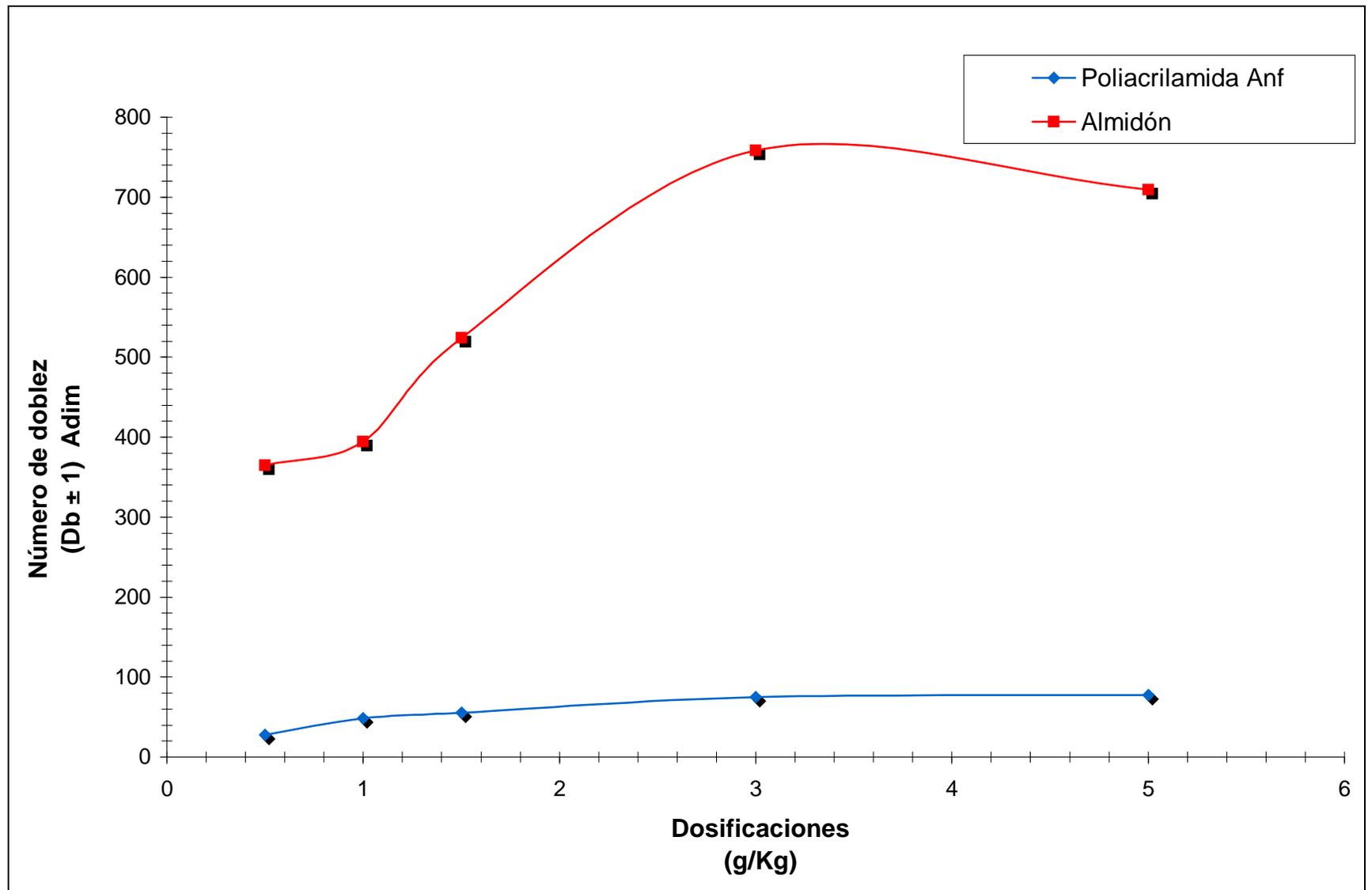


Figura 4.6. Comportamiento de los aditivos utilizando diferentes dosificaciones con respecto a en número de doblez



Se puede observar mediante los valores de resistencia que una vez alcanzados el valor máximo la absorción del aditivo sobre la pasta disminuye o simplemente se mantiene constante indicando que no contribuye en la interacción de las fibra, sino al contrario a dosificaciones muy altas la poliacrilamida no aporta más beneficios en la interacción de las fibras lo que ocasiona que los valores permanezcan constantes con pequeñas disminuciones.

Por otra parte el desgarró es una característica de la estructura de la hoja. Su importancia en la fabricación es sumamente representativa y se emplea ampliamente en papeles de embalaje y sacos. La longitud de ruptura cual es sumamente importante en papeles para embalaje, papel para sacos y papeles para imprimir.

Es por ello que, en el control ordinario de la fabricación, la determinación de la longitud de ruptura genera una mayor información que el estallido en lo referente a la regularidad en la calidad del papel, pues el estallido es representativo de una zona, por lo cual no da la correcta información como la carga de ruptura para comprobar la calidad. Esto es sumamente importante porque a pesar de presentar el almidón un mayor índice de estallido en lo que respecta a desgarró y a longitud de ruptura sus valores son menores a los arrojados usando la poliacrilamida anfotérica.

Se observa entonces que tanto el polímero como el almidón llegaron a un valor máximo (figura 4.4) en cuanto al índice de desgarró para luego permanecer prácticamente estable. Esto es debido a que ambos aditivos mejoraron la interacción hasta su valor máximo, una vez rebasado este valor la función del polímero es prácticamente la de una carga, por lo cual la resistencia se mantiene estable o incluso disminuye.

Además se observó que al incrementar la dosificación de almidón el drenaje era un poco lento y podían observarse pequeñas nubosidades en la hoja al observarla a contra luz, lo cual corresponde a una mala formación, que podría deberse a las características



de adhesión del mismo y que al incrementar su dosis provocó un taponamiento de la malla formadora.

Debido a lo planteado anteriormente, la poliacrilamida fue la mejor opción, tanto para trabajar en el proceso como por la cantidad de polímero utilizado para el incremento de las características de calidad. Resultando entonces con una dosificación de 1 g/Kg un índice de estallido de (346098 ± 9000) adim; un índice de desgarró de (179 ± 6) adim y una longitud de ruptura por tracción de $(456,78 \pm 0,02)$ m; además de un número de doblez de (49 ± 1) adim.

4.5. Analizar las propiedades mecánicas del papel kraff a nivel de laboratorio para determinar el peso base óptimo que garantice las resistencias estándares del papel kraff.

En vista de que se necesitaban lograr valores específicos para la resistencia, era imposible utilizar el método de ensayo y error realizando pruebas de resistencia a diferentes variaciones de peso base hasta obtener el deseado, por ello se realizaron pruebas a hojas de 1.4 g y 1.6 g, a las cuales se les adicionó la cantidad de polímero establecida como óptima.

