

Estudio Comparativo para la Substitución del Cartón Pluma por un Nuevo Material Reciclado de Residuos Celulósicos por un Método Biotecnológico

Jorge Arturo Saquicela Gracia ⁽¹⁾, Margarita Calafell, Dra. ⁽²⁾
Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales ⁽¹⁾
Departament d'Enginyeria Química ⁽²⁾
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) ⁽¹⁾
Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) ⁽²⁾
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
joarsaqu@espol.edu.ec ⁽¹⁾, margarita.calafell@upc.edu ⁽²⁾

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.

Palabras Claves: *biotecnológicamente, residuos, celulósicos, papel-cartón, Cartón Pluma, fangos, aprovechamiento*

Abstract

The objective of this project is to characterize a new material that has been obtained by treating cellulose waste biotechnologically sludge from paper manufacturing and waste paper manufacturers from the collection of paper and cardboard and printing industry, looking to the new material, replace the Foam Board applications, a material obtained from non-renewable resources with high environmental impact.

The sludge from the manufacture of paper and waste paper in the printing industry and the collection were obtained from established industries in Cataluña and particularly interested in the use of these residues and their appreciation. The sludge produced in the manufacture of paper is especially costly to administer and specifically, the company concerned in this study produces an amount of sludge 100Tm/month.

Keywords: *biotechnologically, waste, cellulose, paper-cardboard, Foam Board, sludge, reuse.*

1. Introducción

La presente tesis de grado ha desarrollado la caracterización de un nuevo material producido por un método biotecnológico¹ usando como materias primas residuos celulósicos procedentes de una empresa papeler catalana y residuos de papel con altas cargas de resinas de resistencia en húmedo y tintas de impresión, procedentes de empresas gráficas 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 papeler 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 papeler dando valor añadido a residuos que de otro modo estarían destinados a vertederos o incineración.

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

¹ Universidad Politécnica de Cataluña (2010), "Process for Recycling Waste Paper Product Obtained there from and its Uses". International application number: PCT/IB2011/052127

mecánica, estabilidad dimensional, baja humectabilidad y tener buenas propiedades para evitar la propagación de incendios.

2. Materia Prima

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.

2.1. Caracterización

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.

2.1.1. Resultados

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.

Tabla 1. Caracterización Materia Prima

Muestra	Longitud de Fibra (mm)	humedad (%)	Cenizas (%)	Zinc [Zn ²⁺]	Magnesio [Mg ²⁺]	Aluminio [Al ³⁺]	Hierro [Fe ²⁺]	Cobre [Cu ²⁺]	Sulfato [SO ₄ ²⁻]
RC	1,16	4,56	10,61	SI	SI	SI	NO	NO	SI
RIG	0,87	2,75	38,55	SI	SI	NO	NO	NO	SI
RIP	0,84	3,60	59,43	NO	NO	NO	NO	NO	NO

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.

3. Productos Obtenidos

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 2 identifica a los productos realizados bajo el proceso biotecnológico con sus composiciones en MP.

Tabla 2. Composición de Productos Finales

Composición en MP de Materiales			
Producidos			
Producto	Residuo (%)		
	R.C	RIP	RIG
A (RC)	100		
B (RIP)		100	
C (RIG)			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

Las proporciones en materias primas elegidas para la elaboración de los productos finales han sido basadas en los conocimientos del autor, la revisión de memorias realizadas previamente en este tema, así como también de recomendaciones de la tutora.

El criterio está basado principalmente en la longitud de las fibras, la cantidad de humedad asociada, el aspecto físico de los residuos (consistencia) y el análisis de la materia prima mostrada en 2.1.1.

3.1. Caracterización (Métodos, Equipos y Resultados)

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. La Figura 1 muestra los materiales producidos.



Figura 1. Materiales Producidos

3.1.1. Ensayo de Flexión

Durante este procedimiento, se determina la fuerza que se aplica sobre una probeta, soportada por una barra horizontal, aplicando una carga en su punto central a una velocidad constante, hasta que ésta se rompa. Este ensayo se ha realizado en el laboratorio de dinamometría del Centro Catalán del Plástico (CCP) de la UPC, basándose en la Norma UNE-EN ISO 178.



Figura 2. Equipo para ensayo de Flexión

Tabla 3. Resultados Flexión

Muestra	Tensión. (MPa)	Módulo (E)	Dispersión (%)
A (RC)	13,56	1215.6	13,97
B (RIP)	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

La tabla anterior muestra los resultados del Ensayo de Flexión considerando las placas con comportamiento homogéneo. Las placas se identifican 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 ha surtido efecto, induciendo un buen tramado entre las fibras que constituyen el material.

