



**UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES**
1959

Estudio de factibilidad al sustituir la fibra de celulosa reciclada por pulpa elaborada a partir de madera de la especie Gmelina Arborea, en papeles tipo "liner", fabricados en el Molino "Smurfit Kappa Mocarpel"

Trabajo de Grado presentado ante La ilustre Universidad de Los Andes, como requisito parcial para optar al título de "Ingeniero Químico"

Tutor Industrial:
Ing. Antonio Di Zinno

Tutor Académico:
Prof. Johnny Bullón

Presentado por:
Univ. Deivis A. Padrón C.

Venezuela, 2009.





A Dios todopoderoso por haberme brindado la salud, paciencia y sabiduría necesaria para lograr con éxito todo lo que me he trazado en la vida.

A mis padres, Sonia y Luis, los cuales fueron mi mayor motivo y apoyo para lograr esta meta, gracias por haberme escogido como hijo, razón por la cual, Dios los escogió como padres.

A Cruz M. Córdoba (†), abuelo te fuiste hacia la luz y no pudiste estar físicamente para disfrutar de este logro, pero hoy estas presente espiritualmente para llenarte de gozo por este triunfo que también es para ti.

A Daniel, hermano mío, eres gran parte de este triunfo, doy gracias a Dios porque eres mi hermano.

A La Fundación Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, por darme la oportunidad de formar parte de este grupo tan importante desde 1996, haberme becado y a pesar de todos mis inconvenientes, siempre han confiado en mí.

A La Ilustre Universidad de Los Andes, primera universidad del país, por abrirme las puertas al mundo del conocimiento, la ciencia, la química y la vida misma, en ella me hice hombre de provecho.

A Ana, princesa mía, gracias por darle paz a mi vida.

A todas aquellas personas que confiaron en que esta semilla algún día daría un buen fruto.

I will keep walking...

RECONOCIMIENTO

Es indudable que la vida esta llena de retos, toda la sabiduría, mística y orgullo, pero también hay que hacer grandes sacrificios, el tiempo, la dedicación y el esfuerzo, son parámetros muy importantes para el desarrollo de cualquier tipo de trabajo, por ende estoy satisfecho, porque sé que di lo mejor por hacerlo bien, y hoy al ver los resultados, siento que cumplí y debo expresar con la mayor humildad y sinceridad posible, dando honor a quien honor merece y agradecerle de una manera muy profesional a:

Dios todopoderoso por darme la vida y salud, y por permitirme disfrutar y aprovechar al máximo esta etapa tan importante en mi vida, y además por haberme acompañado en todo momento y nunca abandonarme.

Mis padres por la vida, apoyo y motivación para alcanzar las metas, guiarme por el camino del bien y por nunca abandonarme en los momentos buenos y malos. Estaré eternamente agradecido por ser su hijo. Los amo...

La Escuela Técnica Agropecuaria “Smurfit Kappa Cartón de Venezuela”, por educarme para demostrar el gran potencial intelectual, espiritual, moral y prepararme en una forma integral.

El profesor Rafael Pineda, Director de la ETA “Smurfit Kappa Cartón de Venezuela”, por quererme como un hijo y siempre estar allí cuando te necesite, *Viejo Pine* lo estamos logrando, esto también es tuyo.

El Grupo Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, que desde 1996, me brindó la oportunidad de pertenecer a esta corporación, graduarme como técnico papelerero, luego desempeñando cargos en La División Forestal y seguidamente mi prosecución de estudios universitarios en calidad de becado.

La División Forestal de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, Al Ing. Rafael Arrieche y al Lic. Adelsi Fermín, quienes a pesar de mi corta edad, supieron depositar la confianza en mí, para desempeñar cargos de gran envergadura, desde asistente de supervisor, analista de abastecimiento hasta supervisor general de aprovechamiento forestal.

El ing. Silvio García, profesor, nunca pensó que esas vacaciones en esta planta en 1997, servirían para descubrir que mi gran pasión y sentido de pertenencia es este grupo y este mundo papelerero.

El profesor Jorge Costrá, por asesorarme siempre y confiar en mi para realizar esta investigación tan importante, su conocimiento sobre este mundo industrial es grande, gracias por su oportuna sabiduría.

El ing. Antonio Di Zinno, tutor, gran compañero y pana, gracias por tratarme como un colega conocedor de la pulpa y el papel, y siempre dejarme indagar y tomar las decisiones mas acertadas, en lo que respecta a estudio realizado.

El personal del departamento técnico, Zule, Orlando, siempre me han ayudado y prestado el mayor apoyo cuando los he necesitado, desde que era un muchacho y hasta ahora. Rojmer, Ender, la escuela los preparó bien, humildes y siempre deseosos de ayudar a los demás. Ingrid, gracias por el apoyo brindado en todo este tiempo.

Todos los panas de planta de pulpa, de verdad me hicieron sentir que estaba en mi casa, porque eso es pulpa para mí. A los operadores Pedro, Neptali, Giovanni, Franklin, Cárdenas. A los analistas Deivis García, Juan Criollo, José, José González, José Martínez. A los supervisores y por su puesto, a mi pana, Juan Hernández, ingeniero de procesos de esta planta, gracias a ustedes este proceso da excelente pulpa.

La ilustre Universidad de Los Andes, casa magna de los estudios superiores en nuestro país, me siento infinitamente orgulloso de egresar de esta mi eterna casa.

La Facultad de Ingeniería de La Universidad de Los Andes, allí he pasado los mejores momentos de mi vida y me formé en lo que soy hoy.

La Escuela de Ingeniería Química, personal ATO y sus profesores, por instruirme siempre y aunque me dieron muchas dificultades académicas, se que lo hicieron para formarme bien.

El Prof. Johnny Bullón por toda su colaboración y ayuda prestada.

El movimiento Imagen Universitaria IU 20, hermanos y camaradas de lucha estudiantil, por enseñarme a ser un líder fuera y dentro de La Universidad, y por poder representar a todos los estudiantes como consejero de facultad, gracias a nuestro esfuerzo, las reivindicaciones estudiantiles se están logrando.

A todos mis hermanos y compadres del alma, se que si los cuento a todos, esta lista no termina, pero allí les va: Rubencho, Armando, Antonio, Norfris, Paulita, Dubines, La momi, Willy, Osvando, Jorge, Maye, Fabricio, Miguel, José Gregorio, Luis Millán, Manuel Padilla, Leito Briceño, Eric León, Bons, Anabel, Miya, La Caña, Robertico, Aleja, Carlitos Peña, Felipe, Piolo, Arends, Dani, Gaetano, La negra Caro, Chobi, Chey, Danny Dorante, y todos aquellos que faltaron del equipo Shaolin... los mejores momentos de esta corta vida, seguramente, los he pasado con ustedes, gracias a ayudarme a ser mejor persona.

A toda mi familia y en especial a mis tías queridas... gracias por darme asilo y cobijo como en mi propia casa.

En fin muchas gracias a todos por el apoyo en todo momento...

Initium sapientiae timor domini
Prov. 1:7.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	<i>i</i>
Reconocimientos	<i>ii</i>
Índice General	<i>iv</i>
Índice de Figuras	<i>vii</i>
Índice de Tablas	<i>viii</i>
Índice de Gráficos	<i>ix</i>
Índice de Anexos	<i>x</i>
Resumen	<i>xi</i>
Introducción	1
CAPÍTULO I	
<i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN</i>	
1.1.- Formulación del problema	2
1.2.- Objetivos	5
1.2.1.- Generales	5
1.2.2. Específicos	5
1.3. Justificación	6
1.4.- Antecedentes	8
CAPÍTULO II	
<i>GENERALIDADES</i>	
2.1.- Descripción General del Proceso de Mocarpel	9
2.1.1.- Materia prima y Recursos Forestales	9
2.1.2.- Proceso Productivo de Mocarpel	9
2.1.2.1.- Planta de Astillas	10
2.1.2.2.- Planta de Pulpa	11
2.1.2.3.- Máquina de Papel	12
2.1.2.4.- Sistema de Recuperación de Químicos	14
CAPÍTULO III	
<i>MARCO TEÓRICO</i>	
3.1.- Evolución Histórica del papel	18
3.2.- Recursos Fibrosos	19
3.2.1.- Estructura y composición de la madera	19
3.2.2.- Clasificación de los Vegetales desde el punto de vista papelerero	21
3.2.2.1.- Maderables: Frondosas y Resinosas	21

	v
3.2.2.2.- Plantas no Maderables	21
3.2.3.- Principales fibras vegetales utilizadas por la industria papelera	21
3..2.3.1.- Bagazo de caña	21
3..2.3.2.- Eucalipto	22
3..2.3.3.- Gmelina Arbórea	22
3..2.3.4.- Pino Caribe	23
3.3.- Química de la materia prima fibrosa	24
3.3.1.- Composición química de la madera	25
3.4.- Evolución de los procesos comerciales de pulpeo	28
3.4.1.- Pulpeado Mecánico	28
3.4.2.- Pulpeado Kraft	29
3.4.2.1.- Descripción del Proceso Químico de Mocarpel	32
3.4.3.- Pulpeado Semiquímico	33
3.4.3.1.- Descripción del Proceso Semiquímico de Mocarpel	35
3.4.4.- Proceso al Sulfito	38
3.5.- Refinación	38
3.5.1.- Mecanismo del refinado	39
3.5.2.- Parámetros que influyen en la refinación	42
3.5.3.- Evaluación del refinado	43
3.6.- Propiedades y Ensayos rutinarios de Pulpas y Papeles	46
3.6.1.- Ensayos de Pulpas	46
3.6.1.1.- Ensayos Químicos	46
3.6.2.- Ensayos de Papeles	48
3.6.2.1.- Ensayos Físicos	48
3.7.- Reciclaje de Papel	50
3.7.1.- Importancia de las Fibras Recicladas	51

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1.- Tipo de investigación	53
4.2.- Universo, población y muestra de la investigación	53
4.3.- Equipos, materiales y reactivos	54
4.3.1.- Equipos	55
4.3.1.1.- Digestor experimental	55
4.3.1.2.- Refinador	55
4.3.1.3.- Fibrilador	56
4.3.1.4.- Refinador PFI Mill.	57
4.4.- Materiales y reactivos.-	58
4.4.1.- Materiales.	58

4.4.2.- Reactivos	58
4.5.- Metodología utilizada.	72
4.5.1.- Materia prima	75
4.5.1.1.- Preparación y acondicionamiento de las muestras	75
4.5.2.- Proceso de pulpificación	76
4.5.2.1 Condiciones de cocción	76
4.5.3.- Lavado, Tamizado y Desfibrado	79
4.5.3.1.-. Desfibrado	79
4.5.2.2.-. Tamizado	79
4.5.3.3.- Determinaciones analíticas a las pulpas y licores.	80
4.5.3.3.1.- Licor negro	80
4.5.3.3.2.- Pulpa	80
4.5.4. - Batido y optimización de las mezclas.	80
4.5.5.- Elaboración de hojas de mano para evaluación de propiedades críticas	81
4.5.6.- Prensado de las hojas de mano	82
4.5.7.- Secado de las hojas de mano	82
4.5.8.- Evaluación de las propiedades críticas	83

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cocciones de Pino	86
Cocciones de Gmelina	87
Curva Óptima de Refino	89
Pulpa de Pino	90
Pulpa de Gmelina de Hypo 22	91
Pulpa de Gmelina de Hypo 24	93
Pasta de fibra reciclada nacional	94
Pasta de fibra reciclada importada	95
Estudio de Viabilidad Económico	101

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

Conclusiones	107
--------------	-----

RECOMENDACIONES

	109
--	-----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

	110
--	-----

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO III

Figura N° 1. Vista esquemática de una sección transversal de un tallo maduro	20
Figura N° 2. Plantación de Gmelina Arbórea	23
Figura N° 3. Plantación de Pino Caribe en edad adulta (15 años)	24
Figura N° 4. Representación esquemática de la celulosa	25
Figura N° 5. Unidades Básicas de la hemicelulosa	26
Figura N° 6. Estructura modelo de lignina de madera blanda	27
Figura N° 7. Efectos primarios de la refinación	41
Figura N° 8. Efecto de la refinación en las propiedades del papel	41
Figura N° 9. Efecto de la refinación en las propiedades del papel	42
Figura N° 10. Vista frontal del CSF y esquema de las partes del CSF	45
Figura N° 11. Monitor de peso base	49
Figura N° 12. Patio típico de almacenado de fibra reciclada.	51

CAPITULO IV

Figura N° 13. Vista del formador de hojas y de las hojas de mano.	54
Figura N° 14. Vista lateral e interna del digestor experimental	55
Figura N° 15. Vista lateral e interna del refinador experimental	56
Figura N° 16. Vista del desfibrador experimental	56
Figura N° 17. Vista frontal e interna del refinador PFI MILL	57
Figura N° 18a. Diagrama General de proceso	72
Figura N° 18b. Diagrama de flujo de proceso y experimental	74
Figura N° 19. Papel absorbente especial y hojas de mano en reposo	81
Figura N° 20. Vista frontal de la prensa neumática. y Configuración de las hojas de mano	82
Figura N° 21. Rejillas metálicas. Disposición de las hojas de mano. y secado al aire libre	82
Figura N° 22. Disposición y acondicionamiento de las muestras y Vista del Laboratorio de papel	83
Figura N° 23. Balanza para peso básico. Equipo para medir estallido. Equipo para medir Compresión de anillo.	84

INDICE DE TABLAS

CAPITULO III

Tabla III.1. Principales métodos de pulpeado químico y semiquímico	35
Tabla III.2. ¿Qué sucede durante el refinado?	40

CAPITULO IV

Tabla IV.1. Ficha Técnica del Hidróxido de sodio	59
Tabla IV.2. Ficha Técnica del Sulfuro de sodio	60
Tabla IV.3. Ficha Técnica del Cloruro de Bario	61
Tabla IV.4. Ficha Técnica del Cloruro de Potasio	62
Tabla IV.5. Ficha Técnica del Ácido Clorhídrico	63
Tabla IV.6. Ficha Técnica del Ácido Sulfúrico	64
Tabla IV.7. Ficha Técnica del Tiosulfato e Sodio	65
Tabla IV.8. Ficha Técnica del Hipoclorito de Sodio	66
Tabla IV.9. Ficha Técnica del Permanganato de Potasio	67
Tabla IV.10. Ficha Técnica del Fenolftaleína.	68
Tabla IV.11. Ficha Técnica del Formaldehído	69
Tabla IV.12. Ficha Técnica del Almidón.	70
Tabla IV.13. Ficha Técnica del Azul de Bromotimol	71
Tabla IV.14. Condiciones de las muestras exigidas por la gerencia general	76
Tabla IV.15. Condiciones de cocción para las especies a cocinar	77
Tabla IV.16. Formato para cálculos en la digestión experimental	77
Tabla IV.17. Especificaciones de los experimentos con las mezclas de pulpas	84

CAPITULO V

Tabla V.1. Resultados de la cocción de pino caribe	86
Tabla V.2. Resultados de la cocción de gmelina de hypo 24	87
Tabla V.3. Resultados de la cocción de gmelina de hypo 22	88
Tabla V.4. Datos de consistencia para pulpas y pastas a utilizar	89
Tabla V.15. Puntos óptimos de refinado para cada especie	96
Tabla V.46. Costos operativos de las especies utilizadas	101

INDICE DE GRÁFICOS

CAPITULO V

Gráfico V.1. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refinado para el RCT	91
Gráfico V.2. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refinado para el estallido	91
Gráfico V.3. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refinado para el RCT	92
Gráfico V.4. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refinado para el estallido	92
Gráfico V.5. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refinado para el RCT	93
Gráfico V.6. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refinado para el estallido	93
Gráfico V.7. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refinado para el RCT	94
Gráfico V.8. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refinado para el estallido	94
Gráfico V.9. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refinado para el RCT	95
Gráfico V.10. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refinado para el estallido	95
Gráfico V.11. Resultados de la Resistencia a la compresión de anillo por Experimento	98
Gráfico V.12. Resultados de la Resistencia al estallido por Experimento	99
Gráfico V.13. Importado – Gmelina 22	102
Gráfico V.14. Importado – Gmelina 24	102
Gráfico V.15. Nacional – Gmelina 22	103
Gráfico V.16. Nacional – Gmelina 24	103
Gráfico V.17. Importado – Gmelina 22	103
Gráfico V.18. Importado – Gmelina 24	104
Gráfico V.19. Nacional – Gmelina 22	104
Gráfico V.20. Nacional – Gmelina 24	104

INDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Resultados de los experimentos dados en tablas	82
Anexo N° 2. Método de ensayo para la determinación de humedad por secado en estufa.	146
Anexo N° 3. POE para determinar álcali activo, efectivo, total y residual	154
Anexo N° 4. Determinación del número Kappa em pulpas	160
Anexo N° 5. Método para determinar la consistencia de pastas	166
Anexo N° 6. Método para determinar el índice de drenabilidad de pastas	173
Anexo N° 7. Método de ensayo para la formación de hojas de pulpa	184
Anexo N° 8. Método de ensayos para hojas de pulpa formadas manualmente	192
Anexo N° 9. Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de anillo	201
Anexo N° 10. Método de ensayo para la determinación de la resistencia al estallido	207

www.bdigital.ula.ve

Estudio de factibilidad al sustituir la fibra de celulosa reciclada por pulpa elaborada a partir de madera de la especie *Gmelina Arborea*, en papeles tipo *Liner*, fabricados en el Molino “Smurfit Kappa MocarpeL”.

Padrón, D. ¹, Bullón, J. ², Di Zinno, Antonio. ³

(1) Universidad de Los Andes, Escuela de Ingeniería Química. (2) Universidad de Los Andes, Laboratorio FIRP. (3) Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, Superintendencia de Planta de Pulpa de Smurfit Kappa MOCARPEL.
deivispadron@gmail.com, Jbullon@ula.ve, antonio.dizinno@smurfitkappa.com.ve

Resumen

El presente proyecto consiste en Determinar la factibilidad técnico - económica de sustituir la fibra de celulosa reciclada por pulpa elaborada a partir de madera de la especie *Gmelina Arborea*, en los papeles tipo “liner”, fabricados en el molino “Smurfit Kappa MOCARPEL” ubicado en el sector Carbonero Edo. Yaracuy. Para tal fin, fue desarrollada una metodología de trabajo cuyo primer paso correspondió en la recopilación de fundamentos teóricos referentes a las especies, métodos de pulpeado, características de las fibras, evaluación de pulpas y papeles. En función de estos fundamentos, se realizaron cocciones para obtener pulpas de Pino con un nivel de Kappa de 95 y de *Gmelina* con un nivel de hypo de 22 y 24 respectivamente. Así como suspensiones de pasta reciclada importada y nacional. Luego se determinaron los puntos óptimos de refinado a estas pulpas y pastas. Los resultados fueron: el Pino de kappa 95 un CSF de 475 mL y una intensidad de carga de 4500 RPM, para la *Gmelina* de hypo 22 un CSF de 441 y 2500 RPM, para la *Gmelina* de hypo 24 un CSF de 443 y 3500 RPM. De igual manera la fibra reciclada nacional un CSF de 441 y 1500 RPM y para la fibra reciclada importada un CSF de 462 y 1500 RPM. Seguidamente se refinaron todas las pulpas a estos puntos de refinado y se hicieron 7 experimentos con mezclas de pulpas de Pino, fibra reciclada y *Gmelina*, a una proporción fija de Pino y variando las de *gmelina* y reciclada (nacional e importada) de tal manera que sus proporciones vayan desde 0 hasta 30 % en las formulaciones de los papeles tipo “Liner”. Luego se determinaron las propiedades de estallido y resistencia a la compresión de anillo, las cuales son las variables de calidad críticas para los papeles de este tipo. Para la mezcla Importado – *Gmelina* 22, las proporciones 30% G – 0% D, 25% G – 5% D, 10% G – 20% D y 5% G – 25% D, la mezcla Importado – *Gmelina* 24, en todas sus proporciones, pueden utilizarse para sustituir la fibra reciclada importada. En base a la fibra reciclada nacional, la mezcla Nacional – *Gmelina* 22, de proporciones 25% G – 5% D, 20% G – 10% D y 15% G – 15% D y la mezcla Nacional – *Gmelina* 24, de proporciones 30% G – 0% D y 25% G – 5% D, son los que se pueden utilizar en caso de utilizar mezclas con reciclado interno. El estudio se puede ver desde dos puntos de vista: Optimización de las propiedades y Disminución de costos. Los puntos de optimización de las propiedades son: Para Importado – *Gmelina* 22 e Importado – *Gmelina* 24, la mejor mezcla es el experimento N° 5, con un costo de 105 \$/t para ambas, Nacional – *Gmelina* 22, el experimento N° 2 es el mejor, con un costo de 82.5 \$/t y La Nacional – *Gmelina* 24, fue el N° 1 con un costo de 75 \$/t. Si se desea disminuir los costos sin afectar mucho la calidad, para la mezcla Importado – *Gmelina* 22 y Importado – *Gmelina* 24, las mejores mezclas son el experimento N° 1, con un costo de 75 \$/t y N° 2, con un costo de 82.5 \$/t. De igual modo, en las mezclas Nacional – *Gmelina* 22, el experimento N° 2 es el mejor, con un costo de 82.5 \$/t y Nacional – *Gmelina* 24, el N° 1 con un costo de 75 \$/t.

Palabras Claves: Papel tipo “Liner”, Número Kappa, Número Hypo, CSF, Punto óptimo de refinado, *Gmelina*, Pino, Reciclado, Resistencia al estallido, Resistencia a la compresión de anillo, Optimiza.

INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la civilización, se hizo vital la utilización de la madera para satisfacer las diferentes necesidades del hombre. La madera siempre ha sido un elemento integral de todos los procesos en la vida del ser humano (energía, alimentación, vivienda entre otros), siendo también una importante fuente de materia prima para la producción de pulpa y papel. Hace poco más de un siglo que la industria papelera comenzó a usar madera como fuente de producción de pulpa.

El objetivo principal de todo proceso industrial, **es lograr la reproducción de un prototipo dado de un producto.** Si éste producto esta bien diseñado y se fabrica de tal manera que cumpla con las normas proyectadas, cumplirá con las expectativas del cliente o usuario. La competencia y los requisitos tecnológicos exigen cada día mayores conocimientos y un control más riguroso de los factores relacionados con las variaciones y características del producto. Ese control se ha convertido en una ciencia de primera magnitud que concede una importancia a la inspección y refinamiento de las variables de proceso.

Durante las últimas dos décadas, la calidad en la industria se ha convertido en un factor de competencia y supervivencia tan importante tanto para los clientes como para los fabricantes. Los clientes han exigido año tras año, unos niveles de calidad crecientes, estando en la convicción, tanto ellos como los fabricantes de que un aumento de calidad en el producto se traduce en una reducción de costos y por tanto es una fuente de beneficios para toda la cadena de proveedores y clientes.

En los comienzos, las actividades del control de calidad se iniciaban con la inspección del producto terminado para prevenir expediciones defectuosas al mercado. Mas tarde, se reveló más eficiente el vigilar el proceso de fabricación, para minimizar la producción de defectuosos y así, nació el control estadístico de procesos. Todo esto sugiere que cuanto mas aguas arriba se implanten las acciones de ingeniería de calidad, más eficientes y rentables serán los resultados.

Smurfit Kappa Cartón de Venezuela es una empresa que se caracteriza por el control de cada uno de los procesos unitarios requeridos para la fabricación de sus productos, en el molino MOCARPEL sus principales productos son los papeles Liner y Medio, materia prima para surtir la demanda de las corrugadoras del grupo Smurfit Kappa y otros clientes independientes, para la elaboración de estos papeles utiliza principalmente fibras vírgenes de Pino, Eucaliptus y Gmelina mezclados con fibras recicladas en diferentes proporciones dependiendo del tipo de papel que se este produciendo.

Este grupo empresarial, preocupado por un mejoramiento continuo de sus procesos, no escatima esfuerzos de personal y recursos para hacer estudios que ayuden a superar las calidades de productos y satisfacer a sus clientes de manera que sea un apoyo a una producción compatible con el medio ambiente, a operar con una ecología global y promover la protección ambiental como parte de su actividad de negocios.

El presente estudio está compuesto de varias partes y se resumen a continuación:

Capítulo I. Planteamiento del problema, en el cual se esboza y formula la idea de este proyecto, así como sus objetivos, justificación y antecedentes.

Capítulo II. Generalidades, donde se da una descripción detallada del proceso productivo del molino Smurfit Kappa “MOCARPEL”.

Capítulo III. Marco Teórico, el cual fundamente todas las bases teóricas de esta investigación.

Capítulo IV. Metodología, que describe todos los procedimientos y pasos que se hicieron para lograr los objetivos.

Capítulo V. Resultados, en la que se plasman todos los datos, tablas y gráficos de los experimentos realizados.



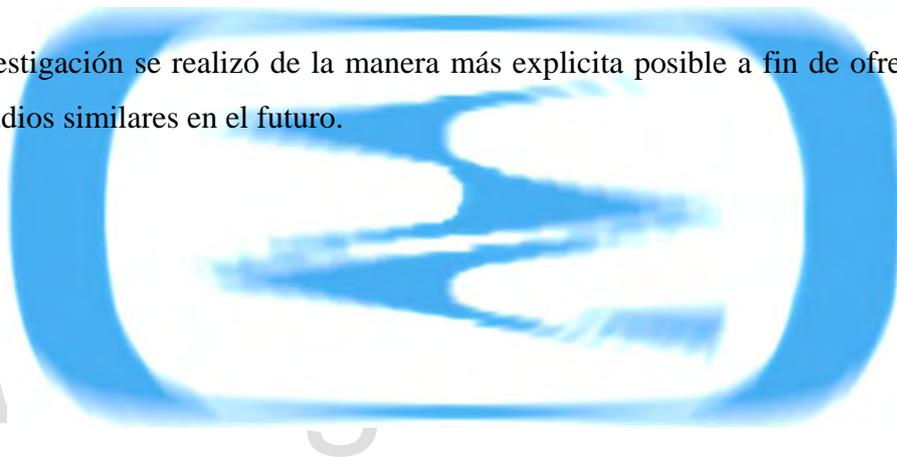
Capítulo VI. Análisis de Resultados, que permite cotejar toda la información obtenida y así llegar a resultados finales.

Capítulo VII. Conclusiones, donde se resumen los comentarios conclusivos a este estudio y si fueron cumplidos los objetivos trazados.

Recomendaciones, donde se resumen las consideraciones que se deben hacer para dar mayor veracidad a las conclusiones obtenidas.

Esta investigación se realizó de la manera más explícita posible a fin de ofrecer una guía para estudios similares en el futuro.

WWW



ve

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.

1.1.- Formulación del problema.

Hoy día, cuando la globalización arroja los lugares mas recónditos del planeta, surge la imperiosa necesidad de competir, especialmente en función de calidad, precios y servicios para poder sobrevivir a este avance, por lo que se requiere aplicar alternativas, que permitan incrementar la producción especialmente la manufacturera, lo que en ultima instancia redundará en el aumento de la productividad, o en la reducción de costos y gastos, para ya sea maximizar el flujo de caja o reducir precios. De allí es como se ha intensificado las maneras distintas de búsqueda de incrementar el progreso industrial en el mundo.

En los métodos de diseño de equipos y procesos se han logrado avances considerables. El enfoque sobre el aumento de valor de energía, la necesidad de un mejor reprocesamiento de los desperdicios o el reciclaje y en la disminución del producto no conforme, han sido factores que también han afectado las decisiones de diseño. De la misma manera, en las empresas productoras, un factor de suma importancia lo constituye el tiempo de producción.

MOCARPEL, Filial de **Smurfit Kappa Cartón de Venezuela**, produce soluciones de cartón para la elaboración de las cajas de cartón corrugado, utilizando como materia prima papel reciclado, madera de plantaciones propias y especies de oriente de La CVG Proforca.

La fabricación del papel es un proceso en el cual se involucran muchos equipos que operan como un sistema integrado para obtener la hoja de papel terminada. La importancia del papel y de los productos papeleros en la vida moderna es obvia, no hay ningún producto manufacturado en el que el papel no este relacionado de alguna manera.

Al mismo tiempo, la industria es consciente de la penetración y competencia de otros sectores como los plásticos en los mercados tradicionales de papel.

El Grupo Cartón de Venezuela tiene como objetivo asegurar que vivamos y trabajemos en un mundo ambientalmente amistoso.

En la industria de pulpa y papel se requiere un conjunto de recursos como: madera abundante, fuentes de energía, abundante agua, tecnología moderna, mano de obra calificada, y acceso a los mercados.

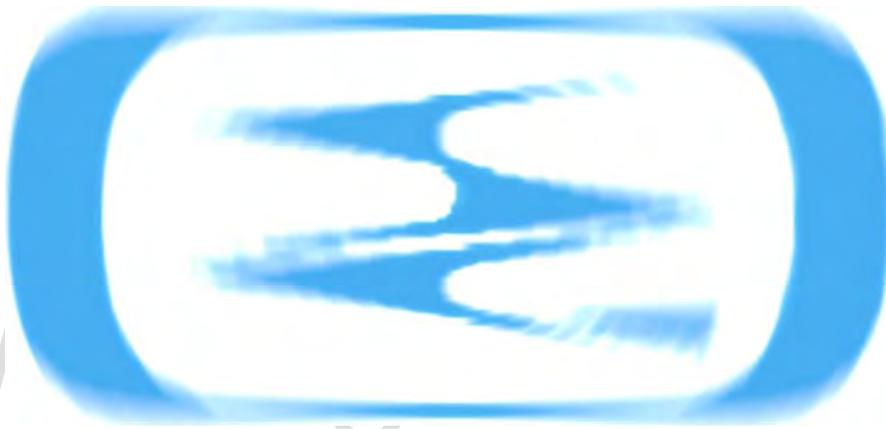
Sin embargo, la empresa esta pasando por una falta de materia prima, ya que la fibra virgen de pino que es suministrada por terceros viene con problemas en las características de calidad, que, aunque cumple con el volumen del mismo, no satisface la demanda de propiedades óptimas para el pulpeo.

De igual modo se han visto temporadas de gran escasez de reciclado local y para cumplir con las formulaciones del papel “liner” fabricado en este molino, ha sido usado reciclado importado y como es mucho más costosa, pues se generan problemas en el precio final por tonelada de papel.

Con todo lo antes planteado y debido a la existencia de fibra virgen de gmelina arbórea en plantaciones propias, se quiere hacer este trabajo de investigación, para ver la posibilidad de generar soluciones alternas a las formulaciones de papel usados actualmente.

Para ello se pretenden realizar mezclas de pulpas de pino, fibra reciclada y gmelina, a una proporción fija de pino y variando las de gmelina y reciclada (nacional e importada) de tal manera que sus proporciones varíen desde 0 hasta 30 %, y a su vez se puedan determinar las propiedades de estallido y de resistencia a la compresión de anillo, las cuales son las variables

de calidad críticas para los papeles de este tipo, a fin de comprobar la utilidad de dichas mezclas y la viabilidad de este estudio.



www

.ve

1.2.- OBJETIVOS.

1.2.1.- Generales.

● Determinar la factibilidad técnico - económica de sustituir la fibra de celulosa reciclada por pulpa elaborada a partir de madera de la especie Gmelina Arbórea, en los papeles tipo “liner”, fabricados en el molino “Smurfit Kappa MOCARPEL”.

1.2.2.- Específicos.

● Obtener el punto óptimo de refinado de pulpas químicas de Pino con un nivel de kappa de 95 y una sulfidez de 13 %.

● Obtener el punto óptimo de refinado de pulpas semi-químicas de Gmelina con niveles de Hypo de 21 y 24, y una sulfidez de 13 %.

● Obtener el punto óptimo de refinado para las pastas recicladas de origen importado y local.

● Determinar la proporción óptima de las pulpas de fibra reciclada y gmelina para producir papeles tipo “liner” con las mejores características de propiedades mecánicas (RCT y Mullen), mediante la evaluación de las mezclas.

● Determinar la viabilidad económica de las propuestas óptimas encontradas en la investigación, comparándola frente al uso de 30 % reciclado importado de la sustitución.

1.3.- JUSTIFICACIÓN.

La creación de métodos adecuados para la elaboración de pulpa papa papel obtenida de la madera, incluye procedimientos mecánicos y químicos. Estos procedimientos surgieron a finales del siglo XIX y dieron paso al rápido crecimiento y diversificación de la industria del papel durante el siglo XX, encontrándose en la actualidad dos situaciones que caracterizan el desarrollo de la industria de pulpa a nivel mundial:

- La necesidad de aprovechar en mejor forma el recurso fibroso disponible.
- La preocupación creciente de aplicar sistemas de preservación ambiental cada vez más exigentes.

Las investigaciones del sector papelerero indican que se están empleando, con muy buenos resultados, variedades de especies madereras, cada una de las cuales presentan sus propias características.

En Venezuela se han realizado estudios vinculados con maderas latifoliadas que han sido utilizadas en la fabricación de diversos cartones y papeles, lo que determinan el uso comercial de estas especies en esta rama de la industria.

La empresa Smurfit Kappa MOCARPEL en su afán por cumplir con la misión fundamental de la Gerencia empresarial, la cual consiste en satisfacer las necesidades y expectativas de sus clientes que a su vez es su política de Calidad, ha realizado diversos proyectos donde el procesamiento de y uso racional de la madera ha tenido un auge acentuado.

En los últimos años esta corporación ha incentivado una conciencia ambiental en todos los ámbitos de sus filiales, y siguiendo las premisas de las tendencias mundiales de la industria del papel, las cuales son:

- Cerrar los circuitos de agua

- Mayor uso de fibra secundaria
- Implementación del encolado alcalino para mejorar las propiedades finales del papel.

En ese sentido la gerencia general ha motivado el mayor uso de fibras recicladas y de cumplir dichas directrices.

Sin embargo en la actualidad la empresa esta pasando por un déficit de materia prima bastante grave, ya que la fibra virgen de pino que es suministrada por CVG – Proforca tiene muchas deficiencias en cuanto a las características óptimas para proceso de pulpeo, y las plantaciones pertenecientes a La División Forestal están muy jóvenes para su aprovechamiento forestal.

Las pulpas de fibra virgen de gmelina son menos costosas que el reciclado importado, y aunque genera algunos procesos de obtención adicionales, son más beneficiosas que las otras, ya que la gmelina en la mayoría de los casos está disponible para el pulpeo y en este tipo de empresa, el tiempo es lo más importante.

Así que un estudio de sustitución de tal manera de encontrar un combinación óptima para el papel “liner”, sería lo mas idóneo para proseguir con la operatividad del proceso de una manera rentable y reducir el costo de usar materia prima importada.

1.4.- ANTECEDENTES.

Una de las políticas de calidad de la empresa, consiste en el afán de siempre mejorar los procesos de manufactura. Aunque han sido muy pocos los estudios referentes al alcance de esta investigación, en alguna oportunidad se realizaron viendo en un futuro, el posible déficit de materia prima que actualmente existe.

La única diferencia es que no siempre la pulpa de sustitución no era la gmelina y que el objeto de estudio principal no era el mismo, aquellos se enfocaban en determinar las propiedades mecánicas de mezclas de pulpas de pino, eucalipto y gmelina. A continuación se presenta un listado de los estudios previos realizados en ésta empresa:

- Evaluación de las propiedades físico-mecánicas en mezclas de pulpas de *Eucalyptus grandis* y *Pinus caribaea* var *hondurensis* para la obtención de corrugado medio. Autor: Romero, Eddys. Universidad de Los Andes. Trabajo Especial de grado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. 1996.

El objetivo principal fue evaluar mezclas de pulpas de eucalipto y pino, y la información obtenida de sus ensayos dieron noción para las cantidades relativas de los ensayos ya que la gmelina y el eucalipto tienen un tratamiento de pulpeo muy parecido acá en este molino.

- Estudio de pulpeos químicos y semiquímicos de Gmelina arbórea para papeles corrugados. Autor (es): González, Francis. Ramos, Zobeida. Universidad de Los Andes. Trabajo Especial de grado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. 1996.

El objetivo fue desarrollar pulpas químicas de pino y semiquímicas de gmelina de acuerdo a los requerimientos para papeles liner y medio respectivamente. Una de las conclusiones más importantes es que en la mezcla de pino, gmelina y reciclado 60-20-20, las propiedades de RCT (Resistencia a la Compresión de anillo), se optimizan.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES.

