



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales**

**“ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA SUBSTITUCIÓN DEL  
CARTÓN PLUMA POR UN NUEVO MATERIAL RECICLADO DE  
RESIDUOS CELULÓSICOS POR UN MÉTODO  
BIOTECNOLÓGICO”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa la obtención del Título de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

Presentada por:

Jorge Arturo Saquicela Gracia

TERRASSA - ESPAÑA

Año: 2011

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida, la salud y la oportunidad que me ha brindado. Agradezco a mis Padres, mi esposa y mi hijo, familiares y amigos por ser mi motivación. A Margarita Calafell, por su impagable ayuda y ánimo a lo largo de todo el proyecto. A Gabriel, Gustavo y Simo, por su inestimable ayuda y paciencia.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Jorge A. Saquicela Gracia

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto consiste en caracterizar un nuevo material que se ha obtenido tratando biotecnológicamente residuos celulósicos procedentes de los fangos de la fabricación del papel y de residuos papeleros procedentes de la recogida selectiva de papel-cartón y de la industria gráfica, buscando que el nuevo material, sustituya las aplicaciones del Cartón Pluma, un material obtenido con recursos no renovables y con alto impacto ambiental.

Los fangos de la fabricación de papel, así como los residuos de papel de la industria gráfica y de la recogida selectiva se han obtenido de industrias establecidas en Cataluña y especialmente interesadas en el aprovechamiento de estos residuos y de su revalorización. Los fangos producidos en la fabricación de papel son especialmente costosos de gestionar y en concreto, la empresa interesada en este estudio produce una cantidad de fangos de 100Tm/mes.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	I
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	II
ABREVIATURAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.2.1 Objetivo General .....	3
1.2.2. Objetivos Específicos .....	4
1.3. Alcance .....	4
1.4. Justificación .....	5
1.5. Organigrama .....	9

## **CAPITULO 2**

### **RESIDUOS DE PAPEL**

2.1. Estado del arte .....	12
2.2. El papel reciclado .....	14
2.2.1.Usos del Papel Reciclado .....	16
2.2.2.Dificultades del Reciclado del Papel.....	18
2.3. Residuos de la industria papelera .....	21

## **CAPITULO 3**

### **CARTÓN PLUMA**

3.1. ¿qué es el cartón pluma? .....	24
3.2. Usos del cartón pluma .....	25

## **CAPITULO 4**

### **PROYECTO: CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

4.1. Introducción.....	28
4.2. Análisis de la fibra .....	30
4.3. Análisis de contenido de agua.....	31
4.3.1 Método .....	31
4.3.2.Resultados .....	32
4.4. Análisis de contenido en materia orgánica .....	32
4.4.1.método .....	33
4.4.2.resultados .....	34
4.5. Análisis cualitativo de las cenizas.....	35

4.5.1.Método .....	35
4.5.2.Resultados .....	36
4.6. Comentarios .....	37

## **CAPITULO 5**

### **PROYECTO: CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO (Métodos)**

5.1. Identificación de las muestras .....	39
5.2. Caracterización de los materiales.....	41
5.2.1.Determinación de las propiedades de flexión .....	43
5.2.1.1.Materiales.....	44
5.2.1.2.Método .....	44
5.2.2.Resistencia al Impacto (Charpy).....	46
5.2.2.1.Materiales.....	48
5.2.2.2.Método .....	48
5.2.3.Propagación de la Llama.....	49
5.2.3.1.Materiales.....	50
5.2.3.2. Método .....	50
5.2.4.Permeabilidad: Prueba de la Gota.....	53
5.2.4.1.Materiales.....	53
5.2.4.2.Método .....	54
5.2.5.Determinación de la Absorción de Agua (Inmersión).....	54
5.2.5.1.Materiales.....	55
5.2.5.2. Método .....	55

5.2.6.Higroexpansividad .....	56
5.2.6.1.Materiales.....	56
5.2.6.2.Método .....	57
5.2.7.Variación Relativa del Peso en Ambientes Húmedos.....	58
5.2.7.1.Materiales.....	58
5.2.7.2.Método .....	59

## **CAPITULO 6**

### **PROYECTO: RESULTADOS Y COMENTARIOS**

6.1. Determinación de las propiedades de flexión .....	61
6.2. Resistencia al impacto (charpy) .....	64
6.3. Propagación de llama .....	66
6.4. Permeabilidad: prueba de la gota .....	67
6.5. Absorción de agua .....	69
6.6. Higroexpansividad .....	71
6.7. Variación relativa del peso en ambientes húmedos.....	74
6.8. Comentarios.....	75

## **CAPITULO 7**

### **PROYECTO: REPRODUCIBILIDAD DE LOS RESULTADOS**

7.1. Determinación de las propiedades de flexión .....	79
7.2. Resistencia al impacto (charpy) .....	80
7.3. Propagación de la llama.....	81
7.4. Permeabilidad: prueba de la gota .....	82

7.5. Absorción de agua (inmersión) .....	83
7.6. Higoexpansividad .....	85
7.7. Variación relativa del peso en ambientes húmedos .....	85
7.8. Propiedades finales .....	86

## **CAPITULO 8**

### **PROYECTO: ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL**

8.1. Análisis ambiental del nuevo material .....	88
8.1.1.Reducción en la generación de desechos sólidos.....	89
8.1.2.Disminución de contaminación al aire .....	90
8.1.3.De la contaminación al suelo y el agua .....	90
8.2. Análisis económico comparativo .....	91

CONCLUSIONES .....	96
--------------------	----

RECOMENDACIONES.....	97
----------------------	----

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## ABREVIATURAS

<b>Abs</b>	Absorción
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>CP</b>	Cartón Pluma
<b>kJ</b>	Kilo Joules
<b>kN</b>	Kilo Newton
<b>MP</b>	Materia Prima
<b>MPa</b>	Mega Pascales
<b>PD</b>	Producto final del material D
<b>RC</b>	Residuo de Cartón
<b>RIG</b>	Residuo de una Industria Gráfica
<b>RIP</b>	Residuo de una Industria Papelera
<b>Sec</b>	Segundos
<b>UNE</b>	Unificación de Normativas Españolas
<b>Vel</b>	Velocidad

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Vías de gestión del residuo papelerero del proceso.....	6
Figura 1.2. Uso de producción mundial del petróleo en producción de plástico...9	
Figura 3.1. Cartón pluma.....	24
Figura 3.2. Cartón pluma como herramienta para maquetas.....	26
Figura 3.3. Cartón pluma como base para de obras de arte.....	26
Figura 3.4. Ilustraciones gráficas sobre cartón pluma.....	27
Figura 4.1. Fotografía materia prima RIG.....	29
Figura 4.2. Fotografía materia prima RIP.....	29
Figura 4.3 Fotografía materia prima RC.....	30
Figura 4.4. Esquema de la marcha analítica.....	36
Figura 5.1. Fotografía del CP ensayado en este estudio.....	41
Figura 5.2. Fotografía de los materiales obtenidos.....	42
Figura 5.3. Fotografía de las probetas utilizadas para el ensayo de flexión.....	43
Figura 5.4. Fotografía del equipo de ensayo de flexión.....	45
Figuro 5.5. Fotografía del equipo de ensayo de charpy.....	47
Figuro 5.6. Fotografía del ensayo de propagación de llama.....	51

Figura 5.7. Fotografía del ensayo de permeabilidad.....	53
Figura 5.8. Fotografía ensayo higroexpansividad.....	58
Figura 6.1. Resistencia a tensión de las probetas homogéneas.....	63
Figura 6.2. Energía absorbida por las probetas para lograr su ruptura.....	65
Figura 6.3. Porcentaje de agua absorbida por cada muestra.....	70
Figura 6.4. Higroexpansividad, consideración en longitud.....	72
Figura 6.5 Higroexpansividad, consideración en ancho.....	72
Figura 6.6. Higroexpansividad, consideración en espesor.....	73
Figura 6.7. Variación del peso a humedad del 45%.....	75
Figura 6.8. Variación del peso a humedad del 83%.....	75
Figura 7.1. Desviación típica de los resultados de resistencia a impacto.....	81
Figura 7.2. Reproducibilidad prueba de permeabilidad material D.....	82
Figura 7.3. Desviación típica de los resultados de absorción de agua.....	84

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.	Residuos Sólidos Generados en la Industria Papelera Española en 2006.....	7
Tabla II	Cuadro de Objetivos y Tareas.....	10
Tabla III.	Residuos de la Producción y Transformación de pasta, papel y cartón.....	23
Tabla IV.	Análisis Cualitativo de las Fibras.....	30
Tabla V.	Humedad de las Materias Primas.....	32
Tabla VI.	Resultado del Análisis de Cenizas de las Materias Primas.....	35
Tabla VII.	Resultado del Análisis Cualitativo de las Materias Primas.....	37
Tabla VIII.	Identificación de Materiales Producidos Biotecnológicamente.....	40
Tabla IX.	Tensiones Máximas Promedios de los Materiales.....	62
Tabla X.	Resultado del Ensayo de Impacto.....	64
Tabla XI.	Resultados del Ensayo de Propagación de Llama.....	66
Tabla XII.	Resultado de las Pruebas de Permeabilidad.....	68
Tabla XIII.	Absorción Relativa de Agua.....	69
Tabla XIV.	Variación en longitud, ancho y espesor de las Probetas.....	71

Tabla XV. Resultado de los ensayos de exposición a la humedad.....	74
Tabla XVI. Resumen de los ensayos realizados.....	76
Tabla XVII. Resultados reproducibilidad en propiedades de flexión.....	79
Tabla XVIII. Resultados reproducibilidad en resistencia al impacto.....	80
Tabla XIX. Resultado reproducibilidad en propagación de llama.....	82
Tabla XX. Resultado de reproducibilidad en absorción de agua.....	83
Tabla XXI. Resultados de la reproducibilidad en higr expansividad.....	85
Tabla XXII. Resultados de la reproducibilidad del ensayo de humedad.....	86
Tabla XXIII Propiedades del nuevo material D producido por un método biotecnológico originado del reciclado de residuos celulósico.....	87
Tabla XXIV Lista de precios de cartón pluma ensayado en este estudio.....	92
Tabla XXV Coste de planchas del nuevo material D.....	93

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. ANTECEDENTES**

“Estudio, obtención, producción y comercialización de un nuevo material producido biotecnológicamente a partir de residuos de papel” es un proyecto dirigido por la doctora Margarita Calafell del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). En 2008 obtuvo un VALTEC de ajuste, financiamiento y valorización tecnológica, subvencionado por ACC10 y en el año 2010 ha recibido el primer premio en la 9ª edición de las “Millors Idees de Negoci” convocado por ACC10.

Este proyecto se ha desarrollado en el Instituto Politécnico Campus Terrassa (IPCT) de la UPC, en este lugar se realiza la elaboración del material, así como también algunas y pruebas de caracterización, además se ha recurrido a otros departamentos, como el Centro Catalán del Plástico (CCP) de la UPC.

En el presente estudio ha desarrollado la caracterización de un nuevo material producido por un método biotecnológico<sup>1</sup> usando como materias primas residuos celulósicos procedentes de una empresa papelera catalana y residuos de papel con altas cargas de resinas de resistencia en húmedo y tintas de impresión, procedentes de empresas graficas catalanas, junto con residuos de cartón ondulado conocido como A6 (calidad 1.04 según clasificación UNE EN 643) procedente de gestores de residuos de papel de Cataluña.

El nuevo material es un producto elaborado por un proceso biotecnológico que permite repulpar las fibras de celulosa que no pueden ser aprovechadas en la industria papelera con los tratamientos convencionales.

Este proyecto está orientado a dar salida a residuos de base celulósica y con difícil reciclado como pulpa. Busca ofrecer una solución al problema de la industria papelera dando valor añadido a residuos que de otro modo estarían destinados a vertederos o incineración.

---

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Cataluña (2010), “*Process for Recycling Waste Paper Product Obtained there from and its Uses*”, Reference Patent: P24990EP00, Spain.

Este material tiene que ser apto para las aplicaciones del cartón pluma, en general para formar parte del conjunto de materiales de excelente valor añadido debe cumplir con aspectos como: alta resistencia mecánica, estabilidad dimensional, baja humectabilidad y tener buenas propiedades para evitar la propagación de incendios.

Tomando como base las investigaciones previas realizadas por el equipo de investigación de la Doctora Margarita Calafell, así como también Normas Nacionales e Internacionales, este estudio evalúa las propiedades de materiales producidos bajo un proceso con el que se han obtenido resultados satisfactorios con materias primas diferentes a las que se estudia en esta memoria.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General**

Dar un valor añadido a residuos procedentes de la industria papelera, que a pesar de su alto contenido en celulosa, no se pueden reciclar como papel. Siendo su disposición final los vertederos, lo que implica altos costes económicos y energéticos, además a que su vertido tiene problemas ambientales por ser un potencial contaminante de aguas superficiales y freáticas. El objetivo es substituir el Cartón

Pluma, no amigable con el medio ambiente, por este nuevo material procedente de residuos tratados biotecnológicamente y así evitar su vertido, dándole un alto valor añadido.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

El desarrollo de este proyecto tiene los siguientes objetivos específicos:

- 1] Establecer la relación entre los diferentes tipos de residuos y las propiedades del producto final.
- 2] Obtener un material con características específicas, cuantificables y confiables.
- 3] Conocer la viabilidad económica del nuevo material como sustituto del cartón pluma.

### **1.3. ALCANCE**

En este estudio se pretende caracterizar ciertas propiedades de un material para determinar la viabilidad de sustituir un determinado tipo de cartón pluma.

Se estudian tres tipos de residuos que serán usados como materias primas, las mismas que han sido especificados anteriormente, mezclándolas entre sí para obtener el material de mejores características.

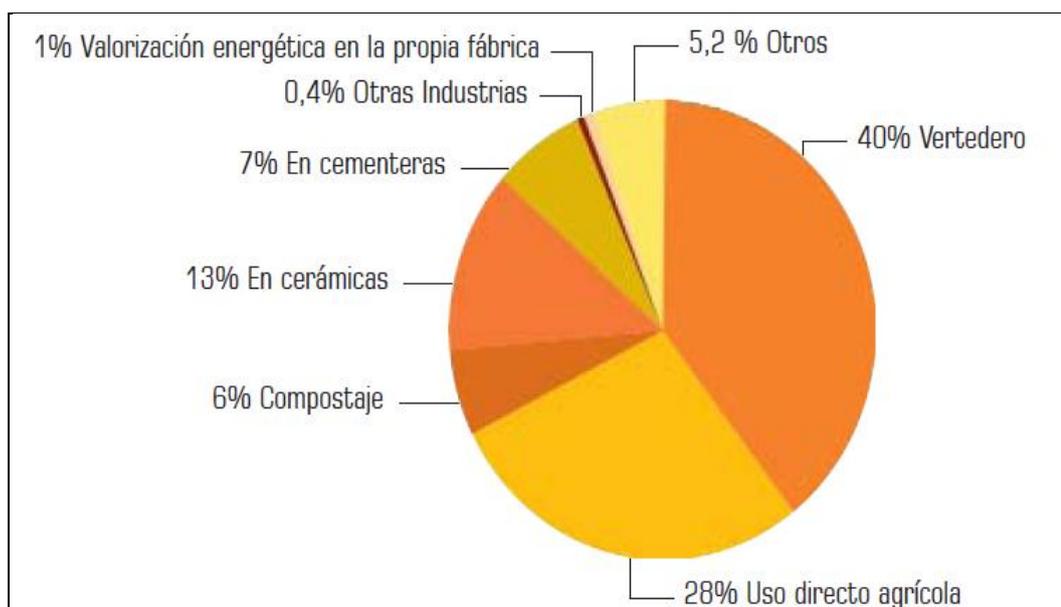
Este estudio es un aporte a un proyecto más amplio que busca la producción industrial del nuevo material aplicado a diversos sectores. No es parte de esta memoria, el estudio del proceso biotecnológico de obtención del material.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

El desarrollo de este proyecto trata de aportar una solución más a un tema de común conocimiento: la conservación de los ecosistemas, la sostenibilidad medioambiental y socioeconómica. Además se encuentra en línea con los principios de la Gestión Forestal Sostenible, Proceso Productivo Eficiente y Responsable, Liderazgo en Recuperación y Reciclaje, Generación de Riqueza y Contribución de la Calidad de Vida definidos por la Confederación Europea de Industrias del Papel (CEPI), ver Anexo A.