Finalmente se determinaron los valores para cada parámetro de resistencia. Dichos valores se encuentran representados en las tablas 4.11 y 4.12

Se observó que las propiedades de resistencia aumentan al aumentar el peso base o gramaje del papel, ya que al existir una mayor cantidad de pasta se generan una mayor cantidad de enlaces entre la fibra y por lo tanto mayores valores en la longitud de ruptura y en los índices de estallido y desgarró.



Tabla 4.11.

Propiedades físicas del papel Kraft natural de diferentes pesos netos con la cantidad óptima de poliacrilamida anfotérica.

Pesos neto (g)	Peso Base (PB \pm 0,01) g/m²	Doblez (Db \pm 1) adim	Calibre (Cal \pm 0,01) pulg x 10-3
1,2	62	49	5,83
1,4	77	77	6,07
1,6	85	101	7,03

Esto coincide con todo lo establecido anteriormente debido que se sustenta el hecho de reforzar las interacciones entre las fibra, tal y como menciona Zahorí, A., et al. (2007) mediante la incorporación de un aditivo por diferentes métodos para aumentar las propiedades mecánicas, es decir, la resistencia en seco del papel. En la presente investigación se realiza un aumento usando un aditivo que cumpla la función de fortalecer los enlaces entre la fibra y finalmente lograr una sustitución de ésta última.

Por otra parte se observó que los valores de longitud de ruptura se incrementaron considerablemente, esto se debe a que una de las variables que afectan de manera directa la longitud de ruptura es la densidad de la pasta, por lo cual al existir una mayor cantidad de esta se registra un aumento en la longitud de ruptura.

Tabla 4.12.

Propiedades de resistencia del papel Kraft natural de diferentes pesos netos con la cantidad óptima de poliacrilamida anfotérica.

Pesos neto (g)	Presión de Reventamiento ($P_R \pm 1$) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Índice de Estallido ($I_E \pm 9000$) Adim	Resistencia al Desgarro ($D \pm 0,1$) g	Índice de Desgarro ($I_D \pm 6$) adim	Resistencia a la Ruptura ($R_R \pm 0,01$) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	Carga de Ruptura ($R \pm 0,0003$)lb	Longitud de ruptura por tracción ($L \pm 0,02$) m
1,2	31	346098	117,7	179	15,23	0,5024	456,78
1,4	70	639952	124,6	162	25,18	0,8308	611,63
1,6	89	736447	141,5	167	31,94	1,0539	703,27





A pesar de que se determinaron los valores para el índice de estallido y número de dobles pliegues, estos parámetros no se encuentran contemplados en los estándares de calidad del producto terminado.

Como se explicó anteriormente el índice de estallido es un valor que, a pesar de proveer una importante información acerca del comportamiento de la hoja de papel seca, es especialmente susceptible a una buena formación de la hoja; es por esa razón que no se encuentra contemplado como estándar en los valores estándares de la empresa; para el caso del número de dobles pliegues es un valor generalmente estandarizados para papeles que serán sometidos a un proceso de conversión, sin embargo no se encuentra contemplado como parámetro de calidad.

Por lo tanto se realizaron gráficas solo para el índice de desgarro y longitud de ruptura por tracción con respecto al peso base (figuras 4.7 y 4.8), y se establecieron las tendencias que mejor se ajustaban a las curvas a fin de establecer las ecuaciones de estas.

Para el caso del índice de desgarro, la tendencia que mejor se adaptó al comportamiento de los valores de índice de desgarro versus peso base fue la tendencia lineal, generándose la ecuación 4.1:

$$I_D = 1,0246 \cdot PB + 115,9 \quad \text{Ec 4.1}$$

Donde:

I_D = Índice de desgarro, (adim).

PB = Gramaje o peso base del papel (g/m^2)