La industria de la pulpa y el papel es una de las más antiguas y grandes industrias en el mundo. Es difícil comparar el tamaño de esta industria con otras causas de los múltiples usos tanto de la pulpa como el papel y la pirámide de valores de muchos de los productos elaborados con esos esenciales materiales. La versatilidad de ésta industria, o mejor dicho, la de sus productos, la ha colocado en lugares privilegiados en lo que ha investigación y desarrollo se trata.

El material para la obtención de pulpa es muy variado en cuanto a especies y dimensiones se refiere. Va desde las especies latifoliadas o de fibra corta, hasta coníferas de fibra larga. Otros materiales ligninocelulósicas también son empleados en esta industria, como el bagazo de caña, también muy desarrollado en nuestro medio. Los tamaños y dimensiones van desde los troncos traídos del bosque hasta la cantonera de aserrío.

El proceso de fabricación de papel comprende una serie de operaciones unitarias que se describen de una manera muy general a continuación:

2.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE MOCARPEL.

2.1.1.- Materia prima y Recursos Forestales.

Para el proceso de fabricación, MOCARPEL utiliza mayormente pulpas manufacturadas de maderas provenientes de las plantaciones cultivadas por La División Forestal. Desde 1981 se estableció un programa de desarrollo forestal cuyo objetivo es lograr la satisfacción de la demanda de fibras de pulpa virgen del molino y así disminuir la importación de materia prima reciclada lo cual implica mayores costos.

La División Forestal inicio sus operaciones en el año 1981 y actualmente cuenta con más de 22000 hectáreas plantadas con las especies tropicales de melina (*Gmelina Arborea*), Eucalipto (*Eucalyptus Grandis* y *Urophylla*) y Pino Caribe (*Pinus Caribaea*). Con este proyecto Smurfit Cartón de Venezuela se convierte en el pionero del país en lograr el desarrollo de bosques en tierras poco aptas para cultivos, promoviendo su reforestación con especies adecuadas y genéticamente superiores, y así mismo protegiendo el medio ambiente.

2.1.2.- Proceso Productivo de Mocarpel.

Como se mencionó anteriormente, el núcleo productivo del complejo industrial SMURFIT KAPPA MOCARPEL lo constituyen seis plantas internas que las podemos describir de acuerdo a su funcionamiento. A continuación se presenta el proceso productivo de Mocarpel, dividido en cada una de las áreas operativas que posee el molino:

2.1.2.1.- Planta de Astillas.

La planta de astillado, con una capacidad para 580 m³/h (75 Ton/H), forma la primera etapa del proceso de fabricación de pulpa de madera, donde la materia prima es recibida en forma de rolas y seguidamente es convertida en astillas aptas para ser sometidas a los siguientes procesos de pulpeo químico y semiquímico en Planta de Pulpa de MOCARPEL. En la planta se reciben rolas de diferentes tipos de maderas las cuales son utilizadas en el proceso, como son *Gmelina* y Eucalipto para la fabricación de pulpa semiquímica y Pino Caribe para la pulpa química.

Las rolas son astilladas para producir astillas de aproximadamente 3 cm. de largo, 2.5 cm. de ancho y 6mm de espesor, las cuales son clasificadas de acuerdo a las dimensiones, eliminando son ello el material de desecho constituido por corteza de madera y aserrín.

Las astillas al pasar la etapa de clasificación, son enviadas a los patios para su almacenamiento mediante el uso del lanzador de astillas, y se “forman pilas” de acuerdo al tipo de madera (Gmelina, Pino o Eucalyptus), en patios separados.

2.1.2.2.- Planta de Pulpa.

Se divide en dos líneas:

- **Línea Semiquímica.**

La línea semiquímica produce pulpa de maderas de fibra corta, la cual se emplea principalmente en la fabricación de papeles medio corrugados. La capacidad de esta línea es de 160 toneladas secas de pulpa. El proceso de pulpeo empleado es del tipo Kraft, utilizando licor de hidróxido de sodio endulzado con sulfuro de sodio. El proceso utiliza un digestor continuo donde las astillas permanecen aproximadamente 20 minutos bajo la acción del vapor y licores de soda (10% NaOH en base a la madera alimentada y endulzado a 13% de sulfidez como Na₂O).

Finalmente se refinan mecánicamente las astillas cocinadas y se lava la pulpa producida con el fin de separar mediante dilución los sólidos residuales disueltos en la cocción y entregar a la maquina de papel una pulpa perfectamente limpia. La pulpa semiquímica puede ser almacenada a granel a una consistencia de 26% aproximadamente o en una torre de 10 TM de capacidad a una consistencia de 13%., el líquido eliminado de la pulpa durante el lavado y que arrastra los sólidos disueltos de la cocción, es llamado licor negro, el cual es enviado a la Unidad de Recuperación de Químicos.

Este licor esta compuesto por fracciones orgánicas de la madera perdidas durante la cocción (mayormente ácidos grasos y lignina), álcali residual y los compuestos de sodio remanentes.

- **Línea Química.**

La línea química produce pulpa de madera de fibra larga (Pino Caribe) empleada en mayor proporción en la fabricación de papeles "Liner". La capacidad de esta planta es de 150 toneladas y en este caso la madera es cocinada en forma discontinua o poscargas produciendo unas 4,5 toneladas aproximadas por cada digestor cargado.

Cada carga permanece en cocción durante una hora con los licores equivalentes a 13% en base a la madera seca cargada de pino (como Na_2O). Al igual que en la línea semiquímica, se produce pulpa bajo un proceso kraft, endulzando el licor blanco (hidróxido de sodio al 10%) con sulfuro de sodio (sulfidez 13%).

Luego de cocinada la pulpa es refinada más ligeramente para mantener intactas las dimensiones de las fibras y posteriormente, es lavada para recuperar los sólidos orgánicos disueltos de la madera y los químicos de la cocción y de esta forma entregar la pulpa limpia a la planta de fabricación de papel. Estas pulpas son almacenadas en una torre de alta densidad con capacidades de 500 TM.

2.1.2.3.- Máquina de Papel.

La planta de fabricación de papel con capacidad para producir 130000 TM anuales a su vez esta dividida en dos áreas: sección de preparación de pasta y el área de Máquina de Papel propiamente dicha.

En el área de papel se procesa fibra secundaria de las plantas receptoras de desperdicio y material reciclado, constituido principalmente por la fibra proveniente de los ajustes de anchos durante la formación o el corte de los rollos a las medidas exigidas por el cliente y rollos fuera de especificación de calidad.

Las pacas de material reciclado son alimentadas a un hidrapulper que las desintegra convirtiéndolas en una pasta que es posteriormente tratada para retirar materiales extraños como: plásticos, arena, anime, alambres, entre otros., mediante equipos específicos de limpieza de naturaleza hidrociclónica (diferencia de densidad por fuerza centrífuga).

La fibra limpia aceptada es espesada y almacenada (torre de 50 TM) quedando disponible para el uso en la máquina de papel. El uso de material reciclado nacional proveniente de La División Fibras Industriales de Cartón de Venezuela, permite suplir del 40 al 50% de la pasta requerida para la fabricación del papel, lo cual contribuye a minimizar el uso de recursos, aplicando tecnologías más limpias para mejorar la disposición de los desechos no peligrosos en las ciudades.

La máquina de fabricación de papel, por su parte, esta dividida en dos secciones: húmeda y seca. La sección húmeda es aquella donde se prepara la pasta con las diferentes pulpas disponibles y de acuerdo al tipo de papel a producir (Liner o Medio). La pasta preparada es enviada a la caja cabecera de una mesa de formación fourdrinier fabricada por Beloit.

En esta unidad de la máquina se forma la hoja de papel sobre una malla de 465 cm. de ancho, que permite el drenaje del agua mediante elementos especiales de drenaje y extracción del agua (vacío). El agua retirada de esta sección es filtrada para recuperar, la fibra y ser utilizada nuevamente en el proceso para disminuir el consumo de agua fresca. La hoja formada es pasada a través de dos prensas de rodillos que permiten reducir la humedad al 60%.

Luego de este punto se inicia la sección seca en la que, mediante cilindros de superficie caliente llamados secadores, se retira por evaporación casi la totalidad del agua presente en la hoja, quedando la misma finalmente entre 5 a 9 % de humedad, dependiendo de los requerimientos del cliente.

Después de los secadores, la hoja pasa a través de unos rodillos rectificadores de su superficie (calandria) para mejorar la apariencia y reducir el espesor de la misma finalizando en la

bobinadora. Posteriormente, es enviada a la rebobinadora con el objeto de darle las dimensiones específicas por el cliente.

Actualmente, se cuenta con el sistema automático de manejo de rollos de producto terminado, que en forma conjunta con una moderna rebobinadora VALMET, la cual opera a 1500 m/min., confiere gran fluidez a la etapa final del proceso, así como características estándares al producto terminado.

Además de la fibra, se utilizan una serie de aditivos en el proceso de preparación de la pasta que permiten mejorar ciertas propiedades del papel.

Por ejemplo, los papeles "Liner" se producen encolados, lo cual quiere decir, que presentan resistencia a la penetración y/o adsorción de humedad. Para lograr esta propiedad, es necesario emplear sulfato de aluminio y resina de colofonia, la cual mezclada con la pulpa y bajando el pH del agua de la máquina con ácido sulfúrico a valores de 3, se logra que precipite el resínato de colofonia en la hoja de papel y es el encargado de servir de barrera a la penetración de agua, o empleando resinas de tecnología resiente como es el ASA en sistemas neutros-alcalinos. (Tomado del intranet www.smurfitkappa.com.ve).

2.1.2.4.- Sistema de Recuperación de Químicos.

La planta de recuperación de químicos que inicio sus operaciones en 1993, con capacidad para procesar 518.000 lb. de sólidos/día de los licores negros provenientes de las plantas de pulpeo de maderas Eucalipto, *Gmelina* y Pino; además de la recuperación de hasta 70 toneladas de sosa cáustica. La alta eficiencia del complejo permite mantener la reposición de químicos (sosa cáustica) en solo un 10 %, reducir los costos y ha permitido disminuir la carga contaminante al sistema de tratamiento, logrando de esta manera un menor impacto ambiental de los efluentes al cuerpo de agua receptor, el río Yaracuy. Actualmente Mocarpel mantiene sus efluentes muy por debajo de las exigencias establecidas por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Cabe destacar que el sistema de recuperación de químicos cuenta con un Precipitador Electrostático para garantizar la remoción de partículas de sus emisiones atmosféricas; la tecnología ambiental más moderna que permite alcanzar más de 98% de eficiencia.

La unidad recuperadora de químicos (URQ) comprende tres etapas principalmente: evaporación, incineración o quemado de los sólidos orgánicos y caustificación. El licor negro producido en la sección de pulpeo, luego de filtrado, tiene bajo contenido de sólidos totales del orden del 10 %, motivo por el cual se le denomina licor negro débil. Este licor es sometido a una operación de evaporación llevada a cabo en la unidad de evaporadores de múltiple efecto del tipo de película descendente, mediante la adición de vapor vivo, con el fin de aumentar el contenido de sólidos en el licor negro a un valor que permita su quemado para la recuperación del químico de cocimiento. Estos sólidos se concentran de 10 a 62 %, para permitir su incineración en la caldera o unidad de recuperación, donde se lleva a cabo la combustión.

En la caldera de recuperación se llevan a cabo cuatro etapas:

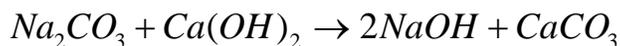
- a) **Secado:** El agua aun presente en el licor concentrado se evapora, quedando los sólidos secos en forma de pequeñas partículas.
- b) **Pirolisis:** En esta etapa la fracción orgánica de los sólidos del licor se descompone por efecto del calor produciendo gases y compuestos de carbono de menor peso molecular llamados coque.
- c) **Combustión:** En esta etapa el coque producido en la pirolisis cae al fondo del hogar de la caldera formando un lecho o cama donde se completa la conversión de los compuestos orgánicos en CO_2 y sales inorgánicas de sodio fundidas (carbonato y sulfuro de sodio).
- d) **Disolución:** Las sales orgánicas son disueltas en agua para formar el licor verde (mayormente carbonato de sodio) que pasa a la etapa de Caustificación. En esta etapa los

vapores generados en el tanque de disolución, son pasados por un lavador de gases, que permite garantizar la remoción de las partículas.

Durante el quemado, se quema la parte orgánica del licor negro, generando calor y formando CO_2 , este gas reacciona con las sales de sodio que constituyen la parte inorgánica del licor negro, teniendo como resultado Carbonato de Sodio Na_2CO_3 , en forma de fundido debido a alta temperatura de combustión ($1200\text{ }^\circ\text{C}$ aproximadamente).

El fundido de carbonato de sodio es desalojado de la unidad recuperadora por gravedad y enviado a la etapa de caustificación. Por otra parte el calor generado por la combustión del licor negro, es utilizado para producir vapor, que se usa en los digestores de la sección de pulpeo para la cocción de la madera y en los evaporadores para la concentración del licor negro. El carbonato de sodio proveniente de URQ, y diluido en agua, denominado licor verde por su color, es clarificado en un clarificador de licor verde, donde por decantación se remueven las impurezas sólidas y son eliminadas del proceso.

Una vez clarificado el licor verde pasa por el apagador de cal. En este equipo se lleva a cabo el apagado de la cal u óxido de calcio CaO , agregado al proceso desde el silo de cal, formando cal apagada o hidróxido de cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Por otra parte en el apagador de cal se inicia la reacción de caustificación, es decir, la conversión de carbonato de sodio en soda cáustica o hidróxido de sodio NaOH y el hidróxido de calcio en carbonato de calcio CaCO_3 , este último en forma de partículas, mediante la siguiente reacción:



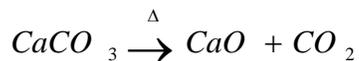
La mezcla de cal y licor verde luego del apagador de cal, pasa a los caustificadotes, los cuales proveen el tiempo necesario para la conversión total de los reaccionantes.

Finalizada la reacción de caustificación, la soda cáustica en forma de solución, denominada licor blanco por su color, es clarificada en el clarificador de licor blanco, donde es removido

por decantación el carbonato de calcio en forma de lodo. El licor blanco es enviado a los digestores de la sección de pulpeo para ser utilizado como químico de cocción de la madera.

Este lodo obtenido es sometido a una operación de lavado en una lavadora de lodo, para recuperar la soda cáustica o licor blanco que pudiera estar presente en el lodo. El lodo de carbonato de calcio, finalizada la operación de lavado es almacenado en un tanque provisto de un mezclador de lodo, con el fin de mantener una mezcla de lodo homogénea, la cual es alimentada al filtro lodo, donde por aplicación de vacío, el lodo de carbonato es espesado de un contenido de sólidos de 25 a 75 %, contenido de sólidos requerido para la calcinación del carbonato en el horno de cal.

La calcinación se lleva a cabo en un horno, quemando petróleo como combustible para conseguir la temperatura de calcinación requerida. Mediante la calcinación, el carbonato de calcio es convertido en óxido de calcio o cal viva, que es reutilizada en el proceso de caustificación, adicionándola en el apagador de cal a través de la unidad de manejo de cal. La reacción que se lleva a cabo es:



En casos de fallas en el suministro de licor negro por la planta de pulpa, la caldera de recuperación puede ser alimentada por fuel oil a fin de mantener las temperaturas requeridas por el proceso.

Actualmente, el sistema de recuperación de químicos mantiene una eficiencia de recuperación de soda del 90% y de cal del 92%. (Tomado del intranet www.smurfitkappa.com.ve).

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO.

3.1.- EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL PAPEL.

Desde las épocas más remotas el hombre sintió la necesidad de comunicar su pensamiento, sus ideas, su vida misma. Para ello comenzó a utilizar los objetos tal y como se los ofrecía la naturaleza; paredes de las cavernas, hojas, huesos, piedras. A medida que su desarrollo fue en aumento el hombre comenzó a transformar los elementos, adaptándolos para usarlos como medio de transmisión de ideas y pensamientos, llegándose al uso de arcilla, madera, papiro seda y cuero hasta llegar al papel.

Las hojas de papiro, hechas prensando el tejido medular de un junco, *cyperus papyrus*, se utilizaron para escribir en fecha tan remota como la de 3.000 años antes de Cristo en Egipto. Para hacer las hojas, los tallos se descortezaban y luego se cortaban en trozos de 30 a 40 cm. Los pedazos descortezados eran divididos verticalmente en láminas muy delgadas que se entrecruzaban sobre una superficie dura y lisa. Se cubría con un trozo de tela y con un mazo pesado se golpeaban las tiras ensambladas. El golpeteo hacía que las tiras se compactaran formando una lámina que luego se dejaba secar. Estas láminas se guardaban enrolladas.

El jefe de suministros del Imperio Chino, de nombre Tsai Lung, fue quien ideó un sistema utilizando ropas viejas y redes de pesca, hasta encontrar una hoja de papel de aceptable calidad. El uso del papel se extendió a los confines del Imperio Chino acompañando las rutas de las grandes caravanas. Su fabricación se mantuvo en secreto hasta que en el año 751, al caer Samarkanda en poder de los musulmanes, el secreto se conoce y se difunde en los territorios islámicos. La difusión hacia Japón la realiza un monje budista, luego de 6 siglos de secreto en China.

La difusión del conocimiento sobre la manufactura artesanal del papel, acompaña la expansión musulmana a lo largo del norte de África hasta la Península Ibérica. Ello justifica la

localización de los primeros molinos papeleros en Europa en La Península Ibérica, en las áreas dominadas por los musulmanes. La aceptación del papel y la difusión de su industria en Europa crearon una escasez del trapo empleado como materia prima. La producción de pulpa de madera llegó para solucionar tal escasez. El crédito que corresponde a la iniciación de esta inmensa industria es evidentemente compartido por muchos hombres de ciencia e inventores. (Peña y Aguilera, 2003).

3.2.- RECURSOS FIBROSOS.

Como ya se describió anteriormente, el uso de madera para producir papel se ha intensificado en los últimos años y para tener una idea en el desarrollo de este estudio, es necesario tener conocimiento de las características de las maderas, especies, tipos de pulpeado utilizados para transformar las especies madereras en pulpas aprovechables para la fabricación de papel, así como la importancia que tiene el uso de fibras recicladas para la disminución del impacto ambiental de la industria papelera mundial.

3.2.1.- ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA MADERA.

La madera es una de las más antiguas materias primas utilizadas por el hombre, para quien ha sido cobijo, cuna, ataúd, recurso natural y arma. El papel está fabricado a su vez con materias vegetales.

En efecto, el 93% de las pulpas para papel que se producen en el mundo provienen de la madera y el 7% restante, se fabrica con materias vegetales llamadas no maderables. También se utilizan aunque en muy pequeño porcentaje fibras no vegetales.

Generalmente se considera que el árbol tiene tres partes: la copa, el tallo y las raíces. La copa está compuesta por hojas y ramas. Las hojas constituyen la fábrica del árbol, los órganos en los cuales se elabora el alimento por el proceso de la fotosíntesis (combinación de dióxido de carbono y agua en presencia de la clorofila y de la luz para formar carbohidratos), con el fin de

proporcionar la energía necesaria para el metabolismo y desarrollo del árbol. Las ramas tienden a orientar a las hojas de modo que puedan recibir la luz solar. Conducen también materiales del tallo a las hojas y viceversa. (Peña y Aguilera, 2003).

El tallo (fuste o tronco) del árbol es la parte que surte de fibra de madera a la industria, su función es soportar la copa, conducir hacia arriba el agua y los nutrientes minerales y hacia abajo los alimentos elaborados y además servir como almacenamiento. En la Figura N° 1 se puede observar una vista esquemática de la sección transversal de un tallo. Se muestran la corteza exterior, la corteza interior, el cambium (sitio donde se generan células nuevas de corteza y células de madera), la albura (es la parte fisiológicamente viva y conduce nutrientes) y el duramen esta fisiológicamente muertos y su función es sostener el árbol.

Se puede observar los anillos anuales en la porción de leño o xilema. Las raíces tiene como función soportar el tronco, absorber agua y nutrientes minerales del suelo y servir como lugar de almacenamiento. En el xilema están localizadas las fibras utilizadas para obtener pulpa para papel. (Peña y Aguilera, 2003).

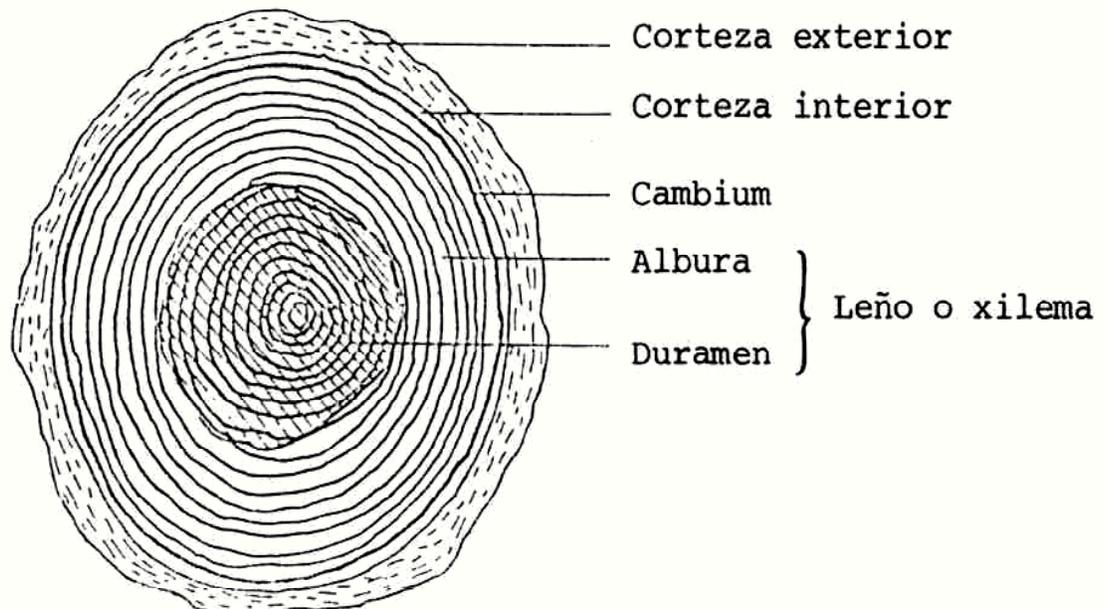


Figura N° 1. Vista esquemática de una sección transversal de un tallo maduro (Tomado de Peña y Aguilera, 2003)

3.2.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS VEGETALES DESDE EL PUNTO DE VISTA PAPELERO.

3.2.2.1.- Maderables: Frondosas y Resinosas.

Frondosas:

Llamadas también latifoliadas (por la forma de sus hojas). En la literatura anglosajona se habla de estas maderas como Hardwoods, maderas duras, ya que en general son más densas y difícilmente penetrables que las maderas de resinosas, aunque hay excepciones. Poseen vasos que al ser observados en corte transversal aparecen como poros, por ello también se les dice porosas. Dan lugar a las llamadas fibras cortas.

Resinosas:

Llamadas coníferas (semillas en una cápsula en forma de cono). La mayoría tienen hojas en forma de aguja (aciculadas). En la literatura anglosajona se habla de estas maderas como Softwoods. Dan lugar a las llamadas fibras largas. En lugar de vasos como las frondosas, poseen traqueadas, las cuales son más grandes que éstos.

3.2.2.2.- Plantas no Maderables.

A nivel mundial su importancia papelera es reducida, sin embargo en algunos países como Colombia, Venezuela, Cuba. Constituyen una importante fuente de fibras para la fabricación de papel (bagazo de caña).

3.2.3.- PRINCIPALES FIBRAS VEGETALES UTILIZADAS POR LA INDUSTRIA PAPELERA.

3.2.3.1.- Bagazo de Caña.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) crece en climas tropicales y subtropicales. El

bagazo es el residuo fibroso que queda de la caña de azúcar después de ser triturada y de pasar por el proceso de extracción del azúcar. La calidad del bagazo depende de la variedad de la caña, su edad, condiciones del terreno, tipo de molienda, entre otros.

El bagazo crudo contiene del 70 al 75% de fibra útil y aproximadamente 30% de médula. La médula constituye una fracción indeseable porque consta de células no fibrosas, cuya longitud es inferior a 0,4 mm. La médula reduce el drenado de la pulpa. La fibra del bagazo de caña es corta, pudiendo estar entre 0,8 y 1,7 mm. Además de la médula hay impurezas abrasivas (arena) que hay que extraer. (Peña y Aguilera, 2003).

3.2.3.2.- Eucalipto.

En varios países del mundo, el abastecimiento de la industria de pulpa y papel está basado en plantaciones con algunas especies del género *Eucalyptus*. Existen más de 500 especies de eucaliptos originarias de Australia.

Su longitud de fibra ubica a los Eucaliptos como fibra corta (L cercana a 1 mm). Tiene características de madera dura.

3.2.3.3.- Gmelina Arbórea.

Al igual que otras especies introducidas en América, la gmelina se considera como una de las especies de mayor potencial comercial. Por la capacidad de renovación y transformación de su madera, países como Costa Rica, Colombia, Brasil y Nicaragua ya cuentan con plantaciones industriales para su explotación comercial.

Especie nativa del sureste asiático, la gmelina es hoy por hoy, una de las especies más promisorias para usar en diferentes procesos industriales y en programas de reforestación; en los que por su rápido crecimiento es fuente segura de materia prima. Su distribución natural abarca el nordeste de Pakistán hasta el sudeste de Camboya, India, Sri Lanka y el sur de

China; en donde se conoce por los nombres comunes de so, so-maeo, kumhar, sewan, gumadi, shiva o shivani. (Figura N° 2).

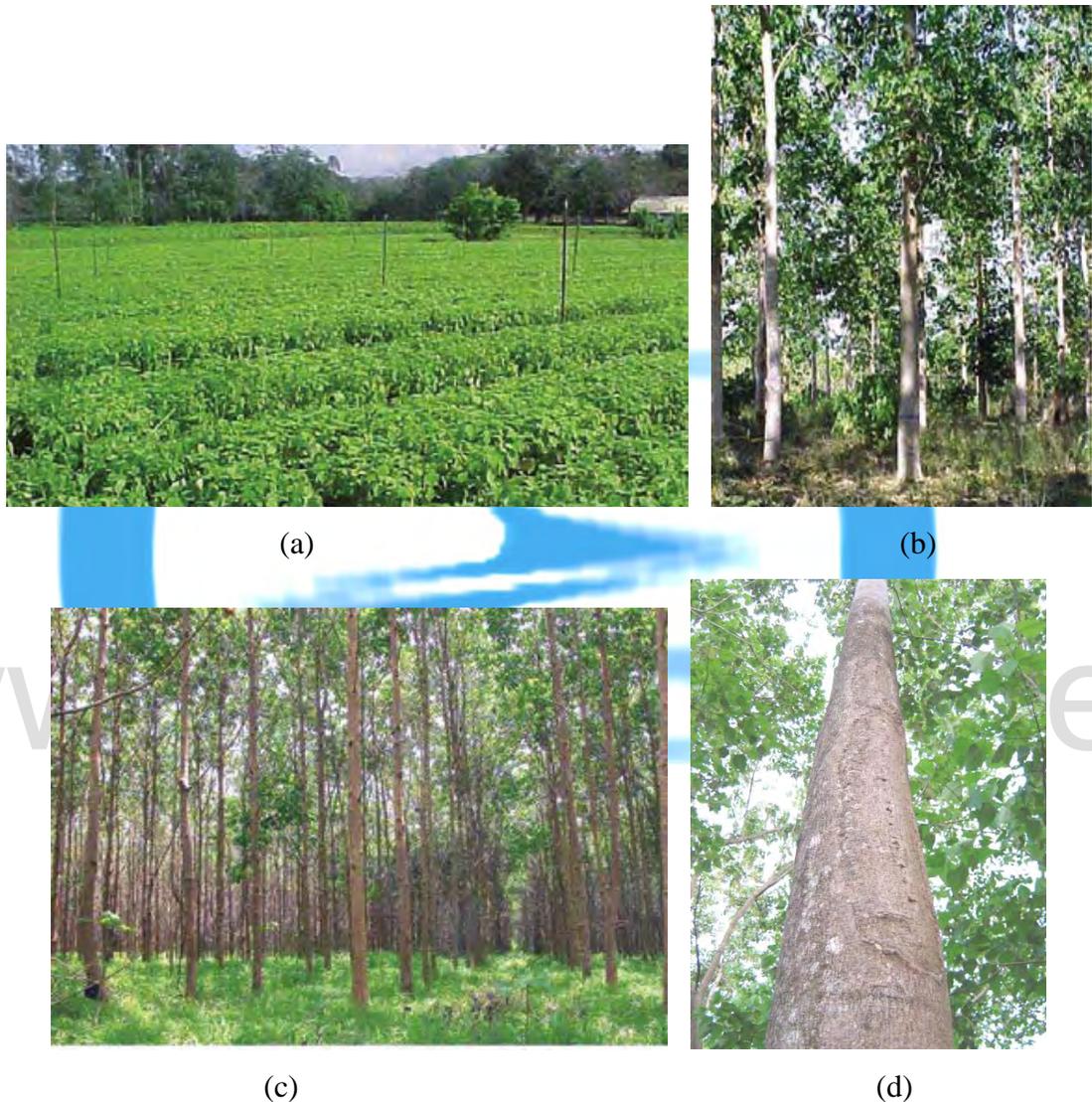


Figura N° 2. (a) plántulas de gmelina en vivero forestal. (b) Plantación forestal de gmelina de 3 años de edad. (c) Plantación forestal de gmelina de 5 años de edad. (d) Árbol de gmelina en edad adulta (7 años). (Tomado de Rojas y Murillo, 2004).

3.2.3.4.- Pino Caribe.

Pino caribe, confiera del grupo de las gimnospermas, se conoce en la industria papelera como madera de fibra larga. Originario de Las Antillas y América Central, encuentra una

distribución natural entre las latitudes 27^a y 12^a norte. Es un pino tropical de rápido crecimiento que se ha extendido a través de 46 países que obtuvieron la semilla con el objeto de hacer plantaciones de tipo comercial. Los países que han cultivado esta especie están situados geográficamente entre Los Trópicos de Cáncer y de Capricornio de América, así como en África y Australia. (Gaytan y Valade, 1992). (Figura N° 3).



Figura N° 3. Plantación de Pino Caribe en edad adulta (15 años). (Tomado de Padrón y Quiñones, 1999)

3.3. QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA FIBROSA

Los materiales lignocelulósicos están compuestos básicamente por celulosa, hemicelulosa, lignina y constituyentes menores.

La celulosa, principal componente de la pared celular de la fibra, es un polisacárido lineal, constituido por un único tipo de unidad de azúcar.

Las hemicelulosas también son polisacáridos, pero difieren de la celulosa por estar constituidos por varios tipos de unidades de azúcar, además de ser polímeros ramificados y de cadena más corta.

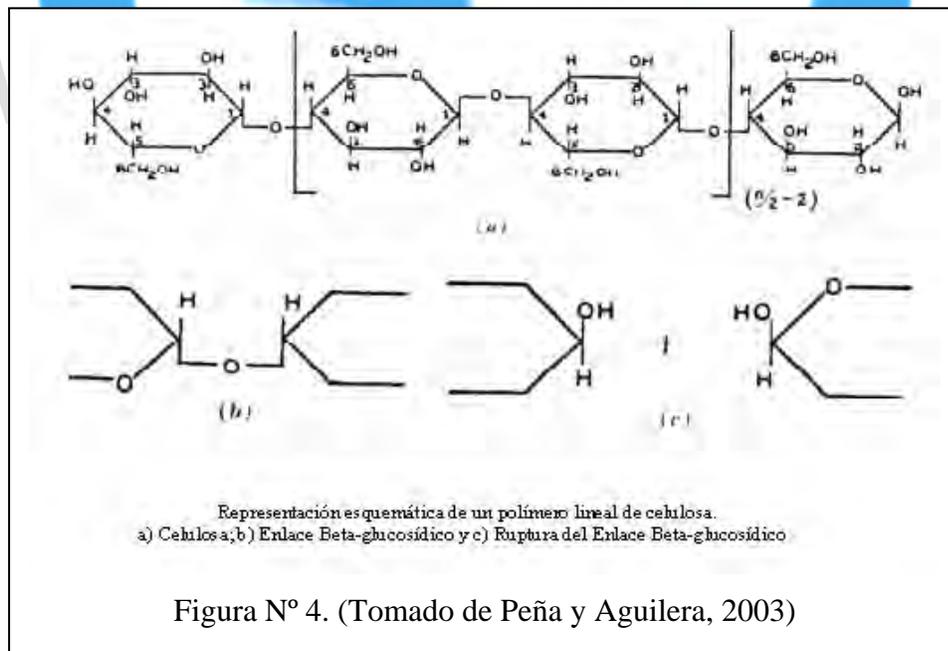
La lignina es un polímero amorfo, de composición química compleja, que confiere firmeza y rigidez al conjunto de fibras de celulosa.

Los constituyentes menores incluyen compuestos orgánicos de diversas funciones químicas y en cantidad menor, compuestos inorgánicos. Los constituyentes menores, solubles en solventes orgánicos, en agua o en ambos son normalmente llamados extractivos (Peña y Aguilera, 2003).

3.3.1.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA

Celulosa:

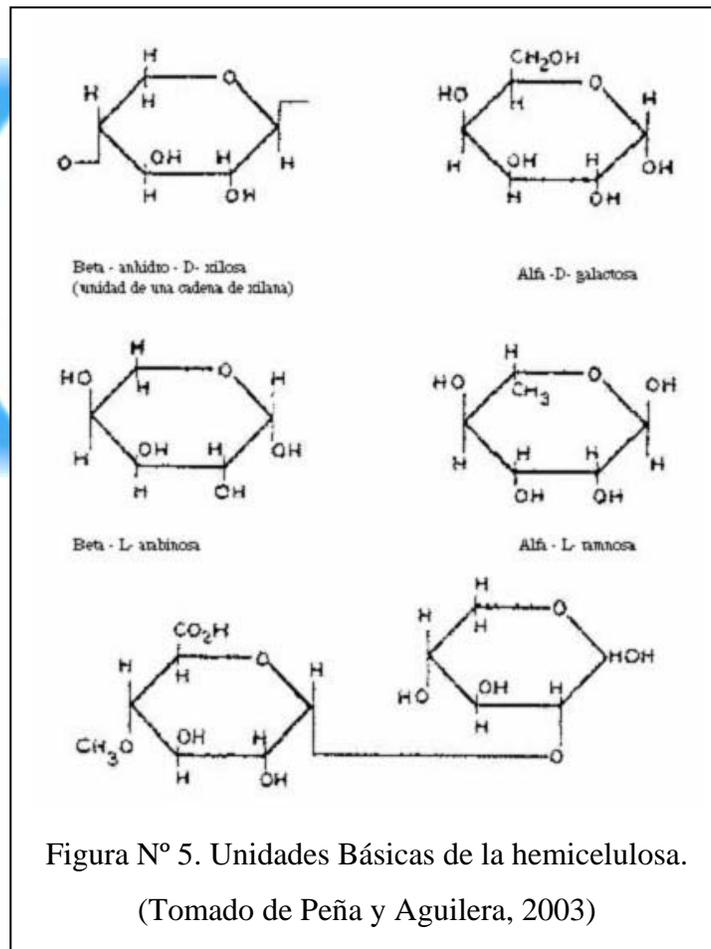
Representa aproximadamente el 50 % de la madera. La celulosa es un polisacárido formado por unidades del monosacárido β-D glucosa, que están unidas entre sí a través de los carbonos 1 y 4, dando origen a un polímero lineal (Figura N° 4). El número de unidades básicas (manómetro) es de 3.000 (grado de polimerización) y el polímero resultante es celulosa.



Hemicelolosa:

Representa alrededor del 20 % de la fibra. El término hemicelulosas se refiere a una mezcla de polímeros polisacáridos de baja masa molecular, los cuales están íntimamente asociados con

la celulosa de los tejidos de las plantas. Mientras la celulosa como sustancia química contiene exclusivamente D-glucosa como unidad fundamental, las hemicelulosas son polímeros en cuya composición pueden aparecer, condensados en proporciones variadas, las siguientes unidades de azúcares: β -D-xilosa, β -D-mannosa, β -D-glucosa, α -L-arabinosa, α -D-alactosa, Acido β -D-galactourónico, β -D-glucourónico y Acido α -D-4-O metilglucourónico. (Figura N° 5). (Peña y Aguilera, 2003).