El estudio busca reducir de manera considerable los residuos que aún son aprovechables por la cantidad de materia prima que contienen, y evitar así tanto el desperdicio de esta materia prima como la contaminación ambiental. El 40% de la gestión de los residuos de las Industrias Papeleras, va a vertederos.

La Figura 1.1 muestra la gestión de los residuos generados en las industrias papeleras como resultado de las actividades de producción de pasta, papel y cartón.



**Fuente:** Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón

**Figura 1.1. Vías de Gestión de los Residuos Papeleros del Proceso**

Según la Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón (ASPAPPEL, 2008), *El volumen total de residuos sólidos generados en el sector papelerero en España alcanzó 1,5 millones de toneladas en 2006: por cada tonelada de productos que fabricaba el sector papelerero, se generaron unas 0,17 toneladas de residuos [1].*

Existen diferentes tipos de residuos que se generan en la industria papelera, ya que depende del tipo de papel que se produzca, además de la materia prima que se emplea y del proceso que se lleve a cabo.

**Tabla I**

	<b>Residuos Generados (Tm)</b>	<b>% respecto al total de residuos producidos en el sector papelero</b>
Residuos no peligrosos específicos de la actividad papelera	1.303.069	88%
Otros residuos no peligrosos	118.504	8%
Residuos Peligrosos	59.191	4%
<b>Total Residuos Sólidos</b>	<b>1.480.764</b>	

**Fuente:** Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón (2008)

#### **Residuos Sólidos Generados en Industria Papelera Española en 2006**

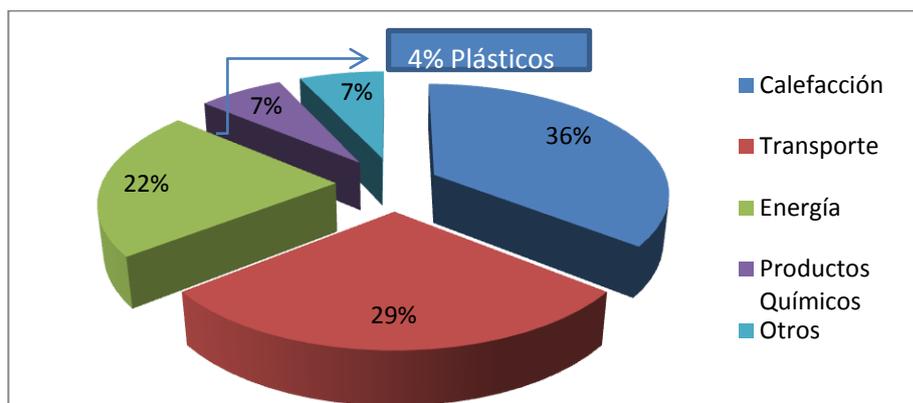
Considerando el creciente desarrollo de la industria papelera en el mundo, estos datos para el actual año en curso podrían suponerse superiores, lo que mediante este estudio, se estaría aportando de manera significativa a la reducción de los residuos de la industria papelera.

El desarrollo de este proyecto es parte de las prioridades del Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (PNCTI), en lo correspondiente al Manejo Ambiental para el Desarrollo y Alternativas Renovables. Además tiene base en el 7° objetivo de Desarrollo del

Milenio - ODM, que contempla garantizar la Sostenibilidad del Medio Ambiente, acordados por los 192 países miembros de la ONU.

Por otro lado, considerando que el material a sustituir, cartón pluma, es un material de tipo sándwich constituido por dos capas de cartón o papel y su centro constituido de un polímero esponjoso, en este caso por poliuretano, como derivado del petróleo, el poliuretano es un compuesto sintético no biodegradable cuya producción resulta muy contaminante. Además, su incineración produce sustancias altamente tóxicas que generan graves problemas de contaminación y salud. El Anexo B, muestra la ficha técnica de los poliuretanos, el mismo que indica el desprendimiento de gases tóxicos cuando el material se combustiona.

El Cartón Pluma, está conformado por un material sintético cuyo origen se obtiene por un proceso de derivados del petróleo, un recurso no renovable, y del que cada vez más se busca depender menos, de allí la importante contribución del presente estudio en el desarrollo de nuevos materiales y el reúso de los recursos.



Fuente: ANAPE, Asociación Nacional de Poliestireno Expandido

**Figura 1.2. Uso de producción mundial de petróleo en producción de Plásticos**

La necesidad de que las industrias se avoquen a fabricar y utilizar materias biodegradables se hace urgente a medida que el hombre avanza en el desarrollo tecnológico. Utilizamos productos no biodegradables diariamente, sin percatarnos de las consecuencias que acarreamos al medio ambiente cuando nos deshacemos de ellos.

### 1.5. ORGANIGRAMA

Como se ha dicho en los objetivos, el proyecto pretende encontrar un sustituto a un cartón pluma partiendo de los residuos de origen celulósico y utilizando el proceso biotecnológico<sup>1</sup> desarrollado por el equipo de la Dra. Calafell. Para ello se ha utilizado la estrategia mostrada en la Tabla II. Los tres objetivos específicos reseñados en el apartado de objetivos (ver pág. 4) se desdoblán en varias tareas que consisten en las etapas seguidas para conseguir los datos que nos llevarán al resultado esperado.

Estas etapas constan de una serie de métodos analíticos y de control de las propiedades de las distintas muestras fabricadas con las MP's. Básicamente se han analizado las propiedades de resistencia mecánica, resistencia al agua y a la humedad y propagación de la llama.

Esto es así porque el valor añadido que se quiere dar al nuevo material debe estar acorde con los usos que tendrá al sustituir las actuales aplicaciones del cartón pluma, que es un material procedente de fuentes no renovables, ser un material no reciclable y de tener el inconveniente ante el fuego de producir gases tóxicos.

**Tabla II**

Objetivo Específicos	Tareas	Métodos	Resultados
Relación entre las procedencias del residuo y las propiedades del producto final.	Análisis MP.	Determinación del tipo de fibras.	Datos de la Caracterización precisa del residuo.
		Marcha analítica de cationes y aniones.	
		Humedad y Cenizas.	
	Estudio de las propiedades finales del material obtenido con las diversas MP.	Propiedades de Flexión	Identificación y caracterización del mejor material obtenido.
		Resistencia a Impacto	
		Propagación de llama	
		Permeabilidad	
		Absorción de Agua	
	Análisis cartón pluma	Higroexpansividad	Lista de propiedades del cartón pluma analizado.
		Propiedades Flexión	
Resistencia a Impacto			
Identificación de las normativas (si las hay) del cartón pluma	Propagación de llama	Lista de normativas (si las hay).	
	Consulta de normativas.		
Estudio del mercado cartón pluma.	Estudio de mercado.	Lista de tipos y características	

Objetivo Específicos	Tareas	Métodos	Resultados
			de los cartones pluma comerciales.
Material con características específicas.	Estudio de la reproducibilidad de las propiedades del nuevo material.	Fabricación de varias probetas y análisis de las propiedades y cálculo de la dispersión.	Lista de propiedades definidas del nuevo material.
Viabilidad económica del nuevo material.	Recopilación de los precios de los diferentes tipos de cartón pluma.	Estudio estadístico y de mercado.	Lista de precios de cartón pluma.
	Análisis del precio de material obtenido y el precio del cartón pluma que se ha analizado.	Relación de precio entre nuevo material y cartón pluma (euro/m <sup>2</sup> ). Consideración del precio con referencia a otros tipos de cartón pluma	Ventaja o desventaja del precio del nuevo material.

Cuadro de Objetivos y Tareas

## **CAPITULO 2**

### **RESIDUOS DE PAPEL**

#### **2.1. ESTADO DEL ARTE**

Hay más de 500 tipos de papeles que se utilizan en el mundo de la comunicación, la enseñanza, la cultura y el arte, la sanidad y la higiene, el comercio y transporte de mercancías... y se desarrollan constantemente nuevas aplicaciones [2]. La tercera parte de los papeles que hoy se emplean, son nuevos tipos de papeles para nuevos usos que hace diez años no existían.

En España el consumo medio de papel per cápita ha pasado de 116 kilos anuales por habitante a principios de los años noventa a los actuales 176 kilos anuales por habitante [2]. Es un sector de larga tradición en el mundo. Los inicios de la fabricación de papel se remontan al siglo XII.

Pero desde entonces el sector ha cambiado mucho. Hoy es una industria de capital intensivo, que utiliza las tecnologías más

avanzadas, y cuenta con plantas distribuidas por toda la geografía nacional, con mayor presencia en Cataluña, País Vasco, Aragón, Galicia, Levante, etc [2].

En total hay 124 plantas industriales, entre las que se encuentran algunas de las más modernas de Europa [2]. Es un sector en crecimiento y muy comprometido con el desarrollo sostenible, consciente de que sostenibilidad y competitividad son aspectos que deben estar unidos.

Con datos de 2008, la producción total fue 8,4 millones de toneladas de las que 6,4 fueron de papel y 2 de celulosa. Dentro de la Unión Europea, España ocupa el quinto lugar como productor de celulosa y el sexto de papel [2].

En Estados Unidos se habla cada vez más de los beneficios medioambientales y económicos que tiene el hecho de que los consumidores se conciencien de estas sutiles pero importantes diferencias. Algunas empresas han empezado a comercializar productos que de forma explícita indican su elaboración a partir de residuos post-consumidor (residuos provenientes del reciclaje).

El grupo papelerero Cascades ha dado a conocer el "Rolland Enviro100 Digital", un papel 100% libre de cloro, elaborado con fibra post-consumidor. Además, la energía utilizada para su fabricación proviene del metano generado en las emisiones de los vertederos. Los responsables de la compañía aseguran que gracias a este papel la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y de residuos sólidos frente a otro tipo de papeles es considerable.

El nuevo material está indicado para la impresión offset y digital y, según sus fabricantes, las principales compañías del sector de la impresión han certificado como válido para sus máquinas a este producto. Su brillo es menor que el de un papel virgen, pero para usos normales no es un problema. A pesar de todo, para quien priorice esta característica, Cascades dispone de una versión de este papel con un 96% de brillo, elaborado a partir de un 30% de restos post-consumidor [4].

## **2.2. EL PAPEL RECICLADO**

El papel es un producto de primera necesidad el cual se fabrica desde el siglo II de nuestra era. Durante muchos siglos fue elaborado con residuos textiles que contenían fibras celulósicas.

En el siglo XIX la necesidad de pulpa para la industria papelera se vuelve crítica y es entonces cuando aparecen las pastas mecánica y química fabricadas a partir de madera, las cuales sustituyen a las fibras textiles como fuente de materia prima para el papel.

Durante la década de 1990, la preocupación por el medio ambiente impulsó buena parte de los avances en la industria del papel, dando como resultado que, actualmente, la atención principal se oriente hacia el proceso de reciclado, aunque los fabricantes siempre han reciclado residuos, tales como bordes de recorte, topes de bobina, mermas, etcétera [5].

Ya en el siglo XX, los residuos del papel constituyen una importante materia prima fibrosa para la industria productora de celulosa y papel, situación derivada de diversos factores: financieros, de mercado, competitivos, de disposición de materias primas fibrosas nacionales y, significativamente, de presiones sociales y gubernamentales para que se incremente el reciclado de residuos y agua de las ciudades y empresas [5].

Esta situación es común tanto en los países productores y exportadores de papel, como en los importadores. También se incrementó la demanda de fibra secundaria (nombre con el que se

conoce al papel reciclado) para la fabricación de algunos tipos de papel: periódico, impresión, cartulinas, corrugados y embalajes [5].

La fibra secundaria es la segunda fuente importante para la elaboración de papel y cartón en los países desarrollados; sin embargo, *el residuo bruto de papel es particularmente difícil de utilizar en la producción de pulpa debido a su alto grado de contaminantes: partículas metálicas, piedras, botellas, cintas, trapos, cuerdas y materiales plásticos* [5].

### **2.2.1. Usos del Papel Reciclado**

Las fibras secundarias más comercializadas son los corrugados, los cuales se utilizan para la fabricación de cajas corrugadas, sacos y embalajes; en segundo lugar están el papel periódico y el papel para revistas, que son utilizados en la fabricación de papeles blanqueados y semiblanqueados, y finalmente, otras categorías menores que se utilizan para la fabricación de cartulinas, cartones y otros productos [6].

Para las empresas, los principales atractivos de la fibra secundaria han sido el coste (el cual es menor que el de la fibra vírgen) y su presencia garantizada en el mercado. *Por estas*

*razones, las fibras de los residuos de papel son consideradas como la alternativa más significativa en el abasto de materias primas fibrosas para la industria de celulosa y papel en el mundo, como sustitutos parciales o totales, rentables y competitivas de pulpas químicas o de alto rendimiento [6].*

Las razones del crecimiento en la oferta y la demanda de fibras secundarias son, entre otras, el coste y las presiones gubernamentales, sociales y de grupos ecologistas para reducir tanto la extensión de vertederos ocupados por residuos urbanos, comerciales e industriales en todo el planeta, como la gran cantidad de agua contaminada en los vertidos de la producción de pulpa primaria [6].

En Estados Unidos es obligatorio marcar, para su identificación, los papeles suministrados que contengan agentes de resistencia en húmedo. Para ello, *se aplica al papel, en la fabricación, una serie de líneas paralelas ligeramente coloreadas, de 3,2 mm de ancho y separadas de 5 a 25 cm [7].* Algunas veces las líneas se colorean de acuerdo con el tipo particular de resina utilizada.

### **2.2.2. Dificultades del Reciclado del Papel**

Desde el punto de vista medioambiental, el reciclaje de papel los residuos que se generan en su proceso de producción tiene una serie de ventajas incuestionables, tales como reducción de residuos en los vertederos, ahorro de energía, alargamiento del ciclo de vida de las fibras celulósicas y la disponibilidad de una materia prima barata. No obstante, la posibilidad de reciclar papel y cartón usado está limitada [8].

El uso al que se destina el papel/cartón impone la primera limitación, así libros, documentos de archivos o papeles para usos sanitarios y hospitalarios no se reciclan, o se hacen en un bajo porcentaje. La viabilidad económica de la recogida y la clasificación de papeles y cartones usados es también decisiva.

El proceso de reciclado consiste en una serie de etapas que tienen por objetivo desintegrar el papel en las fibras que lo constituyen y eliminar los contaminantes que lo acompañan (metales, arena, colas, polímeros, adhesivos, cargas minerales,...).

En ocasiones uno de estos contaminantes es tinta, o resinas de resistencia en húmedo.

Los principales Inconvenientes observados en el reciclado del papel son: [9]

- Pérdida de resistencia mecánica
- Presencia de Contaminantes

- **Pérdida de Resistencia Mecánica**

Una de las causas de la pérdida de resistencia en los papeles reciclados se produce en algunos papeles encolados y se debe al propio método de encolado. Cuando la cola se aplica en medio ácido, deja un residuo ácido que reduce la resistencia del papel. La causa es que, en condiciones ácidas, las fibras son menos flexibles y por tanto menos resistentes. Esto hace preferible para el reciclado a los papeles que han sido encolados en medio alcalinos.

