



# Estudio de las propiedades del papel reciclado

E. Asurza, I. Grden, A. Correa, Z. Hossan

*E.T.S.I. de Caminos, Canales y puertos, Universidad Politécnica de Madrid, C/ Profesor Aranguren 3, E28040, Madrid, Spain*

## INFORMACIÓN

### *Información del Proyecto:*

Entrega anteproyecto 24 febrero 2023

Entrega Proyecto 18 mayo 2023

Disponible online 1 noviembre 2023

### *Keywords:*

Mechanical properties

Recycling

Economical

## ABSTRACT

La gran mayoría de las cosas que tocamos a lo largo del día son de papel en cualquiera de sus formas: cajas de cereales, dinero, libros, tique de aparcamiento, pañuelos de papel y muchos objetos más.

Esto significa que gastamos cantidades inmensas de papel cada año, lo cual implica un importante impacto en el medio ambiente.

Por lo tanto, en este artículo se estudian formas alternativas de crear un papel reciclado con la idea de mejorar sus propiedades, además de que resulte beneficioso para el medio ambiente. De forma económica se experimentan distintos materiales reciclables para encontrar variables de fácil procesado. Más adelante se dan distintos usos y aplicaciones para cada composición al estudiar sus propiedades mecánicas y de absorción.

© 2023 ESTRUMAT 2.0. All rights reserved.

## 1. Introducción

En este proyecto se hablará de la fabricación de diferentes tipos de papeles reciclados, con diferentes materiales fáciles de conseguir, económicos y reciclables. El objetivo de este trabajo, es poder conseguir mejores propiedades para el papel o sustituciones del mismo, manteniendo un precio económico y reduciendo su impacto en el medio ambiente.

A partir de los materiales que sean utilizados; cada papel podrá utilizarse para diferentes tipos de actividades en nuestra vida diaria. Ya que se le añadirán distintos tipos de materiales a este nuevo papel fabricado y se podrá comprobar si se mejoran las propiedades del "nuevo papel".

Por último, observaremos los datos del papel a partir de procesos mecánicos, después de su fabricación.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Materiales

- Papel usado
- Algodón usado
- Gelatina = 2,40 €
- Harina de trigo = 2,93 €
- Cáscara de plátano = 1,20 €/kg

### 2.2. Equipo utilizado

- Batidora = 70 €
- Rodillo = 1,89 €
- Marco = 9,4 €
- Recipiente para poner agua = 7,55 €
- Tela
- Cubremesas

- Báscula de precisión = 7,99 €
- Mechero = 1 €

### 2.3. Métodos de fabricación

Para realizar los distintos tipos de papeles, utilizamos los siguientes métodos:

- Papel reciclado: Primero, remojamos trozos de papel en agua, para posteriormente triturarlo. En una cubeta con agua, se echa la pulpa obtenida; luego con un marco y una malla, se queda una parte del material en la malla. Cuando se tiene la forma obtenida se pasa una esponja sobre la malla, para poder quitar el exceso de agua del papel. Se coloca sobre un plástico o vidrio de superficie lisa, separándolo de la malla y finalmente esperar hasta su secado.
- Papel de algodón con gelatina: Primeramente, se realizará la gelatina en una olla con un vaso de agua y se dejará hervir, se introduce la gelatina en la olla y se remueve. Posteriormente, en un cuadro de tamaño hoja, colocamos el algodón, entrecruzando láminas de algodón para crear una estructura similar al mimbre. Con una botella de spray se pulveriza la gelatina de manera homogénea sobre la superficie del material y se deja secar.
- Papel de algodón con pegamento: Para el pegamento casero utilizamos dos cucharadas de harina y media taza de agua. En una olla con una taza de agua, introducimos nuestra mezcla de agua y harina; dejamos hervir unos minutos y finalmente tendríamos el pegamento. Posteriormente, en un cuadro de tamaño hoja A4, colocamos el algodón, para crear una estructura similar al mimbre. Con una cuchara se extiende el pegamento por las superficies del material y se deja secar.
- Papel de algodón con pegamento y gelatina: Para realizar el pegamento casero, utilizamos dos cucharadas de harina y media taza de agua. Posteriormente, en una olla con una taza de agua, introducimos nuestra mezcla de agua y harina. Dejamos hervir unos minutos y finalmente tendríamos el pegamento. Para la realización de la gelatina, en una olla con un vaso de agua, se deja hervir. Después se introduce la gelatina en la olla y se remueve.