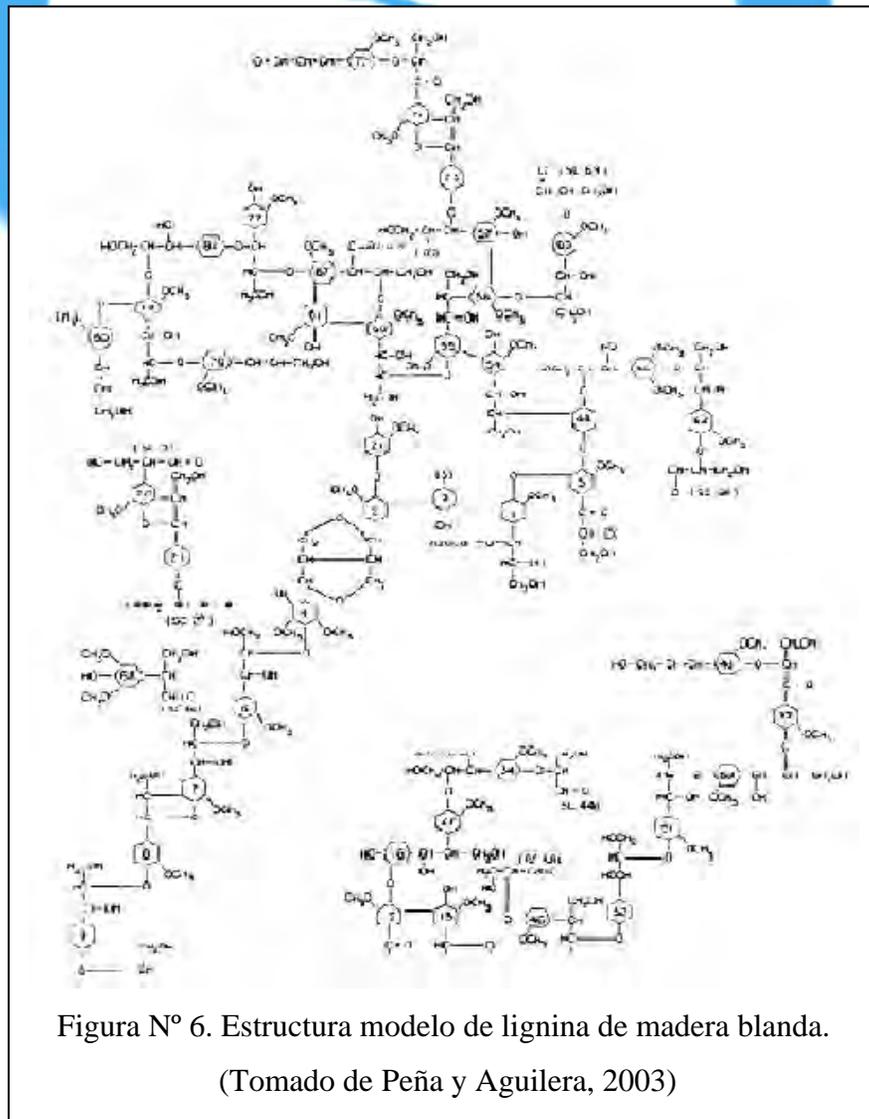


Lignina:

Está entre un 15-35 % de la fibra. La lignina es un polímero tridimensional que mantiene unidas las fibras vegetales. Para el productor de pulpa y papel la lignina es el ingrediente indeseable de la madera que ocasiona la mayoría de los problemas que surgen durante la

producción de pulpa. De no ser por la lignina, no resultaría necesario aplicar reactivos fuertes alcalinos o ácidos para la deslignificación química de la madera a fin de obtener pulpa y productos de papel. Debido a que el objetivo primario en la producción de pulpa consiste en la liberación de las fibras celulósicas, y estas están atrapadas en el cemento vegetal que es la lignina, deberá entenderse que la producción de pulpa es el arte consistente en eliminar la lignina de los tejidos de las plantas leñosas. La deslignificación es la meta más importante en la producción de pulpas químicas.

La lignina siendo un polímero amorfo (Figura N° 6) presenta un punto de transición vítrea que varía considerablemente de acuerdo a su origen y al método usado para su aislamiento. (Peña y Aguilera, 2003).



Constituyentes menores

Representan un 10% de la fibra. Se dividen en 2 grupos los extraíbles con solventes orgánicos y los que no. Generalmente varían de 5 a 8% en las coníferas y 2 a 4% en las latifoliadas. (Peña y Aguilera, 2003).

3.4.- EVOLUCIÓN DE LOS PROCESOS COMERCIALES DE PULPEO

3.4.1.- PULPEADO MECÁNICO

La tecnología de pulpeado mecánico ha experimentado un desarrollo importante en las dos últimas décadas. Hasta 1960 toda la pulpa mecánica se producía mediante el proceso de pulpa mecánica de muela. Para el año 1975, la pulpa mecánica producida en Norte América fue de 90% pero en 1980, aproximadamente el 50% de la pulpa mecánica era producida por métodos que utilizan refinadores.

Las razones que ha conducido al cambio hacia los métodos con refinadores vienen dado por las siguientes ventajas:

1. Utilización de residuos de aserraderos (astillas y aserrín) en lugar de rolas.
2. Mayores resistencias de las pulpas.
3. Reducción de los costos de mano de obra (mayor producción y control sobre el proceso).

El desarrollo de métodos de pulpeado con refinadores suministró nuevas oportunidades para la utilización de fuentes de fibras disponibles a bajo costo, y, al mismo tiempo, facilitó la obtención de pulpas mecánicas más resistentes, que requieren una menor demanda de pulpas químicas más caras cuando se mezclan en la fabricación de papel. (Smook, 1990).

3.4.2.- PULPEADO KRAFT.

El proceso a la soda, fue el primer método de pulpeado químico y precursor del proceso KRAFT, siendo patentado en 1854. Una patente posterior en 1865 cubrió la incineración del licor residual a la soda para recuperar la mayor parte del álcali utilizado en el proceso. La primera fábrica concluida con éxito data de 1866. (Smook, 1990).

El proceso de cocción puede ser en continuo o discontinuo. En la cocción discontinua, el digestor se llena de astillas y se adiciona suficiente licor hasta cubrirlas. Después el contenido se calienta de acuerdo a un programa predeterminado, normalmente por circulación forzada del licor de cocción a través de un intercambiador de calor. Por la parte superior del reactor se desgasan aire y otros gases no condensables por medio de una válvula de control de presión. La temperatura máxima se suele alcanzar después de 1 a 1.5 horas, que permite el licor de cocción impregnar las astillas.

La cocción se mantiene a una temperatura máxima de 170 °C durante 1 a 2 horas para completar las reacciones de cocción. Después de la digestión, el contenido se descarga en un tanque de soplado donde las astillas ablandadas se desintegran en fibra, en algunos casos el vapor de cocción se condensa en un intercambiador de calor para proporcionar agua caliente para el lavado de la pulpa.

El proceso kraft involucra la acción sobre las astillas de madera de una solución de hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro (Na₂S). El ataque alcalino causa una rotura de la molécula de lignina en fragmentos más pequeños, Cuyas sales de sodio son solubles en el licor de cocción. Las pulpas kraft producen papeles resistentes (“kraft” es la palabra alemana que significa resistente), pero la pulpa cruda se caracteriza por un color marrón oscuro. El proceso kraft se asocia con la emisión de gases malolientes, principalmente sulfuros orgánicos, que causan problemas de contaminación ambiental.

El proceso kraft se desarrolló hace casi 100 años a partir de la cocción a la sosa (que utiliza

sólo hidróxido de sodio como especie química activa), cuando Carl S. Dahl introdujo sulfato de sodio en el sistema químico de cocción. La conversión en sulfuro de sodio en el licor de cocción resultante produjo una mejora drástica en la cinética de la cocción y las propiedades de la pulpa cuando se procesan coníferas. El hecho de que normalmente, se utilice sulfato de sodio como producto químico de reposición es la razón por la que el proceso kraft se denomina también “proceso al sulfato”.

La cocción de frondosas es menos afectada por la presencia del sulfuro de sodio en el licor de cocción alcalina, muchas pulpas de frondosas se producen aun por el proceso a la sosa. Comúnmente se producen varios tipos diferentes de pulpa kraft. Las calidades crudas para aplicar en el embalaje se cuecen a rendimientos más altos y contienen más lignina que las pulpas para blanquear.

VARIABLES QUE AFECTAN A LA COCCIÓN KRAFT

ASTILLAS DE MADERA

- Especies
- Calidad de las astillas (tamaño)
- Humedad

LICOR DE COCCIÓN

- Porcentaje de sulfidez

CONTROL DE COCCIÓN

- Carga de reactivos (AA o AB/b.m.s.)
- Relación volumétrica
- Ciclo de temperatura
- Curva tiempo/temperatura (factor H)
- Grado de deslignificación
- Número kappa

- Alkali residual

EFFECTOS DE LA SULFIDEZ DEL LICOR:

La cocción Kraft es más rápida y proporciona un rendimiento mayor y pulpas mas resistentes que el proceso a la soda. Los efectos del sulfuro de sodio Na_2S son muy significativos hasta los niveles de sulfidez del 15 %, pero los beneficios adicionales parecen ser pequeños a valores más altos.

EFFECTO DE LA CARGA DE ALCALI:

El álcali normal para el pulpeo de maderas coníferas es del orden del 12 a 14 % de AE/b.m.s. y del 8 a 10% para las frondosas. Es importante suministrar suficiente cantidad de productos químicos para que las reacciones de cocción se realicen debidamente. En la práctica, se utiliza un ligero exceso de reactivo para mantener un nivel mínimo de concentración, necesario para mantener en solución el material disuelto (lignina) y prevenir su reposición sobre la fibra.

EFFECTO SOBRE LA TEMPERATURA MÁXIMA DE PULPEADO

La cocción se puede llevar hasta una temperatura máxima de 180 °C sin afectar el resultado de la misma. De 180 a 190 °C, hay una pequeña reducción en el rendimiento, por encima de 190 °C las pérdidas de rendimiento y resistencia pueden ser sustanciales debido al ataque sobre la celulosa.

EFFECTO DEL HIDROMÓDULO

El término hidromódulo se refiere a la relación entre líquidos y la base seca (si se tiene un hidromódulo de 3, significa que en el reactor habrá 3 partes de líquido por una de madera seca). Para garantizar una penetración adecuada, se requiere un volumen suficiente de licor

que garantice que toda la superficie de las astillas este mojada. En las condiciones discontinuas normalmente se llena el digestor con un 75% de licor. A medida que la cocción se va desarrollando, el agua de las astillas y la lignina entran en la fase líquida mientras que la masa de astillas sedimenta, de este modo, el nivel de líquido asciende en relación al nivel de astillas. Niveles típicos del hidromódulo están entre 3 a 5. El efecto de una dilatación mayor es disminuir la concentración de productos químicos activos y por consiguiente reducir la velocidad de reacción.

EFFECTO DEL TAMAÑO DE LA ASTILLA:

La reducción del espesor de la astilla aumenta algo la velocidad de cocción y reduce considerablemente la cantidad de rechazos en la clasificación. Cuando se utilizan astillas desmenuzadas es posible una reducción del álcali habitual y un ligero incremento en la retención de los carbohidratos, sin embargo, bajo esta forma la madera no ha sido nunca utilizado comercialmente, por demandas adicionales de manejo y energía.

Generalmente, los fragmentos de madera de pequeña longitud (finos, aserrín) producen rendimientos más bajos y pulpas menos resistentes y consumen cantidades mayores de álcali.

Un alto porcentaje de material fino causara una peor circulación del licor tanto en digestores continuos como en discontinuos, se recomienda cocinar este material por separado y en equipos diseñados para tal fin.

3.4.2.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO QUÍMICO DE MOCARPEL.

La línea química de planta de pulpa tiene como finalidad la producción de pulpa química de pino y en algunos casos de eucalipto y gmelina, para la fabricación de papeles, medium y liner, usados en la elaboración de cajas corrugadas.

La materia prima es recibida en forma de rolas descortezadas, las cuales se someten a una operación de astillado, donde son cortadas en astillas para facilitar la penetración de los químicos durante la cocción.

La pulpa química se obtiene sometiendo las astillas a un proceso de cocción prolongado conocido como kraft moderado con soda cáustica y sulfuro de sodio en presencia de vapor, en digestores que trabajan por vargas, en total son seis (6) digestores. Durante el cocimiento, la soda cáustica reacciona con la lignina (componente de la madera no apta para fabricar pulpa), formando componentes solubles en el medio alcalino. Esto permite la extracción de la lignina dejando libre la celulosa para la fabricación de pulpa.

El producto obtenido, tiene un rendimiento de aproximadamente 56-58 %, es decir, la cantidad de pulpa producida basándose en la cantidad de madera seca utilizada. Tanto la celulosa como la hemicelulosa son atacadas parcialmente durante el proceso y por ello se ve afectado dicho rendimiento.

Una vez el cocimiento, las astillas son transferidas al tanque de soplado que por diferencia de presión entre éste (sistema atmosférico) y el digestor (sistema presurizado), las astillas se rompen y/o fracturan. La pulpa en suspensión es sometida a una operación de despatillado en un solvo fibrilador, donde se rompen las astillas y/o nudos que no llegaron a cocinarse; así como una etapa de depuración de materiales pesados.

Seguidamente, la pulpa pasa por una fase de desfibrado en un refinador J/4000, donde la acción mecánica de los discos, las fibras son cortadas tanto longitudinal como transversalmente de acuerdo al diseño de los discos según la especialidad. La pulpa luego de ser refinada es sometida etapa de selección de fibras, mediante un tamiz (Screens Bird o Hooper) con cestas de 0.125 pulg., para separar por diferencia de presión, los rechazos (nudos, astillas crudas) que requiere mayor refinación, es decir, mayor tratamiento mecánico.

La pulpa química una vez desfibrada y seleccionada es enviada a una operación de lavado en contracorriente usando licor intermedio débil y agua caliente respectivamente. Esta operación se lleva a cabo en tres lavadoras (3) instaladas en serie. Como resultado del lavado de la pulpa, se extrae el licor negro, denominado así por su color oscuro, el cuál está compuesto básicamente por una parte de materia orgánica, producto de la extracción de la lignina durante el cocimiento de la materia prima y una parte inorgánica principalmente y compuesta por sales de sodio, como resultado de la soda cáustica usada en la cocción.

La pulpa química ya lavada al 12-15 % de consistencia, se envía por medio de la bomba Warren de alta consistencia, a un tanque o torre de alta densidad para su almacenamiento, donde es bombeada hacia la máquina de papel.

El licor negro generado tanto en proceso de fabricación de pulpa, es filtrado y enviado a la planta de recuperación de químicos, donde se recupera la soda cáustica y es reutilizada en el cocimiento de las astillas en el proceso de pulpeo.

3.4.3.- PULPEADO SEMIQUÍMICO.

El pulpeado semiquímico combina métodos químicos mecánicos. Esencialmente, las astillas de madera (o rollizos) son parcialmente ablandados o cocidos con productos químicos, y la acción de Pulpeado restante se suministra mecánicamente, muy a menudo en refinadores de disco. Los métodos semiquímicos abarcan el intervalo completo de pulpas cuyos rendimientos están comprendidos entre los métodos mecánicos puros y los químicos puros, es decir, 55-90% referido a madera seca. Las pulpas tienen diversas utilidades finales y algunas propiedades características. Como ejemplo, las pulpas con el orden de rendimiento de 75% poseen una rigidez excepcional, que las hace muy apropiadas para la capa central del cartón ondulado.

Se producen diferentes calidades de pulpa al Sulfito, dependiendo de su uso final. Las calidades de alto rendimiento se obtienen normalmente usando un licor de cocción de bajo

contenido en ácido libre, es decir, con ión bisulfito como especie química activa predominante. En la tabla III.1 se resumen los principales métodos de pulpeo químico y semiquímicos utilizados en la industria papelera. (Smook, 1990).

Tabla III.1.- Principales métodos de Pulpeado químico y semiquímico. (Tomado de Smook, 1990).

Método	Kraft	Sulfito Ácido	Bisulfito	NSSC
Reactivos	NaOH	H ₂ SO ₄	M*(HSO ₃)	Na ₂ SO ₃
	Na ₂ S	M*(HSO ₃)	Na ₂ CO ₃	Na ₂ CO ₃
Tiempo de cocción (h)	2-4	4-20	2-4	0.25-1
pH del licor	13+	1-2	3-5	7-9
Temperatura de Cocción (°C)	170-180	120-135	140-160	160-180

*M=Ca, Mg, Na, NH₄

Esfuerzos para desarrollar el Pulpeado Semiquímico han incluido la introducción de productos químicos durante el Pulpeado mecánico. Esta técnica esta aún en fase de desarrollo, pero se considera, usualmente, como una modificación del Pulpeado mecánico.

3.4.3.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO SEMIQUÍMICO DE MOCARPEL.

La línea semiquímica de planta de pulpa tiene como finalidad la producción de pulpa semiquímica de eucalipto y gmelina, para la fabricación de papeles, medium y liner, usados en la elaboración de cajas corrugadas.

Los camiones son descargados mediante una jaiba y a la vez las rolas son alimentadas a una serie de transportadores donde es llevada al astillador “Chipper” para convertir la rola descortezada en pequeñas astillas para asegurar que los químicos del proceso impregnen la totalidad de la madera.

El “Chipper” está compuesto por 10 cuchillas dispuestas radialmente y cada una acompañada por la parte interna de una aleta o aspa, que cumple la función de enviar la astilla ya cortada

hacia la tolva o cajón de metal resistente donde se encuentran dos tornillos transportadores “sin fin”, que alimentan las astillas a otros transportadores que llevan las astillas a una Zaranda, donde son seleccionadas por un sistema de tamices, los fino productos de astillado pasan a un transportador que los llevará a un depósito de desecho. Los productos gruesos pasan hacia el “rechipper” donde son cortadas nuevamente y reenviadas a la zaranda de seleccionadora. El producto aceptado es llevado luego a un dispensador donde se colocan a granel las astillas para su uso posterior en los procesos de pulpificación.

Las astillas ya almacenadas, son alimentadas con la ayuda de un tractor de oruga hacia el sistema de transportadores que llevan las astillas hacia un lavador de astillas para retirar impurezas y seguidamente se alimenta al sistema semiquímico. La pulpa semiquímica de eucalipto, Gmelina o mezcla de maderas tropicales, se obtiene mediante un proceso continuo, sometiendo en primer lugar a las astillas a un lavado con agua y posteriormente son calentadas en un prevaporizador (pre-steaming) con vapor saturado a 95 C, para ablandar las astillas e incrementar la temperatura de las mismas, eliminar el aire interno y crear cierto nivel de vacío en los espacios internos de éstas, que facilita la absorción del licor de cocción a éstas.

Las astillas salen de prevaporizador y caen a un tornillo alimentador (plug screw feeder) para forzar la entrada de las astillas hacia los digestores presurizados y formar un taco contra presión de vapor de los digestores horizontales. En este momento se remueve el exceso agua, algo de extractivos solubles en agua y el aire remanente.

El tubo “T” actúa como cámara de descarga del tornillo alimentador. Por razones de seguridad esta sección está provista con una válvula que actúa como “válvula check” evitando la despresurización del digestor (retrosoplado de vapor) en el caso de que no se forme el taco de astillas. Cuando las astillas entran a esta sección se expanden y absorben el licor de cocción, ya que el licor se dosifica por medio de un anillo en la zona de descarga del tornillo alimentador.

Las astillas impregnadas de licor son transportadas a través de los digestores por medio de tornillos helicoidales. El tiempo de cocción de las astillas en el digestor puede variar de 13 a 22 minutos, ya que éstos están provistos de un variador de velocidad. Para proveer este tiempo de retención necesario para completar la reacción química, se requieren de dos tubos digestores en serie. La cocción se lleva a cabo por la acción del vapor y la soda cáustica agregados y el tiempo de retención. La pulpa semiquímica obtenida tiene un rendimiento que varía entre 70 y 75 %, base a madera seca utilizada.

Las astillas cocidas se alimentan al **desfibrador sunds L-42** (refinador L-42) por medio de un tornillo alimentador (infeeder), para ser desfibrada y transformada en pulpa. La consistencia de descarga es de 23 a 26 %. La pulpa es soplada al **tanque de soplado** por diferencial de presión entre la descarga del L-42 y la presión atmosférica, el cual asiste adicionalmente a la separación de las fibras.

Parte del líquido instantáneo revaporizado junto con el vapor de arrastre es condensado en el tanque de agua caliente por un condensador de contacto directo, el cual usa agua fresca y condensada, combinado de la planta de recuperación. El agua caliente que se obtiene se utiliza en las duchas en la operación de lavado.

La pulpa se diluye en el fondo del tanque de soplado para luego ser bombeada a la próxima etapa de refinación en los **refinadores J-4000**, donde se acondiciona la fibra mediante un tratamiento mecánico de despatillado, fibrilación y corte que facilita su lavado y le confiere ciertas condiciones fundamentales para el desarrollo de sus propiedades fisicoquímicas.

La pulpa ya refinada pasa a la operación de lavado en contracorriente en dos etapas, las cuales se llevan a cabo en tres lavadoras en serie. En la primera etapa la pulpa es lavada con licor débil proveniente de la segunda etapa, y esta a su vez es alimentada con el licor de la primera etapa, la cual es lavada con agua caliente a una temperatura de 70 a 75 C.

La pulpa semiquímica una vez lavada, se envía mediante una **bomba warren**, tipo tornillo a la torre de alta densidad de 150 toneladas para su almacenamiento al 12% de consistencia a la prensa tornillo a donde se extrae hasta alcanzar una consistencia del 25%, que permite el almacenamiento a granel de la pulpa. La pulpa semiquímica es utilizada en la mayoría de los casos en la máquina de papel para la fabricación de papel medium, empleado en la elaboración de la lámina corrugada.

3.4.4.- PROCESO AL SULFITO.

En el proceso al sulfito se utiliza una mezcla de ácido sulfuroso (H_2SO_3) e ión bisulfito (HSO_3^-) par atacar y solubilizar la lignina. Aquí, el mecanismo de ataque químico elimina la lignina en forma de sales de ácido lignosulfónico, permaneciendo la estructura molecular casi intacta. La base química para bisulfito puede ser el ión calcio, magnesio, sodio o amonio. El pulpeado al Sulfito puede llevarse a cabo en un amplio intervalo de pH. "Sulfito ácido" indica una cocción con un exceso de ácido sulfuroso libre (pH 1-2), mientras que las cocciones "al bisulfito" se realizan bajo condiciones menos ácidas (pH 3-5).

3.5.- REFINACIÓN.

Anteriormente se describió el proceso de obtención de pulpas químicas de una manera clara y sencilla. Las astillas se introducen en un reactor y se cocinan hasta convertirla en una red fibrosa que seguidamente será la pulpa. Pero para ello es necesario que ésta tenga un proceso de refinación adecuado para garantizar el desarrollo óptimo de las propiedades fisicomecánicas de las pulpas y posterior papeles. Por lo que es importante una explicación general del proceso de refino la cual es una variable crítica en el proceso papelerero.

La refinación es una operación de preparación de la pulpa mediante un trabajo mecánico en presencia de agua, donde las fibras son modificadas tanto en morfología como en estructura físico química, con la finalidad de desarrollar propiedades que les permitan mejor adaptación al proceso papelerero.

En inglés los términos “beating” y “refining” se usan indistintamente, pero en español, para ambos términos se utiliza la palabra “refinado”. Con más precisión, “beating” se refiere a la acción de unas cuchillas rotativas situadas frente a una platina cuando las fibras pasan perpendicularmente a las cuchillas. “Refining” se refiere a la acción llevada a cabo en los refinadores continuos cónicos o de discos donde las fibras fluyen paralelamente a los cruces de las cuchillas. En todos los casos, el objetivo es desarrollar o modificar las fibras de una forma óptima para los requerimientos específicos de una composición para fabricar papel.

Aunque el refinado y la desintegración son consideradas operaciones separadas, en la práctica puede existir un solape considerable. Algunas modificaciones mecánicas de las fibras tienen lugar durante las operaciones de desintegración y dispersión. De la misma manera, un refinador es una máquina efectiva de desintegración. (Smook, 1990).

3.5.1.- Mecanismo del Refinado.

El mecanismo de refinado, tal como es visualizado por Espenmiller, las fuerzas mecánicas e hidráulicas se emplean para alterar las características de las fibras. Dos tipos principales de acciones están aplicadas: los esfuerzos cortantes, que están causados por las acciones de tensión, enrollado y retorcido entre las barras y las hendiduras y los canales del refinador, y los esfuerzos normales (de tensión y compresión) que están causados por las acciones de doblado, enrollado, retorcido, aplastamiento, tracción, y empuje sobre los agregados de fibras situados entre las superficies de las cuchillas.

Los principales efectos sobre las fibras individuales se resumen en la tabla III.2, el primer efecto es la eliminación parcial de la pared primaria. Aunque la pared primaria es permeable al agua, no se “hincha”. La eliminación de la pared primaria deja al descubierto la pared secundaria y permite la hidratación (esto es, la absorción de agua en la estructura molecular) y la flexibilidad de la fibra. La acción posterior de la fibrillación implica la liberación de las fibrillas y la producción de microfibrillas más finas en la superficie de las fibras, dando como resultado un sensible aumento de la superficie específica de las fibras refinadas.

Tabla III.2.- ¿Qué sucede durante el refinado?. (Tomado de Smook, 1990).

Efectos Primarios
<ol style="list-style-type: none"> 1. Eliminación de la pared primaria; formación de partículas de fibras o “finos”. 2. Penetración de agua en la pared celular (denominado como “machacado” e hinchamiento. 3. Rotura de algunos enlaces de puente hidrógeno interfibra; reemplazamiento por enlaces de puente de hidrógeno fibra-agua (hidratación). 4. Aumento de la flexibilidad de la fibra. 5. Fibrilación externa y defoliación. 6. Acortamiento de fibras.
Efectos secundarios
<ol style="list-style-type: none"> 1. Fracturas en la pared celular. 2. Alargamiento de la fibra y/o compresión. 3. Solubilización parcial de las hemicelulosas de la superficie en “geles”. 4. Enderezamiento de las fibras (baja consistencia). 5. Ondulado de las fibras (alta consistencia).

Algún acortamiento de fibras casi siempre ocurre durante el refinado, debido a la acción de cizalladura producida en el cruzamiento de las cuchillas. El corte de las fibras es normalmente considerable indeseable porque provoca un menor grado de drenaje y una pérdida de resistencia. Eventualmente, se provoca una acción de corte para obtener una buena formación de hoja con pulpa de fibras largas.

Durante la refinación, el trabajo mecánico origina rompimiento de la pared primaria, la cual es parcialmente eliminada y se exponen las áreas internas de la fibra provocándose el hinchamiento y la fibrilación externa e interna. Las fibras aumentan de volumen, toman aspecto deshilachado, se tornan más flexibles, disminuyen su longitud y se producen finos. (Figura N° 7). (Peña y Aguilera, 2003).

También hay otros efectos, considerados secundarios como disminución de la resistencia al flujo, aumento de la resistencia al drenado, variación de la resistencia de la hoja (aumenta con la fibrilación y disminuye con el acortamiento de las fibras), aumento del área enlazada, de la densidad de la hoja y disminución con el refino de la opacidad y la porosidad.

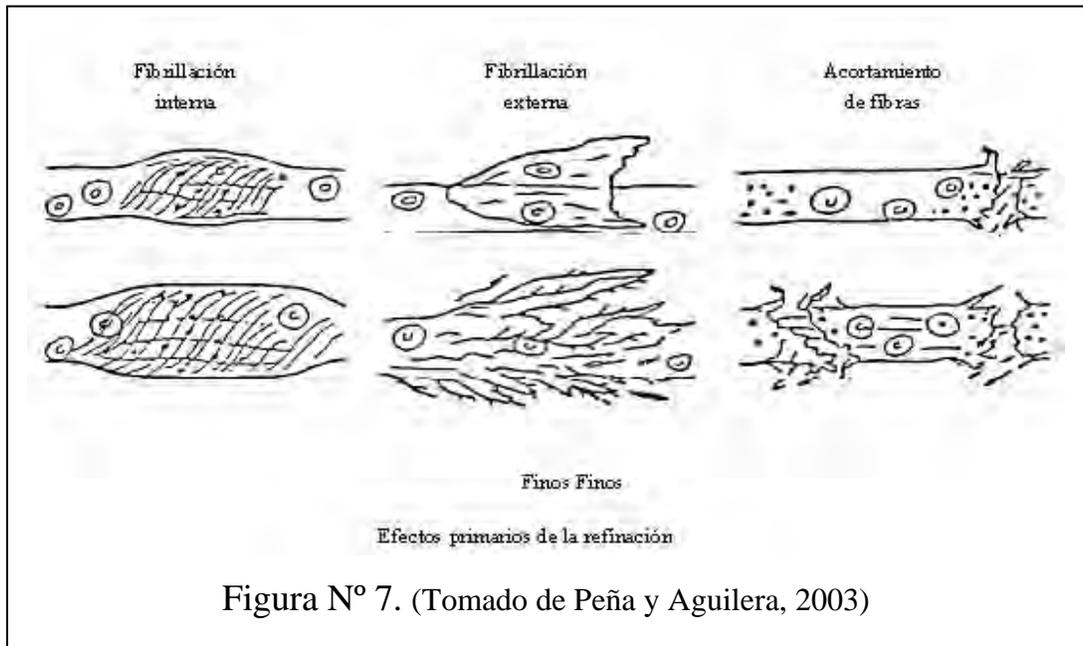


Figura N° 7. (Tomado de Peña y Aguilera, 2003)

En la figura N° 8 y N° 9 se presentan algunos efectos del refino en las propiedades de pulpas y papeles.

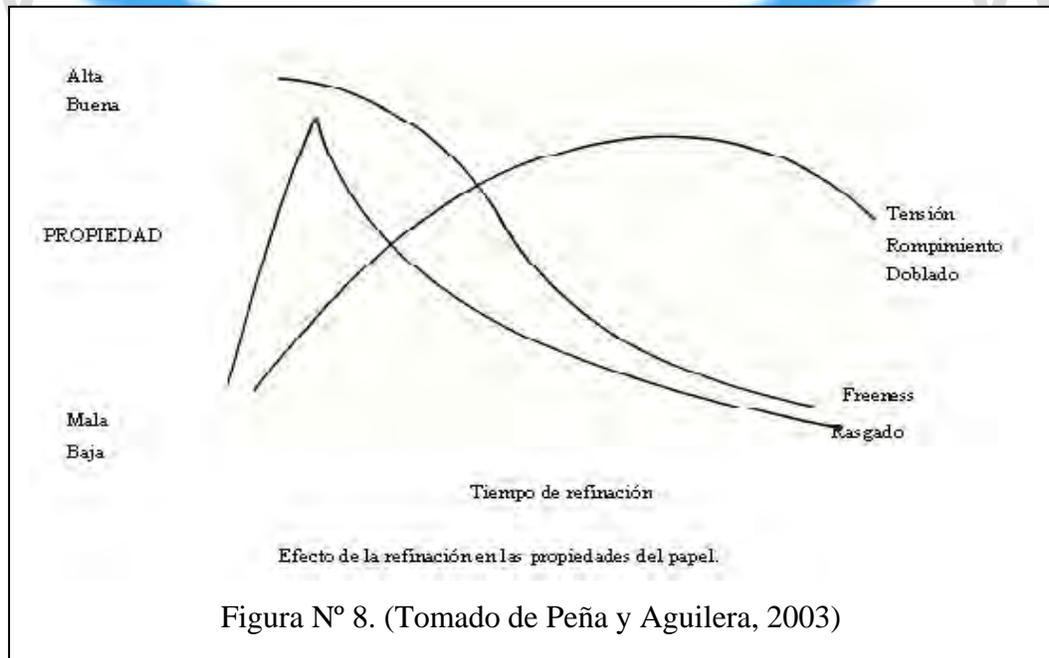
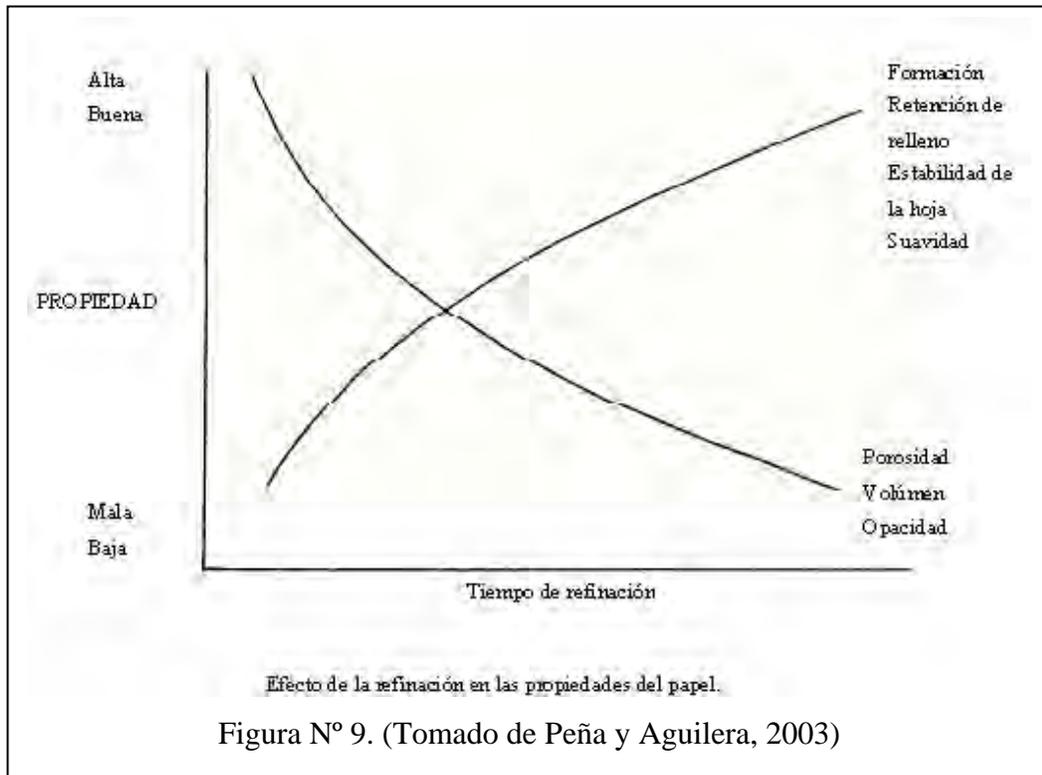


Figura N° 8. (Tomado de Peña y Aguilera, 2003)



3.5.2.- PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA REFINACIÓN.

Tipo de Pulpa

En la medida en que haya sido eliminada la lignina y las hemicelulosas la pulpa presentará mayor facilidad para el refino, dado el carácter hidrofóbico de la lignina, cuya presencia dificulta la penetración del agua hacia el interior de la pulpa. Por ello una pulpa blanqueada es mucho más fácil de refinar que una pulpa natural, debido a la eliminación de la lignina en el proceso de blanqueo. Otro factor importante es la longitud de fibra. Las fibras cortas tienen mayor cantidad de hemicelulosas que las fibras largas. Las hemicelulosas son hidrofílicas. Por ello es más apta para la refinación la pulpa de fibra corta y la energía pastada para un cierto valor de drenado (freeness) es menor que para las pulpas de fibra larga con menor contenido de hemicelulosas.

Temperatura

La temperatura de la pulpa aumenta considerablemente durante la refinación debido a la degradación de la energía mecánica en calor. Esto trae un efecto negativo sobre la hidratación de la pulpa.

Consistencia

Consistencias bajas favorecen la acción de corte y consistencias altas favorecen la fibrilación. El refino utiliza normalmente 4-6% de consistencia

Presencia de Aditivos

Los coloides hidrofílicos como la glucosa, el almidón y la carboximetilcelulosa tienen un efecto acelerador de la refinación.