Las placas B, E, G, J y Q, a pesar de tener valores superiores, su dispersión es superior a la establecida por la norma, por lo que se consideran como materiales no homogéneos.

3.1.2. Ensayo de Impacto

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



Figura 3. Equipo para 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.

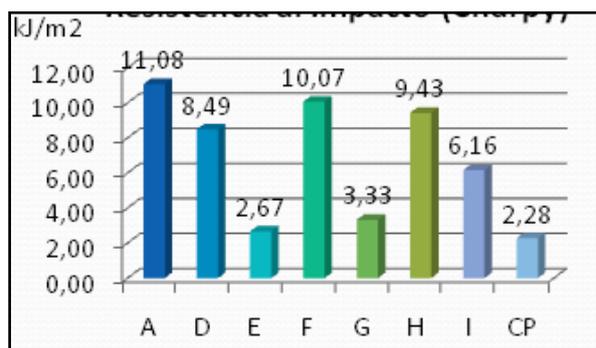


Figura 4. Resultados Ensayo de Impacto

La Figura 4 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 buenos en este ensayo, por tanto continuaremos con estos materiales los siguientes ensayos.

Los productos E y G aparecen en este ensayo mostrando 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.

3.1.3. 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 está basado en la Norma ASTM D635-98. Este parámetro es importante para estudiar si el material contribuirá y de qué manera a la propagación de un incendio. La normativa clasifica a los materiales como no propagador, o propagador; en este caso se determina la velocidad a la que el material ensayado se quema.

Tabla 4. Resultado del Ensayo de la Llama

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) *	Razón Propagación (mm/s) *
A (RC)	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

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.

Para el CP 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.

3.1.4. Permeabilidad: Prueba de la Gota

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 muestra el resultado de permanencia de la gota en horas.

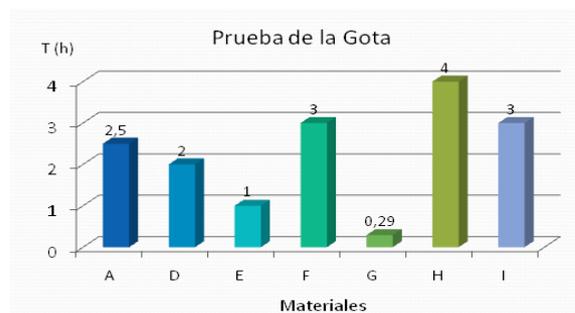


Figura 5. Resultado del Ensayo de Permeabilidad

Los materiales que resultaron tener excelentes propiedades mecánicas en comparación al material a sustituir poseen un tiempo de permanencia superior a las 2 horas. Los materiales B y E presentan un tiempo de 1 hora, considerándose que es una buena respuesta, sin embargo el material B no ha demostrado 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.

3.1.5. 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.



Figura 6. Resultado prueba de absorción

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 identificados como A, H e I, asociados a una mayor proporción de RC que los demás productos y por tanto están compuestos por gran cantidad de fibra larga, que tiene una mayor capacidad de absorber agua. Por otro lado D, con menor absorción, está constituido en un 75% por RIP, materia prima de fibra más corta y mayor contenido de cenizas.

3.1.6. 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.