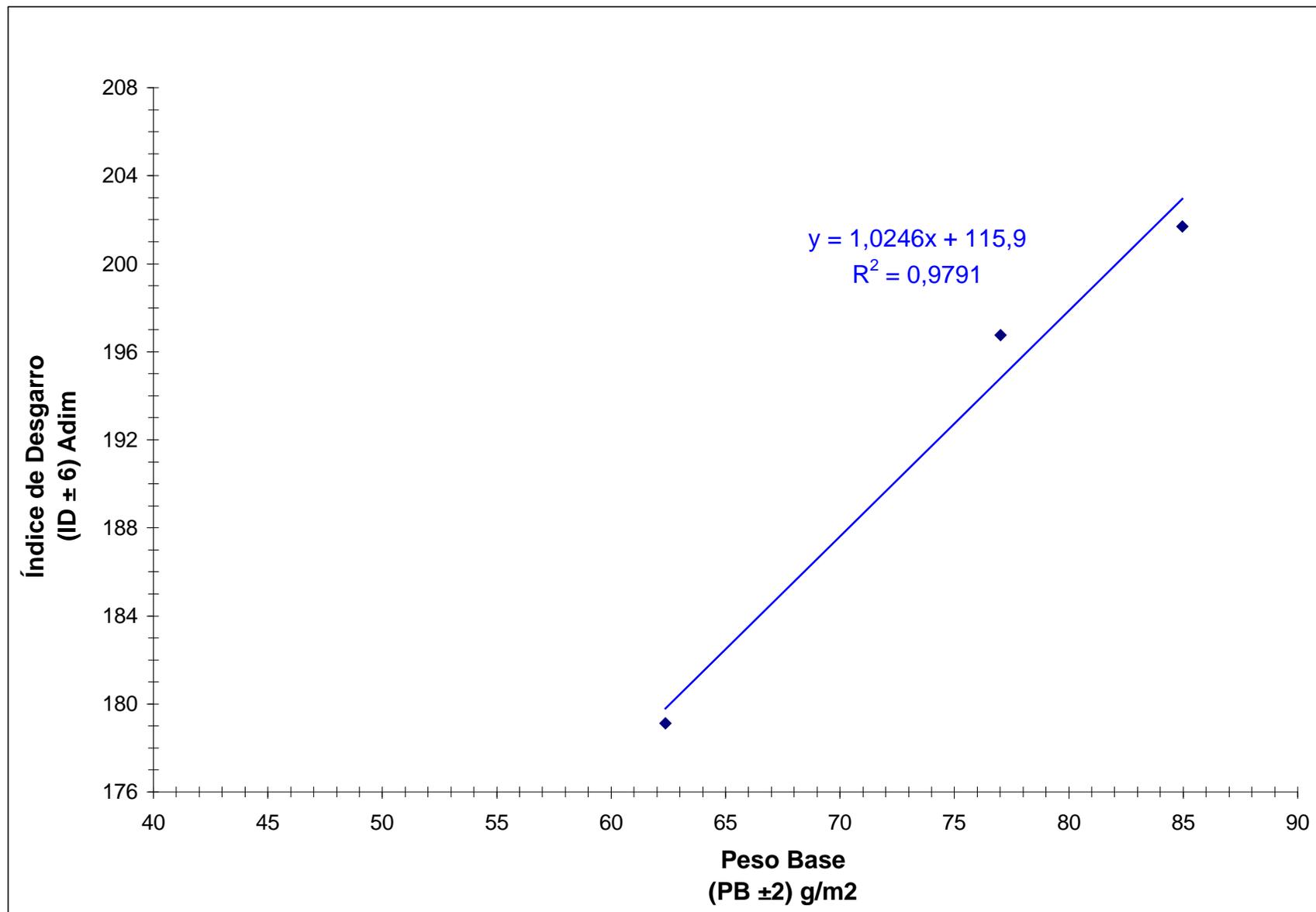


Figura 4.7. Comportamiento del índice de desgarro con respecto al peso base de las hojas.

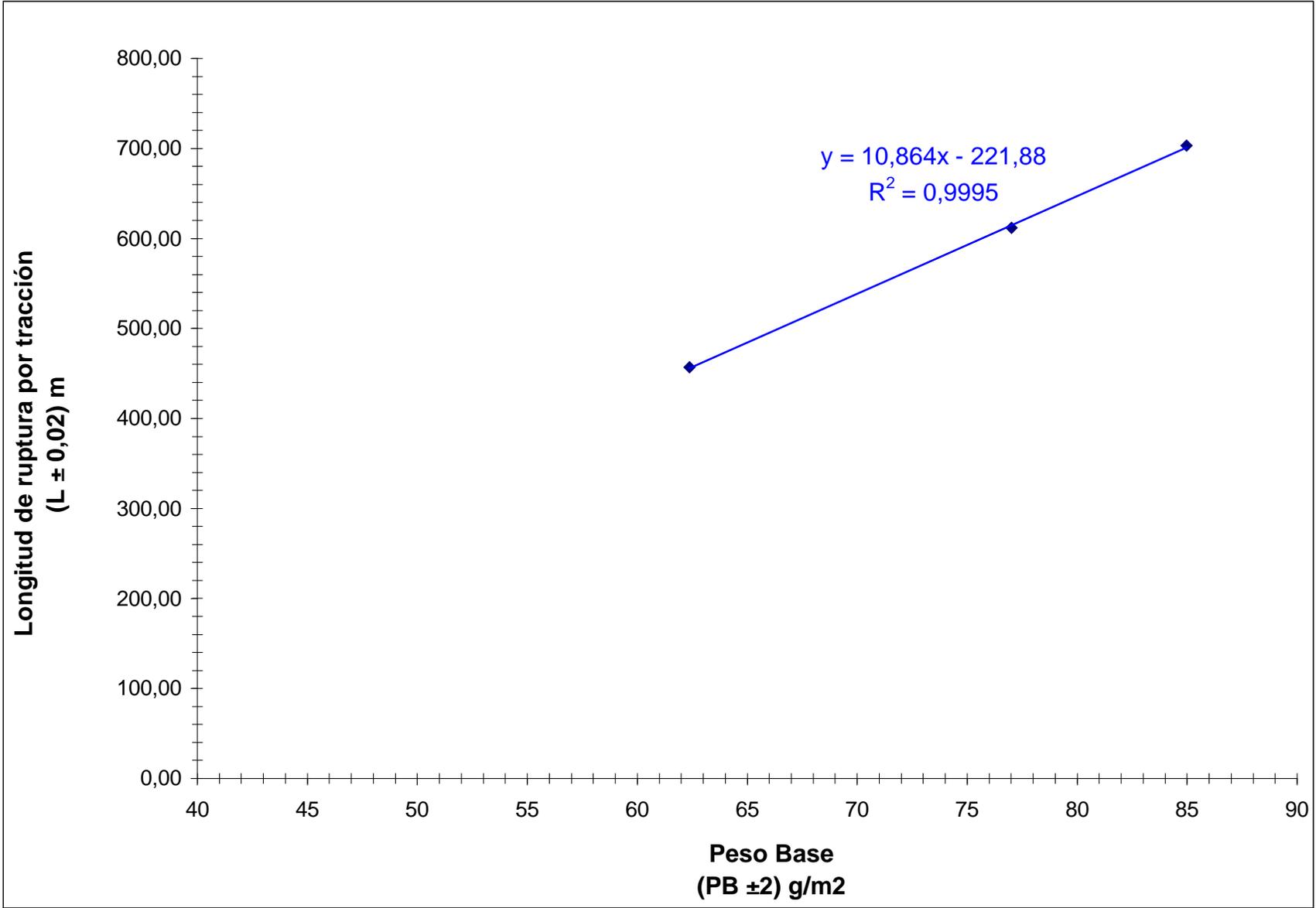


Figura 4.8. Comportamiento de la longitud de ruptura por tracción con respecto al peso base de las hojas.



De igual manera para el caso de la longitud de ruptura, la tendencia que mejor se adaptó al comportamiento de los valores graficados contra el peso base fue la tendencia lineal, generándose la ecuación 4.2:

$$L = 10,864*PB - 221,88 \quad \text{Ec. 4.2}$$

Donde:

L = Longitud de ruptura por tracción (m)

PB = Gramaje o peso base del papel (g/m^2)

En vista de que ambas ecuaciones eran estimaciones lineales se sustituyeron los valores medios (Apéndice B) de los estándares de calidad representado en la tabla 3.5 para obtener así el peso base estimado para ambos parámetros de calidad. Resultando así de $(7 \pm 2) \text{ g/m}^2$ y $(71 \pm 2) \text{ g/m}^2$, según las relaciones lineales tanto del índice de desgarró como de la longitud de ruptura por tracción, respectivamente.

En vista del comportamiento de los valores de resistencia (figuras 4.7 y 4.8), según MANPA (1998) decrece conforme lo hace el peso base, se tomó entonces el valor de peso base que permitió mantener los valores de resistencia no solo para la longitud de ruptura por tracción sino de igual manera para el índice de desgarró

Por lo tanto el peso base estimado según las representaciones lineales de los puntos de estudio que permitiría que las dos características se encuentren dentro de las especificaciones sería de $(71 \pm 2) \text{ g/m}^2$.

Esto generaría una disminución del 13 % del peso base con respecto al valor actual utilizado para el papel Kraft natural, el cual es de $(81 \pm 2) \text{ g/m}^2$.