3.5.3.- EVALUACIÓN DEL REFINADO

En el análisis final, la propiedad más importante de una pulpa es su potencial para la fabricación de papel. Este aspecto se puede evaluar mejor mediante el refinado de la pulpa bajo condiciones controladas y reproducibles, formando después hojas de ensayo físicos adecuados en las hojas acondicionadas.

El objetivo del refinado es acondicionar mecánicamente las fibras para la fabricación de papel. La mayor parte de los métodos de refinado de laboratorio tienen una acción más selectiva que los refinadores de fábrica y proporcionan resultados que normalmente no se pueden reproducir en fábrica.

Existen dos técnicas distintas y objetivos en el refinado de laboratorio. *La técnica de refinado idealizada* produce el máximo cambio en las propiedades de la pulpa para un cambio dado en

el desgote. Este método se utiliza para los estudios de investigación y casi siempre se usa en fábricas de pulpa de mercado en relación con reclamos de calidad. *La técnica de simulación del refinado de fábrica* refleja con mayor precisión lo que acontece en el proceso. Esta técnica es utilizada a veces por los fabricantes de papel para evaluar materias primas fibrosas (pulpas) y suministrar una base más comprensible para el control del proceso cuando se utilizan fuentes de pulpas variables.

Debe remarcarse que el refinado es un proceso mecánico y, en sí, no representa un método para la evaluación de la calidad de la pulpa. La información sobre la calidad es suministrada específicamente por los ensayos físicos realizados en conjunción con el refinado. Estos ensayos muestran la capacidad relativa de respuesta de una pulpa al proceso de refinado, la resistencia máxima que se desarrolla, y las relaciones que prevalecen entre los diversos parámetros físicos. (Smook, 1990).

En la mayoría de los sistemas de refinación se persiguen dos objetivos específicos:

Desarrollo óptimo de la resistencia de la fibra.

Control de la formación y drenaje en la malla de la máquina papelera.

Debido a la multiplicidad de efectos causados sobre las fibras la evaluación de la refinación implica varias medidas. Los métodos de evaluación más empleados son:

Medida del agua retenida

El índice de retención de agua mide directamente la fibrilación interna, ya que ésta se manifiesta por un aumento en la capacidad de hidratación, es decir, absorción de agua.

Medida de la longitud de la fibra

La acción de corte sobre las fibras producidas por la refinación se puede evaluar midiendo la

longitud media antes y después del refinado. Las técnicas más usadas son el clasificador Bauer Mc Nett y el Kajaani.

Medida de la resistencia del drenaje

La alteración de las características del drenaje de una suspensión fibrosa con el refinado, es una de las propiedades más usadas para evaluar el trabajo mecánico de los refinadores. El índice de drenabilidad está influenciado por los finos y da una idea sobre el comportamiento de la suspensión fibrosa en la mesa de formación de la máquina de papel. La resistencia de las fibras al flujo de agua es una propiedad importante con respecto a los procesos de fabricación de pulpa y papel. El método clásico de determinación de esta propiedad en Norte América es por medio del instrumento Canadian Standard Freeness (CSF). El CSF se define como el número de mL de agua recogidos del orificio lateral del instrumento normalizado, cuando la pulpa drena a través de una placa perforada a una consistencia de 0,30 % y 20 °C. (Figura N° 10)

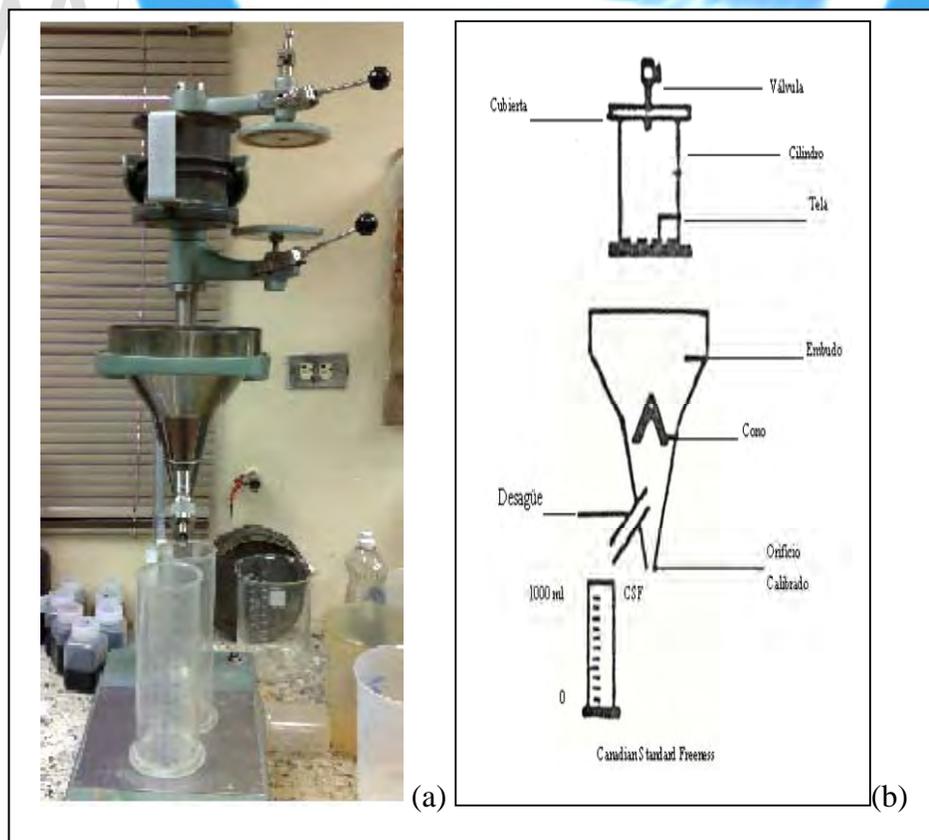


Figura N° 10 (a) vista frontal del CSF. (b) esquema de las partes del CSF. (Fuente fotográfica tomada en Smurfit Kappa Mocarpel, 2008)

Las medidas del drenado de la pulpa se conocen como la facilidad de retención de agua, de liberación de agua, o tiempo de drenado, según el instrumento o método utilizado. Si una pulpa desgota rápidamente, se dice que una pulpa es “magra”. Si lo hace lentamente, se dice que es “grasa”. Las escalas de retención y liberación de agua tienen una relación inversa.

Las medidas de la capacidad de desgotado de la pulpa se usan ampliamente como una indicación de la calidad para las pulpas mecánicas y como una medida del grado de refino en las pulpas químicas. Estudios han demostrado que la fracción de finos (< 200 mesh) es la principal responsable de los cambios en el drenado. La eliminación de la fracción de finos de las pulpas refinadas puede restablecer la drenabilidad original, mientras que la pulpa retiene sus propiedades de resistencia. Estos hallazgos se utilizan a veces como argumento contra el uso de las medidas del drenado como índice de la calidad de la pulpa. Aunque las medidas del desgotado proporcionan una base para comparar las pulpas similares, el ensayo no simula lo que sucede sobre la tela de la máquina de papel. (Smook, 1990).

3.6.- PROPIEDADES Y ENSAYOS RUTINARIOS DE PULPAS Y PAPELES.

3.6.1.- ENSAYOS DE PULPAS.

Para caracterizar las pulpas con respecto a su calidad, procesabilidad y adecuación para los diferentes usos, suele utilizar un gran número de métodos de ensayo.

3.6.1.1.- Ensayos Químicos.

Los ensayos químicos se utilizan comúnmente para determinar el contenido en lignina (material no celulósico) de las pulpas.

Índice de deslignificación (Número Kappa y número Hypo): Los componentes no celulósicos reaccionan fácilmente con una solución de permanganato en medio ácido (KMnO_4). Esta

reacción suministra las bases para los ensayos del índice kappa. De igual manera la cantidad de hipoclorito de sodio consumido determina o da las bases para el número hypo.

El número de calidades de papel producidas es tan grande que se requeriría un volumen para detallarlos. Sin embargo se pueden clasificar en tres grandes grupos:

Impresión – Escritura.

Embalaje.

Tisú.

El tipo de papel de este estudio es de embalaje el cual es llamado “liner” por ser el usado para las partes lisas de los cartones corrugados.

PAPEL “LINER”

El papel liner es un cartón de bajo gramaje comúnmente utilizado en las caras externas de las cajas de cartón ondulado y como papel de embalaje. El liner normal es de 205 g/m² (42 lb/1000 ft²), pero otras calidades cubren el rango de 112 a 439 g/m². El mercado del cartón liner es muy amplio, y el tonelaje producido en Norte América excede al del papel periódico (por ejemplo, alrededor de 12.6 millones de toneladas de cartón liner frente a 11,7 millones de toneladas de papel periódico).

El papel liner se fabrica normalmente en una mesa plana utilizando dos cajas de entrada; Una hoja base (cubierta inferior) de pulpa kraft cruda de alto rendimiento, y relativamente oscura y basta, se forma en la caja de entrada principal. Una capa de mejor calidad, limpia y clara (cubierta superior), se forma en la parte superior de la hoja base para proporcionarle una buena superficie de impresión. Se aplica suficiente pulpa en la cubierta superior para cubrir totalmente la hoja base (usualmente 20 a 30% del gramaje de la hoja), desde la cada de entrada secundaria localizada sobre la zona de las cajas aspirantes de la mesa de formación.

Los requerimientos principales del cartón liner son un alto nivel de *rigidez y resistencia al reventamiento*, a la vez que *buen aspecto e imprimabilidad* en una superficie. Estas

necesidades se satisfacen bien utilizando pulpa kraft de alto rendimiento en la capa inferior y pulpa kraft de menor rendimiento y bien refinada en la cara superior. Puede utilizarse almidón en masa para alcanzar la rigidez deseada; la cara superior es, a menudo, ligeramente encolada en la calandria.

3.6.2.- ENSAYOS DE PAPELES

La amplia diversidad de calidades de papeles y sus propiedades necesitan una multiplicidad de métodos de ensayo. Algunas propiedades son importantes para todas las calidades y los ensayos para determinar estas propiedades básicas tienen una amplia aplicación. La mayor parte de las propiedades que determinan la utilidad del papel no son físicamente absolutas. Por consiguiente, la medición de la propiedad depende del equipo o instrumento utilizado y de los detalles del procedimiento de ensayo. La situación se complica además por el hecho de que el papel es viscoelástico e higroscópico. Ya que el papel tiene características plásticas y elásticas, cualquier ensayo que cause deformación o destrucción de la muestra, dará resultados que son dependientes de la velocidad de aplicación de la fuerza.

3.6.2.1.- ENSAYOS FÍSICOS

Los ensayos físicos sobre el papel se pueden dividir convenientemente en 4 grupos:

- 1.- Propiedades mecánicas y de resistencia.
- 2.- Propiedades superficiales.
- 3.- Propiedades ópticas.
- 4.- Permeabilidad a los fluidos.

Algunos de los ensayos a las propiedades mecánicas y de resistencia las cuales serán determinadas en este estudio son:

Peso Básico o Gramaje

El gramaje del papel se determina pesando un área conocida de papel. El espesor se mide usando un micrómetro con un área y una presión de compresión sobre la hoja especificada. A partir de las medidas de gramaje y espesor, se pueden calcular la densidad aparente o el volumen específico. (Figura N° 11)

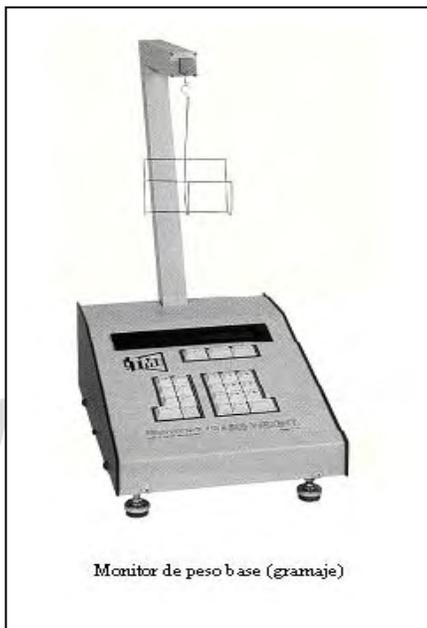


Figura N° 11. (Tomado de Smurfit Kappa Mocarpel, Laboratorio de Papel, 2008)

Resistencia al Estallido (mullen)

La resistencia al estallido funciona basándose en el principio único de distribución de presión uniforme de la hidráulica para determinar con precisión la resistencia al estallido de materiales en la forma de láminas.

El fluido bajo presión uniformemente ascendente se expande contra un diafragma de goma distensible y, simultáneamente, hacia el interior de un manómetro de presión bordón. El material a ensayarse va sujetado a una chapa metálica a través de la cual el diafragma tiene

libertad de expandirse a través de una abertura circular contra una pulgada cuadrada de su superficie. A medida que la muestra se distorsiona bajo presión, el diafragma asume el contorno exacto del material, distribuye la presión uniformemente en todo el área de ensayo y se sobresale o penetra en cualquier imperfecto o sección débil para hacer estallar o romperla en ese punto. Cuando la presión cae en el momento de ruptura, una aguja de máximo en el manómetro permanece estacionaria para indicar la presión exacta bajo la cual ha ocurrido el estallido.

Resistencia a la Compresión de Anillo (RCT)

La resistencia al aplastamiento de anillo, la cual determina el límite en el cual el papel tendrá su mayor resistencia antes de fracturar. En este método la tira del ensayo toma la forma de un anillo al introducirse en una ranura anular de un elemento especial de sujeción. La anchura de la ranura se adapta al espesor de la muestra de ensayo y se le aplica una carga hasta hacer fracturar la muestra y esa medida es tomada como la cantidad en fuerza aplicada para que ceda la muestra.

3.7.- RECICLAJE DE PAPEL.

Debido al hecho que vamos a sustituir la carga de fibra reciclada en las formulaciones “Liner”, es necesario saber la influencia de las fibras secundarias en la industria del papel.

El reciclaje es el aprovechamiento de las fibras celulósicas de los papeles y cartones usados, para producir de nuevo papel y cartón. Cualquier tipo de papel usado puede ser utilizado, pues técnicamente puede sustituir materias primas fibrosas vírgenes, como pulpa química, semiquímica. La fibra secundaria viene a ser una competencia de la fibra corta virgen.

Lógicamente para la obtención de las determinadas características específicas de determinados papeles, usualmente fabricados con fibras vírgenes, deberá existir una selección de los papeles y cartones a ser reciclados y dependiendo de las impurezas, estos pueden ser aprovechados en las fábricas que posean instalaciones adecuadas para retirar dichas impurezas.

El reciclado representa un enorme factor económico y social para el sector papelerero, por su contribución a la conservación de recursos naturales y energéticos y por la protección del medio ambiente (Figura N° 3). Además reciclar disminuye sensiblemente el aporte de desechos sólidos en los rellenos sanitarios municipales.

El costo de capital de una fábrica que utiliza fibras secundarias es mucho menor que el de una fábrica integrada (Planta de pulpa y planta Papelera).



Figura N° 12. Patio típico de almacenado de fibra reciclada. ((Fuente: Fotografía tomada en las instalaciones de Smurfit Kappa Mocarpe, 2008).

3.7.1.- Importancia de las fibras recicladas.

El reciclado presenta las características siguientes:

- Permite cierta independencia con respecto a la pulpa comercial
- Se procura una fuente confiable de fibras en periodos de escasez comercial.
- Permite precios más ventajosos con respecto a las pulpas comerciales equivalentes.

● Debido a que la fibra ha experimentado ya una manipulación en el momento de la preparación inicial del papel recuperado, la fibra reciclada necesita sólo un refinado leve. Para lograr los estándares de calidad del producto final, se agregan fibras vírgenes

Algunas desventajas del uso de fibras recicladas son:

● Débil resistencia al rasgado, debido a que las fibras son más cortas que lo normal para un papel dado.

● La pulpa puede tener débil drenado lo que obliga a restringir la velocidad de la máquina.

● A menudo hay manchas en el papel cuando las tintas y los otros contaminantes no fibrosos no han sido eliminados completamente.

● Los efluentes de las unidades de destintados constituyen un grave problema y la solución a menudo es costosa.

● Graves problemas se pueden originar de la presencia de rastros de partículas pegajosas provenientes de adhesivos de todo tipo.

● Las fibras son afectadas en cuanto a su flexibilidad, conformabilidad y rigidez pues ya han experimentado hornificación (Sección de secado de la máquina). Esto último dificulta su nueva hidratación.

● Aporta a los sistemas finos provenientes de fibrillas separadas de la fibra y partículas de materiales no fibrosos (Peña y Aguilera, 2003).

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

La metodología se puede resumir como la parte más importante de un estudio, ya que ésta ayuda a comprender a cualquier lector del universo de la investigación, aun cuando el mismo no sea experto en la materia. De igual manera puede ayudar a otros investigadores a proseguir con estudios similares o relacionados, pudiendo repetir los procedimientos para encontrar resultados de los experimentos realizados.

4.1.- TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Esta investigación es experimental aplicada, debido a que fue necesario hacer diferentes ensayos y experimentos para medir las calidades de pulpas y papeles y a su vez al realizarla se propuso mejoras en el mezclado de las pulpas para fabricación de papeles tipo “Liner” y se encontraron parámetros de refinación que optimizan las propiedades físico-mecánicas más críticas en la fabricación de papel.

En función de cumplir con el propósito de este estudio, fue necesario tener conocimiento del uso y manejo de los equipos de medición, así como las condiciones de los ensayos que hay que aplicarles a las muestras y productos obtenidos.

4.2.- UNIVERSO, POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.

Las materias primas utilizadas para este proyecto fueron Pino Caribe provenientes del Oriente del país des las plantaciones de la empresa Productos Forestales C.A. de La Corporación Venezolana de Guayana (CVG Proforca) y Gmelina Arbórea procedente de plantaciones forestales de la finca La Productora en Morador Edo. Portuguesa, de La División Forestal de Smurfit Kappa Cartón de Venezuela, lo cual representa el universo.

La población de esta investigación está conformada por pulpas de Pino con nivel de kappa de 95, de Gmelina con niveles de hypo de 22 y 24 respectivamente, así como pastas de fibra reciclada nacional e importada.

Las muestras fueron equivalentes a 5 hojas de mano con una masa equivalente a 150 g/m² y las cuales serán sometidas a ensayos de tipo destructivo.

Las hojas de mano representan un equivalente al papel formado en la máquina fourdrinier, teniendo un área transversal de 0,02 m² y se obtienen agregando las masas de pulpa en un cilindro formador, se llenan con agua, se agitan con un mezclador para homogeneizar la suspensión y se libera toda el agua, la fibra es atrapada en una malla similar a la de proceso y queda formada la hoja sobre la misma (ver Figura N° 13).

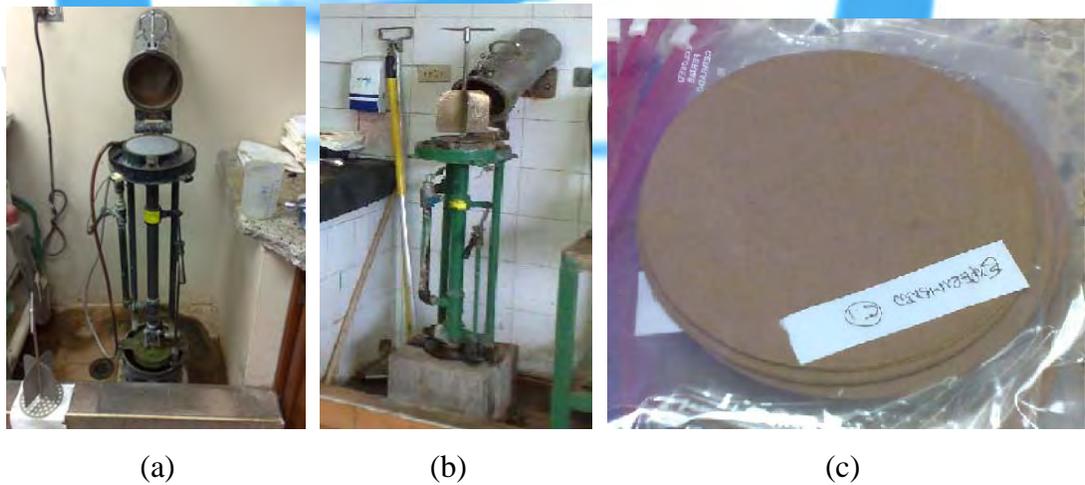


Figura N° 13. (a) Vista frontal del formador de hojas. (b) Vista lateral del formador de hojas. (c) Vista de las hojas de mano.

(Fuente: Fotografía tomada en las instalaciones de Smurfit Kappa Mocarpel, 2008).

4.3.- EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS.

Como se dijo anteriormente, es necesario tener en consideración los equipos materiales y reactivos más importantes, para luego describir los pasos realizados en este estudio y se resumen a continuación:

4.3.1.- EQUIPOS.

En el proceso de pulpeo y fabricación experimental se utilizan varios equipos, desde los clasificadores de astillas, hasta los equipos de determinación de propiedades físicas de papeles. A continuación se presentan los equipos que principalmente se utilizaron:

4.3.1.1.- DIGESTOR EXPERIMENTAL.

El digestor experimental que se usó es una autoclave cilíndrica de 30 cm. de diámetro interno y de una altura de 60 cm. Aproximadamente, que viene provisto con un motor que le da un giro de 360°, y tiene una entrada de vapor que le da las condiciones de presión y temperatura necesarios para la cocción de las astillas. (Figura N° 14).

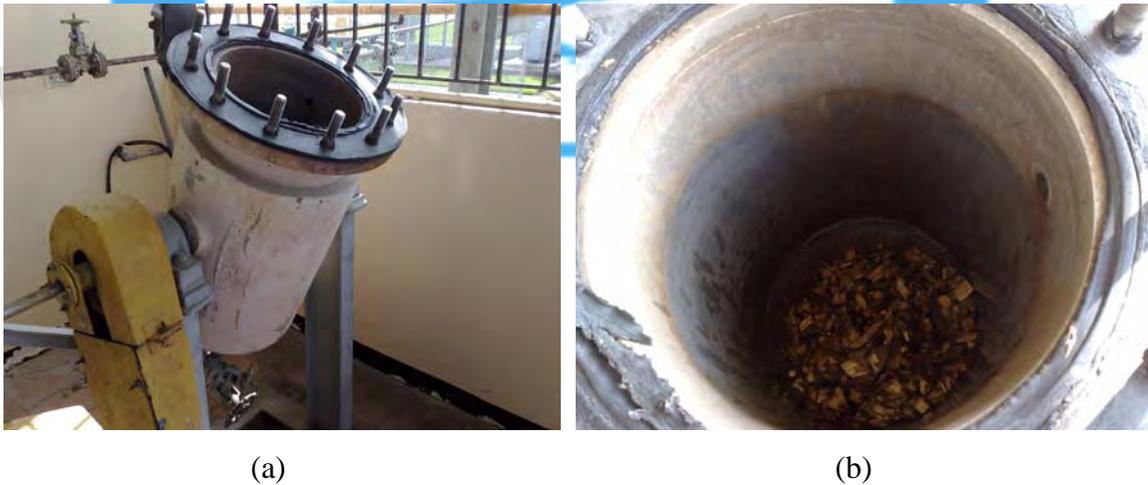


Figura N° 14. (a) Vista lateral del digestor experimental. (b) Vista interna del digestor experimental (Fuente: Fotografía tomada en las instalaciones de Smurfit Kappa Mocarpel, 2008).

4.3.1.2.- REFINADOR.

El refinador utilizado es de tipo disco SPROUT WALDRON, logrando de esta manera la separación de las fibras en las astillas, o sea la fibrilación de la pulpa (Figura N° 15).



(a)

(b)

Figura N° 15. (a) Vista lateral del refinador. (b) Vista interna de la entrada del refinador (Fuente: Fotografía tomada en las instalaciones de Smurfit Kappa Mocarpel, 2008).

4.3.1.3.- FIBRILADOR.

En la industria del papel, se utilizan los pulpers para desintegrar los grumos y acondicionar las fibras de manera uniforme, en cuanto a una consistencia de proceso. A nivel experimental, se utiliza un equipo muy similar, llamado desintegrador o Fibrilador, con la misma función de los pulpers y en MOCARPEL es de marca TMI (Testing Machine Industries) (Figura N° 16).



Figura N° 16. Vista del desfibrador experimental (Fuente: Fotografía tomada en las instalaciones de Smurfit Kappa Mocarpel, 2008).

4.3.1.4.- REFINADOR PFI MILL.

Diversos aparatos de refinado de laboratorio se utilizan por todo el mundo, algunos de los cuales son la pila Valley (versión miniatura de la pila holandesa) y el molino PFI. El molino PFI utiliza un cilindro rasurado (molón) excéntrico en una pila lisa, como se ilustra en la figura N° 17 a y b. Tanto el molón como la “platina” giran a alta velocidad, pero a velocidades tangenciales diferentes; esta acción causa una fricción, rozamiento y compresión de las fibras para producir el efecto de refinado, tratamiento nombrado en el punto 3.5. El aparato no requiere calibración, puesto que no se produce contacto metal – metal, ni desgaste en los bordes.



(a)



(b)

Figura N° 17. (a) Vista frontal del refinador PFI MILL. (b) Vista interna del refinador PFI MILL (Fuente: Fotografía tomada en las instalaciones de Smurfit Kappa Mocarpel, 2008).

4.4.- MATERIALES Y REACTIVOS.-

4.4.1.- MATERIALES.

Para la realización de este trabajo se necesitaron:

- 1.- Equipos de protección personal para tratamientos térmicos y manejo de materiales abrasivos. (Lentes, casco, protector auditivo, guantes de cuero aislantes del calor, guantes de neopreno, guantes quirúrgicos)
- 2.- Bolsas de polietileno grandes para embalar las astillas y las pulpas.
- 3.- Bolsas Ziploc® para embalar los papeles.
- 4.- Pulpa blanca prensada laminada para usar como soporte de las hojas de mano.

4.4.2.- REACTIVOS

Los reactivos más utilizados se presentan a continuación y representan los más comunes en la industria del papel:

- 1.- Hidróxido de Sodio
- 2.- Sulfuro de Sodio
- 3.- Cloruro de Bario y Cloruro de Potasio.
- 4.- Ácido Clorhídrico y Ácido Sulfúrico.
- 5.- Tiosulfato de Sodio.
- 6.- Hipoclorito de sodio.
- 7.- Permanganato de potasio.
- 8.- Indicadores (Fenoltaleína, Formaldehído, Almidón, Azul de Bromotimol).

Seguidamente se presenta las hojas técnicas de las sustancias químicas utilizadas según INSHT (Instituto Nacional Español de Seguridad e Higiene en el Trabajo) y PANREAC (Panamerican Reactive):

1.- Hidróxido de Sodio (INSHT, 2009)

En la tabla IV.1 se resumen las propiedades características de esta sustancia química.

Tabla IV.1. Ficha Técnica del Hidróxido de sodio.

HIDROXIDO DE SODIO Hidróxido sódico Sosa cáustica Sosa NaOH Masa molecular: 40.0				
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ AGUDOS	SINTOMAS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. El contacto con la humedad o con el agua, puede generar el suficiente calor para producir la ignición de sustancias combustibles.			En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPOSICION	¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!			¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
INHALACION	Corrosivo. quemazón, respiratoria.	Sensación de tos, dificultad	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
PIEL	Corrosivo. Enrojecimiento, graves quemaduras cutáneas, dolor.		Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
OJOS	Corrosivo. Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.		Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria si se trata de polvo.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
INGESTION	Corrosivo. Dolor abdominal, sensación de quemazón, diarrea, vómitos, colapso.		No comer, ni beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito, dar a beber agua abundante y proporcionar asistencia médica.

DATOS IMPORTANTES	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Sólido blanco, deliquescente en diversas formas e inodoro. PELIGROS FISICOS PELIGROS QUIMICOS La sustancia es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva en ambientes húmedos para metales tales como cinc, aluminio, estaño y plomo originando hidrógeno (combustible y explosivo). Ataca a algunas formas de plástico, de caucho y de recubrimientos. Absorbe rápidamente dióxido de carbono y agua del aire. Puede generar calor en contacto con la humedad o el agua. LIMITES DE EXPOSICION TLV: 2 mg/m³ (valor techo) (ACGIH 1992-1993). PDK no establecido. MAK: clase G</p> <p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20 °C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire. EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION Corrosivo. La sustancia es muy corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación del aerosol de la sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas). EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.</p>
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 1390 °C Punto de fusión: 318 °C Densidad relativa (agua = 1): 2.1 Solubilidad en agua, g/100 ml a 20 °C: 109 Presión de vapor, kPa a 739 °C: 0.13
DATOS AMBIENTALES	Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.

2.- Sulfuro de Sodio (INSHT, 2009)

En la tabla IV.2 se resumen las propiedades características de esta sustancia química.

Tabla IV.2. **Ficha Técnica del Sulfuro de sodio.**

SULFURO DE SODIO				
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	DE	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO		No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPOSICION		¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO! ¡HIGIENE ESTRICTA!		
INHALACION		Dificultad respiratoria, sibilancia.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y proporcionar asistencia médica.
PIEL		Traje de protección.		Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
OJOS		Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.		Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
INGESTION		(Para mayor información, véase Inhalación). (Véanse Notas).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Proporcionar asistencia médica.

DATOS IMPORTANTES	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Cristales blancos o polvo. PELIGROS FISICOS PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente y al arder, produciendo humos tóxicos y corrosivos de óxidos de azufre. Reacciona con ácidos fuertes produciendo dióxido de azufre. LIMITES DE EXPOSICION TLV no establecido.</p> <p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación y por ingestión. RIESGO DE INHALACION EFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La inhalación de la sustancia puede originar reacciones asmáticas (véanse Notas). EFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido puede producir sensibilización de la piel. La exposición a inhalación prolongada o repetida puede originar asma</p>
PROPIEDADES FISICAS	<p>Se descompone por debajo del punto de fusión: a 600 °C Densidad relativa (agua = 1): 2.63 Solubilidad en agua: Elevada.</p>
DATOS AMBIENTALES	<p>Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.</p>

3.- Cloruro de Bario (INSHT, 2009)

En la tabla IV.3 se resumen las propiedades características de esta sustancia química.

Tabla IV.3. Ficha Técnica del Cloruro de Bario.

CLORURO DE BARIO Cloruro de Bario (II) BaCl ₂ Masa molecular: 208.27				
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ AGUDOS	SINTOMAS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio desprende humos tóxicos.			En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPOSICION	¡HIGIENE ESTRICTA!			
INHALACION	Calambres abdominales, pérdida del conocimiento.		Ventilación (no si es polvo), extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicado y someter a atención médica.
PIEL	Guantes protectores.			Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Utilizar guantes protectores cuando se administren primeros auxilios.
OJOS	Enrojecimiento.		Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
INGESTION	Calambres abdominales, pesadez, pérdida de conocimiento.		No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Dar de beber una solución de sulfato sódico. Provocar el vómito (¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!). Reposo y someter a atención médica. Emplear guantes de protección cuando se induzca el vómito.

DATOS IMPORTANTES	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Cristales blancos, inodoros. PELIGROS FISICOS</p> <p>PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo humos tóxicos. LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 0.5 mg/m³ (como Ba) (ACGIH 1990-1991).</p> <p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión. RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable. Sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire. EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede tener efectos sobre el sistema nervioso central y el sistema muscular, dando lugar a arritmia cardiaca y parálisis. La exposición puede producir la muerte. EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</p>
--------------------------	--

Cloruro de Potasio (INSHT, 2009)

En la tabla IV.4 se resumen las propiedades características de esta sustancia química.

Tabla IV.4. Ficha Técnica del Cloruro de Potasio.

CLORURO DE POTASIO. KCl Masa molecular: 74.6			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPOSICION			
INHALACION	Tos. Dolor de garganta.	Extracción localizada.	Aire limpio, reposo.
PIEL		Guantes protectores.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
OJOS	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
INGESTION	Diarrea. Náuseas. Vómitos. Debilidad. Convulsiones.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Provocar el vómito (¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!). Dar a beber agua abundante. Proporcionar asistencia médica.
DATOS IMPORTANTES	ESTADO FISICO: ASPECTO: Cristales incoloros, higroscópicos. PELIGROS FISICOS: PELIGROS QUIMICOS: LIMITES DE EXPOSICION: TLV no establecido. VIAS DE EXPOSICION: La sustancia se puede absorber por ingestión. RIESGO DE INHALACION: La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire cuando se dispersa, especialmente si está en forma de polvo. EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION: La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en sistema cardiovascular, dando lugar a arritmia cardiaca, cuando se ingiere en grandes cantidades. EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA:		
PROPIEDADES FISICAS	Punto de sublimación: 1500°C Punto de fusión: 770-773°C Densidad: 1.98g/cm ³ Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: elevada		

4.- Ácido Clorhídrico (INSHT, 2009)

En la tabla IV.5 se resumen las propiedades características de esta sustancia química.

Tabla IV.5. Ficha Técnica del Ácido Clorhídrico.

CLORURO DE HIDROGENO Acido clorhídrico, anhidro Cloruro de hidrógeno, anhidro HCl Masa molecular: 36.5				
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ AGUDOS	SINTOMAS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible.			En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION				En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICION	¡EVITAR TODO CONTACTO!			¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
INHALACION	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo, dolor de garganta. (Síntomas no inmediatos: véanse Notas).		Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
PIEL	Corrosivo. Quemaduras cutáneas graves, dolor.		Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
OJOS	Corrosivo. Dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.		Gafas ajustadas de seguridad, pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
DATOS IMPORTANTES	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Gas licuado comprimido incoloro, de olor acre. PELIGROS FISICOS El gas es más denso que el aire. PELIGROS QUIMICOS La disolución en agua es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva. Reacciona violentamente con oxidantes formado gas tóxico de cloro. En contacto con el aire desprende humos corrosivos de cloruro de hidrógeno. Ataca a muchos metales formando hidrógeno. LIMITES DE EXPOSICION TLV: 5 ppm; 7.5 mg/m³ (valor techo) (ACGIH 1993-1994).</p> <p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación. RIESGO DE INHALACION Al producirse una pérdida de gas se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire. EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION Corrosivo. La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación de altas concentraciones del gas puede originar edema pulmonar (véanse Notas). Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA La sustancia puede afectar el pulmón, dando lugar a bronquitis crónica. La sustancia puede causar erosiones dentales.</p>			
PROPIEDADES FISICAS	<p>Punto de ebullición a 101.3 kPa: -85°C Punto de fusión: -114°C Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 72 Solubilidad en agua: Elevada Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.3 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0.25</p>			

Acido Sulfúrico (INSHT, 2009)

En la tabla IV.6 se resumen las propiedades características de esta sustancia química.

Tabla IV.6. Ficha Técnica del Ácido Sulfúrico.

ACIDO SULFURICO Aceite de vitriolo H2SO4 Masa molecular: 98.1				
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ AGUDOS	SINTOMAS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. Desprende humos (o gases) tóxicos o irritantes en caso de incendio.		NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con combustibles.	NO utilizar agua. En caso de incendio en el entorno: polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono.
EXPOSICION	¡EVITAR LA FORMACION DE NIEBLA DEL PRODUCTO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!			¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
INHALACION	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, dolor de garganta.		Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
PIEL	Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, quemaduras cutáneas graves.		Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
OJOS	Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, quemaduras profundas graves.		Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
INGESTION	Corrosivo. Dolor abdominal, sensación de quemazón, vómitos, colapso.		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, dar a beber agua abundante, NO provocar el vómito y proporcionar asistencia médica.

DATOS IMPORTANTES	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido higroscópico, incoloro, aceitoso e inodoro. PELIGROS FISICOS PELIGROS QUIMICOS Por combustión, formación de humos tóxicos de óxidos de azufre. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva para la mayoría de metales más comunes, originando hidrógeno (gas inflamable y explosivo). Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor (véanse Notas). Al calentar se forman humos (o gases) irritantes o tóxicos (óxido de azufre). LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 1 mg/m³ (ACGIH 1993-1994). TLV (como STEL): 3 mg/m³ (ACGIH 1993-1994).</p> <p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por pulverización. EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación del aerosol de la sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas). EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia. Si las exposiciones al aerosol de esta sustancia son repetidas o prolongadas existe el riesgo de presentar erosiones dentales.</p>
PROPIEDADES FISICAS	<p>Punto de ebullición (se descompone): 340°C Punto de fusión: 10°C Densidad relativa (agua = 1): 1.8 Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 146°C: 0.13 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.4</p>
DATOS AMBIENTALES	Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.