En contra de lo que pueda pensarse, la principal pérdida de la calidad no tiene lugar por el propio proceso de reciclaje de las fibras, sino que se produce durante la fabricación (sea con fibra reciclada o virgen). El fenómeno responsable de la mayor pérdida de la calidad es conocido como hornificación. Definido

como la formación irreversible de enlaces de hidrógeno entre las moléculas de celulosa de las fibras. Tiene una serie de consecuencias indeseadas como la disminución de poros de en la superficies de la fibra que reduce la capilaridad. La pared de la fibra se vuelve entonces más compacta y se ha señalado la posible formación de regiones cristalinas en la fibra.

Todo esto conduce a un aumento en la rigidez de la fibra, que pierde capacidad de absorber agua e hincharse para formar fibras flexibles y resistentes. Una fibra de estas características no solo es más débil sino que pierde también su capacidad de enlace con otras fibras con lo cual el resultado, la resistencia global de la red fibrosa, es decir la resistencia, se reduce.

Para recuperar la flexibilidad de la fibra y su capacidad para absorber agua se puede recurrir a un proceso papelerero sobradamente conocido como es el refinado, que aplica energía mecánica a las fibras de forma que abre su pared celular, saca al exterior la celulosa interna, aumentando su capacidad de absorber agua, hincharse y formar enlaces fibra-fibra resistente.

- **Presencia de Contaminantes**

La presencia de contaminantes en el papel es evitada en buena medida mediante las etapas de purificación de la pasta. Hidrociclones de ranuras y agujeros son utilizados habitualmente para este fin. Hay una categoría de contaminantes que, no obstante, pasan todas estas barreras y permanecen con la pasta dando luego lugar a depósitos e imperfecciones en el papel o a suciedades en los elementos de la máquina de papel. Los más conocidos son los denominados stickies y proceden de adhesivos y sustancias poliméricas que acompañan al papel. A veces resultan ser un verdadero problema ya que su eliminación resiste los métodos habituales por ser partículas de pequeño tamaño, deformables por acción de la temperatura o la presión y que pueden así traspasar las ranuras de los equipos de depuración.

### **2.3. RESIDUOS DE LA INDUSTRIA PAPELERA**

De acuerdo a la Memoria de Sostenibilidad del 2008 (última versión disponible) de la Asociación Española de Fabricantes de Pulpa, Papel y Cartón, *los residuos que se generan de las actividades papeleras son en un 96% residuos industriales no peligrosos (RINP), como tal reconocidos en el Listado Europeo de Residuos (LER) [10].*

Es importantes considerar que el otro 4% que supone residuos industriales peligrosos son los que además se producen en otras industrias como resultados de actividades diversas, tales como: *aceites, fluorescentes, envases que han contenido productos químicos, trapos, baterías, etc.* [10].

“Los 1,4 millones de toneladas de residuos no peligrosos generados por el sector en 2006 se estima que suponen un 4% de los RINP generados en España. Los RINP papeleros están en su mayor parte asociados al ciclo de vida del papel y son en más de un 80% residuos del proceso de reciclaje de las fábricas de papel” [10].

Es importante, entonces considerar que aproximadamente 1,1 millones de toneladas de los desechos generados por la industria, provienen de un proceso de reciclaje del papel, es decir, que terminan siendo llevados a vertederos por su baja calidad. La Tabla III muestra la clasificación de los residuos generados en la industria papelera.

De esto podemos hacer una estimación del impacto económico y ambiental que tendría este estudio, ya que son los residuos finales, los residuos que ya no pueden ser reciclados los utilizados como MP, considerando que los resultados esperados sean confirmados.

Los residuos que se han obtenido de la empresa papelera Catalana interesada al proyecto son los identificados por los códigos: 030308 y 030309.

**Tabla III**

<b>Código LER</b>	<b>Descripción del residuo</b>
030301	Residuos de corteza y madera
030302	Lodos de lejías verdes [productos de la recuperación de lejías de cocción]
030305	Lodos de destintado procedentes del reciclado del papel
030307	Desechos, separados mecánicamente, de pasta elaborada a partir de residuos de papel y cartón
030308	Residuos procedentes de la clasificación del papel destinados al reciclado
030309	Residuos lodos calizos
030310	Desechos de fibra y lodos de fibra, de materiales de carga y de estucado, obtenidos por separación mecánica.
030311	Lodos de tratamiento in situ de efluentes distintos de los especificados en el código 030310
030399	Residuos no especificados en otra categoría

**Fuente:** Asociación Española de Fabricantes de Pulpa Papel y Cartón

**Residuos de la Producción y Transformación de pasta, papel y cartón**

## CAPITULO 3

### CARTÓN PLUMA

#### 3.1. ¿QUÉ ES EL CARTÓN PLUMA?

Cartón pluma es un material relativamente “barato”, consistente de una capa de espuma de poliuretano entre dos capas de papel estucado o cartón. Está disponible en una variedad de colores, pero es más comúnmente disponible en blanco. La Figura 3.1 muestra varios tipos de cartón pluma en el mercado. Los más comunes están disponible en hojas que van desde un tamaño de 22,86 cm x 30,48 cm hasta un tamaño alrededor de 76, 2 cm x 101,6 cm, y en espesores de 3, 5 y 10 mm.



Figura 3.1. Cartón Pluma

### **3.2. USOS DEL CARTÓN PLUMA**

La importancia del cartón pluma radica en ser un material versátil, es por ejemplo utilizado para la artesanía, ya que proporciona más estabilidad que la cartulina, y es más fácil de cortar y manipular que algunos materiales más pesados y rígidos como la madera.

Hay muchos usos profesionales del cartón pluma. Los fotógrafos lo utilizan a veces para hacer reflectores, o como telón de fondo portátil o caja de luz para fotografiar objetos pequeños.

Los arquitectos lo usan para la construcción de maquetas a escala de los proyectos de construcción, y los diseñadores de productos lo usan para crear modelos de prototipos de nuevos productos. (Ver Figura 3.2)

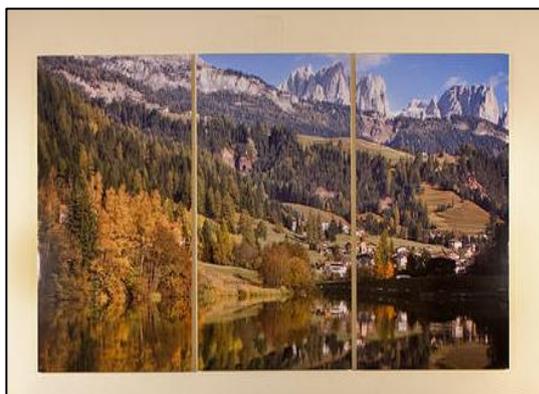
Los diseñadores gráficos, colaboradores de revistas y agencias de publicidad lo pueden utilizar para mostrar un diseño de propuestas o guión para el anuncio de un artículo.



**Figura 3.2. Cartón Pluma como herramienta para maquetas**

Goma-espuma (otro nombre del cartón pluma) ofrece una superficie “resistente” y una ligereza óptima para ser transportado y mostrar información e imágenes de los productos, lo que resulta ideal para viajar o para muestras temporales en una oficina o tienda.

También puede ser utilizado para construir modelos y dioramas para proyectos escolares. Los profesores pueden utilizar en el aula para la creación de pantallas visuales que ayudan a ilustrar los conceptos y hechos.



**Figura 3.3. Cartón Pluma como base para obras de arte**

Este material puede utilizar para crear plantillas de dibujo o pintura en aerosol. Muchos aficionados utilizan cartón pluma para construir modelos a escala de juegos y películas, o como una base o escenario de fan art. A menudo se utiliza como soporte para las ilustraciones y las fotografías enmarcadas.



**Figura 3.4. Ilustraciones Gráficas sobre cartón pluma**

También puede ser utilizado para construir modelos y dioramas para proyectos escolares. Pegas: demasiado frágil y ligero para según qué usos, consta de tres capas (manufacturación compleja), no es ignifugo, humos tóxicos etc.

## **CAPITULO 4**

### **PROYECTO: CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

#### **4.1. INTRODUCCIÓN**

Para este proyecto se han seleccionado 3 tipos de residuos escogidos como MP. La primera MP la denominaremos RIG, debido a ser un Residuo de una Industria Gráfica, se caracteriza por su alto contenido en tintas y por la presencia de resinas de resistencia en húmedo.

La segunda MP la denominaremos RIP, por ser un Residuo de una Industria Papelera (los fangos de la fabricación del papel) sita en Cataluña y que está interesada en los resultados de este proyecto, para aplicarlos en la revalorización de sus residuos.

Y por último, una tercera MP, que llamaremos RC, Residuos de Cartón procedentes de la recogida selectiva de papel y cartón industrial y urbano, que ha sido seleccionada por su alto contenido en fibra larga, que mezclada con las RIP y las RIG puede aportar mejoras

funcionales al producto final, sin descartar que con solo RC se obtenga un producto que sustituya el cartón pluma.

Las Figuras 4.1, 4.2 y 4.3 muestran los residuos tomados como materias primas para la elaboración del producto que se va a estudiar en este proyecto.



**Figura 4.1. Fotografía materia prima RIG**

**Figura 4.2. Fotografía materia prima RIP**

Para obtener información que será muy valiosa a la hora de evaluar las propiedades de los productos que se obtendrán, se llevará a cabo la identificación de las materias primas. La caracterización nos permitirá establecer una relación de la MP con el material final.



**Figura 4.3. Fotografía materia prima RC**

#### **4.2. ANÁLISIS DE LA FIBRA**

El ensayo se realiza mediante un análisis microscópico de las fibras del papel a ensayar. Los aumentos más frecuentes son los comprendidos entre x80 y x100, a los que generalmente corresponde un diámetro de campo comprendido entre 1,5 y 1,8 mm [11]. Con este aumento se puede apreciar la longitud de los elementos fibrosos y proporciona una referencia útil. El análisis de la longitud de la fibra se realizó de acuerdo con la norma ISO 16065-1:2001(E).

**Tabla IV**

<b>Longitud de las Fibras</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Tipo de Materia Prima</b>	<b>Longitud fibra [mm]</b>
RC	Residuos de Cartón	1,16
RIG	Residuos de Industria Gráfica	0,87
RIP	Residuos de Industria Papelera	0,84

**Resultados del Análisis Cualitativo de la Fibra**

### **4.3. ANÁLISIS DE CONTENIDO DE AGUA**

Esta determinación es un factor importante para interpretar los resultados de la evaluación de las propiedades de los productos finales, ya que nos permitirá establecer una relación entre la longitud de fibra que existe en cada uno de ellos y la humedad asociada.

#### **4.3.1. Método**

La metodología para este ensayo se encuentra descrita en detalle en el Anexo C de la presente memoria. A continuación un breve resumen [12].

Primero, debemos asegurarnos de disponer de un pesafiltros, el cual tararemos, y posteriormente introduciremos en él, y empleando siempre una báscula de precisión, 0.1 gramos aproximadamente de la muestra de papel hecha pequeños trozos. Anotamos el peso exacto de esta muestra e introducimos el papel en el pesafiltros dentro la mufla a 100°C durante 1 hora. Extremos el pesafiltros y lo introducimos en un desecador por 30 minutos para enfriar. Pesamos el pesafiltros y anotamos el nuevo peso de la muestra.

El siguiente paso es introducir de nuevo el pesafiltros en la mufla y volver a repetir el proceso hasta que la muestra vuelva

a estar fría dentro del desecador y pesar. El proceso se repetirá hasta que el peso luego del desecador no varíe con el anterior.

El cálculo de la Humedad se determinará por lo descrito en la ecuación 1.

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{PesoInicial} - \text{PesoFinal}}{\text{PesoInicial}} * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

#### 4.3.2. Resultados

La Tabla V muestra los resultados obtenidos en el ensayo realizado para determinar la humedad de las materias primas.

**Tabla V.**

Muestra	RIG	RIP	RC
% humedad	2.75	3.60	4.56

**Humedad de las Materias Primas**

#### 4.4. ANÁLISIS DE CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA

En los procesos de fabricación del papel, además de la utilizar fibra de celulosa se emplean cargas y aditivos para mejorar las propiedades finales. Por ello es importante identificar por medio este ensayo la cantidad de material orgánico, asociada principalmente a la cantidad

de fibras presente en nuestras materias primas y considerar su influencia en las propiedades resultantes de la caracterización.

#### **4.4.1. Método**

El método experimental utilizado para llevar a cabo este ensayo, se encuentra descrito de manera específica en el Anexo D [12]. Se realiza un breve resumen de la metodología seguida.

El ensayo de cenizas consiste en determinar el porcentaje de cenizas de una muestra de papel a partir de su reducción total a cenizas blancas y un sencillo cálculo en el que emplearemos el porcentaje de humedad de la muestra de papel determinada anteriormente.

Disponer de un crisol preferentemente de zirconio, lo taramos en una báscula e introducimos en él, a pequeños trozos, teniendo en cuenta que cuanto más cantidad se obtendrán mejores resultados. Anotar el peso e introducir en baño de arena a 120°C durante una hora, obtenemos cenizas negras.

Introducir las cenizas en mufla a 525°C y dejar durante aproximadamente 4 horas. Sacra el crisol, tendremos cenizas

blancas, las cuales dejaremos enfriar durante una media hora dentro de un desecador para luego pesar.

Las Ecuaciones 2 y 3 nos permitirán determinar el porcentaje de cenizas presentes en nuestras materias primas.

$$\% \text{ cenizas} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso Seco}} \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde el peso seco está dado por la expresión

$$\text{Peso Seco (g)} = \text{Peso Húmedo} - \left( \frac{\text{Peso Húmedo} \times \text{Humedad}}{100} \right) \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde el peso húmedo es el medido en el crisol al inicio del ensayo.

#### **4.4.2. Resultados**

La Tabla VI muestra el porcentaje de cenizas que se encuentran presentes en nuestras materias primas, por tanto el restante se asocia a la cantidad de material fibroso de cada MP.

Tabla VI

Muestra	RIG	RIP	RC
% cenizas	38.55	59.43	10.61

Resultado del Análisis de Cenizas de las Materias Primas

#### 4.5. ANÁLISIS CUALITATIVO DE LAS CENIZAS

La marcha analítica es un análisis importante para el estudio, permite identificar la presencia de los iones inorgánicos presentes en nuestras materias primas y establecer una posible relación con las propiedades obtenidas al final de la caracterización.

##### 4.5.1. Método

En la Figura 4.4 se observa el esquema de la marcha analítica referida, de la misma manera en el Anexo C se redacta en manera detallada el ensayo [12].