Esta posible disminución del peso base afectaría directamente no solo el costo y competitividad en el mercado del producto final, sino que también acarrearía mejoras en el proceso de realización de las bobinas de papel, ya que incluso implicará mejoras en el proceso a nivel de las convertidoras, ya que según lo establecido en los manuales de fabricación de la empresa) las máquinas convertidoras de papel trabajan de manera más eficiente con papeles de menor gramaje (peso base), lo que disminuiría los tiempos de procesos en la línea de producción.



APÉNDICE A. TABLAS DE DATOS.

Tabla A.1.

Propiedades físicas del papel Kraft natural sin la adición de ningún polímero.

Peso Hojas ($P_H \pm 0,01$) g	4,81		
Presión de Reventamiento ($P_R \pm 1$) lb/pulg²	7	6	
	6	6	
	6	6	
	7	6	
	7	7	
Resistencia al Desgarro ($D \pm 0,1$) g	64,5	62,6	65,9
Resistencia a la Ruptura ($R_R \pm 0,01$) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	3,88	4,79	
	4,13	3,83	
	4,21	4,93	
	4,76	4,53	
Dobleza ($Db \pm 1$) adim	9	11	
Calibre ($Cal \pm 0,01$) Pulg x 10⁻³	4,51	4,58	4,59

Presión ambiente: (713.80 \pm 0.05) mmHgTemperatura ambiente: (28.0 \pm 0.5) °C



Tabla A.2.

Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 3 g/kg de una solución al 0.1% de concentración del polímero A.

Peso Hojas (P_H ± 0,01) g	5,07		
Presión de Reventamiento (P_R ±1) lb/pulg²	11	14	
	11	11	
	12	13	
	12	13	
	14	12	
Resistencia al Desgarro (D ± 0,1) g	89,8	90,6	87,1
Resistencia a la Ruptura (R_R ± 0,01) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	6,08	6,81	
	6,30	6,45	
	7,28	6,35	
	6,56	7,33	
Dobleza (Db ± 1) adim	17	16	
Calibre (Cal ± 0,01) Pulg x 10⁻³	5,68	5,91	5,74

Presión ambiente: (713.80 ± 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 ± 0.5) °C



Tabla A.3.

Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 3 g/kg de una solución al 0.1% de concentración del polímero B.

Peso Hojas (P_H ± 0,01) g	5,62		
Presión de Reventamiento (P_R ± 1) lb/pulg²	22	22	
	23	26	
	19	22	
	25	25	
	27	20	
Resistencia al Desgarro (D ± 0,1) g	109,2	108,4	99,9
Resistencia a la Ruptura (R_R ± 0,01) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	9,76	9,19	
	9,55	9,96	
	11,28	9,34	
	10,21	10,75	
Doblez (Db ± 1) adim	87	63	
Calibre (Cal ± 0,01) Pulg x 10⁻³	6,00	6,20	6,00

Presión ambiente: (713.80 ± 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 ± 0.5) °C



Tabla A.4.

Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 3 g/kg de una solución al 0.1% de concentración del polímero C.

Peso Hojas (P_H ± 0,01) g	5,77		
Presión de Reventamiento (P_R ±1) lb/pulg²	21	18	
	22	22	
	22	18	
	23	20	
	19	19	
Resistencia al Desgarro (D ± 0,1) g	92,1	87,4	90,6
Resistencia a la Ruptura (R_R ± 0,01) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	9,25	10,14	
	9,71	8,69	
	8,72	8,54	
	9,55	10,26	
Dobleza (Db ± 1) adim	48	56	
Calibre (Cal ± 0,01) Pulg x 10⁻³	5,33	5,98	4,91

Presión ambiente: (713.80 ± 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 ± 0.5) °C



Tabla A.5.

Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 3 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de almidón

Peso Hojas (P_H ± 0,01) g	5,79		
Presión de Reventamiento (P_R ±1) lb/pulg²	54	50	
	54	56	
	53	52	
	54	48	
	51	51	
Resistencia al Desgarro (D ± 0,1) g	81,9	82,7	75,5
Resistencia a la Ruptura (R_R ± 0,01) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	10,79	10,71	
	20,90	19,24	
	14,34	13,66	
	8,85	6,81	
Doblez (Db ± 1) adim	789	728	
Calibre (Cal ± 0,01) Pulg x 10⁻³	3,99	4,21	4,72

Presión ambiente: (713.80 ± 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 ± 0.5) °C



Tabla A.6.

Datos necesarios para la caracterización de los aditivos a utilizar en la mejora de la resistencia del papel Kraft.

Aditivo	Densidad de la sustancia. ($\rho_{60^{\circ}\text{F}} \pm 0.001$) $\frac{\text{g}}{\text{ml}}$	pH de la solución ($\text{pH} \pm 0.01$) Adim	Lectura del viscosímetro.	N° de aguja utilizada.
Poliacrilamida Anfoterica	1.170	2.94	10	7
			16 (En solución)	1
Almidón	0.360	5.57	7	2

Presión ambiente: (713.80 \pm 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 \pm 0.5) °C



Tabla A.7.
Comportamiento de la solubilidad de la poliacrilamida anfotérica al aumentar su concentración en agua.

Concentración del polímero (g/ml)	Comportamiento de la solubilidad
0.1	Completamente soluble
0.3	Completamente soluble
0.5	Completamente soluble
0.7	Completamente soluble
0.9	Completamente soluble
1.1	Completamente soluble
1.3	Completamente soluble
1.5	Completamente soluble
1.7	Completamente soluble
1.9	Completamente soluble
2.1	Parcialmente Soluble

Presión ambiente: (713.80 ± 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 ± 0.5) °C



Tabla A.8.

Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 0,5 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de la poliacrilamida anfotérica.

Peso Hojas (P_H ± 0,01) g	6,06		
Presión de Reventamiento (P_R ±1) lb/pulg²	21	20	
	19	21	
	20	20	
	18	16	
	18	15	
Resistencia al Desgarro (D ± 0,1) g	99,9	98,1	96,3
Resistencia a la Ruptura (R_R ± 0,01) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	6,90	8,70	
	9,70	10,40	
	12,53	6,96	
	8,46	9,63	
Dobleza (Db ± 1) adim	29	27	
Calibre (Cal ± 0,01) Pulg x 10⁻³	5,60	6,05	6,32

Presión ambiente: (713.80 ± 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 ± 0.5) °C



Tabla A.9.

Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 1,0 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de la poliacrilamida anfotérica

Peso Hojas (P_H ± 0,01) g	5,96		
Presión de Reventamiento (P_R ± 1) lb/pulg²	30	32	
	33	33	
	31	28	
	29	28	
	29	34	
Resistencia al Desgarro (D ± 0,1) g	112,6	112,2	110,3
Resistencia a la Ruptura (R_R ± 0,01) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	14,32	17,64	
	12,82	16,48	
	15,98	16,36	
	11,99	16,21	
Doblez (Db ± 1) adim	47	50	
Calibre (Cal ± 0,01) Pulg x 10⁻³	5,82	5,84	5,92

Presión ambiente: (713.80 ± 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 ± 0.5) °C



Tabla A.10.

Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 1,5 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de la poliacrilamida anfotérica

Peso Hojas ($P_H \pm 0,01$) g	5,75		
Presión de Reventamiento ($P_R \pm 1$) lb/pulg ²	18	18	
	19	22	
	16	21	
	19	20	
	19	17	
Resistencia al Desgarro ($D \pm 0,1$) g	109,2	102	106,2
Resistencia a la Ruptura ($R_R \pm 0,01$) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	9,29	11,30	
	9,59	11,60	
	10,32	9,63	
	11,09	9,69	
Dobleza ($Db \pm 1$) adim	49	62	
Calibre ($Cal \pm 0,01$) Pulg x 10 ⁻³	6,31	5,98	5,98

Presión ambiente: (713.80 ± 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 ± 0.5) °C



Tabla A.11.

Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 5,0 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de la poliacrilamida anfoterica

Peso Hojas (P_H ± 0,01) g	6,24		
Presión de Reventamiento (P_R ± 1) lb/pulg²	14	19	
	19	18	
	24	27	
	23	19	
	23	22	
Resistencia al Desgarro (D ± 0,1) g	99,9	104,5	109,9
Resistencia a la Ruptura (R_R ± 0,01) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	11,31	10,24	
	7,93	9,81	
	10,3	10,99	
	10,88	7,85	
Doblez (Db ± 1) adim	72	83	
Calibre (Cal ± 0,01) Pulg x 10⁻³	6,51	6,05	5,99

Presión ambiente: (713.80 ± 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 ± 0.5) °C



Tabla A.12.

Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 0,5 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de almidón

Peso Hojas (P_H ± 0,01) g	5,89		
Presión de Reventamiento (P_R ±1) lb/pulg²	23	20	
	24	26	
	23	24	
	19	20	
	25	22	
Resistencia al Desgarro (D ± 0,1) g	56,1	58,6	51,2
Resistencia a la Ruptura (R_R ± 0,01) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	8,41	9,89	
	10,11	7,88	
	10,38	10,11	
	11,68	10,50	
Dobleza (Db ± 1) adim	379	350	
Calibre (Cal ± 0,01) Pulg x 10⁻³	3,55	3,96	3,99

Presión ambiente: (713.80 ± 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 ± 0.5) °C



Tabla A.13.

Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 1,0 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de almidón

Peso Hojas (P_H ± 0,01) g	5,66		
Presión de Reventamiento (P_R ± 1) lb/pulg²	25	30	
	30	29	
	31	29	
	32	32	
	30	32	
Resistencia al Desgarro (D ± 0,1) g	57,8	57,8	52,0
Resistencia a la Ruptura (R_R ± 0,01) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	8,63	7,74	
	10,10	9,03	
	7,90	6,79	
	9,14	11,56	
Doblez (Db ± 1) adim	411	378	
Calibre (Cal ± 0,01) Pulg x 10⁻³	3,91	3,75	3,59

Presión ambiente: (713.80 ± 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 ± 0.5) °C



Tabla A.14.

Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 1,5 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de almidón

Peso Hojas (P_H ± 0,01) g	5,98		
Presión de Reventamiento (P_R ±1) lb/pulg²	28	30	
	28	35	
	36	32	
	31	30	
	28	30	
Resistencia al Desgarro (D ± 0,1) g	69,1	71,5	62,6
Resistencia a la Ruptura (R_R ± 0,01) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	8,41	11,48	
	12,61	5,28	
	12,45	13,28	
	9,8	12,66	
Dobleza (Db ± 1) adim	519	529	
Calibre (Cal ± 0,01) Pulg x 10⁻³	3,78	4,21	3,78

Presión ambiente: (713.80 ± 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 ± 0.5) °C



Tabla A.15.

Propiedades físicas del papel Kraft natural con una dosificación igual a 5,0 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de almidón

Peso Hojas (P_H ± 0,01) g	6,03		
Presión de Reventamiento (P_R ± 1) lb/pulg²	58	46	
	44	57	
	64	53	
	45	60	
	60	51	
Resistencia al Desgarro (D ± 0,1) g	78,7	75,5	78,3
Resistencia a la Ruptura (R_R ± 0,01) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	11,38	9,45	
	11,74	9,48	
	9,89	11,32	
	10,43	10,79	
Doblez (Db ± 1) adim	705	713	
Calibre (Cal ± 0,01) Pulg x 10⁻³	4,45	4,32	4,51

Presión ambiente: (713.80 ± 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 ± 0.5) °C



Tabla A.16.

Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,4 g con una dosificación igual a 1,0 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de poliacrilamida anfotérica

Peso Hojas (P_H ± 0,01) g	7,36		
Presión de Reventamiento (P_R ±1) lb/pulg²	68	78	
	71	77	
	64	73	
	65	70	
	70	65	
Resistencia al Desgarro (D ± 0,1) g	128,6	124,2	121,1
Resistencia a la Ruptura (R_R ± 0,01) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	27,32	22,82	
	26,28	25,38	
	22,36	28,39	
	24,21	34,32	
Dobleza (Db ± 1) adim	82	71	
Calibre (Cal ± 0,01) Pulg x 10⁻³	6,61	6,58	6,39

Presión ambiente: (713.80 ± 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 ± 0.5) °C



Tabla A.17.

Propiedades físicas del papel Kraft natural de 1,6 g con una dosificación igual a 1,0 g/kg de una solución al 0.1% de concentración de poliacrilamida anfotérica

Peso Hojas ($P_H \pm 0,01$) g	8,12		
Presión de Reventamiento ($P_R \pm 1$) lb/pulg²	80	92	
	87	85	
	91	88	
	93	96	
	94	84	
Resistencia al Desgarro ($D \pm 0,1$) g	141,5	144,3	138,8
Resistencia a la Ruptura ($R_R \pm 0,01$) $\frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$	34,32	27,48	
	32,82	36,19	
	31,36	32,74	
	31,94	28,64	
Doblez ($Db \pm 1$) adim	97	104	
Calibre ($Cal \pm 0,01$) Pulg x 10⁻³	6,81	7,22	7,14

Presión ambiente: (713.80 \pm 0.05) mmHg

Temperatura ambiente: (28.0 \pm 0.5) °C

**APÉNDICE B. CÁLCULOS TÍPICOS****B.1. Cálculo de consistencia de la pasta recolectada en la salida de los refinadores al momento de fabricar papel Kraft natural:**

Sustituyendo los valores obtenidos de pase de la hoja seca, tomándose 100 mL de solución en la ecuación 3.1 se obtuvo:

Datos

$$P = (2,2655 \pm 0,0001) \text{ g}$$

$$V = (100 \pm 1) \text{ mL}$$

$$C(\%) = \frac{2,2655 \text{ g}}{100} * 100$$

$$C(\%) = 2,2655\%$$

A continuación se calcula el error:

$$\Delta C = \frac{|(\Delta P * V - P * \Delta V)|}{V^2}$$

$$\Delta C = \frac{|0,0001 * 100 - 2,2655 * 1|}{100^2} = 0,0002$$

$$C = (2,2656 \pm 0,0002)\%$$

B.2. Cálculo del volumen de pasta a utilizar para la elaboración de las probetas:**Datos**

$$P = (1,2000 \pm 0,0001) \text{ g}$$

$$C = (2,2655 \pm 0,0002) \%$$



Despejando de la ecuación 4.1:

$$V = \frac{1,2g * 100}{2,2655\%}$$

$$V = 52,97 mL$$

El error se determina mediante el instrumento por el cual será medido dicho volumen, por lo cual:

$$V = (53 \pm 1) mL$$

B.3. Cálculo del peso base de las hojas de mano realizadas:

Para calcular el peso base de las hojas de mano es necesario calcular el área de estas, mediante la ecuación 3.2:

Datos:

$$D = (15,6 \pm 0,1) \text{ cm}$$

$$Ah = \frac{\pi * 15.6cm^2}{4} * 0.0001 \frac{m^2}{cm^2}$$

$$Ah = 0,0191m^2$$

A continuación se calcula el error:

$$\Delta Ah = \frac{|\pi * 2 * \Delta D|}{4} * Fc1$$

$$\Delta Ah = \frac{|\pi * 0,1|}{2} * 0.0001$$

$$\Delta Ah = 0,004$$

Por lo cual:

$$Ah = (0,019 \pm 0,004) m^2$$



Una vez determinada el área, se calcula el peso base sustituyendo el valor de esta en la ecuación 3.3:

Datos:

$$Ah = (0,052 \pm 0,004) \text{ m}^2$$

$$Ph = (4,8100 \pm 0,01) \text{ g}$$

$$PB = \frac{4,81g}{5 * 0,019m^2}$$

$$PB = 50,331 \frac{g}{m^2}$$

Para el calcula el error:

$$\Delta PB = \frac{1}{5} \left| \frac{(\Delta Ph * Ah - Ph * \Delta Ah)}{Ah^2} \right|$$

$$\Delta PB = \frac{1}{5} \left| \frac{(0,001 * 0,019 - 4,81 * 0,004)}{0,019^2} \right|$$

$$\Delta PB = 2$$

De lo cual resulta:

$$PB = (50 \pm 2) \frac{g}{m^2}$$

B.4. Determinación del calibre del papel:

Para calcular el calibre de las hojas de mano se promediaron los valores de este, mediante la ecuación 3.4:



$$Cal = \frac{\sum_{i=1}^3 Cal_i}{n}$$

$$Cal = \frac{4,51 + 4,68 + 4,59}{3} \text{ mmpulg}$$

$$Cal = 4,59 \text{ mmpulg}$$

Para el caso del error por ser esta una sumatoria se conserva el error del instrumento por lo que resulta:

$$Cal = (4,59 \pm 0,01) \text{ mmpulg}$$

B.5. Determinación de la longitud de Ruptura por Tracción:

Inicialmente se promediaron los valores de Ruptura, según la EC.. 3.5:

$$R_{RUP} = \frac{3,88 + 4,13 + 4,21 + 4,76 + 4,79 + 3,83 + 4,93 + 4,53}{8} \text{ lb/pulg}^2$$

$$R_{RUP} = 4,38 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

Igualmente por ser una sumatoria se conserva el error del instrumento por lo que resulta:

$$R_{RUP} = (4,38 \pm 0,01) \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

Luego se sustituyen multiplica por el indicado según el instrumento para obtener así la carga de Ruptura, Ec. 3.6

Datos:



$$R_{RUP} = (4,38 \pm 0,01) \text{ lb/pulg}^2$$

$$F_{INST} = 0,033 \text{ pulg}^2$$

$$R = 4,38 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} * 0,033 \text{ pulg}^2$$

$$R = 0,14462 \text{ lb}$$

Para el calcula el error:

$$\Delta R = 0,033 * \Delta R_{RUP}$$

$$\Delta R = |0,033 * 0,01|$$

$$\Delta R = 0,0003 \text{ lb}$$

Por lo que resulta:

$$R = (0,1446 \pm 0,0003) \text{ lb}$$

Una vez calculada la carga de ruptura se sustituye esta en la ecuación 3.7 para determinar así la longitud de ruptura por tracción:

Datos:

$$R = (0,1446 \pm 0,0003) \text{ lb}$$

$$l = 8 \text{ mm}$$

$$PB = (50 \pm 2) \text{ g/m}^2$$

$$L = \frac{R \times 1000}{l \times PB}$$

$$L = \frac{0,1446 \text{ lb} * 1000 \frac{\text{mm}}{\text{m}}}{8 \text{ mm} * 50 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}} * 453 \frac{\text{g}}{\text{lb}}$$

$$L = 162,920 \text{ m}$$

Para el calcula el error, se toma el valor de “l” como constante por ser un valor estándar aplicado según la norma:



$$\Delta L = \frac{453}{i} \left| \frac{(\Delta R * PB - R * \Delta PB)}{PB^2} \right|$$

$$\Delta L = \frac{453}{8} \left| \frac{(0,0003 * 50 - 0,1446 * 2)}{50^2} \right|$$

$$\Delta L = 0,02m$$

Por lo que resulta:

$$L = (162,92 \pm 0,02)m$$

B.6. Determinación del índice de rasgado:

Inicialmente se promediaron los valores correspondientes a la resistencia al desgarro, según la Ec. 3.8:

$$D = \frac{64,5 + 62,6 + 65,9}{3} g$$

$$D = 64,3g$$

Igualmente por ser una sumatoria se conserva el error del instrumento por lo que resulta:

$$D = (64,3 \pm 0,1)g$$

Luego se sustituyen los valores en la Ec. 3.9 para así determinar el índice de desgarro.

Datos:

$$PB = (50 \pm 2) g/m^2$$



$$D = (64,3 \pm 0,1) \text{ g}$$

$$I_D = \frac{64,3 \text{ g} * 100 \frac{1}{\text{m}^2}}{50 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}}$$

$$I_D = 127,820 \text{ A dim}$$

Para el calcula el error:

$$\Delta I_D = 100 \frac{|\Delta D * PB - D * \Delta PB|}{PB^2}$$

$$\Delta I_D = 100 \frac{|(0,1 * 50 - 64,3 * 2)|}{50^2}$$

$$\Delta I_D = 6 \text{ A dim}$$

Por lo que resulta:

$$I_D = (128 \pm 6) \text{ A dim}$$

B.7. Determinación del índice de estallido:

Inicialmente se promediaron los valores de la presión de reventamiento, según la Ec. 3.10:

$$P_R = \frac{7+6+6+7+7+6+6+6+6+7}{10} \text{ lb} / \text{pulg}^2$$

$$P_R = 6 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

Igualmente por ser una sumatoria se conserva el error del instrumento por lo que resulta:

$$D = (6 \pm 1) \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$



Luego se sustituyen los valores en la Ec. 3.11 para así determinar el índice de desgarro.