5.- Tiosulfato de Sodio (PANREAC, 2009)

En la tabla IV.7 se resumen las propiedades características de esta sustancia química.

Tabla IV.7. Ficha Técnica del Tiosulfato e Sodio

<p>Identificación de la sustancia.</p> <p>Identificación de la sustancia o del preparado Denominación: Sodio Tiosulfato anhidro</p> <p>Uso de la sustancia o preparado: Para usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina.</p>
<p>Composición/Información de los componentes</p> <p>Denominación: Sodio Tiosulfato anhidro. Fórmula: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ M.=158,13</p>
<p>Primeros auxilios</p> <p>Inhalación: -----</p> <p>Contacto con la piel: -----</p> <p>Ojos: Lavar con agua abundante manteniendo los párpados abiertos.</p> <p>Ingestión: En caso de malestar, pedir atención médica.</p>
<p>Medidas a tomar en caso de vertido accidental</p> <p>Métodos de recogida/limpieza: Recoger en seco. Limpiar los restos con agua abundante.</p>
<p>Controles de exposición/protección personal</p> <p>Medidas de higiene particulares: Quitarse las ropas contaminadas. Lavarse las manos antes de las pausas y al finalizar el trabajo.</p> <p>Controles de la exposición del medio ambiente: Cumplir con la legislación local vigente sobre protección del medio ambiente. El proveedor de los medios de protección debe especificar el tipo de protección que debe usarse para la manipulación del producto, indicando el tipo de material y, cuando proceda, el tiempo de penetración de dicho material, en relación con la cantidad y la duración de la exposición.</p>
<p>Propiedades físicas y químicas</p> <p>Aspecto: Sólido blanco. Olor: Inodoro. pH 6,0-8,5(5%). Densidad (20/4): 1,667. Densidad aparente: X1,35. Solubilidad: 209 g/l en agua a 20°C</p>
<p>Información toxicológica</p> <p>Toxicidad aguda: DL₅₀ intraperitoneal ratón: 5200 mg/kg</p> <p>Efectos peligrosos para la salud: No se conocen datos concretos de esta sustancia sobre efectos por sobredosis en el hombre. No son de esperar características peligrosas. Observar las precauciones habituales en el manejo de productos químicos.</p>

6.- Hipoclorito de sodio (INSHT, 2009)

En la tabla IV.8 se resumen las propiedades características de esta sustancia química.

Tabla IV.8. Ficha Técnica del Hipoclorito de Sodio

HIPOCLORITO DE SODIO (disolución <5%) NaClO Masa molecular: 74.4				
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ AGUDOS	SINTOMAS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.			
EXPLOSION	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.			
EXPOSICION	¡EVITAR LA FORMACION DE NIEBLA DEL PRODUCTO!			
INHALACION	Tos, dolor de garganta.		Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.
PIEL	Enrojecimiento, dolor.		Guantes protectores y traje de protección.	Aclarar con agua abundante, después quitar la ropa contaminada y aclarar de nuevo y proporcionar asistencia médica.
OJOS	Enrojecimiento, dolor.		Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
INGESTION	Sensación de quemazón, dolor de garganta, tos, dolor abdominal, diarrea, vómitos.		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber agua abundante y proporcionar asistencia médica.

DATOS IMPORTANTES	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Solución clara, ligeramente amarilla, de olor característico. PELIGROS FISICOS PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente, en contacto con ácidos y bajo la influencia de luz, produciendo gases tóxicos y corrosivos, incluyendo cloro (ver FISQ: 3-055). La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona con materiales combustibles y reductores. La disolución en agua es moderadamente básica. LIMITES DE EXPOSICION TLV no establecido.</p> <p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión. RIESGO DE INHALACION No puede indicarse la velocidad a la que se alcanza una concentración nociva en el aire por evaporación de esta sustancia a 20°C. EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido puede producir sensibilización de la piel (véanse Notas).</p>
PROPIEDADES FISICAS	<p>Densidad relativa (agua = 1): 1.1 Solubilidad en agua, g/100 ml a 0°C: 29.3</p>
DATOS AMBIENTALES	<p>La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos.</p>

7.- Permanganato de potasio (INSHT, 2009)

En la tabla IV.9 se resumen las propiedades características de esta sustancia química.

Tabla IV.9. Ficha Técnica del Permanganato de Potasio

PERMANGANATO DE POTASIO. KMnO4. Masa molecular: 158					
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	DE	PELIGROS/ AGUDOS	SINTOMAS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO		No combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		NO poner en contacto con sustancias inflamables.	En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION		Riesgo de incendio y explosión en contacto con sustancias combustibles y agentes reductores.			
EXPOSICION		¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO! ¡HIGIENE ESTRICTA!			
INHALACION		Sensación de quemazón. Tos. Dolor de garganta. Jadeo. Dificultad respiratoria. Síntomas no inmediatos (véanse Notas).		Evitar la inhalación del polvo. Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
PIEL		Enrojecimiento. Quemaduras cutáneas. Dolor.		Guantes protectores. Traje de protección.	Aclarar con agua abundante, después quitar la ropa contaminada y aclarar de nuevo. Proporcionar asistencia médica.
OJOS		Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.		Pantalla facial, o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
INGESTION		Sensación de quemazón. Dolor abdominal. Diarrea. Náuseas. Vómitos. Shock o colapso.		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber agua abundante. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.

DATOS IMPORTANTES	<p>ESTADO FISICO: ASPECTO: Cristales púrpura oscuro. PELIGROS FISICOS: PELIGROS QUIMICOS: La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo gases tóxicos y humos irritantes. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona con materiales combustibles y reductores, causando peligro de incendio o explosión. Reacciona violentamente con metales en forma de polvo, originando peligro de incendio. LIMITES DE EXPOSICION: TLV: (com Mn) 0.2 mg/m³, como TWA; (ACGIH 2003). MAK: (como Mn) 0.5 mg/m³ I; Riesgo para el embarazo: grupo C; Categoría de limitación de pico: I; (DFG 2003).</p> <p>VIAS DE EXPOSICION: La sustancia se puede absorber por inhalación del polvo y por ingestión. RIESGO DE INHALACION: La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire cuando se dispersa. EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION: La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación del polvo de esta sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas). Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica. EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA: La sustancia puede afectar al pulmón, dando lugar a bronquitis y neumonía.</p>
PROPIEDADES FISICAS	<p>Se descompone por debajo del punto de fusión a 240°C Densidad: 2.7g/cm³ Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 6.4 Presión de vapor, Pa a 20°C: despreciable</p>
DATOS AMBIENTALES	<p>La sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos.</p>

8.- Indicadores (Fenolftaleína) (PANREAC, 2009)

En la tabla IV.10 se resumen las propiedades características de esta sustancia química.

Tabla IV.10. Ficha Técnica del Fenolftaleína.

<p>Identificación de la sustancia/preparado y de la sociedad o empresa</p> <p>Identificación de la sustancia o del preparado Denominación: Fenolftaleína</p> <p>Uso de la sustancia o preparado: Para usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina.</p>
<p>Composición/Información de los componentes</p> <p>Denominación: Fenolftaleína Fórmula: $C_{20}H_{14}O_4$ M.=318,33 CAS [77-09-8] Número CE (EINECS): 201-004-7</p>
<p>Primeros auxilios</p> <p>Indicaciones generales: En caso de pérdida del conocimiento nunca dar a beber ni provocar el vómito.</p> <p>Inhalación: Trasladar a la persona al aire libre.</p> <p>Contacto con la piel: Lavar abundantemente con agua. Quitarse las ropas contaminadas.</p> <p>Ojos: Lavar con agua abundante manteniendo los párpados abiertos.</p> <p>Ingestión: Beber agua abundante. Provocar el vómito. En caso de malestar, pedir atención médica.</p>
<p>Controles de exposición/protección personal</p> <p>Protección respiratoria: En caso de formarse polvo, usar equipo respiratorio adecuado.</p> <p>Protección de las manos: Usar guantes apropiados</p> <p>Protección de los ojos: Usar gafas apropiadas.</p> <p>Medidas de higiene particulares: Quitarse las ropas contaminadas. Lavarse las manos antes de las pausas y al finalizar el trabajo.</p> <p>Controles de la exposición del medio ambiente: Cumplir con la legislación local vigente sobre protección del medio ambiente.</p>
<p>Propiedades físicas y químicas</p> <p>Aspecto: Sólido blanco. Olor: Inodoro. Punto de fusión: 258-263° C. Densidad (20/4): 1,299. Solubilidad: Insoluble en agua. Soluble en alcohol.</p>

Formaldehído (INSHT, 2009)

En la tabla IV.11 se resumen las propiedades características de esta sustancia química.

Tabla IV.11. Ficha Técnica del Formaldehído.

Metanal Metil aldehido Oximetileno (botella) H ₂ CO Masa molecular: 30.0				
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ AGUDOS	SINTOMAS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Extremadamente inflamable.		Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con polvo y dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las mezclas gas/aire son explosivas.		Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión.	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua.
EXPOSICION	¡EVITAR TODO CONTACTO!			
INHALACION	Sensación de quemazón. Tos. Dolor de cabeza. Náuseas. Jadeo.		Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
PIEL	Guantes aislantes del frío.			Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
OJOS	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa.	Gafas ajustadas de seguridad, o protección ocular combinada con la protección respiratoria.		Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
INGESTION	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.			

DATOS IMPORTANTES	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Gas de olor característico. PELIGROS FISICOS El gas se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. PELIGROS QUIMICOS La sustancia polimeriza debido al calentamiento suave. Reacciona con oxidantes. LIMITES DE EXPOSICION TLV: 0.3 ppm; (como STEL); A2; SEN (ACGIH 2003) MAK: 0.3 ppm; 0.37 mg/m³; I(2); Sh (sensibilización cutánea); Cancerígeno: categoría 4; Riesgo para el embarazo: grupo C; Mutágeno: categoría 5 (DFG 2003)</p> <p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación. RIESGO DE INHALACION Al producirse una pérdida de gas se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire. EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La inhalación del puede originar edema pulmonar. (Véanse Notas). EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA Esta sustancia es posiblemente carcinógena para los seres humanos.</p>
PROPIEDADES FISICAS	<p>Punto de ebullición: -20°C Punto de fusión: -92°C Densidad relativa (agua = 1): 0.8 Solubilidad en agua: muy elevada</p> <p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.08 Punto de inflamación: gas inflamable Temperatura de autoignición: 430°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 7-73</p>

Almidón (INSHT, 2009)

En la tabla IV.12 se resumen las propiedades características de esta sustancia química.

Tabla IV.12. Ficha Técnica del Almidón.

<p>Amilum $(C_6H_{10}O_5)_n$</p> <p>TIPO DE PELIGRO</p> <p>INCENDIO Combustible. Evitar las llamas. Polvo, pulverización con agua, espuma, dióxido de carbono.</p> <p>EXPOSICIÓN Inhalación. Extracción localizada. Protección respiratoria. Aire limpio, reposo. Piel. Guantes protectores. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón. Ojos Gafas ajustadas de seguridad. Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica. Ingestión. No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Enjuagar la boca.</p> <p>DATOS IMPORTANTES</p> <p>ESTADO FÍSICO ASPECTO: Polvo blanco. PELIGROS FÍSICOS: Es posible la explosión del polvo si se encuentra mezclado con el aire en forma pulverulenta o granular. LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: 10 mg/m³ como TWA; A4; (ACGIH 2004). MAK no establecido. RIESGO DE INHALACIÓN: Puede alcanzarse rápidamente una concentración molesta de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.</p> <p>EFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA: El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.</p> <p>PROPIEDADES FÍSICAS Se descompone por debajo del punto de fusión. Densidad: 1,5 g/cm³ Solubilidad en agua: ninguna Temperatura de autoignición: 410 ° C</p>
--

Azul de Bromotimol (PANREAC, 2009)

En la tabla IV.13 se resumen las propiedades características de esta sustancia química.

Tabla IV.13. Ficha Técnica del Azul de Bromotimol.

<p>Identificación de la sustancia/preparado y de la sociedad o empresa</p> <p>Identificación de la sustancia o del preparado Denominación: Azul de Bromotimol</p> <p>Uso de la sustancia o preparado: Para usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina.</p>
<p>Composición/Información de los componentes</p> <p>Denominación: Azul de Bromotimol. Fórmula: $C_{27}H_{28}Br_2O_5S$ M.=624,40</p>
<p>Primeros auxilios</p> <p>Indicaciones generales: En caso de pérdida del conocimiento nunca dar a beber ni provocar el vómito.</p> <p>Inhalación: Trasladar a la persona al aire libre. En caso de que persista el malestar, pedir atención médica.</p> <p>Contacto con la piel: Lavar abundantemente con agua. Quitarse las ropas contaminadas.</p> <p>Ojos: Lavar con agua abundante manteniendo los párpados abiertos.</p> <p>Ingestión: Beber agua abundante. Provocar el vómito. En caso de malestar, pedir atención médica.</p>
<p>Controles de exposición/protección personal</p> <p>Protección respiratoria: En caso de formarse polvo, usar equipo respiratorio adecuado.</p> <p>Protección de las manos: Usar guantes apropiados</p> <p>Protección de los ojos: Usar gafas apropiadas.</p> <p>Medidas de higiene particulares: Usar ropa de trabajo adecuada. Quitarse las ropas contaminadas. Lavarse las manos antes de las pausas y al finalizar el trabajo.</p> <p>Controles de la exposición del medio ambiente: Cumplir con la legislación local vigente sobre protección del medio ambiente.</p>
<p>Propiedades físicas y químicas</p> <p>Aspecto: Sólido violeta. Olor: Característico. Punto de fusión: 200-202 ° C. Solubilidad: 1 g/l en agua a 20 ° C.</p>

4.5.- METODOLOGÍA UTILIZADA.

La fabricación de papel representa una serie de etapas, y en esta investigación se hizo una simulación experimental para obtener muestras de papel tipo “liner” lo más real posible a las determinadas en proceso. Para poder comprender los pasos que se llevaron a cabo es necesario tener en cuenta el diagrama general de proceso y su homólogo experimental que se presenta en la figura N° 18a y 18b.

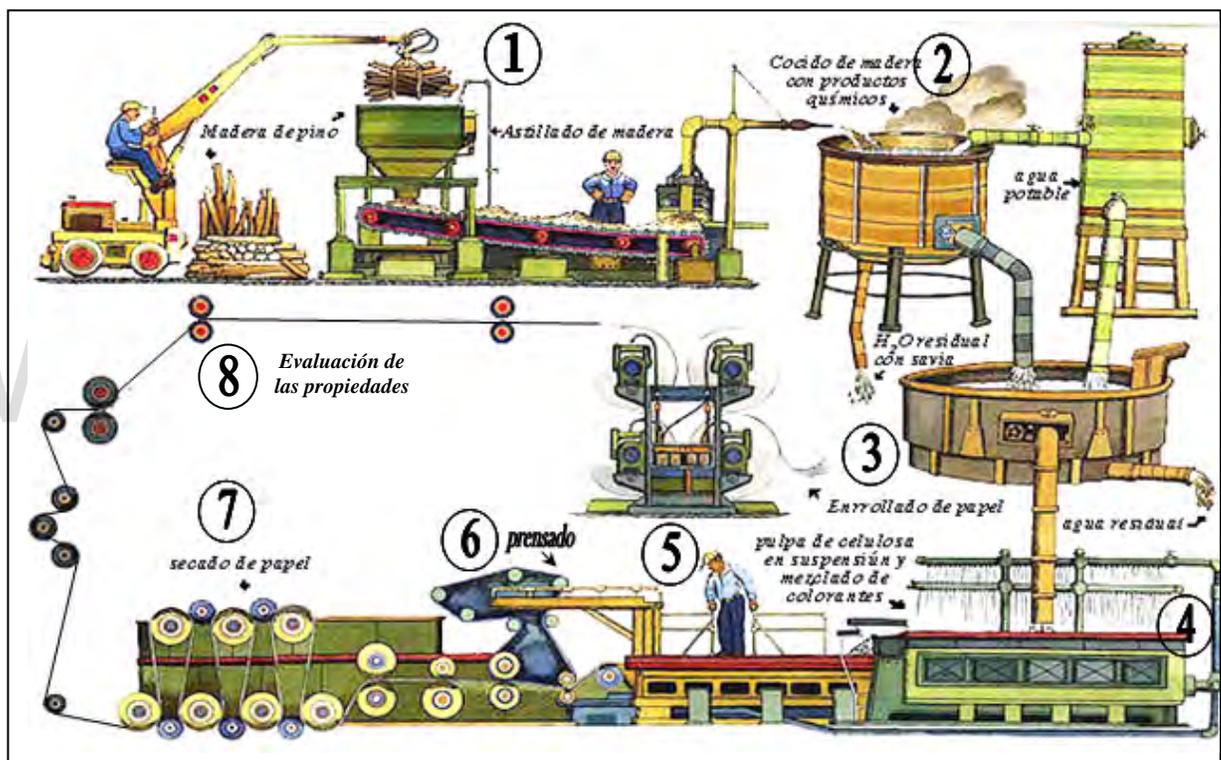


Figura N° 18a. Diagrama General de proceso

Los troncos de madera son transportados desde la explotación forestal en la que han sido talados y descortezados hasta la fábrica en la que se van a tratar para la obtención del papel. Luego se convierte la madera en pulpa. El objetivo que se busca en esta parte del proceso es la separación de las fibras (celulosa) que constituyen el núcleo del tronco. Para ello se deben romper las uniones entre fibras constituidas por ligninas y otros elementos. La madera reducida a la granulometría (astillas) adecuada se cuece en un gran recipiente a presión

añadiéndole diversos productos químicos tales como sosa cáustica, sulfuro sódico, vapor de agua y otros. Luego la pulpa obtenida se lava a fin de extraer todas las impurezas en forma de licor negro.

Durante el proceso de preparación de la pulpa se agregan diversos aditivos, con objeto de mejorar sus propiedades físicas. Finalmente, se somete a la pulpa a un proceso de refinación, para desarrollar los puntos de contacto entre fibras que permitan su adecuada formación en la máquina de papel y optimice sus propiedades.

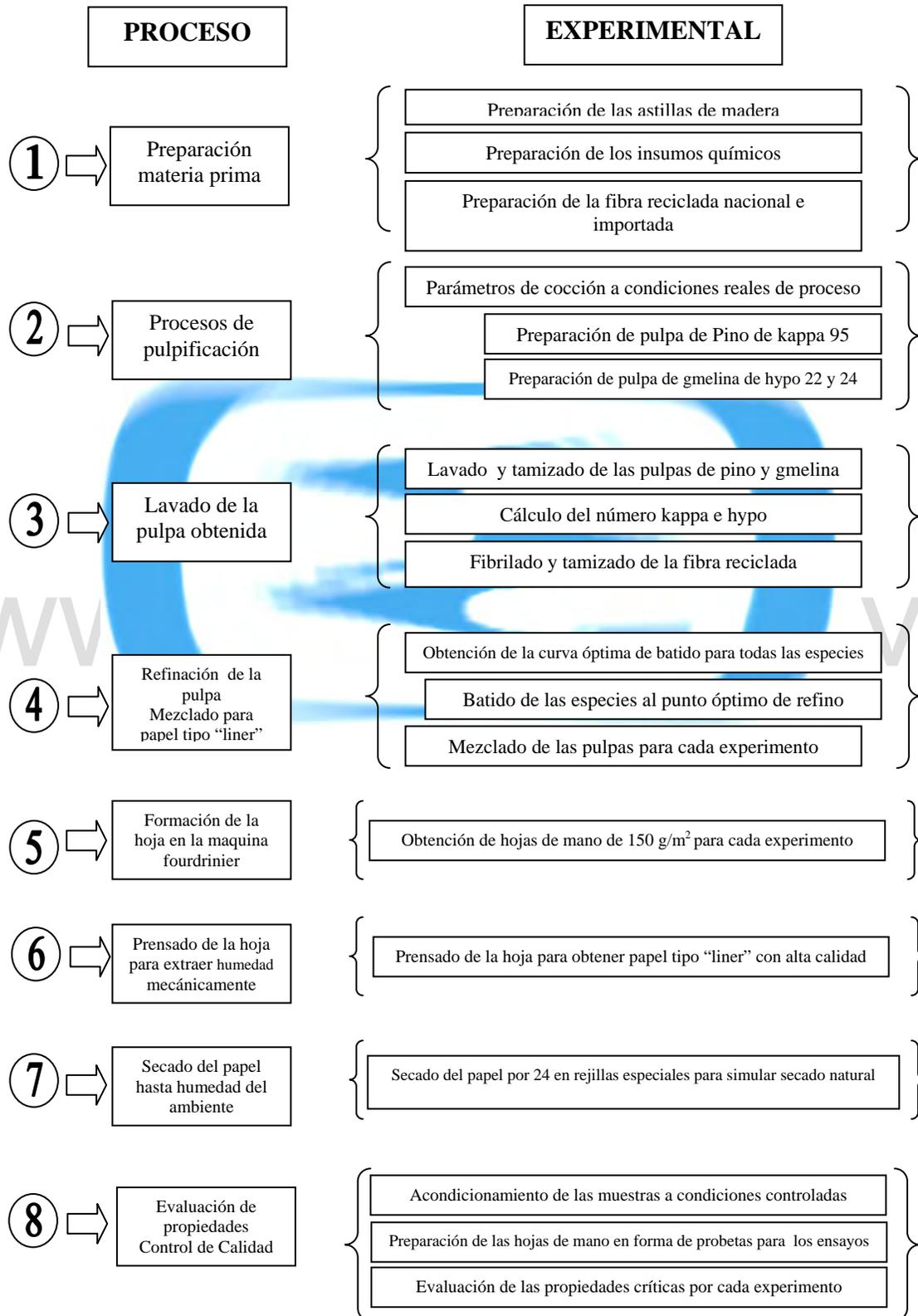
Una vez obtenida la pulpa, depurada, refinada y acondicionada, se bombea a la Máquina de Papel, en la que, como primera fase, se distribuye a todo lo ancho de una malla, de forma homogénea para minimizar las variaciones de peso en el papel. La pasta debe entrar a la máquina con un contenido máximo, de fibra sobre agua, de aproximadamente 1%, con objeto de que la hoja se forme apropiadamente. El resto de las operaciones de la máquina sirven para retirar el excedente de agua, recirculándolo al proceso, hasta obtener papel seco (entre 8 y 10 % de humedad normalmente).

En primera instancia, el agua drena a través de la malla de formación, de manera natural, por gravedad. Posteriormente, el drenado es inducido por medio de vacío. Cuando este procedimiento no permite retirar mas agua, se pasa la hoja entre dos rodillos recubiertos de hule u otro elastómero, exprimiéndola.

De la sección de prensas se pasa la hoja a la de Secadores, en la que entra en contacto con una superficie metálica caliente que evapora el agua remanente, hasta secar el papel.

Finalmente, se pasa la hoja entre rodillos metálicos pulidos (calandria), con objeto de impartir lisura en su superficie y, posteriormente, enrollarlo. El rollo de máquina se rebobina, obteniendo uno o más rollos terminados, con la anchura y diámetro requeridos por el cliente.

Figura N° 18b. Diagrama de flujo de proceso y experimental



Siguiendo los pasos del diagrama experimental se describe cada etapa en este estudio:

4.5.1.- Materia Prima

La materia prima utilizada para la realización de este estudio fueron las especies Gmelina Arbórea y Pino Caribe, en forma de astillas, los cuales fueron recolectados del patio a granel donde se coloca dicha materia prima, tomando como muestra la cantidad aproximada de 10 Kg. de cada especie, así como muestras de fibra reciclada nacional y de importada, de las cuales se tomó la cantidad de 5 Kg. de cada una de ellas. Todas las muestras fueron etiquetadas y embaladas en bolsas de polietileno.

4.5.1.1.- Preparación y acondicionamiento de las muestras

Después de seleccionadas, tanto las astillas como la fibra reciclada, fueron acondicionadas a condiciones del laboratorio a 20 °C, para tener un material estable en cuanto a su porcentaje de humedad. Se tomaron cantidades pequeñas de astillas y fibra reciclada según el método para la determinación de humedad, se introdujeron en una estufa a 105 °C (Ver anexo N°1) hasta peso constante a fin de obtener la humedad de la madera (factor de sequedad) y determinar la cantidad de madera húmeda y fibra húmeda en relación a la fibra seca, lo cual permitió obtener la cantidad de madera que hay que ingresar al digestor de acuerdo a la base seca que se tome y la de fibra secundaria a utilizar en el refinador PFI MILL.

Para las pulpas vírgenes se tomó la base seca de 1 kilogramo y a partir de allí se determinó la cantidad de pulpa húmeda a utilizar partiendo de los datos de humedad obtenidos (la humedad en la madera es una relación entre fibra seca y fibra húmeda).

Las muestras de fibra reciclada se colocaron en un recipiente abierto de aproximadamente 20 L, y se agitó constantemente cada 10 minutos durante 1 hora hasta convertir la fibra en una pasta (suspensión).

En la reunión con La Gerencia de la Planta, se exigió que tanto el licor blanco, pasta y la pulpa tuviesen las características resumidas en la tabla IV.14.

Tabla IV.14.- Condiciones de las muestras exigidas por la gerencia general.

Parámetro	Licor	Fibra Reciclada		Pulpa	
		Nacional	Importada	Pino	Gmelina
Tipo	Blanco				
Sulfidez (%)	13	-	-	-	-
Hypo	-	-	-	-	21 y 24
Kappa	-	-	-	95	-

Con la información expuesta, se deben hacer:

* Formulaciones con el licor blanco y sulfuro de sodio hasta obtener una sulfidez de 13 %.

La sulfidez en una medida del endulzamiento del licor expresado como porcentaje de Na₂O. Esto se obtiene haciendo diluciones de sulfuro de sodio (Na₂S) en licor y midiendo la concentración que se reporta como gramos de Na₂O por litro de licor. Luego de haber obtenido la cantidad de Sulfuro a agregar por litro de licor, se prepara el mismo para las cocciones tanto de pino como de gmelina. Determinadas las condiciones de las maderas y el licor se procede a realizar las cocciones respectivas (Ver Procedimiento de Operación Estándar, POE) Anexo N° 2.

4.5.2.- Proceso de Pulpificación

4.5.2.1.- Condiciones de Cocción.

Es importante destacar que se realizaron diferentes cocciones, variando el porcentaje de fórmula de soda, que se refiere a la cantidad de soda que hay que agregar en base a la madera seca y variando el tiempo de cocción a fin de obtener las condiciones de las pulpas exigidas por La Gerencia.

Las condiciones de cocción se resumen en la tabla IV.15.

Tabla IV.15.- Condiciones de cocción para las especies a cocinar.

Condición	Nivel
Madera Seca (Kg.)	1
Álcali Activo (%)	13
Temperatura Máxima (C)	170
Hidromódulo	4:1 (pino) y 2:2 (gmelina)

- Para facilitar el manejo de la información de las cocciones se usó el formato de la tabla IV.16.

Tabla IV.16. Formato para cálculos en la digestión experimental



Especie:	Fecha:		
Cálculos Digestor Experimental			
Parámetro	Unidades	Cantidad	
Madera seca	Kg		
Humedad de la madera	%		
Madera húmeda	Kg		
Agua en la madera	Kg		
Hidromódulo			
Fórmula % soda	% Na ₂ O (b.m.s.)		
Soda	g Na ₂ O		
Concent. Licor blanco	g Na ₂ O/Lt.		
Densidad licor blanco	Kg/Lt.		
Licor blanco	Lt.		
Licor blanco	Kg		
Densidad licor negro (Agua)	Kg/Lt.		
fase liquida total	Kg		
Licor negro (Agua)	Kg		
Licor negro (Agua)	Lt.		
CONCENTRACION DE LICOR BLANCO			
TEST	ml (HCl 1N) Conc.	Álcalis	(g/Lt.)
A		A.E.	
B		A.A.	
		%S (A.A.)	
HYPPO/KAPPA			

Nota: Los cálculos de cada parámetro se especifican en la sección de anexos

Es por esta razón que se deben acondicionar las muestras e insumos químicos para la cocción experimental. A continuación se presentan los ensayos que se le hicieron a la madera y al licor blanco:

- Madera:

- Porcentaje de Humedad. (Según Norma COVENIN 242-79) Ver anexo N° 1.
- Base de Cálculo (madera seca).
- Masa de astillas húmedas.
- Hidromódulo (referente a la cantidad sólidos y líquidos)

- Líquidos:

- Alkali efectivo y activo al licor → Sulfidez. (Según Procedimiento Operacional Interno - POE) ver anexo N° 2.
- Volumen de licor de cocción
- Volumen de agua de cocción para cumplir hidromódulo.

El procedimiento empleado consistió en colocar las astillas en el digestor y añadir el licor de cocción preparado (compuesto por soda cáustica y sulfuro de sodio) y para completar el hidromódulo se agregó agua (Figura N° 13). Tapado el digestor se inició el período de calentamiento, para el cual se alimenta una corriente de vapor de 100 psi, y al alcanzar la temperatura máxima se fijaron tiempos de residencia de 30 min. para La Gmelina y 60 para El Pino. Se realizaron cocciones hasta encontrar la combinación óptima de componentes que fijen un Kappa de 95 para el pino y un Hypo de 21 y 24 para La Gmelina, variando para ello el tiempo de cocción y la fórmula.

Al terminar la cocción se procedió a tomar como muestras el licor negro y la pulpa obtenida (ver punto 4.5.3.3), así como la disposición de la pulpa en un recipiente para su lavado y posterior desfibrado.

4.5.3.- Lavado, Tamizado y desfibrado

Una vez terminado el proceso de cocción, las astillas cocidas fueron transferidas a un recipiente con una malla metálica en el fondo, donde se lavaron con abundante agua durante 30 minutos (o repetir este procedimiento se hace hasta que el agua salga del tamiz totalmente clara) y de esta manera se eliminó el licor negro presente en la pulpa. Hay que resaltar que el lavado de la pulpa es muy importante ya que elimina soda cáustica remanente que generaría espumas aguas abajo del proceso, generando roturas en el papel, así como la obtención de un licor negro más concentrado hacia la planta de recuperación de químicos.

4.5.3.1.- Desfibrado

La pulpa cocida en forma de astillas que fue lavada, debe ser desfibrada a fin de obtener una pasta que pueda ser batida posteriormente y desarrollar sus propiedades físico-mecánicas. Una vez lavadas las astillas fueron desfibradas en un refinador de disco SPROUT WALDRON, como se describió en el punto 4.3.1.2, el cuál tiene un tornillo alimentador que lleva las astillas hasta sus discos y produce la pasta de madera. Ya que internamente las fibras pueden tener licor negro, el lavado se continúa durante el desfibrado, a fin de ayudar el refinado, disminuir la fricción entre plato y plato, y a su vez lavar la pulpa. Este procedimiento se repitió durante 30 minutos hasta obtener una pasta uniforme.

Las pasta de fibra reciclada, tanto nacional como importada, a fin de obtener muestras mucho más uniformes, fueron fibriladas en el equipo que se describe en el punto 4.3.1.3, el cual funciona a 3000 rpm y por carga. Este procedimiento se realizó fibrilando muestras a tiempo constante de 5 minutos.

4.5.3.2.- Tamizado

Después del proceso de desfibrado, se procedió al tamizado de las pulpas a través de un clasificador de fibras y de rechazos, logrando de esta manera separar las astillas gruesas que

no fueron afectadas por los reactivos químicos que intervinieron en el proceso y eliminando los llamados “finos” que son fibras muy pequeñas. Este procedimiento se realizó durante 2 horas para cada muestra de pulpa, ya que el equipo es pequeño y por carga.

4.5.3.3. - Determinaciones Analíticas a las pulpas y licores.

Los productos después de la cocción son: Licor negro y pulpa desfibrada sin batir, a los cuales se les realizó los ensayos:

4.5.3.3.1.- Licor negro

- Alkali Residual. (Según POE (Procedimiento de Operación Estándar)) ver anexo N° 2.

4.5.3.3.2.- Pulpa

- Nivel de Kappa (pino). (Según norma COVENIN 438-79) Ver anexo N° 3.
- Nivel de Hypo (gmelina).
- Consistencia antes y después de refinar. (Según norma COVENIN 820-78) Ver anexo N° 4.
- Freeness antes y después de refinar. (Según norma COVENIN 1390-79) Ver anexo N° 5.

4.5.4. – Batido y optimización de las mezclas.

El batido de la pulpa es realizado con la finalidad de mejorar las propiedades físicas de las pulpas y papeles. En este caso se realizó en el equipo PFI MILL a una consistencia variable y a diferentes revoluciones de acuerdo a cada pulpa (Pino kappa 95, Gmelina hypo 22 y 24, pasta nacional e importada) según POE (Procedimiento Operacional Estándar) durante 3 minutos para cada carga.

Para tener la base del PFI MILL fue necesario determinar la consistencia de las muestras según el punto 4.5.3.3.2. Se tomaron 30 g de pulpa seca (base seca del equipo), la cuál varía en base húmeda de acuerdo a su consistencia y fue introducida al PFI y repartida uniformemente sobre las paredes del plato. Al terminar el batido se determinó el escurrimiento (FREENESS) en cada una de las revoluciones para cada muestra. Esta prueba se realizó en el aparato CANADIAN STANDARD FREENESS (C.S.F.), según norma COVENIN 1390-79.

4.5.5.- Elaboración de hojas de mano para evaluación de propiedades críticas

De cada experimento se elaboraron 5 hojas de mano, (Según norma COVENIN 741-78) tomando como base un peso básico de 150 g/m², y teniendo en consideración que el área del cilindro formador es de 0,02 m². Para ello se tomó la muestra de pulpa húmeda y se introdujo en el cilindro formador (Ver anexo N° 6), luego se llenó el cilindro con agua, se agitó suavemente durante 20 segundos y se dejó drenar la misma. La hoja formada en la malla del cilindro se extrae colocando un papel especial absorbente (ver figura N° 19a) y una plancha metálica del mismo tamaño de la hoja de mano y se pasó un rodillo 5 veces para que la hoja se adhiera al mismo. Seguidamente se recoge la hoja de mano formada y se deja reposar por 10 minutos (ver figura N° 19b).



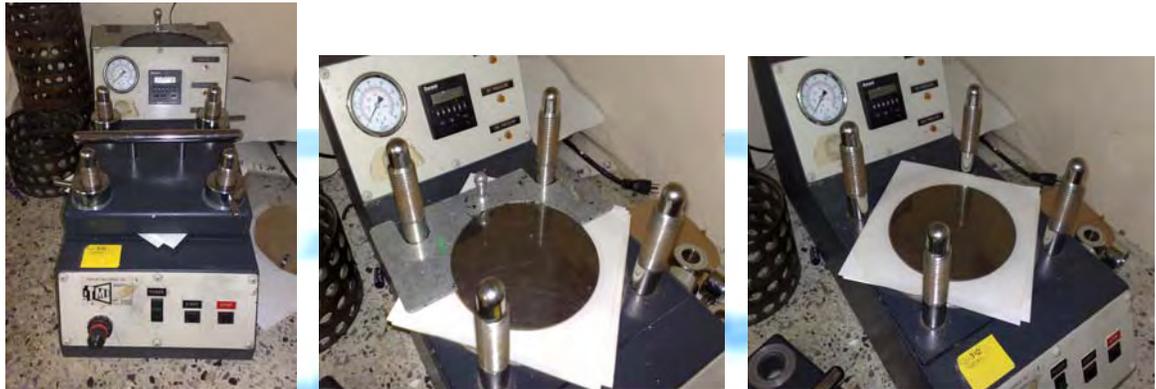
(a)

(b)

Figura N° 19. (a) Papel Absorbente especial. (b) Hojas de mano en reposo. (Fuente: Fotografía tomada en las instalaciones de Smurfit Kappa Mocarpe, 2008).

4.5.6.- Prensado de las hojas de mano

Las hojas de mano reposadas se llevaron a una prensa neumática (ver figura N° 20a) donde se le extrae humedad mecánicamente. Para ello se introdujeron las hojas mediante una configuración (ver figura 20b), se colocó el tope de la prensa, los pernos y se presan durante 5 minutos por ambas caras (ver figura N° 19c).