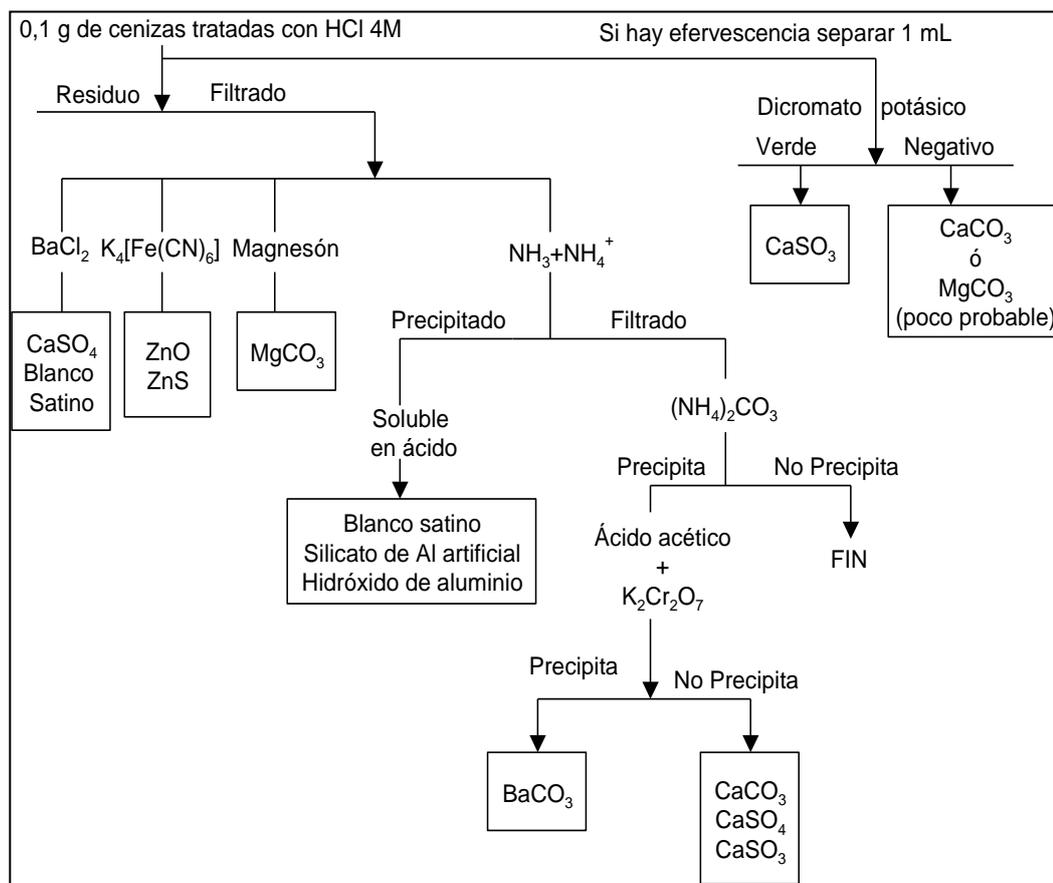


Figura 4.4. Esquema de la Marcha Analítica

#### 4.5.2. Resultados

En la Tabla VII se muestra los resultados del análisis cualitativo de acuerdo a los materiales que se sospecha se encuentran presentes en las materias primas utilizadas. La muestra RC, contiene aluminio, esto indica que la carga inorgánica es, posiblemente, sulfato de aluminio, que se encuentra presentes en los materiales de encolado.

La presencia de Zn y Mg se debe, posiblemente a las cargas y aditivos utilizados en el proceso de producción para la mejora de las propiedades del papel.

**Tabla VII.**

Muestra	Zinc [Zn <sup>2+</sup> ]	Magnesio [Mg <sup>2+</sup> ]	Aluminio [Al <sup>3+</sup> ]	Hierro [Fe <sup>3+</sup> ]	Cobre [Cu <sup>2+</sup> ]	Sulfato [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]
RC	SI	SI	NO	NO	NO	SI
RIP	NO	NO	NO	NO	NO	SI
RIG	SI	SI	SI	NO	NO	NO

**Resultado del Análisis Cualitativo de las Materias Primas**

#### 4.6. Comentarios

Mediante el análisis de la fibra ha quedado constancia de que la longitud de las fibras de los RC es aproximadamente dos veces la longitud que las fibras de las materias primas RIP y RIG, de esta manera, podremos establecer las posibles combinaciones a realizar para obtener un material de excelentes propiedades.

Las fibras más largas (1.16 mm) identificada en RC, residuos de cartón, contribuirá a mejorar la calidad del producto final, sobre todo en cuanto a las propiedades de resistencia mecánica.

El porcentaje de cenizas obtenido en RIP (Residuo de una Industria Papelera) es de aproximadamente un 60%. Esto da una idea de la proporción de fibra presentes en su composición y que puede resultar útil para el nuevo material.

El material RIG y RC, manifiesta respuestas positivas a Zn y Mg, los cuales se pueden asignar a las tintas de escritura impresa que mantiene este tipo de materiales.

## **CAPITULO 5**

### **PROYECTO: CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO (Métodos)**

#### **5.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS**

El grupo de investigación del proyecto “Estudio, obtención, producción y comercialización de un nuevo material producido biotecnológicamente a partir de residuos de papel”, a través de la experiencia se han diseñado nuevas metodologías basadas en su proceso biotecnológico<sup>1</sup>, en esta memoria se ensayará materiales producidos por una metodología específico.

Las materias primas se han tratado a fin de conseguir un material bajo en costos, resistente y amigable al medio ambiente. Para la elaboración del producto final, se realizará la combinación de las materias primas, la Tabla VIII identifica a los productos realizados bajo el proceso biotecnológico con sus composiciones en MP.

Las proporciones en materias primas elegidas para la elaboración de los productos finales han sido basadas en las suposiciones del autor,

la revisión de memorias realizadas previamente en este tema, así como también de recomendaciones del grupo de investigación.

El criterio está basado principalmente en la longitud de las fibras, el aspecto físico de los residuos (consistencia) y el análisis de la materia prima mostrada en el capítulo 4.

**Tabla VIII**

<b>Composición en MP de Materiales Producidos</b>			
<b>Producto</b>	<b>Residuo (%)</b>		
	<b>RC</b>	<b>RIP</b>	<b>RIG</b>
A	100		
B		100	
C			100
D	25	75	
E		50	50
F	50	50	
G		25	75
H	75	25	
I	50	25	25
J	25	25	50
Q	50		50

**Identificación de Materiales Producidos Biotecnológicamente**

La secuencia en la identificación de las muestras es solo una referencia elegida por el autor. El material que se quiere sustituir, el Cartón Pluma, será para el resultado de los ensayos identificado como

CP. La Figura 5.1 muestra una fotografía del cartón pluma ensayado en esta memoria.



Figura 5.1. Fotografía del CP ensayado en este estudio.

## 5.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Para establecer ventajas del nuevo material frente al cartón pluma, los productos finales se han de someter a varios ensayos directamente relacionados con la aplicación del actual material en mercado. Los ensayos están dirigidos a identificar las propiedades haciendo referencia a Normativas UNE y ASTM.

Los productos han sido ensayados y comparados entre sí, a fin de establecer el mejor material, con esto no se excluye la posibilidad de

tener dos o más materiales que puedan cumplir una o varias aplicaciones en las que se emplea el cartón pluma en. La Figura 5.2 muestra los materiales producidos.

Las propiedades que se evalúan están ligadas al uso que se le dará al material, por ello son importantes la resistencia a la flexión y al impacto.

De igual manera se considera su comportamiento al fuego, ya que es importante que los materiales que se utilizan en la vida cotidiana actúen de tal forma que en conatos de incendio tiendan a minimizar el riesgo de una propagación.



**Figura 5.2. Fotografía de los materiales obtenidos**

### 5.2.1. Determinación de las Propiedades de Flexión

Durante este procedimiento, se determina la fuerza que se aplica sobre una probeta, soportada como una barra horizontal, aplicando una carga sobre una probeta en su punto centro a una velocidad constante, hasta que ésta se rompa. Este ensayo se ha realizado basándose en la Norma UNE-EN ISO 178. La Figura 5.3 muestra las probetas utilizadas para la prueba de flexión. Este ensayo se ha realizado en el laboratorio de dinamometría del Centro Catalán del Plástico (CCP) de la UPC.



**Figura 5.3. Fotografía de las probetas utilizadas para el ensayo de flexión**

#### **5.2.1.1. Materiales**

Para la elaboración de este ensayo fue necesario contar con:

- Equipo de Flexión, GALDABINI SUN 2500
- Célula de Carga, 1 kN
- Un ordenador con el sistema informático de captación de datos, Software Galdabini.
- Fresadora
- Pie de Rey, EZQUERRA MICRA, Digital.
- Probetas (muestra del material a ensayar).

#### **5.2.1.2. Método**

Se deben diseñar las probetas, con dimensiones que se han especificado previamente en la normativa UNE-EN ISO 178. Las probetas deben ser cortadas y retirarse cualquier tipo de material sobrante en las aristas de las probetas.

Las probetas son señaladas en el centro para poder tener la referencia del lugar específico en que se aplicará la carga (Figura 5.4 muestra el equipo utilizado para dicho ensayo). Se deben tomar las

dimensiones reales de las probetas con las que se realiza el ensayo.

Una vez colocadas las probetas se debe utilizar el ordenador, haciendo uso del software colocando las dimensiones reales luego, se procede a descender la célula de carga hasta que ésta mantenga contacto con la probeta, sin que ejerza ninguna fuerza.



**Figura 5.4. Fotografía del Equipo de Ensayo de Flexión**

Mediante el arranque del programa se da inicio a la corrida de la célula de carga, esta descenderá (10 mm/min) mientras que se registra la curva de tensión. El ensayo continua hasta que se observe por completo el comportamiento del material o luego de 10 mm de flecha.

Se realizará la gráfica de Tensión (MPa) vs. Deformación (mm/mm), utilizando los datos proporcionados por el software y las expresiones que se muestran en el Anexo D. La pendiente de la gráfica en la porción de comportamiento elástico, se define como módulo de elasticidad o módulo de Young (E), la ecuación 4 muestra el cálculo de este parámetro.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

**E**, módulo de elasticidad o módulo de Young.

$\sigma$ , es la tensión (MPa).

$\varepsilon$ , es la deformación unitaria (mm/mm).

### **5.2.2. Resistencia al Impacto (Charpy)**

El equipo de ensayo de Resistencia al Impacto de Charpy, se trata de una máquina de ensayo muy simple desde el punto de vista mecánico (Figura 5.5). Sin embargo, a pesar de esa sencillez mecánica, con este instrumento se pueden diseñar varias pruebas de impacto donde se demuestra de forma rápida y didáctica, la influencia que tienen determinados factores en el comportamiento mecánico de los materiales.

La energía absorbida por la probeta, para producir su fractura, es la que se determina a través de la diferencia de energía potencial del péndulo antes y después del impacto.



**Figura 5.5. Fotografía del Equipo de Ensayo de Charpy**

Los modos de fractura que pueden experimentar los materiales se clasifican en dúctil o frágil, dependiendo de la capacidad que tienen los mismos de absorber energía durante este proceso. Actualmente no existe un criterio único para determinar cuantitativamente cuando una fractura es dúctil o frágil, pero todos coinciden en que el comportamiento dúctil está caracterizado por una absorción de energía mayor que la requerida para que un material fracture frágilmente. Por otra parte el comportamiento dúctil tiene asociado altos niveles de deformación plástica en los materiales. Este ensayo de Charpy

se ha realizado mediante la Norma UNE-EN ISO 179-1, en el laboratorio de Materiales del ETSEIAT.

#### **5.2.2.1. Materiales**

Para la realización de este ensayo ha sido importante el uso de:

- Equipo de Ensayo de Charpy. (Resil Impactor Junior, CEAST Italy, Tipo 6963). Escala S1
- Péndulo de 4 Joule
- Probetas (material a ensayar)

#### **5.2.2.2. Método**

Se han diseñado las probetas de acuerdo a lo referido en la norma antes mencionada. El ensayo se ha realizado en la cara ancha de la probeta.

El péndulo es fijado en la parte superior, reteniéndolo para luego ser dejado actuar por caída libre, mediante un accionar mecánico.

Se enciende el equipo y se ajusta, luego se deja caer el péndulo para establecer el error del equipo, el que se evidenció en 0,03 J.

Las probetas son fijadas en el centro mediante lo que señala el equipo. Una vez listo se procede a dejar caer el péndulo y éste rompe la probeta, la energía absorbida por la probeta se muestra en la pantalla del equipo y se registra.

Para la expresión del Resultado del ensayo, ha sido necesaria la implementación de la ecuación 5.

$$a_{cU} = \frac{E_c}{h * e} \times 10^3 \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

$a_{cU}$  es la energía absorbida por la probeta por área de exposición ( $\text{KJ/m}^2$ )

$E_c$  es la energía que absorbida por las probetas hasta su ruptura (J)

$h$  es el ancho de la probeta sometida al ensayo (mm).

$e$  es el espesor de la probeta sometida al ensayo (mm).

### **5.2.3. Propagación de la Llama**

Este ensayo permite establecer el comportamiento de un material frente a la exposición directa a una fuente de energía,

en este caso llama directa en uno de los extremos de las probetas.

Este ensayo tiene como base bibliográfica una norma internacional, la que en este caso es Norma ASTM D635-98.

Este parámetro es importante para estudiar si el material contribuirá y de qué manera a la propagación de un incendio.

#### **5.2.3.1. Materiales**

Los materiales que facilitan la ejecución del ensayo son:

- Soporte Universal
- Nueces de sujeción
- Pinzas
- Mechero de Gas
- Tanque de Butano
- Válvula de Gas
- Cronómetro
- Encendedor
- Campana para extracción de gases

#### **5.2.3.2. Método**

Se cortan probetas con dimensiones de entre 12.7 a 13.2 cm de largo y de entre 1.27 a 1.32 cm de ancho.

Identificando el extremo que se expondrá a la llama, se coloca a partir de este punto una marca a 25 mm de distancia, y con referencia al mismo punto otra marca a 100 mm de distancia.

Luego las probetas son colocadas en posición horizontal sujeta por una pinza, de manera que las marcas realizadas previamente sean visibles.



**Figura 5.6. Fotografía del Ensayo de Propagación de Llama.**

Se enciende el mechero buscando obtener una llama de color azul de 10 mm de longitud, y colocar el mechero a 45° de inclinación con respecto al punto de

apoyo. La punta de la llama debe tener contacto con la punta del extremo de la probeta.

Una vez que la llama entre en contacto con la probeta, se procederá a controlar con el cronometro un tiempo de 30 segundos, pasado este tiempo se retira la fuente, y se observa el avance de la llama (Ver Figura 5.7).

Si la llama pasa la marca de los 25 mm, se procederá a establecer la velocidad de propagación de la llama, considerando la longitud que ha alcanzado la llama hasta extinguirse y el tiempo empleado para esto (Ecuación 6). Si la llama no sobrepasa la marca de 25 mm se considerará que el material no propaga la llama.

$$P \text{ (mm/s)} = \frac{L_s}{t} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde P, es la expresión de la propagación de la llama

$L_s$ , es la longitud combustionada de la probeta (mm)

$t$ , es el tiempo en el que se extingue la llama (sec)

#### 5.2.4. Permeabilidad: Prueba de la Gota

El objetivo del ensayo, es obtener el grado de impermeabilidad. Se desea saber qué grado de protección al agua otorga el producto final, se debe considerar que la mezcla de materias primas podría originar una no homogeneidad en la superficie. La Figura 5.6 muestra una fotografía del ensayo realizado a las muestras de los materiales obtenidos.



Figura 5.7. Fotografía del Ensayo de Permeabilidad

##### 5.2.4.1. Materiales

Los materiales necesarios para la elaboración de este ensayo son:

- Pipeta Pasteur
- Agua destilada
- Cronómetro
- Probetas a ensayar

#### **5.2.4.2. Método**

Se han tomado al azar 3 porciones de cada placa, haciendo probetas de aproximadamente 3 cm de ancho por 7 cm de largo. Se coloca la superficie plana de la probeta a ensayar perpendicular al suelo, a fin de evitar el deslizamiento de las gotas.

Se inicia el cronómetro, y rápidamente, se aplican 10 gotas de agua destilada distribuida homogéneamente. Se anotan los tiempos con los que son absorbidas las gotas. En caso de superar las 2 horas, se puede detener el ensayo, ya que se considera impermeable.