Datos:

$$PB = (50 \pm 2) \text{ g/m}^2$$

$$P_R = (6 \pm 1) \text{ lb/pulg}^2$$

$$I_E = \frac{PR}{PB} * F_{C_2}$$

$$I_E = \frac{6 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}}{50 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}} * 703069,57 \frac{\text{g} \cdot \text{pulg}^2}{\text{lb} \cdot \text{m}^2}$$

$$I_E = 89401 \text{ A dim}$$

Para el calcula el error:

$$\Delta I_E = 703069,57 \frac{(\Delta P_R * PB - P_R * \Delta PB)}{PB^2}$$

$$\Delta I_E = 703069,57 \frac{(1 * 50 - 6 * 2)}{50^2}$$

$$\Delta I_E = 9000 \text{ A dim}$$

Por lo que resulta:

$$I_E = (89401 \pm 9000) \text{ A dim}$$

B.8. Determinación de la gravedad específica

Para calcular la gravedad específica se sustituyen en la ecuación 3.12 .

Datos:

$$D|_{60^\circ F} = (1,170 \pm 0,001) \text{ g/ml}$$

$$D|_{H_2O_{60^\circ F}} = (0,99913) \text{ g/ml}$$



$$g_E = \frac{1,170 \frac{g}{ml}}{0,99913 \frac{g}{ml}}$$
$$g_E = 1,17102 A \text{ dim}$$

Para el cálculo del error la densidad del agua es considerada una constante por lo cual:

$$\Delta g_E = \frac{1}{0,99913} * |\Delta D|_{60^\circ F}$$
$$\Delta g_E = \frac{1}{0,99913} * 0,001$$
$$\Delta g_E = 0,001 A \text{ dim}$$

Por lo cual resulta:

$$g_E = (1,171 \pm 0,001) A \text{ dim}$$

B.9. Determinación de la viscosidad de Brookfield:

Para calcular viscosidad de Brookfield se sustituyen los valores arrojados por el instrumento y el factor indicado, en la ecuación 3.13:

Datos:

Valor = (10 ± 1) Adim

Factor = Utilizando una aguja n° 7 a una velocidad de 20 RPM (2000)

$$v = 10 * 2000$$
$$v = (20000 \pm 1) cps$$

**B.10. Determinación del Peso Base ideal según los estándares de calidad del índice de desgarro:**

Para calcular Peso Base ideal según los estándares de calidad del índice de desgarro se despeja el valor de peso base de la ecuación 4.1.

$$I_D = 1,0246*PB + 115,9$$

$$PB = \frac{I_D - 115,9}{1,0246}$$

Sustituyendo el valor de índice de desgarro previamente establecido según los estándares de calidad como (123 ±6) adim, se obtiene:

$$PB = \frac{123 - 115,9}{1,0246}$$

$$PB = 6,92$$

Resultando así el peso base ideal para mantener dicho estándar:

$$PB = 7 \pm 2 \frac{g}{m^2}$$

B.11. Determinación del Peso Base ideal según los estándares de calidad de la longitud de ruptura por tracción:

Para calcular Peso Base ideal según los estándares de calidad de la longitud de ruptura por tracción se despeja el valor de peso base de la ecuación 4.1.

$$L = 10,864*PB - 221,88$$



$$PB = \frac{L + 221,88}{10,864}$$

Sustituyendo el valor de la longitud de ruptura previamente establecido según los estándares de calidad como $(554,40 \pm 0,02)$ m, se obtiene:

$$PB = \frac{555,40 + 221,88}{10,864}$$

$$PB = 71,44$$

Resultando así el peso base ideal para mantener dicho estándar:

$$PB = 71 \pm 2 \frac{g}{m^2}$$



CONCLUSIONES

1. La matriz de selección arrojó que las mejores opciones a evaluar eran las poliacrilamidas catiónicas, las poliacrilamidas anfotéricas, el almidón catiónico y la carboximetilcelulosa, respectivamente.
2. Las propiedades mecánicas del papel Kraft natural de 1,2 g sin utilizar ningún aditivo resultaron significativamente menores a dichas propiedades determinadas al adicionar los polímeros a la formulación.
3. Se observaron discrepancia en los valores de las propiedades mecánicas de las hojas empleando en la formulación poliacrilamidas catiónicas de diferente peso molecular, resultando más altos los correspondientes a la poliacrilamida de mayor peso.
4. Tanto las características de la poliacrilamida anfotérica como del almidón se ajustaron al rango de trabajo del proceso.
5. La viscosidad de la solución de polímero fue menor que la viscosidad de la solución de almidón, y resultando una mejor opción para el proceso.
6. Las propiedades mecánicas de las hojas formadas con una dosis de 3,0 g/kg del almidón catiónico resultaron ser los valores más altos para éste aditivo.
7. Los mejores valores obtenidos de las propiedades mecánicas del papel Kraft natural de 1,2 g corresponde a la formulación con una dosificación de 1,0 g/kg de poliacrilamida anfotérica, resultando estas propiedades (346098 \pm 9000) adim para el Índice de estallido, (179 \pm 6) adim el índice de desgarro y una longitud de ruptura por tracción de (456,78 \pm 0,02) m



8. Con los puntos evaluados para las relaciones de índice de estallido y longitud de ruptura por tracción con respecto al peso base se pudo observar una tendencia lineal con pendiente positiva.

9. Manteniendo las características de calidad dentro de las especificaciones fue posible predecir un peso base de (71 ± 2) g/m² y se generó así, una disminución del 13 % con respecto al valor actual.



RECOMENDACIONES.

1. En base a los resultados obtenidos se recomendó, hacer una prueba a nivel de la maquina para evaluar de manera más especifica la variabilidad en el peso base y la influencia de esto en la formación de la hoja así como también, una evaluación económica incluyendo la estructura de costos para así determinar el porcentaje de disminución en el producto final.
2. Además se recomienda hacer pruebas de la influencia del tiempo de contacto entre las soluciones de polímeros y la pasta para así determinar el tiempo óptimo en los cuales se establece la interacción de ambos componentes.