(a)

(b)

(c)

Figura N° 20. (a) Vista frontal de la prensa neumática. (b) y (c) Configuración de las hojas de mano. (Fuente: Fotografía tomada en las instalaciones de Smurfit Kappa Mocarpel, 2008).

4.5.7.- Secado de las hojas de mano

Luego que las hojas son prensadas, se extrae tanto la hoja como la lámina metálica y se colocan en unas rejillas (ver figura N° 21a, b y c) para secarlas al aire libre. Éstas se dejan secar durante 24 horas.



(a)

(b)

(c)

Figura N° 21. (a) Rejillas metálicas. (b) Disposición de las hojas de mano. (c) secado al aire libre. (Fuente: Fotografía tomada en las instalaciones de Smurfit Kappa Mocarpel, 2008).

4.5.8.- Evaluación de las propiedades críticas

Pasadas las 24 horas de secado, las hojas se extraen de la lámina metálica y la rejilla, se introducen en bolsas Ziploc® (ver figura N° 22a y c), se llevan al laboratorio de papel de Mocarpel (ver figura N° 22b) por 24 horas más para que las muestras se acondicionen a 23 ± 2 °C de temperatura y una humedad de 50 ± 5 %.



Figura N° 22. (a) y (c) Disposición y acondicionamiento de las muestras. (b) Vista del Laboratorio de papel. (Fuente: Fotografía tomada en las instalaciones de Smurfit Kappa Mocarpel, 2008).

Luego de acondicionadas se preparan para medir sus propiedades mecánicas (Según norma COVENIN 806-78) (Ver anexo N° 7) exigidas por el cliente, las cuales son:

- Peso Básico. (Según norma COVENIN 954-78). (ver figura N° 23a)
- Resistencia a La Compresión en forma circular (RCT – Ring Crush Test). (Según norma TAPPI 8822). Ver Anexo N° 8. (ver figura N° 23b)
- Resistencia al estallido (Mullen). (Según norma COVENIN 1146-78). Ver anexo N° 9. (ver figura N° 23c)

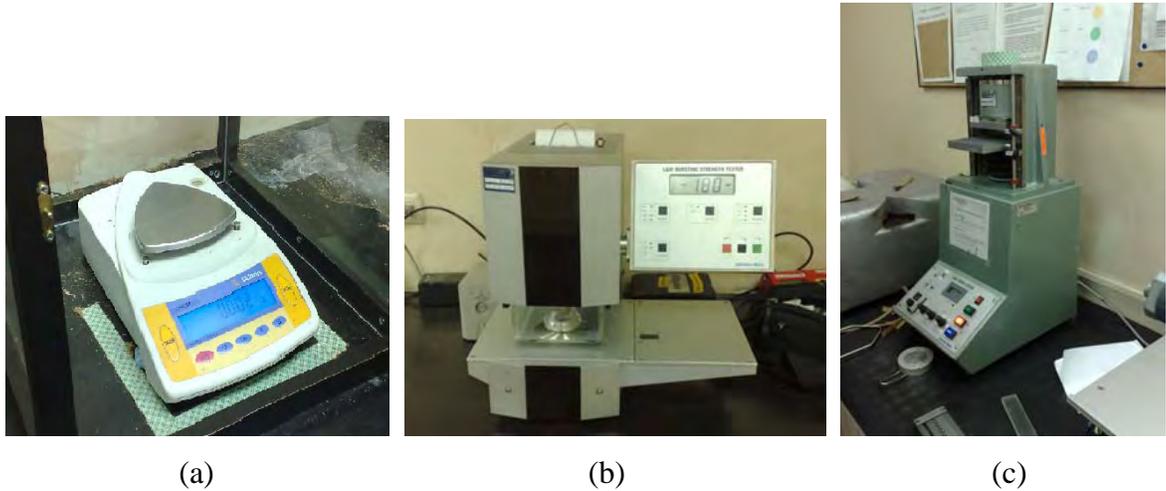


Figura N° 23. (a) Balanza para peso básico. (b) Equipo para medir estallido. (c) Equipo para medir Compresión de anillo.
(Fuente: Fotografía tomada en las instalaciones de Smurfit Kappa Mocarpe, 2008).

Para finalizar el estudio de batido se graficaron los resultados obtenidos y se determinó el punto óptimo de refino.

Seguidamente se procedió a Refinar la pulpa de acuerdo con el mejor punto de la curva de batido obtenida a fin de darle desarrollo a las propiedades físico-mecánicas de la pulpa y por ende al papel.

Luego se realizaron mezclas de pulpas de acuerdo a las especificaciones en la tabla IV.17.

Tabla IV.17. Especificaciones de los experimentos con las mezclas de pulpas.

EXPERIMENTO	% PINO KAPPA 95	% GMELINA HYPO 22 / HYPO 24	% RECICLADO NACIONAL/IMPORTADO
1	70	30	0
2	70	25	5
3	70	20	10
4	70	15	15
5	70	10	20
6	70	5	25
7	70	0	30

Hay que especificar que cada experimento se hizo cuatro veces, variando la pulpa de Gmelina de 22 y 24, de igual forma el reciclado nacional por el importado. Se repitió desde el punto 4.5.4. para cada experimento.

Obtenidas las hojas de calidad y sus propiedades se procedió a realizar el análisis de las muestras vs. propiedades obtenidas.

Tomando en cuenta el costo de la tonelada de pulpa de gmelina (250 \$), reciclado nacional (150\$) e importado (400\$) (costos para la fecha del estudio preliminar en noviembre de 2008), se procedió a realizar el estudio de rentabilidad de la mezcla óptima, tomando en cuenta la optimización de las propiedades y los costos de producción/obtención.

www.ve

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

A continuación se presentan los resultados de las cocciones de pino y gmelina:

Cocciones de Pino

En la tabla V.1. se resumen los datos obtenidos del pulpeado del pino.

Tabla V.1. Resultados de la cocción del pino caribe



Especie: Pino	Fecha: 01-Ago-08	Hora:	8:30 a.m.
Cálculos Digestor Experimental		Experimento	2

Parámetro	Unidades	Cantidad	
Madera seca	Kg.	1,0	
Humedad de la madera	%	47,25	
Madera húmeda	Kg.	1,896	Madera seca/(1-Humedad/100)
Agua en la madera	Kg	0,90	
Hidromódulo		4	
Fórmula % soda	% Na ₂ O (bms)	13	
Soda	g Na ₂ O	130,0	(Madera seca x Fórmula)/100
Concent. Licor blanco	g Na ₂ O/Lt	95,48	
Densidad licor blanco	Kg/Lt	1,07	
Licor blanco	Lt	1,362	Cantidad de Químico/Álcali Activo
Licor blanco	Kg	1,457	Volumen de Licor Blanco *Densidad
Densidad licor negro (Agua)	Kg/Lt	1	
fase liquida total	Kg	4	
Licor negro (Agua)	Kg	1,743	
Licor negro (Agua)	Lts	1,743	(Fase liquida(Kg)) - (L. Blanco(Kg) + Agua en la Madera(Kg))

CONCENTRACION DE LICOR BLANCO				Número Kappa
TEST	ml (HCl 1N)	Álcalis	(g/Lts)	
A	14,40	A.E.	89,28	95,07
B	15,4	A.A.	95,48	
		%S (A.A.)	12,99	
	6,8	Residual (%)	4,216	

Como se describió anteriormente, se hicieron varias cocciones hasta llegar a la que cumplía con los parámetros exigidos de calidad de la pulpa. En la tabla V.1, la pulpa obtenida cumple con las condiciones de calidad necesarias para su optimización a través del refino.

Cocciones de Gmelina

En la tabla V.2 y V.3, Se resumen los datos obtenidos del pulpeado de la gmelina.

Tabla V.2. Resultados obtenidos para la Gmelina de Hypo 24.



Especie: Gmelina	Fecha: 31-Jul-08	Hora:	08:35 a.m.
Cálculos Digestor Experimental		Experimento	1

Parámetro	Unidades	Cantidad	
Madera seca	Kg	1,0	
Humedad de la madera	%	50,13	
Madera húmeda	Kg	2,005	Madera seca/(1-Humedad/100)
Agua en la madera	Kg	1,01	
Hidromódulo		4	
Fórmula % soda	% Na2O (bms)	8,5	
Soda	g Na2O	85,0	(Madera seca x Fórmula)/100
Concent. Licor blanco	g Na2O/Lt	95,48	
Densidad licor blanco	Kg/Lt	1,07	
Licor blanco	Lt	0,890	Cantidad de Químico/Álcali Activo
Licor blanco	Kg	0,953	Volumen de Licor Blanco *Densidad
Densidad licor negro (Agua)	Kg/Lt	1	
fase líquida total	Kg	4	
Licor negro (Agua)	Kg	2,105	
Licor negro (Agua)	Lts	2,105	(Fase líquida(Kg)) - (L. Blanco(Kg) + Agua en la Madera(Kg))

CONCENTRACION DE LICOR BLANCO

TEST	ml (HCl 1N)	Álcalis	(g/Lts)	Número Hypo
A	14,40	A.E.	89,28	24,20
B	15,4	A.A.	95,48	
		%S (A.A.)	12,99	
	3,59	Residual (%)	2,2258	

Tabla V.3. Resultados obtenidos para la Gmelina de Hypo 22.



Especie: Gmelina	Fecha: 12-Ago-08	Hora: 03:00 p.m.
Cálculos Digestor Experimental		Experimento: 4

Parámetro	Unidades	Cantidad	
Madera seca	Kg	1,0	
Humedad de la madera	%	52,5	
Madera húmeda	Kg	2,105	Madera seca/(1-Humedad/100)
Agua en la madera	Kg	1,11	
Hidromódulo		2,2	
Fórmula % soda	% Na2O (bms)	9,5	
Soda	g Na2O	95,0	(Madera seca x Fórmula)/100
Concent. Licor blanco	g Na2O/Lt	95,48	
Densidad licor blanco	Kg/Lt	1,07	
Licor blanco	Lt	0,995	Cantidad de Químico/Álcali Activo
Licor blanco	Kg	1,065	Volumen de Licor Blanco *Densidad
Densidad licor negro (Agua)	Kg/Lt	1	
fase líquida total	Kg	2,2	
Licor negro (Agua)	Kg	0,100	
Licor negro (Agua)	Lts	0,100	(Fase líquida(Kg)) - (L. Blanco(Kg) + Agua en la Madera(Kg))

CONCENTRACION DE LICOR BLANCO

TEST	ml (HCl 1N)	Álcalis	(g/Lts)	Número Hypo
A	14,40	A.E.	89,28	22,28
B	15,4	A.A.	95,48	
		%S (A.A.)	12,99	
	6,1	Residual (%)	3,782	

Al igual que la cocción anterior, la pulpa obtenida cumple con las condiciones de calidad necesarias para su optimización a través del refino.

Seguidamente de desfibradas, lavadas y tamizadas, se refinaron las pulpas obtenidas, las cuales se hicieron a diferentes revoluciones a fin de obtener su curva óptima de refinación. De igual manera se acondicionaron las muestras de pasta reciclada, tanto nacional como importadas.

Curva Óptima de Refino

Como se dijo en el capítulo IV es necesario determinar la curva de refino para encontrar el punto donde se optimizan las propiedades físico-mecánicas.

Debido a que el refinador PFI MILL trabaja con una base de 30 g. secos de fibra y el equipo para el Freeness (CSF) de 3 g secos, es necesario determinar la consistencia de las pulpas, la cual es definida como la cantidad de fibra seca por masa de pulpa húmeda, a fin de determinar la cantidad de pulpa utilizar para dichas bases. En la tabla V.4, se resumen los datos de consistencia utilizados.

Tabla V.4. Datos de Consistencia para pulpas y pastas a utilizar.



$$\% \text{Cons.} = \frac{\text{Masaseca}}{\text{MasaPulpaHúmeda}} * 100$$

				PFI MILL	FREENESS
Pino				Base g seco	30,0
				Masa Húmeda	3,0
Masa Muestra (g)	20	% Consistencia			
Masa Seca 1	Masa Seca 2	Masa Seca 3			
2,8	2,8	2,8	14	214,3	21,4
Gmelina Hypo 22					
Masa Muestra (g)	20	% Consistencia			
Masa Seca 1	Masa Seca 2	Masa Seca 3			
2,3	2,3	2,3	11,5	260,9	26,1
Gmelina Hypo 24					
Masa Muestra (g)	20	% Consistencia			
Masa Seca 1	Masa Seca 2	Masa Seca 3			
1,6	1,6	1,6	8	375,0	37,5
Reciclado Nacional					
Masa Muestra (g)	20	% Consistencia			
Masa Seca 1	Masa Seca 2	Masa Seca 3			
3,1	3,1	3,1	15,5	193,5	19,4
Reciclado Importado					
Masa Muestra (g)	20	% Consistencia			
Masa Seca 1	Masa Seca 2	Masa Seca 3			
3,1	3,1	3,1	15,5	193,5	19,4

Luego de determinar la consistencia, se procedió a calcular el índice de drenabilidad, para diferentes muestras refinadas, la cual es una variable que se usa para obtener la curva de refino, es decir, por cada punto de refino se procedió a determinar la drenabilidad en refino cero y a puntos de CSF entre 350 y 550. Como el índice de drenabilidad depende de las condiciones de la muestra es necesario hacer correcciones del mismo, por lo que es necesario tomar la temperatura y la consistencia después de cada refino y corregir el ensayo de acuerdo al método. Al final se obtendrán 4 puntos de refino y el óptimo será el mayor de los mismos.

Después de encontrar los puntos de refino, en cada uno de ellos se procedió a determinar las propiedades críticas de este estudio, las cuales son el peso básico, la resistencia al estallido y la resistencia a la compresión de anillo, a fin de ver donde se optimizan las mismas y poder refinar todas las muestras de pulpas a ese nivel de refino y luego realizar las mezclas referentes a esta investigación.

Pulpa de Pino

Para las muestras de pino se realizaron refinaciones a 0, 2500, 4500 y 6500 RPM, las cuáles afectan la drenabilidad y las propiedades físicas del papel. En las tablas V.5 y V.6 del anexo N° 1.a, se resumen los resultados de los ensayos realizados a la pulpa de pino en cada punto de refino.

Al tomar los datos de las tablas anteriores con respecto a las propiedades críticas y plasmarlos en ejes coordenados, se determina el punto óptimo de refino. La gráfica V.1 refleja claramente que a 4500 RPM o un Freeness de 475 mL se optimiza la resistencia a la compresión de anillo. De igual manera en la gráfica V.2 se resumen los resultados para la resistencia al estallido. Del mismo modo se repite para las pulpas de las otras especies.

Gráfico V.1. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refino para el RCT

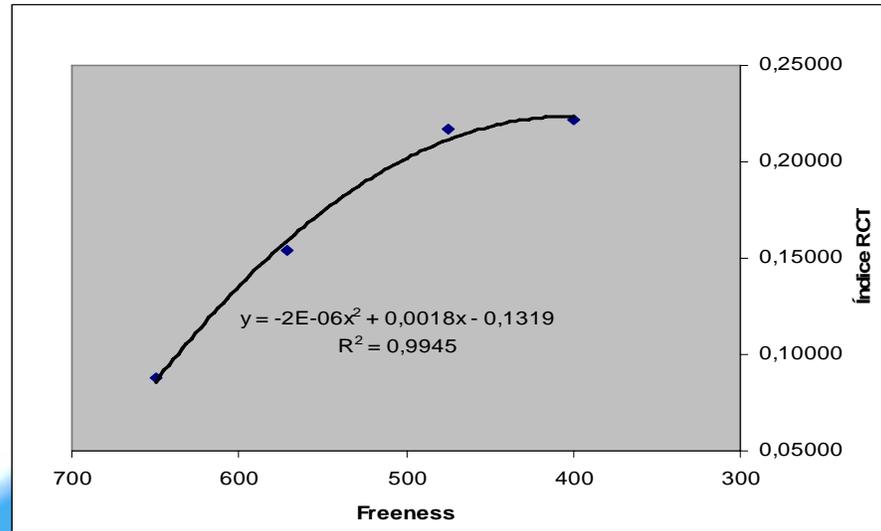
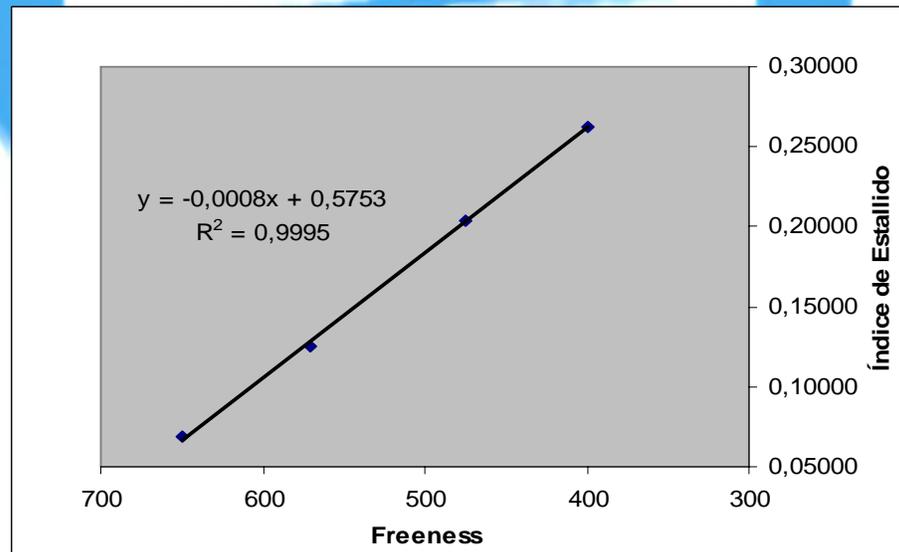


Gráfico V.2. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refino para el Estallido



Pulpa de Gmelina de Hypo 22

En las muestras de Gmelina de hypo 22 se realizaron refinaciones a 0, 1000, 2500 y 3500 RPM. En las tablas V.7 y V.8 del anexo N° 1.b, se resumen los resultados de los ensayos realizados a la pulpa de gmelina hypo 22 en cada punto de refino.

La gráfica V.3 refleja claramente que a 2500 RPM o un Freeness de 441 mL se optimiza la resistencia a la compresión de anillo. En la gráfica V.4 se resumen los resultados para la resistencia al estallido.

Gráfico V.3. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refino para el RCT

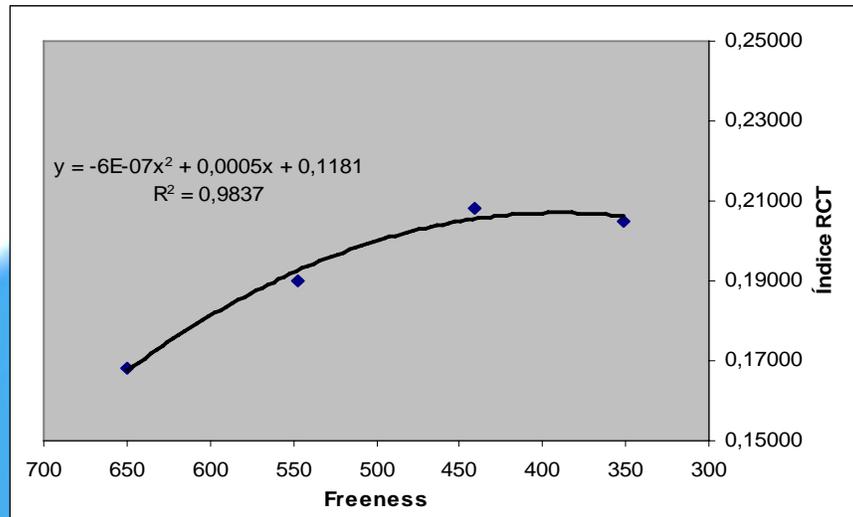
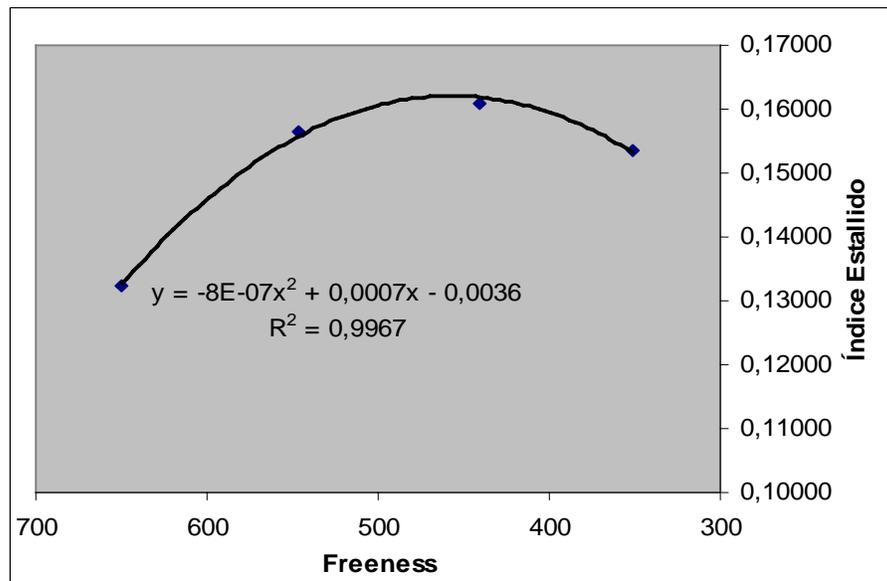


Gráfico V.4. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refino para el Estallido



Pulpa de Gmelina de Hypo 24

Las muestras de Gmelina de hypo 24 fueron refinadas a 0, 2000, 3500 y 4500 RPM. En las tablas V.9 y V.10 del anexo N° 1.b, se resumen los resultados de los ensayos realizados a la pulpa de gmelina hypo 24 en cada punto de refino. Los resultados de la Resistencia a La Compresión de Anillo, se resumen en la gráfica V.5 y su punto óptimo es a 3500 RPM o un Freeness de 443 mL y en la gráfica V.6 se resumen los resultados para el estallido.

Gráfico V.5. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refino para el RCT

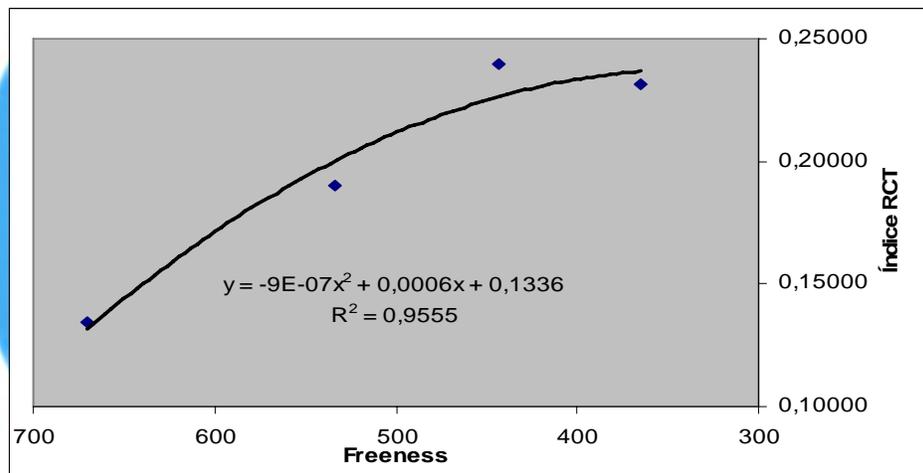
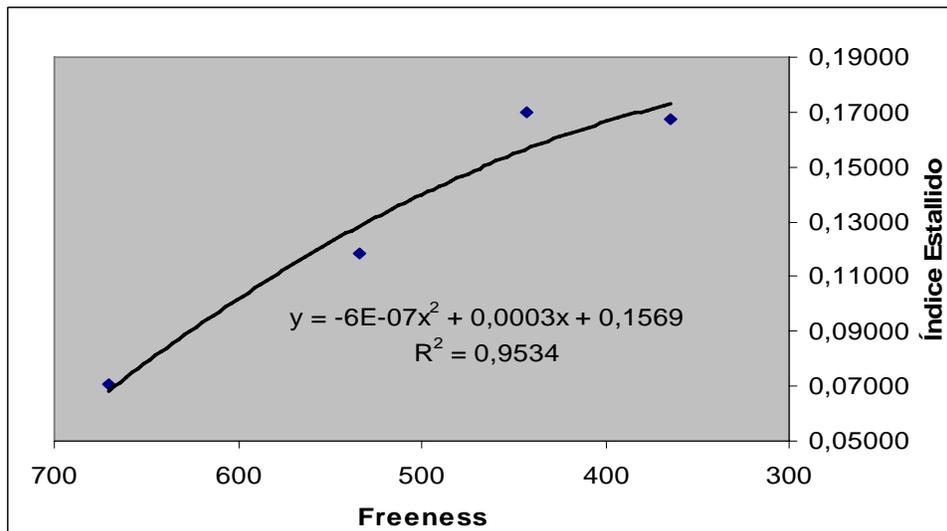


Gráfico V.6. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refino para el Estallido



Pasta de Reciclado Nacional

Para el Reciclado Nacional se realizaron refinaciones a 0, 1500 y 2500 RPM y en las tablas V.11 y V.12 del anexo N° 1.d, se resumen los resultados de los ensayos realizados a la pasta de reciclado en cada punto de refino. La Resistencia a la Compresión de Anillo y el estallido se resumen en las gráfica V.7 y V.8, respectivamente. El RCT, se optimiza a 1500 RPM o un Freeness de 441 mL.

Gráfico V.7. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refino para el RCT

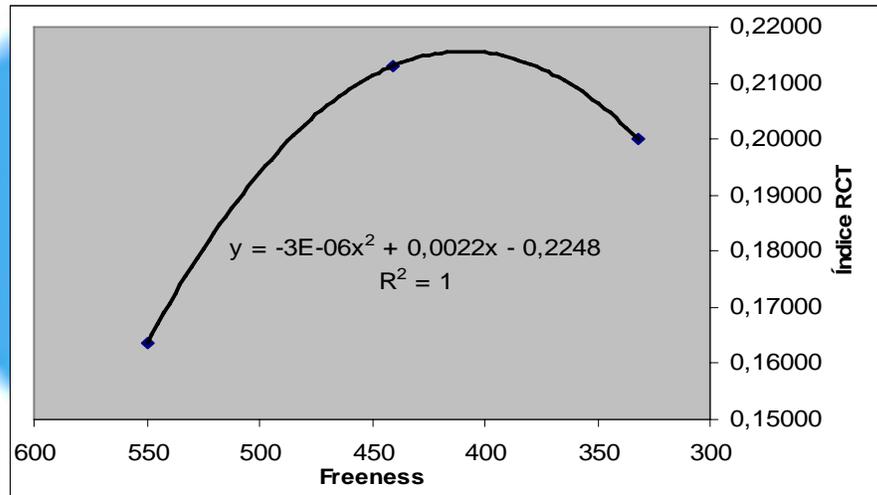
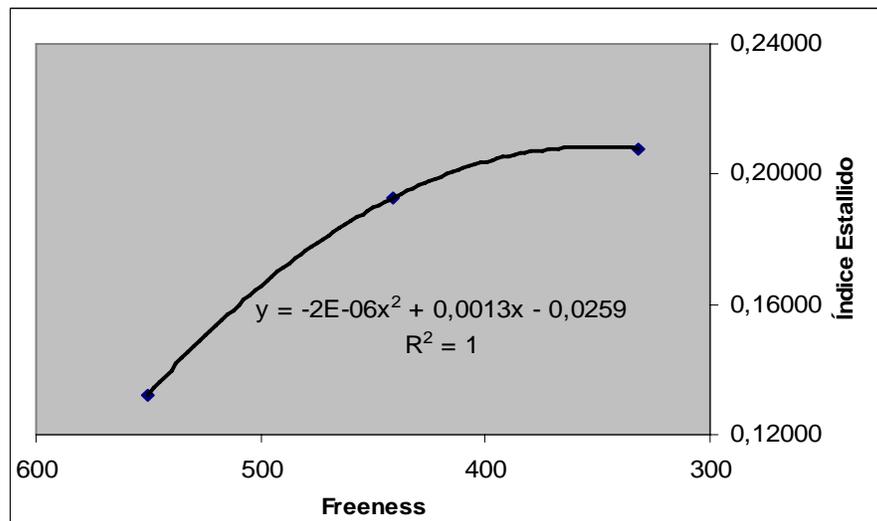


Gráfico V.8. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refino para el Estallido



Pasta de Reciclado Importado

Para las muestras de Reciclado Importado se realizaron refinaciones a 0, 1500 y 2500 RPM. En las tablas V.13 y V.14 del anexo N° 1.d, se resumen los resultados de los ensayos realizados a la pasta de reciclado importado. En la gráfica V.9 refleja claramente que a 1500 RPM o un Freeness de 462 mL se optimiza la resistencia a la compresión de anillo y en la gráfica V.10 se resume la resistencia al estallido.

Gráfico V.9. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refino para el RCT

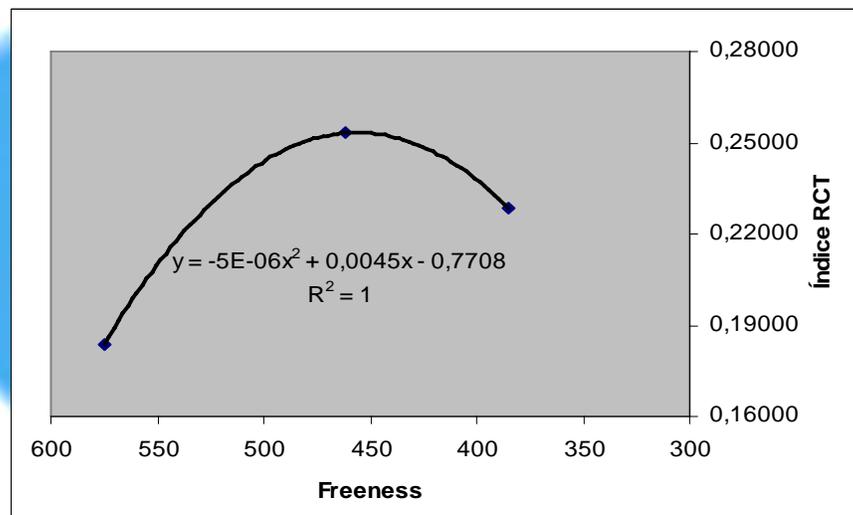
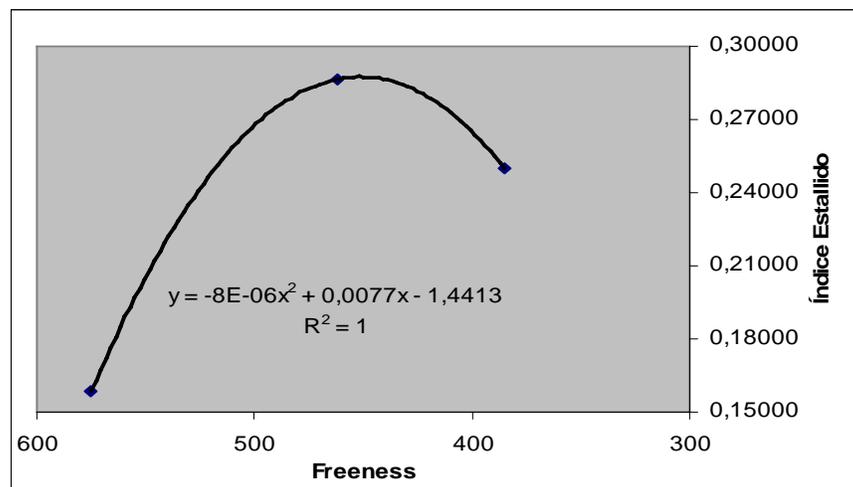


Gráfico V.10. Resumen de las propiedades y el punto óptimo de refino para el Estallido



Al buscar los puntos óptimos de refino para cada pulpa, pueden resumirse en la tabla V.15 para cada muestra.

Tabla V.15. Puntos óptimos de refino para cada especie

Espece	Revoluciones (RPM)	Freeness (mL)
Pino Kappa 95	4500	475
Gmelina Hypo 22	2500	441
Gmelina Hypo 24	3500	443
Reciclado Nacional	1500	441
Reciclado Importado	1500	462

Se puede ver en todas las pulpas y pastas analizadas, el aplicar un refino ayuda a desarrollar las propiedades mecánicas, pero al aumentar su intensidad, genera un efecto de cizallamiento que hace que éstas disminuyan de manera polinómica.

Según las graficas V.1 hasta la V.10, los puntos óptimos de refino están alrededor de 440 a 460 mL de CSF, esto nos indica que la carga aplicada varía considerablemente, esto es porque el tipo de fibra varía de pulpa en pulpa.

Para la investigación realizada se tiene como objetivo obtener una alta resistencia a la compresión de anillo, por lo que se toma como punto óptimo ésta, aunque en algunos casos no coincida con el estallido por tener prioridad en las especificaciones del cliente final.

En las gráficas V.1 y V.2, se puede ver que el punto óptimo de refino tanto para el RCT como para el estallido está a un CSF de 475 y unos 4500 RPM. Estos resultados pueden ser analizados desde dos puntos de vista. El primero es que, para una mismo grado de drenabilidad parecido a las demás pulpas, la cantidad de carga es mucho mayor, y esto se debe al tipo de fibra, el pino por ser una conífera está provisto por traqueadas, las cuales son mucho mas difíciles de refinar que las de las otras especies.

Por otro lado es de notar que aunque a 475 de CSF no es el punto óptimo, es un número operativa y económicamente viable, ya que a cargas superiores a ésta, el proceso se vuelve muy costoso, para resultados de estas propiedades muy parecidos.

En gráficas V.3, V.4 y V.5, V.6, se tienen resultados muy parecidos, pero difieren un poco por el grado de cocción entre ambas, la pulpa de Gmelina de hypo 22 está más cocida que la de 24, por lo que los resultados sean distintos aunque sean de la misma especie y de tratamientos químicos parecidos. Sin embargo, éstos son muy distintos a los del pino, por ejemplo, el punto óptimo de refino para la pulpa de Gmelina de 22 es de CSF 441 y unos 2500 RPM y los de la Gmelina de hypo 24 son de 443 CSF y unos 3500 RPM. Esto se debe a que la Gmelina es una especie latifoliada la cual posee vasos, que son fibras cortas mucho más fáciles de refinar que las del pino, lo que disminuye la intensidad del refino para un número similar de CSF.

En gráficas V.7, V.8 y V.9, V.10, se puede ver que aunque se tienen resultados muy parecidos, difieren por el lugar de procedencia de las fibras, la pasta reciclada nacional y la importada no necesitan un refino prolongado para que se llegue a un CSF óptimo, esto es porque estas fibras ya han tenido un refino al momento de hacerlos papel y su coste de refino es mucho menor en cuanto a la carga que hay que aplicar para llevarlos a un CSF parecido a las de la Gmelina.

Para la fibra reciclada nacional su punto óptimo es de un CSF de 441 y una intensidad de carga de 1500 RPM y para la fibra reciclada importada es de un CSF de 462 y una intensidad de carga de 1500 RPM, esto quiere decir que para una pasta que es importada, y su costo es mayor que la de la nacional, los resultados son similares.

Como se resumió en la tabla IV.17, los experimentos se llevaron a cabo haciendo repeticiones con base en las distintas pulpas de gmelina y de la fibra reciclada. Seguidamente al refinar todas las muestras a su punto óptimo, se procedió a realizar todos los experimentos, cuyos resultados se resumen desde el anexo N° 1.d hasta el N° 1.j, para cada una de las mezclas respectivamente.

Al observar en las tablas anteriores, es difícil determinar si el proyecto es viable ya que es mucha información en tablas, por lo que la misma se condensa de acuerdo a la medida propiedad en las tablas V.44 y V.45 del anexo N° 1.k y gráficamente se reflejan en las V.11 y V.12, de acuerdo a las mezclas de pulpas.