En el Anexo E se tienen los datos sobre la prueba de permeabilidad, en este se ha tomado el tiempo en el que han desaparecido por completo las gotas.

#### **5.2.5. Determinación de la Absorción de Agua (Inmersión)**

Con este ensayo se determina la absorción de agua por inmersión total en agua destilada. Se ha realizado el ensayo basándose en la norma UNE 57-112-79.

#### **5.2.5.1. Materiales**

El material necesario para realizar el ensayo ha sido:

- Agua Destilada
- Balanza Analítica (precisión 0,001 g)
- Pinzas

#### **5.2.5.2. Método**

Se pesa cada muestra después de dejar que se acondicione a temperatura ambiente. Se sumerge totalmente de forma vertical en un recipiente con agua destilada. Para asegurar que no salga a flote, se coloca sobre ella una malla plástica. Debido a que nuestra muestra posee elevada resistencia al agua, el tiempo de ensayo es de 72 h  $\pm$  15 min.

Se extrae la probeta del recipiente y, sosteniéndola verticalmente por una esquina, se deja escurrir el agua en exceso durante 2 minutos, y a continuación se pesa cada muestra. La Figura 4.6 muestra una fotografía de las muestras sumergidas.

La absorción del agua se calculará mediante la ecuación que se expresa a continuación:

$$Ar = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100 \quad (\text{Ec. 7})$$

Siendo:

Ar: absorción relativa de agua (%)

m1: masa de la probeta acondicionada antes de su inmersión en agua (g)

m2: masa de la probeta después de su inmersión en agua (g)

### **5.2.6. Higroexpansividad**

Se ha medido el aumento de longitud que sufre una muestra con la humedad relativa (higroexpansividad). El resultado se expresa en porcentaje. El ensayo se ha realizado según la Norma UNE 57-097-78.

#### **5.2.6.1. Materiales**

Para obtener las humedades relativas se utilizan las disoluciones siguientes:

- HR = 45 ± 2% Solución saturada de carbonato potásico
- HR = 83 ± 2% Solución saturada de cloruro potásico

### 5.2.6.2. Método

Se introduce la muestra en un recipiente acondicionada a una humedad relativa de  $45 \pm 2\%$ . Cuando la muestra alcanza el equilibrio (12 horas), se mide su espesor, longitud y anchura. A continuación, se introducen en un recipiente acondicionado a una humedad relativa de  $83 \pm 2\%$  y se dejan que alcancen el nuevo equilibrio (12 horas) y se vuelve a medir su espesor, longitud y anchura. Las determinaciones se harán de acuerdo a lo que establece la ecuación 8. La Figura 5.8 muestra la realización de la experiencia, muestras en los recipientes utilizados para acondicionar las muestras.

$$X = \frac{l}{l_0} * 100 \quad (\text{Ec. 8})$$

Dónde:

X: aumento relativo de la longitud, espesor o anchura (%)

l: Aumento de longitud, espesor o anchura de la probeta (mm)

l<sub>0</sub>: Longitud, espesor o anchura de la probeta en las condiciones de humedad relativa del 45% (mm)



**Figura 5.8. Fotografía Ensayo de Higroexpansividad**

### **5.2.7. Variación Relativa del Peso en Ambientes Húmedos**

Este ensayo se ha realizado considerando que el nuevo material está expuesto a un ambiente cargado de humedad, la prueba se ha desarrollado utilizando como referencia la norma mencionada en 5.2.6, solo que en este caso no se determinarán las variaciones dimensionales, sino el peso de las muestras.

#### **5.2.7.1. Materiales**

Para obtener las humedades relativas se utilizan las disoluciones siguientes:

- $HR = 45 \pm 2\%$  Solución saturada de carbonato potásico

- HR =  $83 \pm 2\%$  Solución saturada de cloruro potásico
- Balanza PIONEER, OHAUS (precisión 0.001 g)
- Pinzas
- Estufa

#### 5.2.7.2. Método

Las muestras son introducidas en estufa a  $100^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas para garantizar que se encuentran totalmente secas, posterior a este periodo de tiempo se pesa y se registran los datos.

Inmediatamente a lo anterior se introduce la muestra en un recipiente acondicionada a una humedad relativa de  $45 \pm 2\%$ . Cuando la muestra alcanza el equilibrio (24 horas), son retiradas y se registra el peso. A continuación, se introducen en un recipiente acondicionado a una humedad relativa de  $83 \pm 2\%$  y se llevan a equilibrio con el medio (24 horas) y se vuelve a determinar el peso. Las determinaciones se harán de acuerdo a lo que establece la ecuación 9, considerando la

variación para ambas humedades con respecto al material totalmente seco.

$$VR = \frac{m1 - m2}{m1} * 100 \quad (\text{Ec. 9})$$

Dónde:

VR: Es la variación relativa del peso de la muestra (%)

m2: peso de la muestra en ambiente húmedo (g)

m1: peso de la muestra seca (g)

## **CAPITULO 6**

### **PROYECTO: RESULTADOS Y COMENTARIOS**

#### **6.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE FLEXIÓN**

La Tabla IX muestra el resultado de las tensiones de flexión máximas promedios soportadas por los materiales ensayados así como la dispersión. En primer lugar se ha realizado el ensayo utilizando las probetas del Cartón Pluma con el objetivo de obtener información sobre la respuesta del material a este ensayo y mantener un criterio a medida que se realiza las pruebas de los materiales desarrollados por el proceso biotecnológico. El cálculo del Módulo de Young se muestra en el Anexo D.

Tabla IX

Muestra	Tens. (MPa)	Módulo (E)	Dispersión (%)
A	13,56	1215.6	13,97
B	6,69		40,31
D	6,69	604.90	6,04
E	4,10		23,19
F	10,04	925.13	13,60
G	3,36		17,31
H	10,59	1027.20	12,58
I	5,78	450.78	13,25
J	8,05		43,60
Q	4,96		19,81
CP	4,00	574.72	8,64

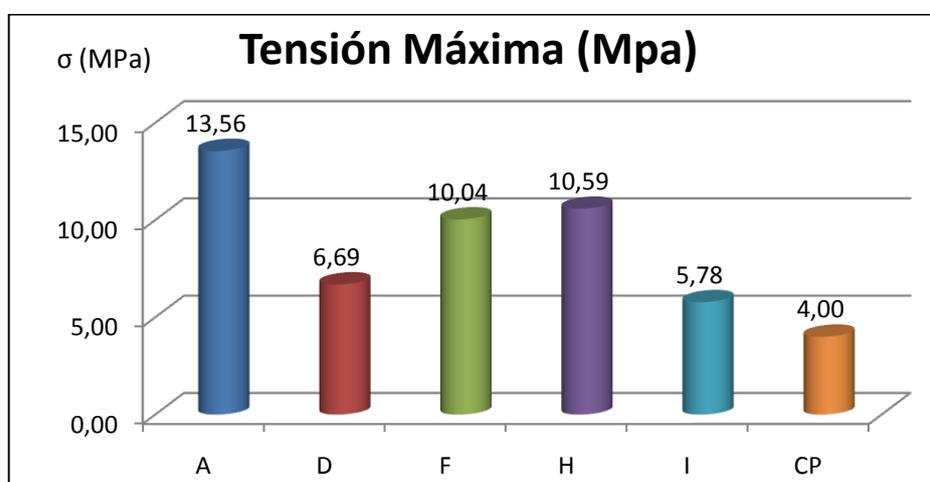
#### Tensiones Máximas Promedios y Módulo de Young

De las gráficas obtenidas del ensayo (ver Anexo D) se han identificado las muestras que poseen una resistencia a la tensión mayor que la del Cratón pluma (4 MPa). El material C no ha sido testeado debido que se desintegra al cortar las probetas, es un material totalmente frágil e inestable.

De la Figura 5.1 muestra los resultados del Ensayo de Flexión considerando los materiales cuyo comportamiento es homogéneo, las mismas que son identificadas como A, D, F, H e I. Estas placas no solo muestran un valor superior al del cartón pluma, sino también un comportamiento similar en la curva tensión-deformación, por lo que se puede considerar que el material es homogéneo. A su vez los resultados de este ensayo dan un indicio de que el proceso empleado

a surtido efecto, induciendo un buen tramado entre las fibras que constituyen el material.

Mientras que las placas B, E, G, J y Q, a pesar de tener valores superiores su dispersión es alta, por lo que se consideran como materiales no homogéneos.



**Figura 6.1. Resistencia a Tensión de las Probetas Homogéneas**

Con el proceso biotecnológico empleado, puede entenderse que los materiales mostrados en la Figura 5.1 son los más resistentes y homogéneos, sin embargo resulta importante evaluar otras propiedades que nos den una mejor orientación, hasta el momento estos son los de mejor referencia, para descartar por completo los materiales restantes, se empleará un segundo ensayo mecánico.

Es importante resaltar que los materiales observados en la figura anterior, todos están constituidos por un porcentaje de RC (fibra más larga), por lo que se puede estimar la importancia de esta materia prima para el objetivo del proyecto.

## 6.2. RESISTENCIA AL IMPACTO (CHARPY)

La Tabla X muestra el resultado del promedio de la energía absorbida por los materiales en el ensayo de Resistencia al Impacto, Los resultados detallados de cada probeta, observar en el Anexo D.

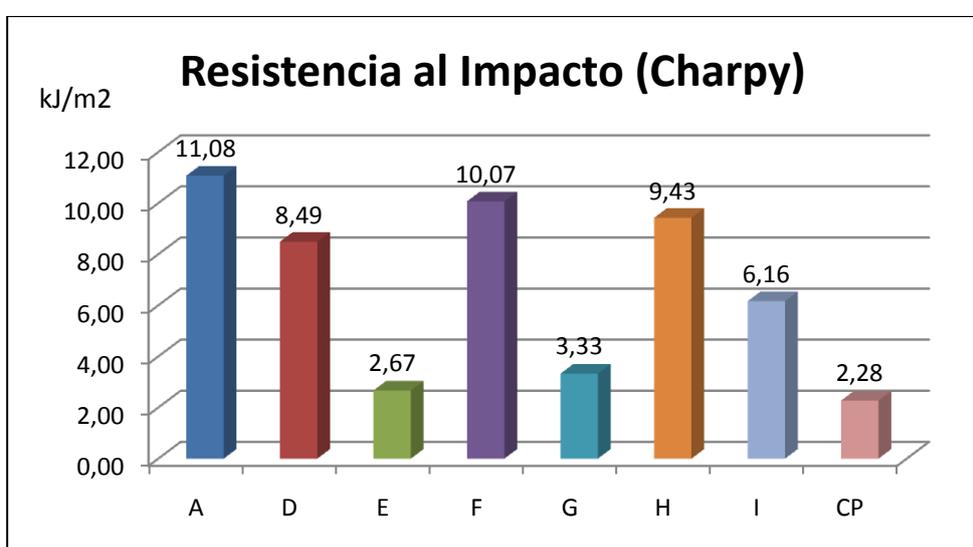
**Tabla X**

Placa	KJ/m <sup>2</sup>
A	11,08
B	3,18
D	8,49
E	2,67
F	10,07
G	3,33
H	9,43
I	6,16
J	5,77
Q	5,64
CP	2,28

### **Resultado del Ensayo de Impacto**

Los materiales B, J y Q, no muestran uniformidad de los resultados para las probetas ensayadas, la tabla de resultados se puede observar en el Anexo D.

La Figura 6.2 muestra el resultado con las probetas homogéneas que han necesitado una mayor cantidad de energía para romper que el cartón pluma, en la figura se observa que los materiales con buenos resultados en la determinación de la propiedad de flexión, también se muestran en este ensayo, por lo que continuaremos con estos materiales los siguientes ensayos.



**Figura 6.2. Energía absorbida por las probetas para lograr su ruptura.**

Los productos E y G aparecen en este ensayo por mostrar una mejor respuesta en esta propiedad que el CP. Aunque su superioridad no es notable se tomarán en cuenta para los próximos ensayos hasta ser descartados por completo.

### 6.3. PROPAGACIÓN DE LLAMA

En la Tabla XI se muestra el resultado obtenido de las probetas sometidas a contacto directo con la llama.

Tabla XI

Propagación de Llama por Exposición Directa								
Muestra	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Flama alcanza 25 mm (S/N)	Flama alcanza 100 mm (S/N)	Tiempo Extinción llama (sec) *	Longitud Inflamada (mm) *	Vel. Propagación (mm/s) *
A	3,78	13,05	13,00	SI	SI	482,5	130	0,269
D	3,17	12,92	13,00	NO	NO	NM	NM	NM
E	3,05	13,02	13,00	NO	NO	NM	NM	NM
F	3,03	12,88	13,00	NO	NO	NM	NM	NM
H	3,55	12,82	13,00	SI	NO	482,8	73,65	0,153
I	3,32	12,80	13,00	NO	NO	NM	NM	NM
CP	3,31	12,85	13,00	NO	NO	NM	NM	NM

(\*) Este Dato es medido solo en el caso que la llama alcance los 25 mm

#### Resultado de Ensayo de Propagación de Llama

Se observa que el material con los mejores resultados mecánicos, termina siendo un material que se quema por completo (A). Por tanto, para este fin, A (100% RC) no puede considerarse un material para sustituir al CP.

El material H (75%RC-25%RIP) es un material que propaga la llama a una velocidad de 0,153 mm/s, siendo inferior al material A en un 46.1%, sin embargo no puede considerarse un material para sustituir al CP.

Los demás materiales se los puede considerar no propagadores de llama. Aunque continuaremos ensayando los materiales A y H, con el fin de observar los demás comportamientos.

La materia prima RC es un material que se quema por completo a pesar del proceso implementado, por tanto es indispensable su combinación con RIP y RIG que muestran una mejor respuesta.

El CP es un material que no propaga, debido a que está conformado por una capa fina de aluminio que ocasiona la extinción de la llama. Además es importante considerar que durante la ejecución de este ensayo, hubo desprendimiento de humo con olor desagradable (debido a su producción de gases tóxicos), también se produce un material chicloso.

#### **6.4. PERMEABILIDAD: PRUEBA DE LA GOTA**

La Tabla XII muestra el resultado del tiempo promedio de permanencia de la gota sobre la superficie de todos los materiales obtenidos del proceso biotecnológico empleado. Los materiales que resultaron tener excelentes propiedades mecánicas en comparación al material a querer sustituir poseen un tiempo de permanencia superior a las 2 horas. El material B y E presenta un tiempo de 1 hora, considerándose

que es una buena respuesta, sin embargo el material B ha demostrado no homogeneidad en los ensayos mecánicos.

El material G, presenta una pésima respuesta, ya que es un material muy poroso, y muy poco homogéneo como se pudo evidenciar en la primera prueba realizada.

**Tabla XII**

<b>Prueba de la Gota</b>	
<b>Muestra</b>	<b>T (h)</b>
A	2,5
B	1
D	2
E	1
F	3
G	0,29
H	4
I	3
J	4
Q	4

**Resultados de la Prueba de Permeabilidad**

Los materiales J y Q, son impermeables, sin embargo debido a las pruebas anteriores se ha evidenciado no homogeneidad. Considerando que las materias primas que conforman principalmente estos dos materiales es RIG, se puede decir que el principal influyente del buen resultado debe a la presencia de resinas de resistencia en húmedo.

Finalmente los resultados positivos de este ensayo se pueden relacionar directamente al buen tramado de las fibras que conforman la estructura de los materiales.