REFERENCIAS

1. Araque, E & Rojas, O. (2002). Adsorción de poliacrilamidas sobre sustratos papeleros. Artículo presentado en el congreso iberoamericano de investigación de celulosa y papel. Mérida, Venezuela.
2. Ashrat S., Clark, N., Helmer, R., MacFarlane, D., Spiccia, K., Subramanian, P., Wallace, G., Winther-Jensen, B. (2007). Application of polypyrrole to flexible substrates. Journal of applied polymers science, Vol. 104 (No 6), Pág. 3938-3947.
3. Ates, S., Deniz, 1., Kirci H. (2003). Optimisation of wheat straw Triticum drum kraft pulping. Industrial crops and products, Vol. 19 (No 3), Pág. 237-243
4. Bertaud, F., Claassen, F., Lenon, O., Kuster, B., Petit-Conil, M., SierraAlvarez, R., Tienvieri, T., van Beek, T. (2006). Fungal bio-treatment of spruce wood with Trametes versicolor for pitch control: Influence on extractive contents, pulping process parameters, paper quality and effluent toxicity. Bioresoure technology, Vol 98 (No 2), Pág. 302-311.
5. El papel. (sin fecha). Empresas cmpc [Homepage] consultado el día 15 de Abril de 2008 de las empresas cmpc web: <http://www.papelnet.cl/papel/papel.htm>.
6. El papel. (sin fecha). Asociación española de fabricantes de pasta, papel y cartón (ASPAPEL.) [Homepage] consultado el día 15 de Abril de 2008 de ASPAPEL web: http://www.aspapel.es/elpapel/para_que.htm.
7. Fibras de papel. (sin fecha). Textos científicos [Homepage] consultado el día 15 de Abril de 2008 de textos científicos web: <http://www.textoscientificos.com/papel/fibras.htm>



8. García, Olga. (2004). Utilización de fibras de lino en la fabricación de papel. Nuevas secuencias de blanqueo y aplicación de sistemas enzimáticos. Trabajo especial de grado. Universidad Politécnica de Cataluña. España
9. Himmelblau, D. (1974). Principios y cálculos básicos de la ingeniería química. México: Editorial Continental
10. La celulosa. (sin fecha). Empresas cmpc [Homepage] consultado el día 15 de Abril de 2008 de las empresas cmpc web: <http://www.papelnet.cl/celulosa/celulosa.htm>.
11. Libbi, M. (1968). Pulpa y papel. (Tomo 2). Argentina: Edición Continental.
12. Manufacturas de Papel MANPA. (1998). Manual del proceso de fabricación de papel. Aragua, Venezuela.
13. Mogollón, G., Rodríguez, N., Santiago, D. (2002). Potencial papelero de la fibra de sisal (*Agave sisalana*). Revista forestal venezolana (Vol 2), No 46, Pág. 19-27.
14. Morrison & Boyd. (1990). Química Orgánica. (Quinta Edición). México: Pearson Educacion.
15. Norma papelera TAPPI (*Technical Association of the Pulp and Paper Industry*). (1998). Technical information sheets. No. 403-m-47.
16. Norma papelera TAPPI (*Technical Association of the Pulp and Paper Industry*). (1998). Technical information sheets. No. 404-m-50.
17. Norma papelera TAPPI (*Technical Association of the Pulp and Paper Industry*). (1998). Technical information sheets. No. 414-m-49
18. Norma papelera TAPPI (*Technical Association of the Pulp and Paper Industry*). (1998). Technical information sheets. No. 423-m-50.



19. OTERO, María Luisa. (1982). Tecnología de fabricación del papel. Brasil: Editorial Senai.
20. Paris, J. Van de Ven, T. Wu, M. (2007). Flocculation of papermaking fines by poly (ethylene oxide) and various cofactors: Effects of PEO entanglement, salt and fines properties. *Colloids and surfaces*, Vol. 303 (No 1) Pág. 211-218.
21. Producto SSD-AAPP: Sistema de Soporte a la Decisión. (sin fecha). Consejo superior de administración electrónica [Homepage] consultado el día 15 de Abril de 2008 de consejo superior de administración electrónica web: <http://www.csi.map.es/csi/ssd.htm>
22. Rodríguez Jiménez, Juan. (1970). Los Controles en la fabricación del papel. (1era Edición). Madrid, España: Editorial Blume
23. Rutiaga, J. Hernández, J. Vargas, J. Sanjuán, R. (2002). Propiedades de resistencia de una pulpa kraft de pino mezclada con médula del bagazo de caña de azúcar. *Madera y Bosques*. Vol 8 (No 2), pág. 17-26.
24. SanJuán, Rubén. (1997). Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel. Trabajo especial de grado. Universidad de Guadalajara. México
25. Tipos de papel y sus usos. (sin fecha). Empresas cmpc [Homepage] consultado el día 15 de Abril de 2008 de las empresas cmpc web: http://www.papelnet.cl/papel/tipos_papel_usos.htm.
26. Zahorí, A., Harem, J., Zin, W., Yusoff, M. (2006). Enhancing dry-strength properties of kenaf (*Hibiscus cannabinus*) paper through chitosan. *Polymer-plastics technology and engineering*, Vol. 45 (No 1), pág. 125-129.

**ABSTRACT**

The phenomena of adsorption of polymers in watery suspension are of vital importance in applications wastepaper baskets where phenomena take part in coagulation and flocculation of particles. In this investigation the different resistances of the paper evaluated Kraft elaborated by means of the utilization of organic polymers themselves that they allowed the production's base to reducing the weight, by means of an investigation delimited under experimental guy's mode, that it allowed studying, to gather the information and to analyze it in order to present an alternative news in production. The pulp Kraft blended in with different organic polymers and the sheets of standard-sized hand according to what's established took shape in the wastepaper basket regulates them of the industry. This by means of the addition of quantities standardized of polymer added to the pulp mixture becoming evident that when happening the properties of resistance increment the addition of polymers significantly suddenly. Right after selected candidates the additives that worked better and they evaluated different dosifications stops next being characterized and determining your possible incorporation in the process that way. In kind selected him next the best additive for this case based so much on the behavior as in the improvement of the characteristics, as in the quantity of polymer to add, standing out that the optimal dosification of the selected polymer belonged to 1 g kg generating for the 1,2 gram heavy sheets an increment regarding the final product of: 160 % in the index of explosion, 20 % in index of tear and 95 % yielding-point length for traction. Once the different analyses by means of the variation of the weight sold off base themselves it was evaluated of way brought nearer intervening a linear relation the weight that it enabled holding the high-quality characteristics, finally was possible to decrease the weight base in a 13 %. On the basis of the obtained results you recommended a level proof of machine to evaluate of more specific way the variability in the weight base as well as, a cost-reducing evaluation including the structure of costs stops that way determining the percentage of decrease in the final product.

Key words: *Polymers, resistance in dry, paper and weight base*

Palabras claves: Polímeros, Resistencia en seco, papel y peso base