Gráfico V.11. Resultados de la Resistencia a la compresión de anillo por Experimento

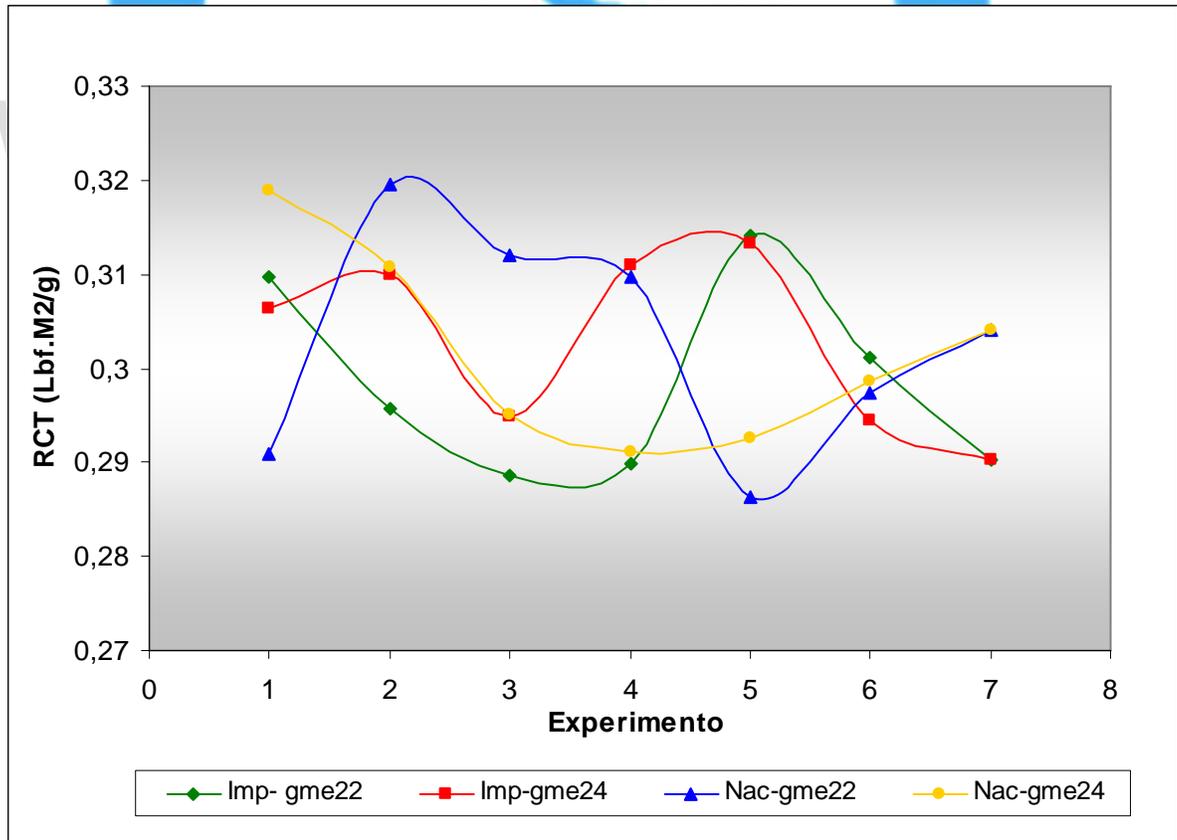
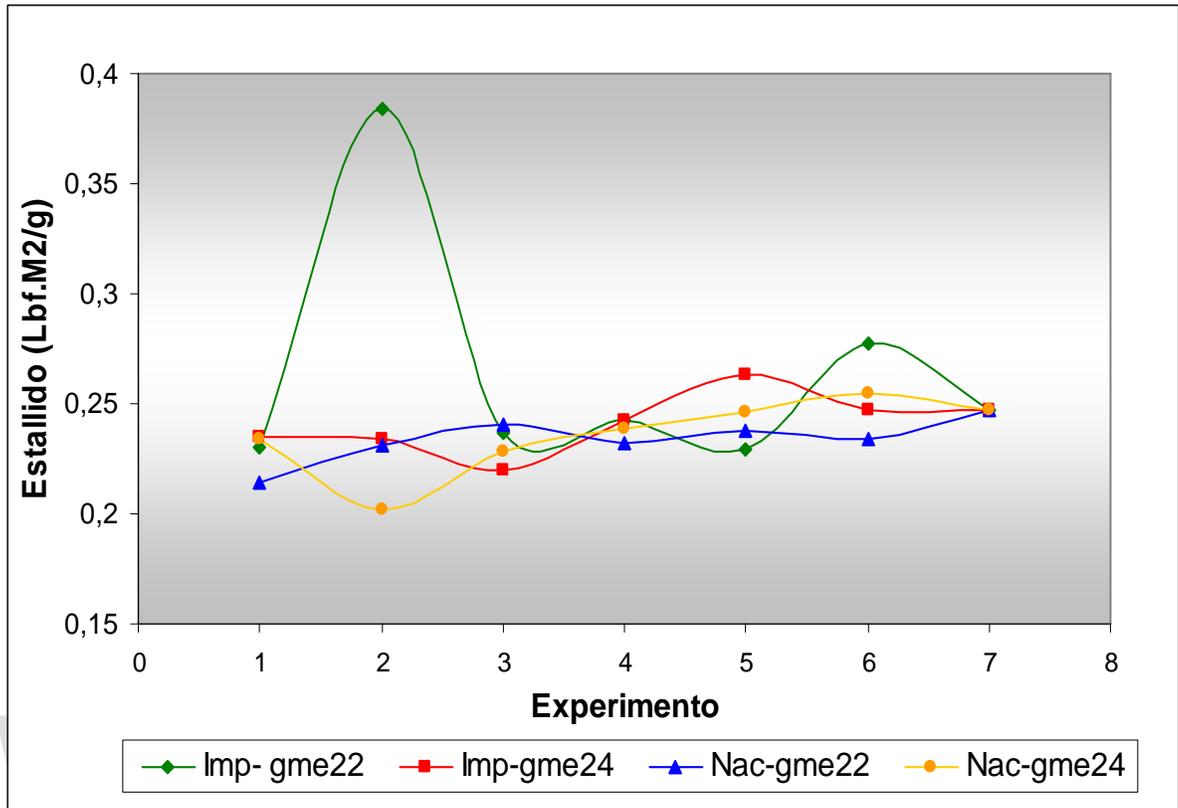


Gráfico V.12. Resultados de la Resistencia al estallido por Experimento



Los resultados recopilados de la resistencia a la compresión de anillo se detallan en la gráfica V.11. La comparación objeto de estudio es referente a la utilización de la pasta importada versus las demás mezclas, por lo que se cotejarán los primeros seis experimentos con el séptimo que es de sólo fibra reciclada con mezcla 30 % desperdicio y 0% Gmelina en las mezclas para tipo “LINER”. Se puede decir que todas aquellas mezclas cuyos resultados del RCT sean mayores o iguales al experimento 7, puede utilizarse para sustituirlos en dichas formulaciones.

Haciendo un análisis general, los experimentos cuyas mezclas fueron intermedias dieron resultados mayores que aquellos en las que las especies están puras. Las curvas Importado – Gmelina 22 y Nacional –Gmelina 22, reflejan el efecto de utilizar diferente fibra reciclada, donde la curva que contiene la fibra reciclada nacional se optimiza, la de fibra reciclada importada disminuye y donde disminuyen la nacional, la importada aumenta de manera

análoga. Ahora bien, si se coteja la curva Importado – Gmelina 24 y Nacional – Gmelina 24, se observa que los resultados son muy similares, exceptuando el experimento N° 5 donde la diferencia es grande.

Para ver el efecto de usar diferentes cocciones de Gmelina se puede comparar la curva Importado – Gmelina 22 e Importado – Gmelina 24, las cuales reflejan resultados muy parecidos. Al ver las curvas Nacional – Gmelina 22 y Nacional – Gmelina 24, se nota que la primera da mejores resultados que la segunda.

Si se hace un análisis más exhaustivo para determinar cuál mezcla se puede usar para sustituir la pasta importada, se contraponen todos los experimentos con el número 7. Según la curva Importado – Gmelina 22, las mezclas que pueden utilizarse para sustituir al importado son los experimentos N° 1, 2, 5 y 6, es decir los que tienen las proporciones 30% G – 0% D, 25% G – 5% D, 10% G – 20% D y 5% G – 25% D respectivamente. Con respecto a la curva Importado – Gmelina 24, las mezclas que pueden utilizarse para sustituir al importado puro, son los experimentos N° 1, 2, 3, 4, 5 y 6, es decir, cualquiera de los experimentos pueden usarse.

Al tomar como base de estudio la fibra reciclada nacional, se tiene que en la curva Nacional – Gmelina 22, pueden sustituirse por la fibra nacional pura, los experimentos N° 2, 3, y 4, que representan las proporciones 25% G – 5% D, 20% G – 10% D y 15% G – 15% D. Para la mezcla Nacional – Gmelina 24 se tiene que los experimentos que pueden sustituir al reciclado son los N° 1 y 2, es decir los que tienen gmelina pura y los que tienen un 25% de gmelina.

Con la información obtenida a partir de los gráficos anteriores se puede hacer el estudio de viabilidad económica.

Estudio de Viabilidad Económico

En la tabla V.46. se resumen los costos operativos por cada especie utilizada.

Tabla V.46. Costos operativos de las especies utilizadas

Especie	Costo (\$)/ton
Gmelina	250
Reciclado Nacional	150
Reciclado Importado	400

Fuente: Departamento de Contraloría, Smurfit Kappa Mocarpel, Noviembre 2008.

Base de cálculo: 1 Ton Pulpa Mezclada para formación de papeles tipo “Liner”

Especie	%
Pino	70
Reciclado - Gmelina	30

$$Masaunitaria = \frac{\%}{100} * Masatotal$$

$$Costounitario = \frac{Costo(\$)}{masa(t)} * masaunitaria(t)$$

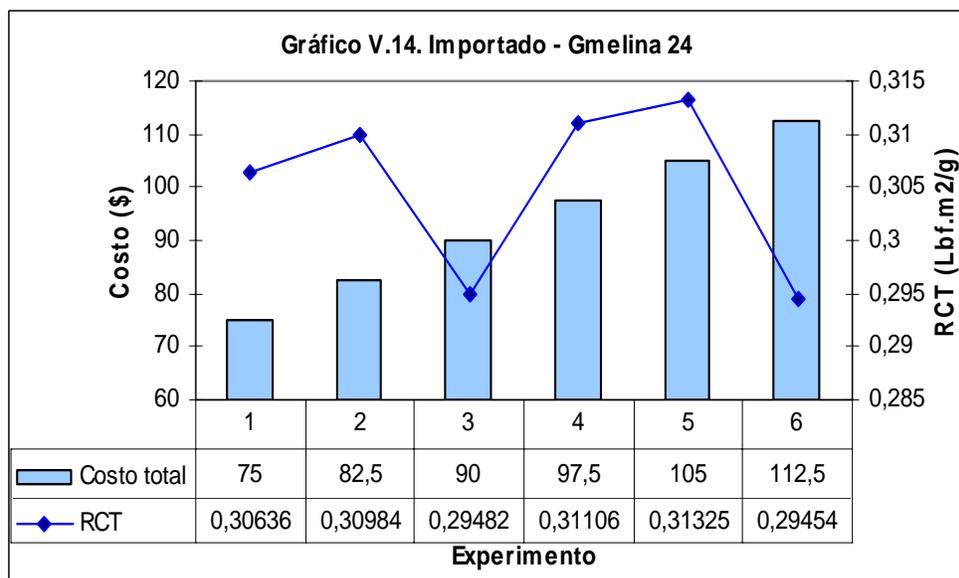
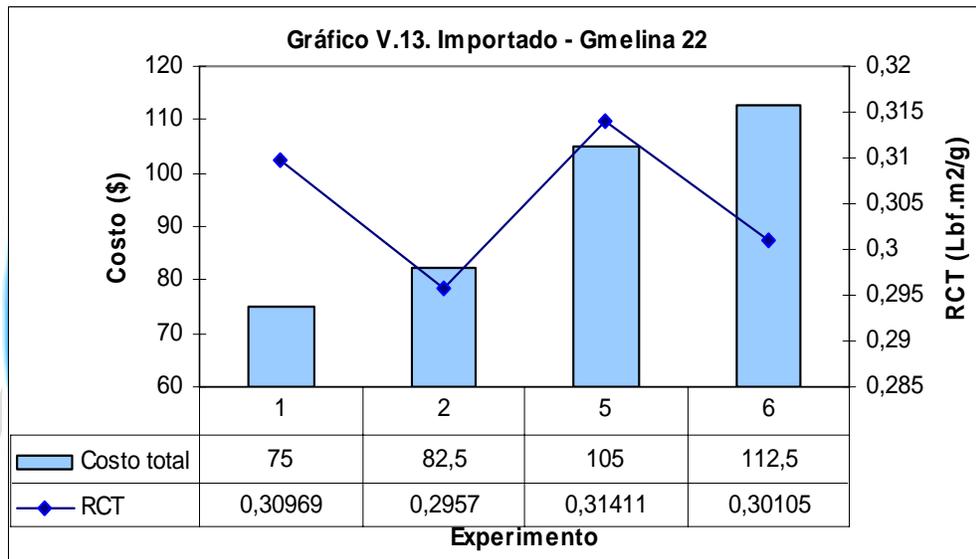
El costo unitario utilizando solo fibra reciclada importada es:

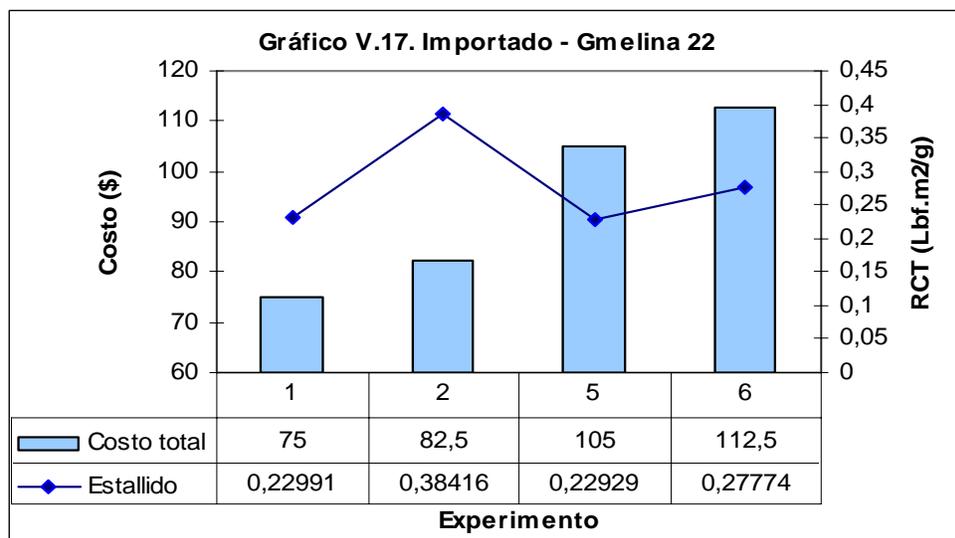
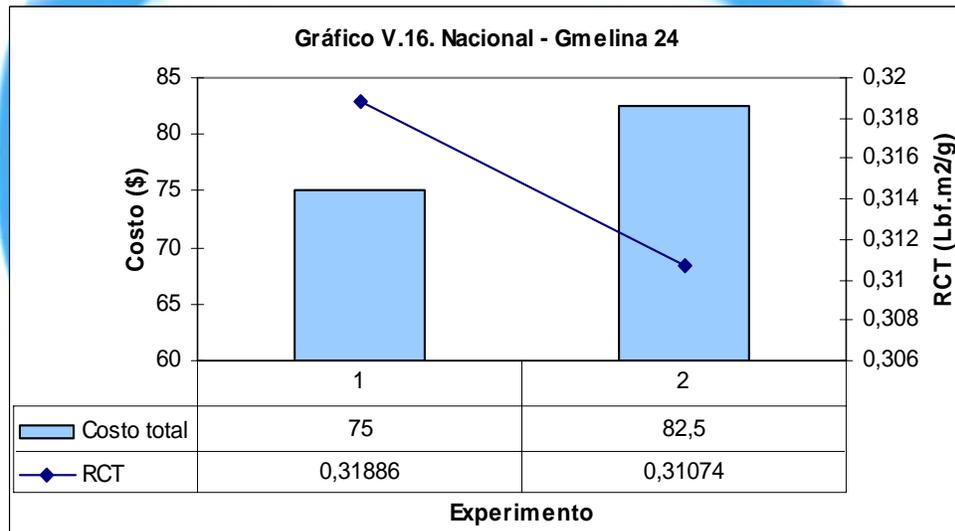
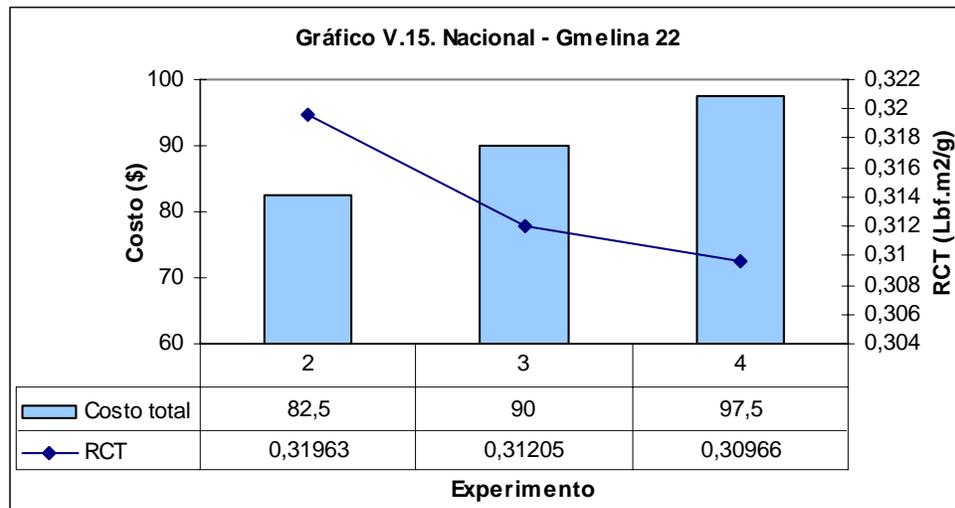
$$Costoimportado = 0,3t * \frac{400\$}{t} = 120\$$$

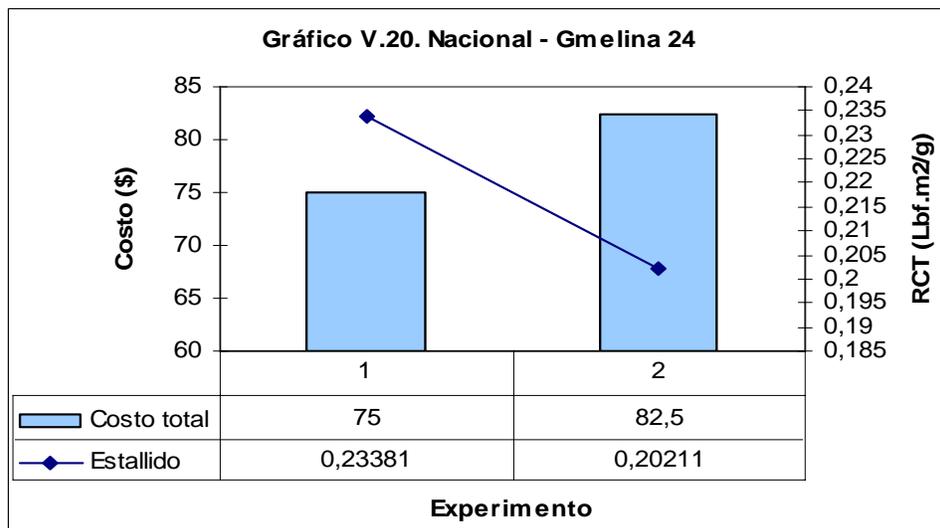
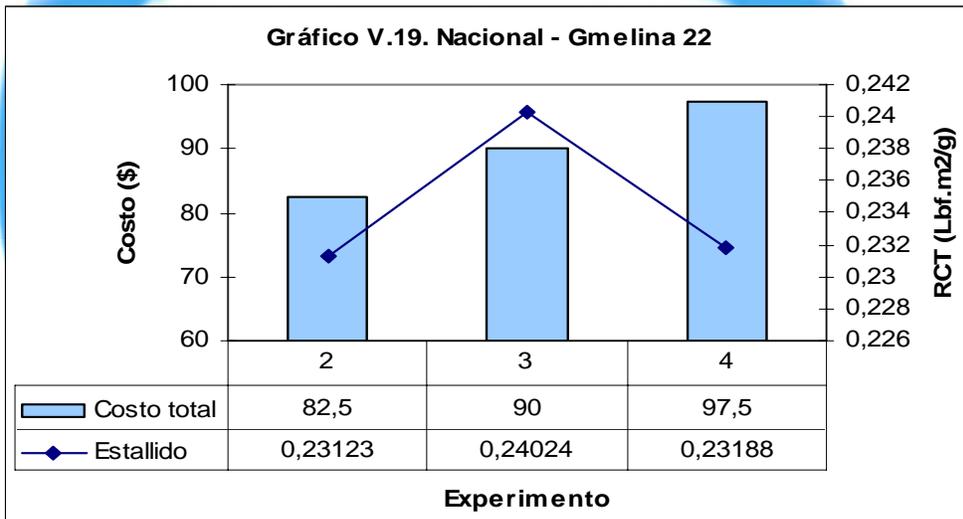
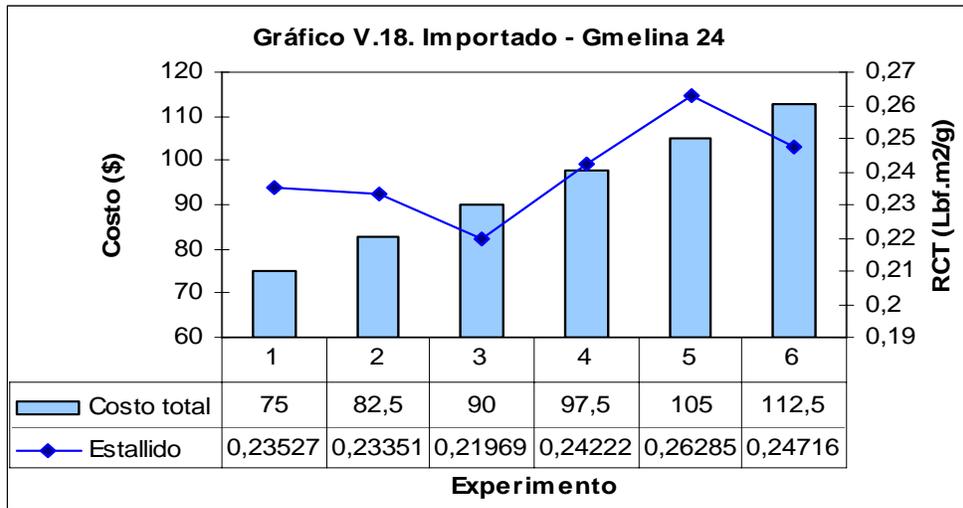
Desde la tabla V.47 hasta la V.50, se describen los resultados del estudio económico para cada mezcla

A partir de las tablas anteriores se puede ver que cualquier mezcla que se realice tiene un costo mucho menor, al que se utilizara pasta de importado puro en la formulación. En un principio

se quiso determinar si se pueden obtener formulaciones que dieran propiedades similares o mejores a las de reciclado puro. Sin embargo, se pueden obtener resultados superiores a costos menores. Si se quiere optimizar el estudio es necesario ver cuál mezclado tiene un alto rendimiento de la propiedad al más bajo costo, por lo que se coteja el costo con las propiedades por mezcla como se ven en los gráficos V.13, V.14, V.15 y V.16 para las resistencia a la compresión de anillo y los gráficos V.17, V.18, V.19 y V.20 para la resistencia al estallido.







En las tablas V.47, 48, 49 y 50, se cotejan las propiedades versus los costos por mezcla donde se ve claramente que cualquier mezcla es viable económicamente. Como se dijo anteriormente, al realizar un estudio más profundo de cuál mezcla dará una resistencia a la compresión de anillo óptimo y que su costo sea bajo, se pueden tener diferentes análisis, primeramente si se hace una comparación con la resistencia al estallido en la gráfica V.12, ésta propiedad tiene una tendencia poco variable excepto el experimento N° 2, así que cualquier mezcla que se escoja no afectará tanto a dicha propiedad.

Si se quiere la optimización de las propiedades, se pueden dar varias opciones, en la gráfica V.13. de Importado – Gmelina 22 y V.14. de Importado – Gmelina 24, la mejor mezcla es el experimento N° 5, con un costo de 105 \$/t para ambas, aunque el RCT fue de 0,31411 y 0,31325 Lbf.m²/g respectivamente, lo que demuestra que si la pulpa tiene un grado de cocción mayor, la propiedad aumenta. Con respecto al estallido, en la gráfica V.17, el experimento N° 5 no es el óptimo, pero en la gráfica V.18 coincide con la óptima.

En la gráfica V.15. de Nacional – Gmelina 22, el experimento N° 2 es el mejor, con un costo de 82.5 \$/t y en la V.16 de Nacional – Gmelina 24, fue el N° 1 con un costo de 75 \$/t, y el RCT fue de 0.31963 Lbf.m²/g y 0.31886 Lbf.m²/g respectivamente, afianzando la aseveración anterior para ambas pulpas de gmelina. Para el estallido, ambos experimentos no son los óptimos, pero si se tienen buenos resultados.

Ahora bien, si se quiere obtener buenos resultados de las propiedades a un costo bajo, también se tienen algunas posibilidades, en las gráficas V.13 y V.14, las mejores mezclas son el experimento N° 1, con un costo de 75 \$/t y N° 2, con un costo de 82.5 \$/t, aunque el RCT es un poco menor con 0,30969 y 0,30984 Lbf.m²/g respectivamente., que si bien no son los óptimos, pues son buenos en comparación con el costo de los mismos. Con respecto al estallido, en la gráfica V.17 y V.17, los experimentos N° 1 y 2, no son los óptimos.

En la gráfica V.15, el experimento N° 2 es el mejor, con un costo de 82.5 \$/t y en la V.16 de Nacional – Gmelina 24, fue el N° 1 con un costo de 75 \$/t, y el RCT fue de 0.31963 Lbf.m²/g



y 0.31886 Lbf.m²/g respectivamente, los cuales coinciden con las proporciones de las mezclas anteriores, en las cuales dan los mejores resultados al mas bajo costo. Para el estallido, ambos experimentos no son los óptimos, pero si se tienen buenos resultados.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

El punto óptimo de refino para el pino de kappa 95 es de un CSF de 475 mL y una intensidad de carga de 4500 RPM.

El punto óptimo de refino para la gmelina de hypo 22 es de un CSF de 441 y una intensidad de carga de 2500 RPM y para la gmelina de hypo 24 es de un CSF de 443 mL y una intensidad de carga de 3500 RPM.

El punto óptimo de refino para la fibra reciclada nacional es de un CSF de 441 mL y una intensidad de carga de 1500 RPM y para la fibra reciclada importada es de un CSF de 462 mL y una intensidad de carga de 1500 RPM.

Para la mezcla Importado – Gmelina 22, los experimentos N° 1, 2, 5 y 6, que tienen las proporciones 30% G – 0% D, 25% G – 5% D, 10% G – 20% D y 5% G – 25% D, la mezcla Importado – Gmelina 24, experimentos N° 1, 2, 3, 4, 5 y 6, pueden utilizarse para sustituir la fibra reciclada importada

Si la base de estudio es la fibra reciclada nacional, para la mezcla Nacional – Gmelina 22, los experimentos N° 2, 3, y 4, cuyas proporciones 25% G – 5% D, 20% G – 10% D y 15% G – 15% D, la mezcla Nacional – Gmelina 24, experimentos N° 1 y 2, son los que se pueden utilizar en caso de utilizar mezclas con reciclado interno.

En líneas generales, cualquiera de las mezclas pueden ser utilizadas para hacer la sustitución en base a la fibra importada, pero se tienen algunas salvedades para la nacional.

Los puntos de optimización de las propiedades son: Importado – Gmelina 22, Importado – Gmelina 24, la mejor mezcla es el experimento N° 5, con un costo de 105 \$/t para ambas,

Nacional – Gmelina 22, el experimento N° 2 es el mejor, con un costo de 82.5 \$/t y La Nacional – Gmelina 24, fue el N° 1 con un costo de 75 \$/t.

Si se desea disminuir los costos sin afectar mucho la calidad, para la mezcla Importado – Gmelina 22 y Importado – Gmelina 24, las mejores mezclas son el experimento N° 1, con un costo de 75 \$/t y N° 2, con un costo de 82.5 \$/t. De igual modo, en las mezclas Nacional – Gmelina 22, el experimento N° 2 es el mejor, con un costo de 82.5 \$/t y Nacional – Gmelina 24, el N° 1 con un costo de 75 \$/t.

Al cotejar todos estos resultados, se observa que todos tienen un menor costo que el obtenido al usar la fibra importada pura (120\$/t), comprobando de esta manera la positiva factibilidad económica de este estudio.

www.ve

RECOMENDACIONES.

✦ Es necesario verificar si se están utilizando las mismas intensidades de refino para las especies, en caso contrario actualizarlas de acuerdo a las nuevas curvas de refino para cada pulpa y pasta respectivamente.

✦ Para tener una idea más amplia de los resultados es imperativo que se hagan unas corridas de proceso con estas mezclas y cotejarlas con las obtenidas en laboratorio a fin de tomar las correcciones respectivas.

✦ Las exigencias según el cliente son muy diversas, sin embargo la perpetuidad en el tiempo del proceso, hace cada día disminuir los costos y aumentar la calidad, por lo que se recomienda utilizar las mezclas obtenidas a fin de preservar ambas premisas de los objetivos de la empresa.

✦ Realizar un estudio más exhaustivo del reciclado nacional versus el importado, ya que el nacional dio mejores resultados, sin embargo el número de experimentos para sustituir con el importado son mayores al nacional, lo que da un campo de trabajo mayor.

✦ Es necesario definir cuan crítica es la resistencia a la compresión de anillo con respecto a la resistencia al estallido y en que punto una propiedad afecta a la otra.

✦ Se recomienda realizar estos experimentos con estas formulaciones, pero con mayor número de repeticiones y con menos variables respecto a las pulpas y pastas sustituibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Fassbender A, Cornema J. y Brito, F. 1979. “Estudio nutricional en los suelos de plantaciones de pino caribe en el oriente de Venezuela”. Actas Científicas. Vol. 30. N° 6. Pág. 15-22.

Gaytan R. y Valade, J. 1992. “Propiedades de pastas quimicomecánicas de Pinus caribaea var. Hondurensis”. AVCTP. Año 4. N° 7. Pág. 6 y 7.

González, F. Ramos, Z. 1996. “Estudio de pulpeos químicos y semiquímicos de Gmelina arbórea para papeles corrugados”. Universidad de Los Andes. Trabajo Especial de grado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Pág. 76-80.

Obregón, C., 2004. “Gmelina Arbórea: versatilidad, renovación y productividad sostenible para el futuro”. Revista M & M. Edición especial. [Www.revista-MM.com](http://www.revista-MM.com). Fecha Recuperación Julio, 2008.

Padrón, D y Quiñones J. 1999. “Estudio de un ayudante de lavado para la línea semiquímica de planta de pulpa en Smurfit Mocarpe”. ETA SCV. Pág. 28–32.

Peña, V. y Aguilera, A., 2003 “Introducción a la fabricación de pulpa y papel” Editorial Cenpapel. Colombia. Pág. 25-27,31-33,56-59,70-77,119-124,131-132.

Smook, G.A.1990. “Manual para técnicos en pulpa y papel”. TAPPI. Pag. 37-78, 92-127,188-196,299 y 300, 315-324

Smurfit Kappa Cartón de Venezuela., 1998 “Manual de instrucciones de trabajo, Área de Batidores”.

Rojas, M y Murillo, F. 2004. “Manual para productores de Gmelina en Costa Rica”. FONAFIFO. Pág. 35,36,38 y 42.

Romero, E. 1996. “Evaluación de las propiedades físico-mecánicas en mezclas de pulpas de Eucalyptus grandis y Pinus caribaea var hondurensis para la obtención de corrugado medio”. Universidad de Los Andes. Trabajo Especial de grado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Pág. 55- 60.

[Http://www.smurfitkappa.com.ve/intranet](http://www.smurfitkappa.com.ve/intranet). Fecha Recuperación: Agosto, 2008.

<http://www.insht.es/portal/site/Insht/>. Fecha de Recuperación: Marzo, 2009.

<http://www.panreac.com/documentacion> . Fecha de Recuperación: Abril, 2009.



Anexo N° 1.a. Resultados de la curva de refino para pulpa de Pino

Tabla V.5. Resultados de los ensayos a 0 y 2500 RPM para la pulpa de Pino Kappa 95



Tipo Pulpa	Pino	Consistencia (%)	15
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (m)	650
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	0
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	95

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO SECO	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.lm ² /g)
1	18,0	2,758	137,9	11,5	0,08339	9,24	0,06701
2	18,0	2,749	137,45	11,1	0,08076	9,94	0,07232
3	18,0	2,732	136,6	11,5	0,08419	9,42	0,06896
4	18,0	2,807	140,35	13,1	0,09334	9,12	0,06498
5	18,0	2,774	138,7	13,4	0,09661	9,54	0,06878
\bar{x}		2,764	138,20	12,12	0,08766	9,45	0,06839
σ		0,0284	1,422	1,050	0,00690	0,317	0,22301

Tipo Pulpa	Pino	Consistencia (%)	12
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (m)	571
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	2500
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	95

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.lm ² /g)
1	22,5	3,294	164,7	21,5	0,13054	16,52	0,10030
2	22,5	3,225	161,25	20,1	0,12465	18,34	0,11374
3	22,5	3,172	158,6	28,2	0,17781	25,10	0,15826
4	22,5	3,204	160,2	24,1	0,15044	20,10	0,12547
5	22,5	3,122	156,1	29,1	0,18642	20,51	0,13139
\bar{x}		3,203	160,17	24,60	0,15397	20,11	0,12558
σ		0,0638	3,191	3,979	0,02758	3,205	1,0044

Tabla V.6. Resultados de los ensayos a 4500 y 6500 RPM para la pulpa de Pino Kappa 95



Tipo Pulpa	Pino	Consistencia (%)	9,5
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (m)	475
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	4500
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	95

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.lm ² /g)
1	28,4	2,758	137,90	31,1	0,22553	27,75	0,20123
2	28,4	2,700	135,00	30,8	0,22815	31,50	0,23333
3	28,4	2,700	135,00	27,8	0,20593	30,37	0,22496
4	28,4	2,762	138,10	31,2	0,22592	25,40	0,18392
5	28,4	2,938	146,90	29,1	0,19809	26,20	0,17835
\bar{x}		2,772	138,58	30,00	0,217	28,24	0,20381
σ		0,09775	4,887	1,495	0,01375	2,628	0,53777

Tipo Pulpa	Pino	Consistencia (%)	9,5
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (m)	400
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	6500
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	95

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.lm ² /g)
1	28,4	2,932	146,6	30,9	0,21078	36,49	0,24891
2	28,4	3,035	151,75	31,1	0,20494	36,47	0,24033
3	28,4	2,97	148,5	35,7	0,24040	35,81	0,24114
4	28,4	2,865	143,25	32,1	0,22408	40,84	0,28510
5	28,4	3,071	153,55	34,9	0,22729	45,89	0,29886
\bar{x}		2,975	148,73	32,94	0,22150	39,10	0,26289
σ		0,0818	4,092	2,220	0,01402	4,292	1,049

Anexo N° 1.b. Resultados de la curva de refino para pulpa de Gmelina.

Tabla V.7. Resultados de los ensayos a 0 y 1000 RPM para la pulpa de gmelina de hypo 22



Cartón de Venezuela, S. A.