## 6.5. ABSORCIÓN DE AGUA

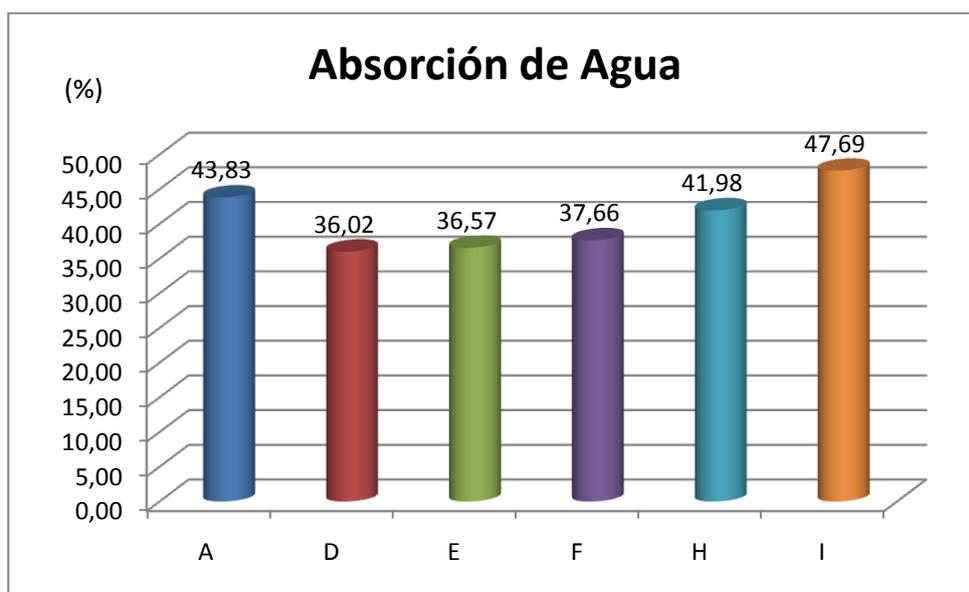
La Tabla XIII muestra los resultados de la absorción relativa de agua que han tenido los mejores materiales que se han producido con el tratamiento biotecnológico.

Tabla XIII

Absorción de Agua por Inmersión					
Muestra	Prueba #	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Abs (%)	Promedio (%)
A	1	3,5904	5,1534	43,53	43,83
	2	4,1294	5,8902	42,64	
	3	4,0803	5,9290	45,31	
D	1	3,7519	5,1096	36,19	36,02
	2	3,5362	4,7994	35,72	
	3	3,8462	5,2371	36,16	
E	1	4,8572	6,4980	33,78	36,57
	2	4,4855	6,1174	36,38	
	3	4,6528	6,4932	39,55	
F	1	4,2458	5,6956	34,15	37,66
	2	4,2960	5,8165	35,39	
	3	3,9084	5,6057	43,43	
H	1	4,0092	5,6169	40,10	41,98
	2	4,1225	5,7980	40,64	
	3	3,9515	5,7371	45,19	
I	1	3,7746	5,4589	44,62	47,69
	2	3,6229	5,4283	49,83	
	3	3,9217	5,8278	48,60	

Absorción Relativa de Agua

En general los materiales poseen baja absorción de agua, el aumento en peso se debe a que las fibras se hinchan y almacenan agua en su interior, se observa que los materiales con mayor absorción de agua son identificadas como A, H e I, asociada a la mayor proporción de RC que los demás productos y por tanto están compuestas por gran cantidad de fibra larga, la que tiene una mayor capacidad de absorber agua. Por otro lado D, con menor absorción, está constituida en un 75% por RIP, materia prima de fibra más corta y mayor contenido de cenizas.



**Figura 6.3. Porcentaje de agua absorbida por cada muestra.**

## 6.6. HIGROEXPANSIVIDAD

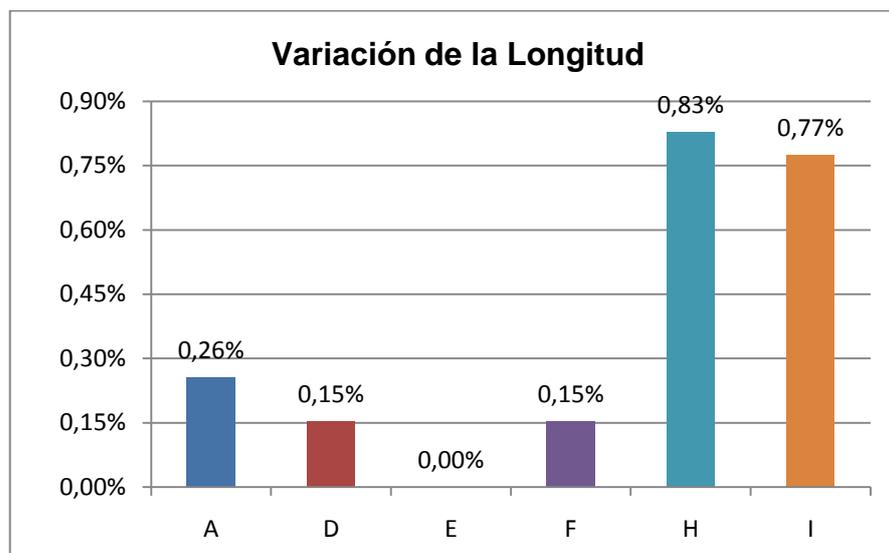
En la Tabla XIV se muestra el resultado de la variación de las dimensiones de las probetas ensayadas mediante la metodología empleada. Este resultado es el promedio de 3 ensayos a cada placa (Anexo D).

Tabla XIV

Muestra	X-Longitud (%)	X-Ancho (%)	X-Espesor (%)
A	0,26	-0,11	9,08
D	0,15	0,32	3,07
E	0,00	-0,11	8,04
F	0,15	0,33	4,32
H	0,83	0,00	4,30
I	0,77	0,55	5,16

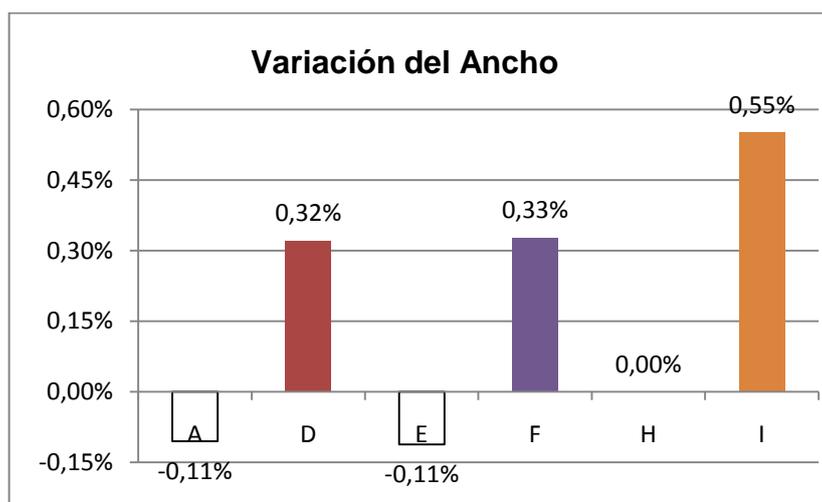
Variación en la longitud, ancho y espesor de las probetas

La Figura 6.4 muestra la variación de la longitud de las muestras. Se observa que el material E no sufre deformación longitudinal, sin embargo su deformación en espesor es alta en comparación a las demás muestras. La muestra F y D son las de menor deformación longitudinal, mientras que H es la de mayor variación en este eje de referencia.



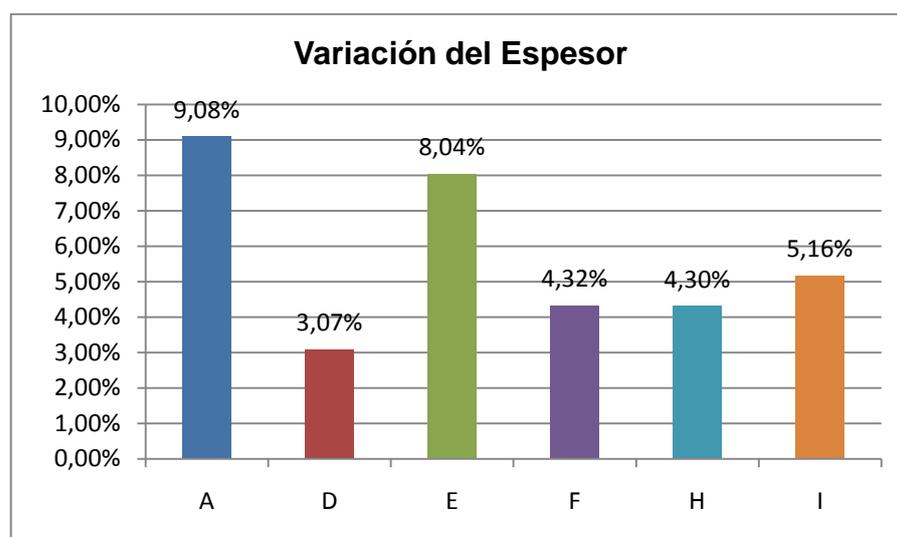
**Figura 6.4. Higroexpansividad, consideración en longitud**

La Figura 6.5 muestra la variación del ancho, las muestras A y E sufren deformaciones negativas, lo que indica un recogimiento de la probeta, el material H no presenta deformación en este sentido de referencia, los demás materiales muestran modificaciones muy similares.



**Figura 6.5. Higroexpansividad, consideración en ancho**

La Figura 6.6 muestra la variación del espesor de las muestras, se observa que los materiales A y E, muestran una variación muy superior con respecto a los demás materiales. Es importante considerar que todas las muestras han sufrido cambios en su espesor.



**Figura 6.6. Higroexpansividad, consideración en espesor**

Luego de analizar todas las variaciones que han sufrido las muestras, se puede observar que los materiales A y E han disminuido su ancho, pero debido a esto, su deformación en espesor es considerablemente mayor que las demás. De la misma manera el material H no ha sufrido deformación en su ancho, también ha incrementado su espesor aunque no de manera considerable.

Los materiales D y F, tiende a deformaciones en todos los ejes de referencia de una manera más uniforme. Considerando que estos

materiales contienen mayor proporción de RIP (75% y 50% respectivamente), es importante considerar que la cantidad en fibra corta y alto contenido de material no fibroso proporcionan esta estabilidad.

Todas las variaciones están probablemente asociadas a la orientación que tienen las fibras en el interior de los materiales, aunque se estima que las fibras no están ordenadas en un solo sentido sino que están entrelazadas unas con otras a varias direcciones.

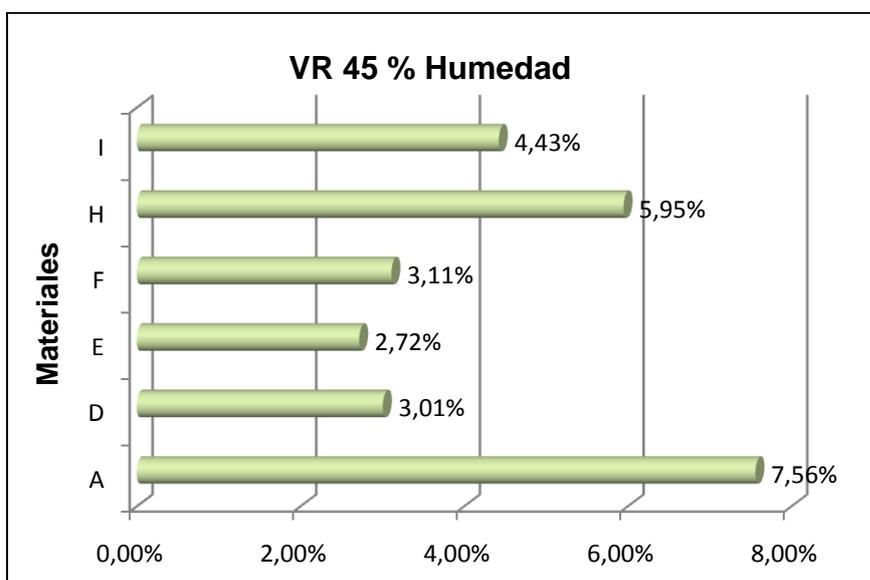
#### **6.7. VARIACIÓN RELATIVA DEL PESO EN AMBIENTES HÚMEDOS**

De acuerdo a la Tabla XV podemos considerar que las variaciones en cuanto a este parámetro son realmente pequeñas, aunque materiales que previamente no manifestaron buenos resultados (A y H en llama) una vez más confirman que sus propiedades no son competitivas con respecto a los demás productos obtenidos bajo el mismo proceso. Ver Figuras 6.7 y 6.8.

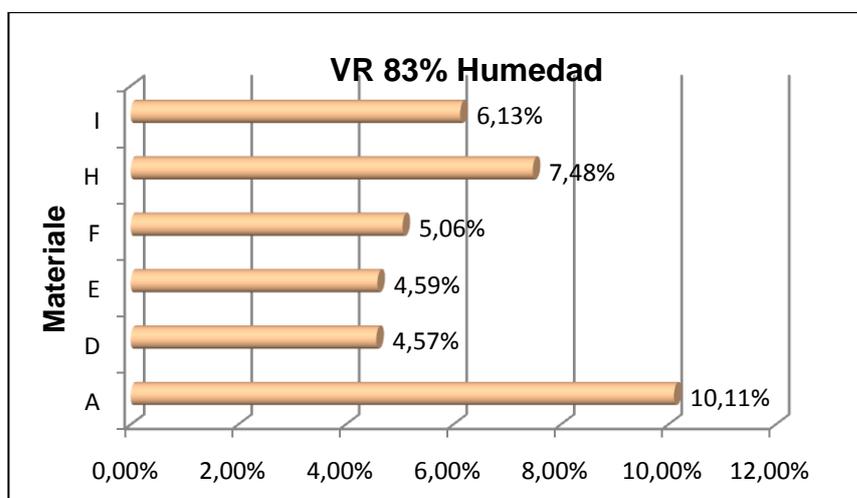
**Tabla XV**

<b>Muestra</b>	<b>VR (45%)</b>	<b>VR (83%)</b>
<b>A</b>	7,56%	10,11%
<b>D</b>	3,01%	4,57%
<b>E</b>	2,72%	4,59%
<b>F</b>	3,11%	5,06%
<b>H</b>	5,95%	7,48%
<b>I</b>	4,43%	6,13%

**Variación del Peso por Exposición a la Humedad**



**Figura 6.7. Variación del peso a Humedad del 45 %**



**Figura 6.8. Variación del peso a Humedad del 83 %**

## 6.8. COMENTARIOS

La Tabla XVI muestran un resumen de las propiedades ensayadas con los respectivos resultados obtenidos en cada una de ellas, en esta constan solo los materiales que al final han demostrado buenas

condiciones, este cuadro resumen nos permitirá determinar el mejor material obtenido mediante el proceso biotecnológico.

**Tabla XVI**

Material	Composición	Ensayos									
		Flexión (MPa)	Charpy (kJ/m <sup>2</sup> )	Llama	Gota (h)	Abs. Agua (%)	Higroexpansividad (%)			Variación por humedad (%)	
							Largo	Ancho	Espesor	45%	83%
D	25% RC - 75% RIP	6,69	8,49	NM	2	36,02	0,15	0,32	3,07	3,01	4,57
E	50% RC - 50% RIG	4,10	2,6	NM	1	36,57	0,00	0,11	8,04	2,72	4,59
F	50% RC - 50% RIP	10,40	10,07	NM	3	37,66	0,15	0,33	4,32	3,11	5,06
I	25%(RC,RIG) - 50% RIP	5,78	5,77	NM	3	47,69	0,77	0,55	5,16	4,43	6,13
CP	---	4,00	2,28								

**NM:** No medido (material que no propaga llama)

#### **Resumen de los Ensayos Realizados**

El producto final E, en su primer ensayo no muestra uniformidad en las curvas de tensión (ver Anexo E) y además dispersiones muy altas, por ello ha de ser descartada por no cumplir con el objetivo general del proyecto, la sustitución del cartón pluma.