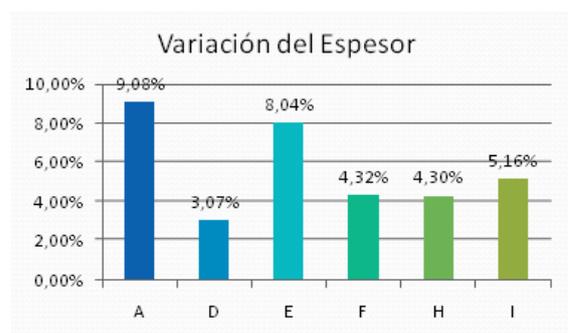


Figura 7. Variación del Espesor

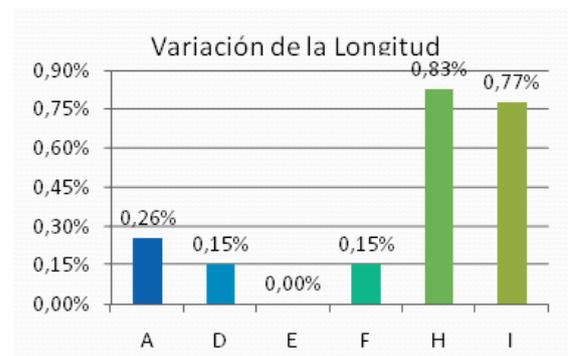


Figura 8. Variación de la Longitud

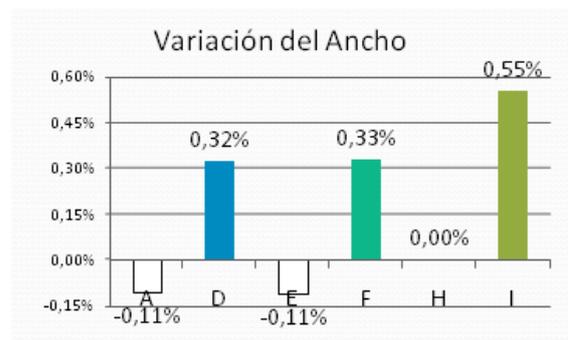


Figura 9. Variación del Ancho

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, han aumentado su espesor respecto a los 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, tienden a deformarse en todos los ejes de referencia de una manera más uniforme. Como 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 proporciona esta estabilidad.

Todas las variaciones están probablemente asociadas a la orientación que tienen las fibras en el interior del material, aunque se estima que las fibras no están orientadas en un solo sentido sino que están entrelazadas unas con otras en direcciones aleatorias.

3.1.7. Variación del Peso en Ambientes Húmedos

De acuerdo con la Tabla 5 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 con el mismo proceso

Tabla 5. Resultado del Ensayo

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

En vista de los resultados 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 mantiene excelentes propiedades de estabilidad dimensional.

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

4. Reproducibilidad de los resultados

De la sección 3, 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 la sección 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.

4.1. Resultados

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 6. Propiedades Finales del Nuevo Material

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

NM: No medido (material que no propaga llama)

Los resultados mantienen dispersiones inferiores a los establecidos por norma, por tanto podemos decir con seguridad que los resultados obtenidos podrían establecerse dentro de una ficha técnica de transformarse este nuevo material en un producto comercial.

5. Análisis Ambiental

5.1. Reducción de Desechos Sólidos

En España se generaron en el año 2008, entre 40 y 46 millones de toneladas de Residuos Industriales No Peligrosos (RINP) [1], 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.

La producción de este material evita a la empresa papelera llevar cerca de 100 Tm/mes de los residuos de su fabricación a vertedero, aprovechándolos y convirtiéndolos en un producto de alto 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” [2], tomando en cuenta el proceso aplicado de acuerdo a la patente.

5.2. Disminución de la Contaminación del 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 [3].

Una consideración que se debe hacer es que, la combustión del nuevo material D (en caso de incendio) genera dióxido de carbono, uno de los principales contribuyentes del efecto invernadero. Sin embargo en el cartón pluma, constituido por espuma de poliuretano, la generación de gases 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 [4]).

5.3. De la Contaminación en Suelo y Agua

En el proceso de obtención de este material se recicla totalmente el agua y los residuos sólidos que se puedan generar. 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.

El resultado del test de lixiviación que se realizó con este producto, resalta la ausencia de materiales tóxicos o dañinos para la salud, y no contamina las 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.

6. Conclusiones

Se ha encontrado un material que por sus propiedades de resistencia mecánica, comportamiento

al fuego, resistencia al agua y a la humedad, lo convierten en un material fiable 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 sus componentes y longitud de fibra aporta claramente resistencia mecánica y resistencia al agua y a la humedad, mientras que la RIP debido a su alto contenido en materiales inorgánicos aporta estabilidad dimensional 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 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 de gestión de residuos, además de conseguir una revalorización.

7. Agradecimientos

A la Dra. Margarita Calafell por su impagable ayuda y paciencia a lo largo de todo el proyecto, a mis Padres, Esposa e Hijo por ser la inspiración para superar las metas en mi vida.

8. Referencias

- [1] 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.
- [2] Comisión Brundtland, Comisión de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible – 1987.
- [3] Alicia Pedrosa Díaz, “Nuevo Material a Partir de Residuos Impresos de Papel”, Proyecto Final de Carrera (PFC), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Septiembre- 2001.
- [4] UTEARS: Materiales Biotecnológicos. IPCT (Instituto Politécnico Campus Terrassa, UPC), 2010.



Margarita Calafell, Dra.
Visto Bueno de Tutora de Tesis
Fecha: 24/10/2011



Jorge Arturo Saquicela Gracia
Tesisista ICQA