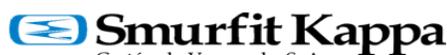
Tipo Pulpa	Gmelina	Consistencia (%)	11
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (ml)	650
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	0
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	22

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO SECO	Peso Básico (g/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.lm ² /g)
1	24,5	3,11	155,5	25,70	0,165	19,3500	0,124
2	24,5	2,96	148	23,30	0,157	18,6500	0,126
3	24,5	2,957	147,85	26,40	0,179	19,7800	0,134
4	24,5	2,914	145,7	24,00	0,165	20,5300	0,141
5	24,5	2,935	146,75	25,80	0,176	20,1100	0,137
<i>x</i>		2,975	148,76	25,04	0,1684	19,68	0,1323
<i>σ</i>		0,0776	3,881	1,320	0,00868	0,722	0,186

Tipo Pulpa	Gmelina	Consistencia (%)	9,5
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (ml)	547
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	1000
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	22

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (g/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.lm ² /g)
1	28,4	3,199	159,95	28,40	0,17756	24,7400	0,15467
2	28,4	3,211	160,55	30,40	0,18935	24,1000	0,15011
3	28,4	3,015	150,75	28,00	0,18574	23,9800	0,15907
4	28,4	3,191	159,55	32,60	0,20432	24,6600	0,15456
5	28,4	3,013	150,65	29,10	0,19316	24,8100	0,16469
<i>x</i>		3,126	156,29	29,70	0,1900	24,46	0,1565
<i>σ</i>		0,1023	5,115	1,860	0,00986	0,388	0,076

Tabla V.8. Resultados de los ensayos a 0 y 1000 RPM para la pulpa de gmelina de hypo 22



Cartón de Venezuela, S. A.

Tipo Pulpa	Gmelina	Consistencia (%)	9,5
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (ml)	441
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	2500
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	22

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (g/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.lm ² /g)
1	28,4	3,075	153,75	33,40	0,21724	23,1000	0,15024
2	28,4	3,056	152,8	30,50	0,19961	23,6500	0,15478
3	28,4	3,053	152,65	29,87	0,19568	25,3000	0,16574
4	28,4	3,026	151,3	29,52	0,19511	22,1500	0,14640
5	28,4	3,012	150,6	35,20	0,23373	28,3500	0,18825
<i>x</i>		3,04	152,22	31,70	0,2083	24,41	0,1610
<i>σ</i>		0,0252	1,26	2,484	0,01685	2,43	1,933

Tipo Pulpa	Gmelina	Consistencia (%)	10
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (ml)	351
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	3500
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	22

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (g/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.lm ² /g)
1	27,0	3,099	154,95	30,90	0,19942	26,0000	0,16780
2	27,0	3,978	198,9	31,20	0,15686	20,6500	0,10382
3	27,0	3,038	151,9	32,80	0,21593	24,8900	0,16386
4	27,0	3,059	152,95	34,60	0,22622	27,6900	0,18104
5	27,0	2,972	148,6	33,73	0,22699	24,6800	0,16608
<i>x</i>		3,23	161,46	32,65	0,2051	24,78	0,153
<i>σ</i>		0,4211	21,06	1,593	0,02916	2,60	0,123

Tabla V.9. Resultados de los ensayos a 0 y 2000 RPM para la pulpa de gmelina de hypo 24



Cartón de Venezuela, S. A.

Tipo Pulpa	Gmelina	Consistencia (%)	8
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (mL)	670
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	0
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	24

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO SECO	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	33,8	3,260	163	20,95	0,12853	10,6700	0,06546
2	33,8	3,142	157,1	21,20	0,13495	10,4900	0,06677
3	33,8	3,250	162,5	20,74	0,12763	12,1100	0,07452
4	33,8	3,210	160,5	21,80	0,13583	11,9600	0,07452
5	33,8	3,110	153,5	22,30	0,14341	11,2000	0,07203
<i>x</i>		3,19	159,72	21,40	0,134	11,29	0,071
<i>σ</i>		0,0662	3,308	0,642	0,00639	0,734	0,222

Tipo Pulpa	Gmelina	Consistencia (%)	8
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (mL)	534
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	2000
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	24

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	33,8	2,916	145,8	27,80	0,19067	17,2800	0,11852
2	33,8	2,964	148,2	28,60	0,19298	17,8000	0,12011
3	33,8	2,984	149,2	29,63	0,19859	17,4300	0,11682
4	33,8	2,933	146,65	26,91	0,18350	17,8600	0,12179
5	33,8	3,012	150,6	27,63	0,18347	17,1100	0,11361
<i>x</i>		2,96	148,09	28,11	0,190	17,50	0,118
<i>σ</i>		0,0386	1,928	1,039	0,00648	0,326	0,169

Tabla V.10. Resultados de los ensayos a 3500 y 4500 RPM para la pulpa de gmelina de hypo 24



Cartón de Venezuela, S. A.

Tipo Pulpa	Gmelina	Consistencia (%)	7
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (mL)	443
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	3500
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	24

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	38,6	3,39	169,5	37,60	0,22183	26,6400	0,15717
2	38,6	3,011	150,55	38,10	0,25307	26,5600	0,17642
3	38,6	3,092	154,6	35,20	0,22768	23,4600	0,15175
4	38,6	3,281	164,05	39,10	0,23834	28,1900	0,17184
5	38,6	3,021	151,05	38,80	0,25687	29,1100	0,19272
<i>x</i>		3,16	157,95	37,76	0,240	26,79	0,170
<i>σ</i>		0,1686	8,429	1,547	0,01532	2,151	0,255

Tipo Pulpa	Gmelina	Consistencia (%)	8,5
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (mL)	365
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	4500
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	24

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	31,8	3,067	153,35	31,90	0,20802	25,6000	0,16694
2	31,8	2,792	139,6	30,60	0,21920	20,6700	0,14807
3	31,8	2,703	135,15	32,80	0,24269	24,3000	0,17980
4	31,8	2,914	145,7	35,00	0,24022	25,2800	0,17351
5	31,8	2,929	146,45	36,10	0,24650	24,9200	0,17016
<i>x</i>		2,88	144,05	33,28	0,231	24,15	0,168
<i>σ</i>		0,1393	6,964	2,249	0,01680	2,007	0,288

Anexo N° 1.c. Resultados de la curva de refino pasta reciclada.
Tabla V.11. Resultados de los ensayos a 0 y 1500 RPM para la pasta de reciclado nacional


Tipo Pulpa	Rec. Nacional	Consistencia (%)	15
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (ml)	550
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	0
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO SECO	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.Lm ² /g)
1	18,0	3,14	157,00	25,7	0,16369	23,70	0,15096
2	18,0	3,111	155,55	24,3	0,15622	16,38	0,10530
3	18,0	3,136	156,80	26,1	0,16645	22,66	0,14452
4	18,0	3,072	153,60	25,2	0,16406	20,63	0,13431
5	18,0	3,089	154,45	25,8	0,16704	19,55	0,12658
<i>x</i>		3,110	155,48	25,42	0,16350	20,58	0,13239
<i>σ</i>		0,0294	1,471	0,705	0,0043198	2,862	1,9459

Tipo Pulpa	Rec. Nacional	Consistencia (%)	8
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (ml)	441
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	1500
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.Lm ² /g)
1	33,8	3,105	155,25	32,8	0,21127	30,98	0,19955
2	33,8	3,132	156,60	32,4	0,20690	28,53	0,18218
3	33,8	3,101	155,05	30,9	0,19929	28,95	0,18671
4	33,8	3,412	170,60	37,2	0,21805	34,14	0,20012
5	33,8	3,407	170,35	39,1	0,22953	33,16	0,19466
<i>x</i>		3,231	161,57	34,48	0,21301	31,15	0,19281
<i>σ</i>		0,1630	8,151	3,490	0,01148	2,486	0,30493

Tabla V.12. Resultados de los ensayos a 2500 RPM para la pasta de reciclado nacional


Tipo Pulpa	Rec. Nacional	Consistencia (%)	8,5
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (ml)	332
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	2500
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.Lm ² /g)
1	31,8	2,799	139,95	27,6	0,19721	29,27	0,20915
2	31,8	2,559	127,95	26,2	0,20477	27,17	0,21235
3	31,8	2,481	124,05	22,6	0,18218	25,56	0,20605
4	31,8	2,643	132,15	27,2	0,20583	30,29	0,22921
5	31,8	2,714	135,70	28,5	0,21002	24,85	0,18312
<i>x</i>		2,639	131,96	26,42	0,20000	27,43	0,208
<i>σ</i>		0,1251	6,255	2,290	0,01098	2,334	0,373

Tabla V.13. Resultados de los ensayos a 0 y 1500 RPM para la pasta de reciclado importado



Cartón de Venezuela, S. A.

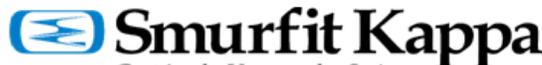
Tipo Pulpa	Rec. Importado	Consistencia (%)	15,5
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (ml)	575
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	0
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO SECO	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	17,4	3,180	159,00	29,4	0,18491	25,40	0,15975
2	17,4	3,080	154,00	27,2	0,17662	22,47	0,14591
3	17,4	2,995	149,75	25,2	0,16828	23,34	0,15586
4	17,4	3,106	155,30	29,6	0,19060	28,17	0,18139
5	17,4	3,191	159,55	31,6	0,19806	23,70	0,14854
<i>x</i>		3,110	155,52	28,6	0,18369	24,62	0,15828
<i>σ</i>		0,0800	4,000	2,458	0,01165	2,254	0,56343

Tipo Pulpa	Rec. Importado	Consistencia (%)	10
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (ml)	462
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	1500
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.Lm ² /g)
1	27,0	2,698	134,90	33,8	0,25056	31,90	0,23647
2	27,0	2,796	139,80	35,5	0,25393	33,00	0,23605
3	27,0	2,668	133,40	33,1	0,24813	33,82	0,25352
4	27,0	2,794	139,70	34,3	0,24553	34,12	0,24424
5	27,0	2,796	139,80	37,4	0,26753	64,21	0,45930
<i>x</i>		2,750	137,52	34,82	0,25313	39,41	0,28658
<i>σ</i>		0,0624	3,122	1,687	0,0086219	13,890	4,4491

Tabla V.14. Resultados de los ensayos a 2500 RPM para la pasta de reciclado importado



Cartón de Venezuela, S. A.

Tipo Pulpa	Rec. Importado	Consistencia (%)	12
Peso Base (g/m ²)	150	Freeness (ml)	385
Area Formador (m ²)	0,02	Rev. Por minuto (RPM)	2500
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00	Hypo / Kappa	

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	22,5	2,591	129,55	28,6	0,22076	34,99	0,27009
2	22,5	2,708	135,40	32,6	0,24077	30,57	0,22578
3	22,5	2,629	131,45	28,6	0,21757	33,06	0,25150
4	22,5	2,629	131,45	29,8	0,22670	32,08	0,24405
5	22,5	2,776	138,80	32,8	0,23631	35,93	0,25886
<i>x</i>		2,667	133,33	30,48	0,22842	33,33	0,24995
<i>σ</i>		0,0745	3,727	2,086	0,0099242	2,166	0,58120

Anexo N° 1.d. Resultados del experimento N° 1.

Tabla V.16. Propiedades para la mezcla Importado – Gmelina 22.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 22

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Importado

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	11	12

Experimento	Masa Pino			Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total			
	% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda		
1				2,1	13,5	0,9	7,4	0,0	0,0	3,0	20,9
70	30	0									

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,969	148,45	44,50	0,29976	33,4600	0,22540
2	20,9	2,931	146,55	46,80	0,31934	36,0900	0,24626
3	20,9	2,928	146,4	42,00	0,28689	30,1700	0,20608
4	20,9	3,056	152,8	46,10	0,30170	36,3700	0,23802
5	20,9	3,052	152,6	52,00	0,34076	35,6100	0,23336
\bar{X}		2,99	149,36	46,28	0,30969	34,34	0,22991
σ		0,06	3,16	3,69	0,02	2,60	0,82

Tabla V.17. Propiedades para la mezcla Importado – Gmelina 24.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 24

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Importado

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	9	12

Experimento	Masa Pino			Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total			
	% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda		
1				2,1	13,5	0,9	9,0	0,0	0,0	3,0	22,5
70	30	0									

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,967	148,35	44,20	0,29794	36,7100	0,24746
2	20,9	2,931	146,55	44,20	0,30160	33,8000	0,23064
3	20,9	2,982	149,1	48,80	0,32730	35,4100	0,23749
4	20,9	2,876	143,8	44,10	0,30668	33,6400	0,23394
5	20,9	2,87	143,5	42,80	0,29826	32,4900	0,22641
\bar{X}		2,93	146,26	44,82	0,30636	34,41	0,23527
σ		0,05	2,56	2,30	0,01	1,65	0,65

Tabla V.18. Propiedades para la mezcla Nacional – Gmelina 22.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 22

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Nacional

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	11	11

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
1			2,1	13,5	0,9	7,4	0,0	0,0	3,0	20,9
70	30	0								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)	
1	20,9	2,915	145,75	35,40	0,24288	25,0400	0,17180	
2	20,9	2,946	147,3	48,60	0,32994	34,7800	0,23612	
3	20,9	3,009	150,45	42,20	0,28049	32,9600	0,21908	
4	20,9	2,877	143,85	41,30	0,28710	28,6700	0,19930	
5	20,9	2,984	149,2	46,90	0,31434	36,1700	0,24243	
		\bar{X}	2,95	147,31	42,88	0,29095	31,52	0,21400
		σ	0,05	2,64	5,19	0,03	4,59	1,74

Tabla V.19. Propiedades para la mezcla Nacional – Gmelina 24.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 24

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Nacional

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	9	11

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
1			2,1	13,5	0,9	9,0	0,0	0,0	3,0	22,5
70	30	0								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)	
1	20,9	2,764	138,2	45,60	0,32996	31,3400	0,22677	
2	20,9	2,94	147	52,10	0,35442	39,4600	0,26844	
3	20,9	2,944	147,2	44,80	0,30435	34,8600	0,23682	
4	20,9	2,915	145,75	44,70	0,30669	32,2400	0,22120	
5	20,9	3,011	150,55	45,00	0,29890	32,4800	0,21574	
		\bar{X}	2,91	145,74	46,44	0,31886	34,08	0,23381
		σ	0,09	4,57	3,18	0,02	3,28	0,72

Anexo N° 1.e. Resultados del experimento N° 2.

Tabla V.20. Propiedades para la mezcla Importado – Gmelina 22.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 22

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Importado

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	11	12

Experimento	Masa Pino			Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total			
	% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda		
2				2,1	13,5	0,8	6,1	0,2	1,1	3,0	20,8
70	25	5									

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,954	147,7	42,40	0,28707	57,3400	0,38822
2	20,9	2,987	149,35	47,40	0,31738	57,5800	0,38554
3	20,9	2,87	143,5	38,40	0,26760	56,9000	0,39652
4	20,9	3,002	150,1	45,60	0,30380	56,6000	0,37708
5	20,9	2,901	145,05	43,90	0,30265	54,2100	0,37373
\bar{X}		2,94	147,14	43,54	0,29570	56,53	0,38416
σ		0,06	2,81	3,43	0,02	1,35	0,48

Tabla V.21. Propiedades para la mezcla Importado – Gmelina 24.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 24

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Importado

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	9	12

Experimento	Masa Pino			Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total			
	% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda		
2				2,1	13,5	0,8	7,5	0,2	1,1	3,0	22,1
70	25	5									

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,896	144,8	42,80	0,29558	32,4400	0,22403
2	20,9	2,941	147,05	49,00	0,33322	33,7800	0,22972
3	20,9	2,939	146,95	45,60	0,31031	34,4000	0,23409
4	20,9	2,973	148,65	46,50	0,31282	35,2700	0,23727
5	20,9	2,94	147	43,70	0,29728	35,6100	0,24224
\bar{X}		2,94	146,89	45,52	0,30984	34,30	0,23351
σ		0,03	1,37	2,44	0,02	1,26	0,92

Tabla V.22. Propiedades para la mezcla Nacional – Gmelina 22.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 22

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Nacional

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	11	11

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
2			2,1	13,5	0,8	6,1	0,2	1,2	3,0	20,9
70	25	5								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	3,002	150,1	42,60	0,28381	36,2100	0,24124
2	20,9	2,937	146,85	41,70	0,28396	35,1500	0,23936
3	20,9	3,022	151,1	53,30	0,35275	32,5200	0,21522
4	20,9	2,82	141	49,10	0,34823	35,6500	0,25284
5	20,9	3,036	151,8	50,00	0,32938	31,7800	0,20935
\bar{X}		2,96	148,17	47,34	0,31963	34,26	0,23123
σ		0,09	4,43	5,00	0,03	1,98	0,45

Tabla V.23. Propiedades para la mezcla Nacional – Gmelina 24.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 22

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Nacional

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	11	11

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
2			2,1	13,5	0,8	6,1	0,2	1,2	3,0	20,9
70	25	5								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	3,002	150,1	42,60	0,28381	36,2100	0,24124
2	20,9	2,937	146,85	41,70	0,28396	35,1500	0,23936
3	20,9	3,022	151,1	53,30	0,35275	32,5200	0,21522
4	20,9	2,82	141	49,10	0,34823	35,6500	0,25284
5	20,9	3,036	151,8	50,00	0,32938	31,7800	0,20935
\bar{X}		2,96	148,17	47,34	0,31963	34,26	0,23123
σ		0,09	4,43	5,00	0,03	1,98	0,45

Anexo N° 1.f. Resultados del experimento N° 3.

Tabla V.24. Propiedades para la mezcla Importado – Gmelina 22.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 22

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Importado

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	11	11

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
3			2,1	13,5	0,6	4,9	0,3	2,5	3,0	20,9
70	20	10								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,971	148,55	41,90	0,28206	36,6500	0,24672
2	20,9	3,077	153,85	46,00	0,29899	37,1100	0,24121
3	20,9	2,992	149,6	39,30	0,26270	31,7800	0,21243
4	20,9	3,018	150,9	45,40	0,30086	33,6200	0,22280
5	20,9	2,985	149,25	44,60	0,29883	38,9300	0,26084
\bar{X}		3,01	150,43	43,44	0,28869	35,62	0,23677
σ		0,04	2,09	2,80	0,02	2,87	1,37

Tabla V.25. Propiedades para la mezcla Importado – Gmelina 24.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 24

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Importado

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	9	11

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
3			2,1	13,5	0,6	6,0	0,3	2,5	3,0	22,0
70	20	10								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	3,017	150,85	43,60	0,28903	31,2800	0,20736
2	20,9	3,001	150,05	42,60	0,28391	30,7300	0,20480
3	20,9	2,968	148,4	44,70	0,30121	33,5200	0,22588
4	20,9	2,944	147,2	46,80	0,31793	34,8700	0,23689
5	20,9	3	150	42,30	0,28200	33,6000	0,22400
\bar{X}		2,99	149,30	44,00	0,29482	32,80	0,21969
σ		0,03	1,47	1,83	0,01	1,73	1,18

Tabla V.26. Propiedades para la mezcla Nacional – Gmelina 22.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 22

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Nacional

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	11	12

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
3			2,1	13,5	0,6	4,9	0,3	2,3	3,0	20,7
70	20	10								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)	
1	20,9	3,026	151,3	50,00	0,33047	34,0800	0,22525	
2	20,9	3,066	153,3	45,90	0,29941	39,9100	0,26034	
3	20,9	3,026	151,3	43,80	0,28949	34,9300	0,23087	
4	20,9	3,037	151,85	51,00	0,33586	36,0700	0,23754	
5	20,9	2,99	149,5	45,60	0,30502	36,9300	0,24702	
		\bar{X}	3,03	151,45	47,26	0,31205	36,38	0,24024
		σ	0,03	1,36	3,09	0,02	2,25	1,65

Tabla V.27. Propiedades para la mezcla Nacional – Gmelina 24.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 24

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Nacional

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	9	12

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
3			2,1	13,5	0,6	6,0	0,3	2,3	3,0	21,8
70	20	10								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)	
1	20,9	3,031	151,55	46,30	0,30551	34,5400	0,22791	
2	20,9	2,957	147,85	41,70	0,28204	33,8800	0,22915	
3	20,9	2,924	146,2	41,80	0,28591	35,2900	0,24138	
4	20,9	3,033	151,65	45,10	0,29740	34,7800	0,22934	
5	20,9	2,975	148,75	45,30	0,30454	31,8800	0,21432	
		\bar{X}	2,98	149,20	44,04	0,29508	34,07	0,22838
		σ	0,05	2,37	2,14	0,01	1,33	0,56

Anexo N° 1.g. Resultados del experimento N° 4.

Tabla V.28. Propiedades para la mezcla Importado – Gmelina 22.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 22

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Importado

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	11	11

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
4			2,1	13,5	0,5	3,7	0,5	3,7	3,0	20,9
70	15	15								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	3,009	150,45	47,40	0,31505	38,1900	0,25384
2	20,9	3,046	152,3	41,80	0,27446	36,4500	0,23933
3	20,9	3,095	154,75	43,90	0,28368	35,4700	0,22921
4	20,9	3,087	154,35	44,80	0,29025	36,2100	0,23460
5	20,9	3,072	153,6	43,90	0,28581	39,3400	0,25612
\bar{X}		3,06	153,09	44,36	0,28985	37,13	0,24255
σ		0,03	1,75	2,03	0,02	1,59	0,91

Tabla V.29. Propiedades para la mezcla Importado – Gmelina 24.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 24

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Importado

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	9	11

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
4			2,1	13,5	0,5	4,5	0,5	3,7	3,0	21,7
70	15	15								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	3,038	151,9	47,20	0,31073	41,2200	0,27136
2	20,9	3,002	150,1	47,80	0,31845	36,4100	0,24257
3	20,9	2,99	149,5	42,10	0,28161	36,1900	0,24207
4	20,9	3,006	150,3	50,60	0,33666	33,3400	0,22182
5	20,9	2,982	149,1	45,90	0,30785	34,7200	0,23286
\bar{X}		3,00	150,18	46,72	0,31106	36,38	0,24222
σ		0,02	1,07	3,10	0,02	2,98	2,77

Tabla V.30. Propiedades para la mezcla Nacional – Gmelina 22.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 22

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Nacional

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	11	12

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
4			2,1	13,5	0,5	3,7	0,5	3,4	3,0	20,6
70	15	15								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	3,061	153,05	54,90	0,35871	37,3100	0,24378
2	20,9	3,029	151,45	46,10	0,30439	34,1200	0,22529
3	20,9	3,114	155,7	46,90	0,30122	33,2600	0,21362
4	20,9	3,079	153,95	45,10	0,29295	39,2600	0,25502
5	20,9	2,962	148,1	43,10	0,29102	32,8000	0,22147
\bar{X}		3,05	152,45	47,22	0,30966	35,35	0,23188
σ		0,06	2,88	4,52	0,03	2,81	0,98

Tabla V.31. Propiedades para la mezcla Nacional – Gmelina 24.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 24

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Nacional

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	9	12

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
1			2,1	13,5	0,5	4,5	0,5	3,4	3,0	21,4
70	15	15								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	3,051	152,55	44,80	0,29367	37,8500	0,24812
2	20,9	3	150	46,40	0,30933	37,0100	0,24673
3	20,9	3,021	151,05	41,20	0,27276	32,8400	0,21741
4	20,9	3,03	151,5	43,30	0,28581	35,2100	0,23241
5	20,9	3,037	151,85	44,60	0,29371	37,4300	0,24649
\bar{X}		3,03	151,39	44,06	0,29106	36,07	0,23825
σ		0,02	0,95	1,94	0,01	2,07	2,17

Anexo N° 1.h. Resultados del experimento N° 5.

Tabla V.32. Propiedades para la mezcla Importado – Gmelina 22.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 22

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Importado

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	11	11

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
5			2,1	13,5	0,3	2,5	0,6	4,9	3,0	20,9
70	10	20								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,742	137,1	42,80	0,31218	33,6000	0,24508
2	20,9	2,595	129,75	41,30	0,31830	30,2700	0,23329
3	20,9	2,761	138,05	39,90	0,28903	29,0300	0,21029
4	20,9	2,713	135,65	43,80	0,32289	30,4100	0,22418
5	20,9	2,694	134,7	44,20	0,32814	31,5200	0,23400
\bar{X}		2,70	135,05	42,40	0,31411	30,97	0,22929
σ		0,06	3,23	1,79	0,02	1,72	0,53

Tabla V.33. Propiedades para la mezcla Importado – Gmelina 24.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 24

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Importado

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	9	11

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
5			2,1	13,5	0,3	0,8	0,6	4,9	3,0	19,2
70	10	20								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,793	139,65	45,30	0,32438	35,0300	0,25084
2	20,9	2,957	147,85	49,40	0,33412	40,6800	0,27514
3	20,9	2,883	144,15	44,40	0,30801	38,7700	0,26896
4	20,9	2,857	142,85	43,60	0,30522	38,4500	0,26916
5	20,9	2,893	144,65	42,60	0,29450	36,1000	0,24957
\bar{X}		2,88	143,83	45,06	0,31325	37,81	0,26285
σ		0,06	2,97	2,62	0,02	2,25	0,76

Tabla V.34. Propiedades para la mezcla Nacional – Gmelina 22.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 22

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Nacional

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	11	12

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
5			2,1	13,5	0,3	2,5	0,6	4,5	3,0	20,5
70	10	20								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,916	145,8	41,60	0,28532	33,3400	0,22867
2	20,9	2,834	141,7	40,00	0,28229	34,3400	0,24234
3	20,9	2,853	142,65	40,20	0,28181	31,9000	0,22362
4	20,9	2,769	138,45	41,40	0,29902	31,7700	0,22947
5	20,9	2,901	145,05	41,10	0,28335	38,1200	0,26281
\bar{X}		2,85	142,73	40,86	0,28636	33,89	0,23747
σ		0,06	2,92	0,72	0,01	2,59	0,89

Tabla V.35. Propiedades para la mezcla Nacional – Gmelina 24.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 24

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Nacional

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	9	12

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
5			2,1	13,5	0,3	3,0	0,6	4,5	3,0	21,0
70	10	20								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,807	140,35	39,60	0,28215	33,1200	0,23598
2	20,9	2,894	144,7	42,00	0,29026	39,2600	0,27132
3	20,9	2,892	144,6	43,80	0,30290	31,7000	0,21923
4	20,9	2,82	141	41,40	0,29362	35,6700	0,25298
5	20,9	2,881	144,05	42,30	0,29365	36,5300	0,25359
\bar{X}		2,86	142,94	41,82	0,29252	35,26	0,24665
σ		0,04	2,10	1,52	0,01	2,96	1,41

Anexo N° 1.i. Resultados del experimento N° 6.

Tabla V.36. Propiedades para la mezcla Importado – Gmelina 22.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 22

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Importado

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	11	11

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
6			2,1	13,5	0,2	1,2	0,8	6,1	3,0	20,9
70	5	25								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,827	141,35	46,20	0,32685	40,6600	0,28765
2	20,9	2,854	142,7	40,80	0,28591	40,6600	0,28493
3	20,9	2,778	138,9	40,80	0,29374	39,9200	0,28740
4	20,9	2,863	143,15	42,40	0,29619	38,2500	0,26720
5	20,9	2,849	142,45	43,10	0,30256	37,3000	0,26185
\bar{X}		2,83	141,71	42,66	0,30105	39,36	0,27774
σ		0,03	1,70	2,22	0,02	1,51	0,89

Tabla V.37. Propiedades para la mezcla Importado – Gmelina 24.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 24

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Importado

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	9	11

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
6			2,1	13,5	0,2	1,5	0,8	6,1	3,0	21,1
70	5	25								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,854	142,7	43,80	0,30694	31,7400	0,22242
2	20,9	2,924	146,2	44,20	0,30233	38,7500	0,26505
3	20,9	2,899	144,95	41,00	0,28286	36,2900	0,25036
4	20,9	2,912	145,6	42,10	0,28915	36,4100	0,25007
5	20,9	2,903	145,15	42,30	0,29142	35,9000	0,24733
\bar{X}		2,90	144,92	42,68	0,29454	35,82	0,24716
σ		0,03	1,33	1,31	0,01	2,54	1,91

Tabla V.38. Propiedades para la mezcla Nacional – Gmelina 22.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 22

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Nacional

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	11	12

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
6			2,1	13,5	0,2	1,2	0,8	5,6	3,0	20,4
70	5	25								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,843	142,15	43,80	0,30813	31,6600	0,22272
2	20,9	2,621	131,05	38,50	0,29378	31,3600	0,23930
3	20,9	2,725	136,25	39,50	0,28991	36,3700	0,26694
4	20,9	2,815	140,75	41,90	0,29769	29,9000	0,21243
5	20,9	2,841	142,05	42,30	0,29778	32,6000	0,22950
	\bar{X}	2,77	138,45	41,20	0,29746	32,38	0,23386
	σ	0,10	4,78	2,16	0,01	2,43	0,51

Tabla V.39. Propiedades para la mezcla Nacional – Gmelina 24.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 24

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Nacional

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	9	12

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
6			2,1	13,5	0,2	1,5	0,8	5,6	3,0	20,6
70	5	25								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,874	143,7	46,70	0,32498	41,8200	0,29102
2	20,9	2,811	140,55	40,20	0,28602	34,5400	0,24575
3	20,9	2,837	141,85	40,70	0,28692	34,1200	0,24054
4	20,9	2,825	141,25	42,20	0,29876	36,5000	0,25841
5	20,9	2,831	141,55	41,90	0,29601	33,6000	0,23737
	\bar{X}	2,84	141,78	42,34	0,29854	36,12	0,25473
	σ	0,02	1,18	2,57	0,02	3,37	2,87

Anexo N° 1.j. Resultados del experimento N° 7.

Tabla V.40. Propiedades para la mezcla Importado – Gmelina 22.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 22

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Importado

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	11	11

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
7			2,1	13,5	0,0	0,0	0,9	7,4	3,0	20,9
70	0	30								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,849	142,45	39,00	0,27378	29,9100	0,20997
2	20,9	2,922	146,1	42,80	0,29295	36,9100	0,25264
3	20,9	2,837	141,85	39,50	0,27846	37,2500	0,26260
4	20,9	2,867	143,35	41,90	0,29229	39,0000	0,27206
5	20,9	2,891	144,55	41,30	0,28571	36,4500	0,25216
\bar{X}		2,87	143,66	40,90	0,28464	35,90	0,24992
σ		0,03	1,70	1,61	0,01	3,49	2,05

Tabla V.41. Propiedades para la mezcla Importado – Gmelina 24.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 24

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Importado

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	9	11

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
7			2,1	13,5	0,0	0,0	0,9	7,4	3,0	20,9
70	0	30								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,897	144,85	41,50	0,28650	35,3300	0,24391
2	20,9	2,687	134,35	44,50	0,33122	30,2900	0,22546
3	20,9	2,886	144,3	36,50	0,25295	35,5100	0,24608
4	20,9	2,816	140,8	43,80	0,31108	37,3500	0,26527
5	20,9	2,861	143,05	42,60	0,29780	34,6900	0,24250
\bar{X}		2,83	141,47	41,78	0,29591	34,63	0,24482
σ		0,09	4,27	3,17	0,03	2,62	0,61

Tabla V.42. Propiedades para la mezcla Nacional – Gmelina 22.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 22

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Nacional

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	11	12

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
7			2,1	13,5	0,0	0,0	0,9	6,8	3,0	20,3
70	0	30								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,834	141,7	42,90	0,30275	38,7300	0,27332
2	20,9	2,915	145,75	48,00	0,32933	40,9600	0,28103
3	20,9	2,842	142,1	42,90	0,30190	35,0300	0,24652
4	20,9	2,9	145	42,80	0,29517	34,6400	0,23890
5	20,9	2,891	144,55	42,60	0,29471	34,6100	0,23943
\bar{X}		2,88	143,82	43,84	0,30477	36,79	0,25583
σ		0,04	1,81	2,33	0,01	2,90	1,60

Tabla V.43. Propiedades para la mezcla Nacional – Gmelina 24.



Cartón de Venezuela, S. A.

Especie Gmelina 24

Base de cálculo

Peso Base (g/m ²)	150
Area Formador (m ²)	0,02
Masa seca/hoja de Mano (g)	3,00
Tipo Reciclado	Nacional

Consistencia (%)		
Pino (P)	Gmelina (G)	Reciclado (D)
14	9	12

Experimento			Masa Pino		Masa Gmelina		Masa Reciclado		Masa Total	
% P	% G	% D	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda	Masa Seca	Masa Húmeda
7			2,1	13,5	0,0	0,0	0,9	6,8	3,0	20,3
70	0	30								

HOJA	PESO HÚMEDO	PESO HOJA	Peso Básico (gr/m ²)	RCT (lbf)	Indice de RCT (lbfm ² /g)	Estallido (psi)	Indice de Estallido (psi.m ² /g)
1	20,9	2,842	142,1	41,60	0,29275	33,8800	0,23842
2	20,9	2,915	145,75	46,40	0,31835	30,8800	0,21187
3	20,9	2,811	140,55	45,60	0,32444	33,5800	0,23892
4	20,9	2,861	143,05	40,90	0,28591	36,9300	0,25816
5	20,9	2,852	142,6	42,10	0,29523	34,5600	0,24236
\bar{X}		2,86	142,81	43,32	0,30334	33,97	0,23784
σ		0,04	1,89	2,50	0,02	2,17	1,14

Anexo N° 1.k. Resultados según la propiedad medida.

Tabla V.44. Resultados de la resistencia a la compresión de anillo por experimento



70 % p		Experimento	Lbf.m ² /g			
% G	% D		Imp- gme22	Imp-gme24	Nac-gme22	Nac-gme24
30	0					
25	5	2	0,2957	0,30984	0,31963	0,31074
20	10	3	0,28869	0,29482	0,31205	0,29508
15	15	4	0,28985	0,31106	0,30966	0,29106
10	20	5	0,31411	0,31325	0,28636	0,29252
5	25	6	0,30105	0,29454	0,29746	0,29854
0	30	7	0,290275		0,304055	

Nota: En el experimento N° 7, en ausencia de gmelina, se hizo un promedio de las 2 repeticiones.

Tabla V.45. Resultados de la resistencia al estallido por experimento



70 % p		Experimento	Lbf.m ² /g			
% G	% D		Imp- gme22	Imp-gme24	Nac-gme22	Nac-gme24
30	0					
25	5	2	0,38416	0,23351	0,23123	0,20211
20	10	3	0,23677	0,21969	0,24024	0,22838
15	15	4	0,24255	0,24222	0,23188	0,23825
10	20	5	0,22929	0,26285	0,23747	0,24665
5	25	6	0,27774	0,24716	0,23386	0,25473
0	30	7	0,24737		0,24683	

Nota: En el experimento N° 7, en ausencia de gmelina, se hizo un promedio de las 2 repeticiones.

Anexo N° 1.I. Resultados según la propiedad medida.

Tabla V.47. Estudio Económico para la mezcla Importado - Gmelina 22

Exp	Proporción (%)		Masa (t)		Costo (\$/t)		Costo total	RCT	Estallido
	G	D	G	D	G	D			
1	30	0	0,30	0,00	75	0	75	0,30969	0,22991
2	25	5	0,25	0,05	62,5	20	82,5	0,2957	0,38416
5	10	20	0,10	0,20	25	80	105	0,31411	0,22929
6	5	25	0,05	0,25	12,5	100	112,5	0,30105	0,27774

Tabla V.48. Estudio Económico para la mezcla Importado - Gmelina 24

Exp	Proporción (%)		Masa (t)		Costo (\$/t)		Costo total	RCT	Estallido
	G	D	G	D	G	D			
1	30	0	0,30	0,00	75	0	75	0,30636	0,23527
2	25	5	0,25	0,05	62,5	20	82,5	0,30984	0,23351
3	20	10	0,20	0,10	50	40	90	0,29482	0,21969
4	15	15	0,15	0,15	37,5	60	97,5	0,31106	0,24222
5	10	20	0,1	0,2	25	80	105	0,31325	0,26285
6	5	25	0,05	0,25	12,5	100	112,5	0,29454	0,24716

Tabla V.49. Estudio Económico para la mezcla Nacional - Gmelina 22

Exp	Proporción (%)		Masa (t)		Costo (\$/t)		Costo total	RCT	Estallido
	G	D	G	D	G	D			
2	25	5	0,25	0,05	62,5	20	82,5	0,31963	0,23123
3	20	10	0,20	0,10	50	40	90	0,31205	0,24024
4	15	15	0,15	0,15	37,5	60	97,5	0,30966	0,23188

Tabla V.50. Estudio Económico para la mezcla Nacional - Gmelina 24

Exp	Proporción (%)		Masa (t)		Costo (\$/t)		Costo total	RCT	Estallido
	G	D	G	D	G	D			
1	30	0	0,30	0,00	75	0	75	0,31886	0,23381
2	25	5	0,25	0,05	62,5	20	82,5	0,31074	0,20211