Del resumen anterior **el material D** es superior frente a los demás, porque analizando de una manera equilibrada, sus resultados convienen más, aunque sacrifica su resistencia a la tensión, se gana mucho en comparación a los demás ensayos, siendo un material permeable, que no propaga la llama (según lo descrito en esta

memoria), y mantenerse excelentes propiedades de estabilidad dimensional.

La principal razón para designar a el producto final D como el mejor producto final elaborado, consiste en que su composición está dada en un 75% por RIP (Residuo de una Industria Papelera), lo que permite a esta empresa depender menos de otro material como el RC que no conforman parte de su proceso, pero su contribución es indispensable como se ha constatado.

## **CAPITULO 7**

### **PROYECTO: REPRODUCIBILIDAD DE LOS RESULTADOS**

De acuerdo al Capítulo 6, el material destacado por sus excelentes respuestas a los ensayos realizados en esta memoria está identificado como **D**, que está constituido por un 25% de materia prima RC (Residuos de Cartón) y un 75% de materia prima RIP (Residuo de una Industria Papelera).

Sin embargo, es importante realizar más ensayos para analizar la reproducibilidad de los resultados obtenidos en el capítulo anterior, en este apartado se realizará nuevamente la identificación de las propiedades del mejor material producido.

Se han elaborado tres lotes del material D, uno por día, a fin de evidenciar la reproducibilidad de los parámetros que se analizan. Se identifican de la siguiente manera PD1, PD2 y PD3.

En este capítulo se analizará la respuesta del material a cada ensayo que se ha mostrado en esta memoria y de acuerdo con lo descrito previamente en el

Capítulo 5. Las siguientes secciones muestran los resultados obtenidos en la evaluación de los lotes, los mismos que se presentan de manera más detallada en el Anexo E.

### 7.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE FLEXIÓN

Se ha realizado el ensayo de flexión para cada uno de los lotes producidos, en la Tabla XVII se muestra el resultado de las tensiones de flexión máximas promedios con sus respectivas dispersiones.

Tabla XVII

Muestra	Tensión (MPa)	Módulo (E)	Dispersión
D	6,69	604.90	6,04
PD1	6,65	824.76	10,04
PD2	6,70	865.53	11,28
PD3	6,34	810.38	12,28

Resultados Reproducibilidad en Propiedades de Flexión

De los resultados obtenidos se observa que la dispersión en los datos obtenidos es menor al 15%, y por tanto como valor promedio de tensión de ruptura se establece en **6,60 MPa** y una desviación estándar de **0,17**. Los resultados en las curvas de tensión-deformación (ver Anexo E) presenta un comportamiento semejante con cierto grado de desplazamiento, a lo que es difícil de emitir un criterio, por otro lado la diferencia en el módulo de puede asociar a un post-prensado que se realizó a las placas PD previo al ensayo.

## 7.2. RESISTENCIA AL IMPACTO (CHARPY)

Luego de haber ensayado los lotes, se han obtenido los resultados de la Tabla XVIII, se observa que la dispersión de los datos está en un orden inferior al 5% (Anexo E) y por tanto decimos que este material es homogéneo en sus resultados.

Tabla XVIII

Ensayo de Resistencia al Impacto (Charpy, sin Entalla)						
Muestra D	# Probeta	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Energía (J)	Resistencia (kJ/m <sup>2</sup> )	Promedio
PD1	1	10,21	5,48	0,497	8,88	8,54
	2	10,32	5,21	0,448	8,33	
	3	10,41	5,21	0,457	8,43	
	4	10,53	5,18	0,471	8,64	
	5	10,61	5,27	0,465	8,32	
	6	10,24	5,19	0,458	8,62	
PD2	1	9,98	5,25	0,448	8,55	8,49
	2	10,27	5,29	0,460	8,47	
	3	10,32	5,16	0,452	8,49	
	4	10,07	5,21	0,443	8,44	
	5	10,30	5,21	0,457	8,52	
	6	10,48	5,20	0,461	8,46	
PD3	1	10,35	5,22	0,470	8,70	8,55
	2	10,41	5,27	0,463	8,44	
	3	10,28	5,31	0,470	8,61	
	4	10,46	5,28	0,448	8,11	
	5	10,29	5,24	0,458	8,49	
	6	9,92	5,21	0,462	8,94	
RESISTENCIA AL IMPACTO:				<b>8,52</b>	Desviación estándar: <b>0,19</b>	

### Resultados Reproducibilidad en Resistencia al Impacto

En la Figura 7.1 se observan los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango de aceptabilidad establecido por la desviación típica calculada. De esta manera se establece que la resistencia al impacto es de  $8,52 \pm 0,19 \text{ kJ/m}^2$ .

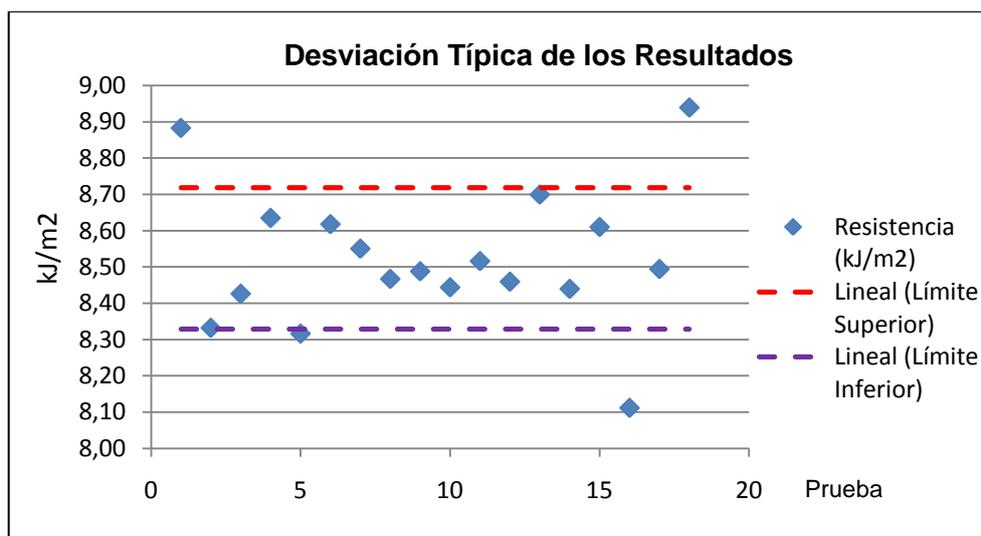


Figura 7.1. Desviación típica de los resultados de resistencia a impacto

### 7.3. PROPAGACIÓN DE LA LLAMA

El estudio demuestra que los resultados obtenidos del capítulo 6 con respecto al material D, son siempre el mismo de acuerdo al proceso biotecnológico empleado, por lo que se concluye que el nuevo material no propaga la llama. En la Tabla XIX se muestra el cuadro resumen del ensayo de 10 probetas para cada lote.

Tabla XIX

Muestra	Flama alcanza los 25 mm (S/N)	Flama alcanza los 100 mm (S/N)	Tiempo Extinción llama (sec) *	Longitud Inflamada (mm) *	Vel. Propagación (mm/s) *
PD1	NO	NO	N/A	N/A	N/A
PD2	NO	NO	N/A	N/A	N/A
PD3	NO	NO	N/A	N/A	N/A

(\*) Este Dato es medido solo en el caso que la llama alcance los 25 mm

#### Resultado Reproducibilidad en Propagación de Llama

#### 7.4. PERMEABILIDAD: PRUEBA DE LA GOTA

Se ha establecido el tiempo de permanencia de varias gotas de agua sobre la superficie de las muestras (Figura 7.2). De esto podemos observar que el material presenta siempre una respuesta superior a las 2h de permanencia de la gota.

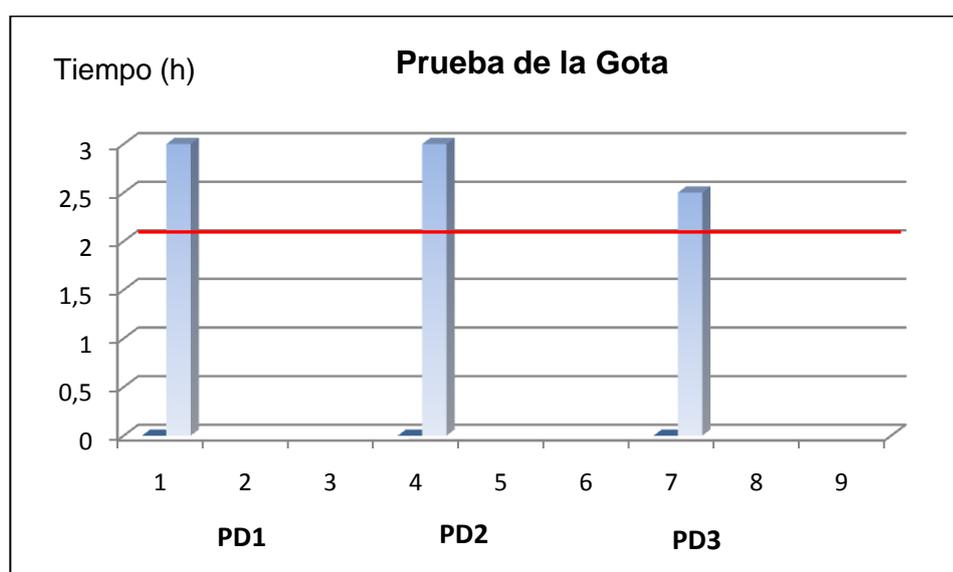


Figura 7.2. Reproducibilidad prueba de permeabilidad material D

Estos resultados son originales de la evaluación de tres probetas elegidas al azar de cada uno de los lotes que se han elaborado, se pueden observar los resultados de manera más detallada en el Anexo E.

### 7.5. ABSORCIÓN DE AGUA (INMERSIÓN)

La Tabla XX muestra el resultado de la absorción de agua de las probetas elegidas al azar de cada uno de los lotes producidos.

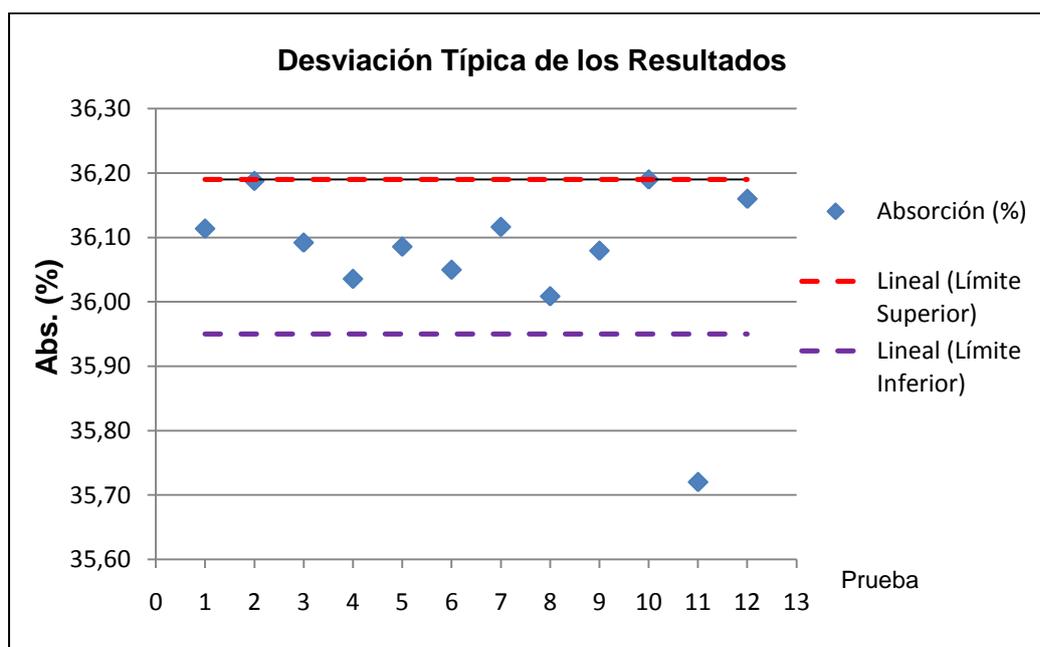
Tabla XX

Absorción de Agua por Inmersión				
Muestra	Prueba	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Abs (%)
PD1	1	6,9583	9,4712	36,11
	2	6,9145	9,4167	36,19
	3	6,9902	9,5131	36,09
PD2	1	6,9151	9,4070	36,04
	2	6,7689	9,2115	36,09
	3	6,9429	9,4458	36,05
PD3	1	6,9301	9,4330	36,12
	2	6,787	9,2309	36,01
	3	6,7709	9,2138	36,08
D	1	---	---	36,19
	2	---	---	35,72
	3	---	---	36,16
Absorción (%):		<b>36,09</b>	Desviación: <b>0,05</b>	

#### Resultado de Reproducibilidad en Absorción de Agua

Considerando que los resultados obtenidos muestran una dispersión inferior al 5% (Anexo E), podemos establecer el promedio de los resultados como el valor central, y podemos decir que la absorción de

agua del material D por inmersión total en agua es de  $36,09\% \pm 0,05$ . La Figura 7.3 muestra los resultados obtenidos considerando los límites de aceptabilidad de la desviación típica calculada.



**Figura 7.3. Desviación Típica de los Resultados de Absorción de Agua.**

La figura anterior muestra que la mayoría de los resultados obtenidos se encuentran dentro del límite escogido para el reporte del valor aproximado de la absorción de agua por inmersión total. Un dato se encuentra fuera del rango, que se puede asociar a un error cometido por el analista durante la realización del ensayo.

## 7.6. HIGROEXPANSIVIDAD

Los datos de higroexpansividad son muy cercanos entre sí por lo que se puede decir que el material presenta una respuesta uniforme en este ensayo.

La Tabla XXI muestra el resultado de cada uno de los lotes producidos incluyendo los resultados que se obtuvieron del material D en capítulo 6.

Tabla XXI

<b>Higroexpansividad</b>			
<b>Muestra</b>	<b>VL</b>	<b>VA</b>	<b>VE</b>
<b>D</b>	0,15%	0,32%	3,23%
<b>PD1</b>	0,18%	0,33%	2,87%
<b>PD2</b>	0,13%	0,30%	3,73%
<b>PD3</b>	0,19%	0,28%	2,80%
<b>Promedio</b>	<b>0,16%</b>	<b>0,31%</b>	<b>3,16%</b>
<b>Desviación:</b>	0,03%	0,06%	0,54%

### Resultados de la Reproducibilidad en Higroexpansividad

De los datos obtenidos podemos decir con certeza que la higroexpansividad en largo ancho y espesor no supera el 0,4%.

## 7.7. VARIACIÓN RELATIVA DEL PESO EN AMBIENTES HÚMEDOS

En la Tabla XXII se muestra el resultado obtenido en el ensayo, se incluye los resultados del material D obtenidos en el capítulo 6 con la intención de obtener la desviación típica de los resultados totales.

Tabla XXII

<b>Aumento de Peso En Ambientes Húmedos</b>				
<b>Muestra</b>	<b>VR (45%)</b>	<b>VR (83%)</b>	<b>Promedio (45%)</b>	<b>Promedio (83%)</b>
<b>PD1</b>	3,02%	4,87%	3,04%	4,74%
	3,06%	4,61%		
<b>PD2</b>	3,09%	4,64%	3,08%	4,54%
	3,07%	4,44%		
<b>PD3</b>	3,17%	4,37%	3,10%	4,42%
	3,03%	4,47%		
<b>D</b>	3,00%	4,59%	3,01%	4,57%
	3,02%	4,55%		
Promedio:			3,06%	4,57%
Desviación:			0,06	0,15

#### **Resultados de la Reproducibilidad del Ensayo de Humedad**

La dispersión de los datos obtenidos se observa de manera gráfica en el Anexo E, tanto para la sección de la hirgoexpansividad como para los de la variación del peso por exposición a la humedad.

### **7.8. PROPIEDADES FINALES**

De manera general se han obtenido resultados muy uniformes para todos los ensayos, por lo que se puede decir que el material final D tiene propiedades definidas como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla XXIII

<b>Propiedades Finales del Nuevo Material (D)</b>			
<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Norma Referencial</b>
Flexión	6,60 ± 0,17	MPa	UNE-EN ISO 178
Resistencia al Impacto	8,52 ± 0,19	kJ/m <sup>2</sup>	UNE-EN ISO 179-1
Propagación de Llama	NO	---	ASTM D635-98 *
Test de la gota	> 2	h	*
Absorción de Agua	36,09 ± 0,05	%	UNE 57-112-79
Higroexpansividad, Longitud	0,16 ± 0,03	%	UNE 57-097-78
Higroexpansividad, Ancho	0,31 ± 0,06	%	
Higroexpansividad, Espesor	3,16 ± 0,54	%	
Variación del Peso 45%	3,06 ± 0,06	%	
Variación del Peso 83%	4,57 ± 0,15	%	

\* Test creado por el grupo de investigación de la Dra. Calafell, para analizar la permeabilidad superficial al agua del material.

**Propiedades del Nuevo Material D producido por un método Biotecnológico originado del reciclado de residuos celulósico.**

## **CAPITULO 8**

### **PROYECTO: ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL**

#### **8.1. ANÁLISIS AMBIENTAL DEL NUEVO MATERIAL**

La finalidad de este proyecto es la caracterización de un nuevo material que se ha obtenido mediante el tratamiento biotecnológico de residuos celulósicos de diverso origen, con la intención de encontrar características que puedan sustituir al cartón pluma que se ha ensayado en esta memoria.

De los resultados obtenidos en los Capítulos 6 y 7 se ha determinado un material con excelentes propiedades, identificado como D, el mismo que está conformado principalmente por el Residuo de una Industria Papelera ubicada en Cataluña.

En las secciones siguientes se describe a manera general los impactos ambientales que ocasionaría la implantación del proyecto desarrollado.

### **8.1.1. Reducción en la generación de desechos sólidos**

En España se generaron en el año 2008, entre 40 y 46 millones de toneladas de Residuos Industriales No Peligrosos (RINP) [16], de los cuales el 3% provienen de la industria papelera, esto supone una cantidad aproximada de 1,5 millones de toneladas. Este residuo actualmente cuesta de gestionar y supone un riesgo y una carga económica para la industria. Este hecho nos da la magnitud de los beneficios que se pueden obtener mediante la implantación de la tecnología de reciclado utilizada en este proyecto.

El uso de este material evita llevar cerca de 100 Tm/mes de residuos de fabricación de papel (de una sola empresa papelera) a vertederos, aprovechándolos y convirtiéndolos en un producto de valor añadido. De igual manera el reúso de estos residuos genera un producto que va en línea con el concepto más aceptado de sostenibilidad, “...*un proceso continuo de desarrollo económico y social, tanto en naciones industrializadas como en las que están en vías de desarrollo, que cumple las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*” [15], tomando en cuenta el proceso aplicado de acuerdo a patente.

### **8.1.2. Disminución de Contaminación al Aire**

El material obtenido, es un material que mediante los análisis realizados previamente, se ha determinado que no contiene sustancias, que al combustionar generen gases tóxicos que contaminen el aire y perjudiquen la salud<sup>2</sup>.

Una consideración que se debe hacer es que, la combustión del nuevo material D (en caso de incendios) genera dióxido de carbono, uno de los principales contribuyentes del efecto invernadero. Sin embargo el cartón pluma, constituido por espuma poliuretano, la generación por combustión no solo está asociada a dióxido de carbono, sino también H.C. aromáticos y alifáticos (tóxicos y narcóticos), diisocianatos, tetra y dihidrofuranos, nitrilos aminas y amoniaco. Por otro lado al final de su vida útil este material puede ser reciclado totalmente con el mismo proceso (ensayos realizados en planta piloto<sup>3</sup>).

### **8.1.3. De la Contaminación al Suelo y el Agua**

En el proceso de obtención de este material se recicla totalmente el agua y los residuos sólidos que se puedan generar<sup>1</sup>. Como hemos dicho también en el apartado anterior al final de su vida útil puede ser reciclado totalmente con el mismo proceso de su obtención.

---

<sup>2</sup> Alicia Pedrosa Díaz, "Nuevo Material a Partir de Residuos Impresos de Papel", Proyecto Final de Carrera (PFC), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Septiembre- 2001.

<sup>3</sup> UTEARS: Materiales Biotecnológicos. IPCT (Instituto Politécnico Campus Terrassa, UPC).

El resultado del test de lixiviación que se realizó en este producto, resalta la ausencia de materiales tóxicos o dañinos para la salud, no contaminan aguas subterráneas.

De manera general, se puede decir que la industrialización de este proceso, desde el punto de vista ambiental, evita la influencia de materiales perjudiciales para el suelo, vegetación y fauna, la degradación del paisaje, las contaminaciones del aire y las aguas subterráneas.

## **8.2. ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO**

Este estudio está dirigido a realizar una comparación entre el precio del nuevo material (este precio está establecido en cuanto a materias primas, energía y personal, no se contempla la amortización de la maquinaria) y el precio de mercado de un determinado tipo de cartón pluma.

También se ha realizado una proyección del precio del nuevo material con las características de otros tipos de cartón pluma existentes en el mercado (Ver Anexo F).

Según la propuesta realizada en el “Pla de Negoci” creado por el grupo de investigación de la Dra. Calafell, el precio asignado al producto es de 1 €/Kg.

Teniendo como referencia el precio de mercado del cartón pluma, con sus respectivas dimensiones y espesor, se determina el precio de una plancha del nuevo material con características similares, que permita tener una estimación de la ventaja económica que implica poner en marcha la industrialización del proyecto.

**Tabla XXIV**

Tipo	Descripción	Aplicación	Espesor (mm)	Dimensiones (cmxcm)	Precio/u (€)
Cartón Pluma Blanco Kappa - Line	Combinado de espuma de poliuretano entre dos hojas de cartulina blanca. Ligero y rígido al mismo tiempo, se corta fácil y nítidamente, pintarse, decorarse y clavar en él.	Idóneo para maquetas, cajas, marcos, fijación de carteles y soporte de fotografías y obras de arte.	3	50 x 70	2,34
				70 x 100	4,59
			5	A4	0,87
				A3	1,27
				50 x 70	2,85
				70 x 100	6,13
			10	200 x 100	11,86
				70 x 100	8,86
				122 x 244	22,72
				122 x 300	27,85
			140 x 300	29,29	

**Lista de Precio del Cartón Pluma ensayo en este Proyecto**

Cabe indicar que en el mercado existen espesores de 13, 15, 19 y hasta 20 mm, sin embargo, estos no son tan comunes y para comprar con esas especificaciones deben ser realizados bajo pedido.

El cartón pluma que se ha ensayado en esta memoria fue de un espesor nominal de 5 mm. Utilizando el dato del precio del nuevo material, densidad<sup>4</sup> y dimensiones, se obtiene el precio de las planchas de 5 mm de espesor (Anexo G), de la misma manera se ha realizado el cálculo del precio para los espesores más comunes de 3 y 10 mm.

**Tabla XV**

<b>Espesor (mm)</b>	<b>Dimensiones (cmxcm)</b>	<b>Precio/u (€)</b>
3	50 x 70	0,74
	70 x 100	1,47
5	A4	0,22
	A3	0,42
	50 x 70	1,23
	70 x 100	2,45
	200 x 100	7,00
10	70 x 100	4,90
	122 x 244	20,84
	122 x 300	25,62
	140 x 300	29,40

**Costo de las Planchas del Nuevo Material (D)**

Se observa que una plancha del nuevo material D de 300 x 140 x 10 (cm), tendría un precio de 29,40 €, mientras que una plancha de

<sup>4</sup> Dato proporcionado por el grupo de Investigación de la Dra. Calafell.

iguales dimensiones hecha con cartón pluma cuesta 29,29 €, pero hay que tomar en cuenta los beneficios que ofrece en resistencia el nuevo material.

Debido a que el precio está dado en función de la cantidad de material (€/kg) y la densidad del material D es alta (en comparación a CP), a dimensiones superiores 300 x 140 x 1 (cm), el nuevo material tenderá a incrementar su precio a tal punto que terminará siendo más costoso que el cartón pluma.

Es importante considerar que para las dimensiones que se encuentran comúnmente en el mercado, siempre resultará conveniente económicamente hablando, el uso de este nuevo material desarrollado por el proceso biotecnológico.

Los diferentes tipos de cartón pluma que podemos encontrar en el mercado se diferencian (ver en el anexo G) por características como: diferentes colores, caras adhesivas, o incorporación de láminas de aluminio (como el caso del ensayo en este proyecto).

Para suplir estas características el producto final D, podría ser competitivo utilizando materiales complementarios como pegamentos

en aerosoles, papel adhesivo y el uso de tintas para dar la coloración que se desee.

Las láminas de aluminio que se incorpora en el cartón pluma, se hace con el objetivo de aumentar la resistencia mecánica, pero el material D ha demostrado poseer excelentes propiedades por sí solo.

Finalmente **D** se estima siempre más económico aun cuando se necesite de materiales complementarios para proporcionar ciertas características que el cartón pluma posee, debido a que se necesita de menor manipulación en el proceso de producción y esto abarata los costes.

## CONCLUSIONES

- Se ha encontrado un material que por sus propiedades de resistencia mecánica, comportamiento al fuego, resistencia al agua y a la humedad, lo convierte en un material confiable para poder ser utilizado en alguna de las aplicaciones del cartón pluma como son: soportes de publicidad, bases para obras de arte, fabricación de maquetas, soportes de anuncios publicitarios y aplicaciones en proyectos escolares.
- La mezcla de los residuos (25% RC – 75% RIP) ha resultado ser satisfactoria y además necesaria, ya que se han complementado generando resultados muy positivos, la materia prima RC por su longitud y contenido de fibra aporta claramente resistencia mecánica, al agua y a la humedad, mientras que la RIP debido a su alto contenido de material inorgánico aporta a la estabilidad e impide la propagación de la llama en el material.
- El producto final D contribuye a la sostenibilidad ambiental aprovechando residuos industriales no peligrosos, disminuyendo la cantidad de generación de residuos llevados a vertedero y sustituyendo un material no renovable y no reciclable.
- Desde el punto de vista económico, se ha evidenciado la viabilidad del proyecto, lo que genera un importante ahorro para la empresa papelera al disminuir los costos por gestión de desechos, además de conseguir una revalorización.

En general el proceso biotecnológico empleado ha generado entre las fibras presentes en las materias primas RC y RIP un tramado excelente que ha permitido que el producto final cumpla con el objetivo del presente proyecto.

## **RECOMENDACIONES**

Luego de haber analizado los resultados de este proyecto, debe tomarse en consideración para siguientes fases:

- Continuar la línea de investigación para lograr que el nuevo material llegue a tener densidad más baja, además de buscar una tecnología que permita al material ser cortado con facilidad.
- Continuar con otros estudios para el material como: la vida útil del material, biodegradabilidad, el análisis de ciclo de vida (ACV) y la posible aplicación del nuevo material en otras áreas como la construcción y el transporte.
- El proceso biotecnológico empleado no ha surtido efecto en la materia prima RIG, sería conveniente buscar un método más apropiado a este tipo de residuos, de tal manera que también sean aprovechables.

## REFERENCIAS

- [1] “Receta de la Sostenibilidad Papelera”, Memoria de la Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón. Marzo 2008. España. Ed. ASPAPEL, pág 43.
- [2] “Receta de la Sostenibilidad Papelera”, Memoria de la Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón. Marzo 2008. España. Ed. ASPAPEL, pág 16.
- [3] “Receta de la Sostenibilidad Papelera”, Memoria de la Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón. Marzo 2008. España. Ed. ASPAPEL, pág 27.
- [4] <http://www.epa.gov/osw/conserva/tools/cpg/products/#land>
- [5] Noé Aguilar Rivera, (2004), “El Reciclado de Papel y Cartón, Elementos 53”, Revista Elemento Ciencia y Cultura, Vol. 11, pág 54.
- [6] Area, M.C., Villalba, L. (1995), “El papel, un recurso fibroso de interés social”, El Papel, núm. 54, pp. 69-74.
- [7] Grant, Julius. (1996). Manual de la fabricación de pulpa y papel. Compañía Editorial Continental, pág 87.
- [8] Juan Carlos Villar, Esteban Revilla, José Carbajo, Nuria Gómez, Cristina de la Macorra, “Límites del Reciclado del Papel”, Congreso Nacional de Medio Ambiente, pág 1.
- [9] Juan Carlos Villar, Esteban Revilla, José Carbajo, Nuria Gómez, Cristina de la Macorra, “Límites del Reciclado del Papel”, Congreso Nacional de Medio Ambiente, pág 4-6.
- [10] Asociación Nacional de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón. (2000). Receta de la Sostenibilidad Papelera 2008. Ed. ASPAPEL, pág. 44.
- [11] García Hortal, J. A. (1993). “Constituyentes fibrosos de pastas y papeles, morfología y análisis microscópico”. Ed. Publicaciones UPC. Departamento Ingeniería Textil y Papelera Especialidad Papelera y Gráfica, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

- [12] Torrades, F. (1994). Prácticas de química analítica. Curso Ingeniería Industrial Especialidad Papelera y Gráfica.
- [13] Smook, G. A. (1990). Manual para técnicos de pulpa y papel. Tappi Press.
- [14] Diccionario terminológico iberoamericano de Celulosa, Papel, Cartón y sus Derivados. (1992). Asociación de Investigación Técnica de la Industria Papelera Española.
- [15] Comisión Brundtland, Comisión de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible – 1987.
- [16] Departament de Medi Ambient i Habitatge. (Julio del 2009). “La Prevenció de Residus, La Nostra Millor Opció”, Agència de Residus de Catalunya, Generalitat de Catalunya, Primera Edició, pág. 146.

## BIBLIOGRAFÍA

- J.A. Rayas, R. Rodríguez – Vera y A. Martínez. (2003). “*Medición del Módulo de Young en el hule látex usando ESPI*”, Centro de Investigaciones en Óptica, A.C., Revista Mexicana de Física 49 (6), pág 556-557.
- Gabriel Calle Trujillo, “*Ensayo de Impacto: Ensayo Dinámico a Flexión de Probetas Ranuras. Ensayo Charpy*”, UTP-Laboratorio de Resistencia de Materiales-Guía de Laboratorio, pág. 1-7.
- Marcel Blanco (2007). “*Temas Avanzados de Quimiometría*”, Eds. Víctor Cerdà. Colección de materiales didácticos 125, Universidad de las Islas Baleares. Alicia Maroto, Jordi Riu, Ricard Boqué y F., Xavier Rius, Universidad Rovira y Vigirili, Tarragona. Validación de la Trazabilidad y la Incertidumbre. Aspectos Prácticos, pág. 13-22.
- Xavier Elías Castells (2000). “*Reciclaje de Residuos Industriales*”, Ediciones Díaz de Santos S.A., Madrid – España. Generalidades Conceptos y Origen de los Desechos, pág. 1 – 27.