Posteriormente, en un cuadro de tamaño hoja, colocamos el algodón, entrecruzando láminas de algodón para crear una estructura similar al mimbre. Con una botella de spray se pulveriza la mezcla de gelatina y pegamento sobre la superficie del material y se deja secar.

- **Papel de cáscara de plátano:** Primeramente se procederá a pelar el plátano, quedándonos con la cáscara, la cual se hierve unos 15 minutos. Con un procedimiento parecido al del papel reciclado, se tritura la cáscara del plátano y de trozos de papel hasta conseguir una pulpa de aproximadamente 60% de plátano y 40% de papel. Siguiendo los procedimientos del papel reciclado, se deposita la mezcla sobre la malla al sumergirla en la cubeta con agua y pulpa, esta vez dejando secar el papel en la malla.

#### 2.4. Tipos de ensayo

- **Ensayo de tracción:** para la realización de este ensayo se han utilizado dos cuerdas, dos trozos de madera, una variedad de pesos, dos sargentos y una mochila. Con este ensayo se busca saber cuánta cantidad de peso puede aguantar cada tipo de papel hasta romperse.
- **Ensayo de flexión:** para realizar este ensayo se ha utilizado una mochila y una variedad de pesos; donde se quiere ver su resistencia a flexión.
- **Ensayo de Cobb:** con ayuda de una báscula de precisión, se mide la cantidad de agua que queda en el recipiente. Queriendo comprobar así, la capacidad de absorción del papel durante un tiempo determinado para todos ellos.
- **Ensayo de combustión:** con ayuda de un mechero se prendió fuego buscando cuál era la cantidad de tiempo que tardaba en consumirse cada papel.
- **Ensayo de capilaridad:** se ha utilizado un recipiente con una altura determinada de agua. Lo que se buscaba con este ensayo, es saber cuanto es capaz de subir el agua a través de cada tipo de papel.

Para todos los ensayos, se han realizado tres veces por cada ensayo y por cada papel; teniendo como resultados finales, sus medias.

#### 2.5. Probetas

Para cada uno de los ensayos, se han tenido diferentes medidas para las probetas:

- **Flexión:** Ancho 6,5 cm y 18 cm de largo
- **Absorción:** Cuadrados de 6,5 cm cada lado
- **Capilaridad:** Rectángulos de 6 cm de largo y 2 cm de ancho
- **Combustión:** Rectángulos de 6,5 cm de largo y 2,5 cm de ancho
- **Tracción:** Ancho 2,5 cm y 18 cm de largo



Fig. 1. Probetas utilizadas, para el ensayo de tracción y flexión

### 3. Resultados

#### 3.1. Ensayo de tracción

Este se ha hecho con unas mordazas de madera, siendo la superior inmóvil y colgando el peso por la mordaza inferior. Se ha escogido este ensayo ya que, si bien es el que más información da de las propiedades de un material, también nos permite saber cómo de eficientes o "fuertes" son las matrices amorfas de nuestro papel, especialmente con nuestra estructura de "mimbre" en el papel de algodón.

Si bien cada papel presentaba respuestas variables a la tensión aplicada, la deformación durante el ensayo fue prácticamente nula, rompiendo sin deformación observable a simple vista.

Se observa que la probeta de gelatina tiene mucho mayor resistencia a tracción que las otras probetas; mientras que el que ha tenido menos, ha sido el papel de algodón de pegamento; llegando a haber aproximadamente hasta 0,408 N/mm<sup>2</sup>.

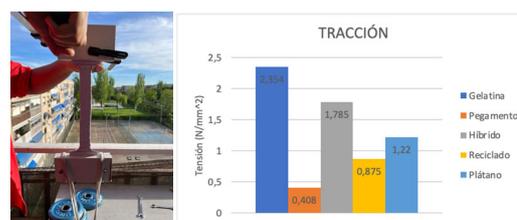


Fig. 2. Probeta en el procedimiento de ensayo de tracción. Gráfico de columnas con los datos de los ensayos de tracción, a partir de las medias realizadas.

Durante el ensayo se pudo apreciar una gran resistencia a tracción por parte del papel de gelatina; esto se debe a que el algodón puede absorber mucho mejor la gelatina en su interior; mientras que el de pegamento, dejaba en su interior un algodón intacto. Todo ello, es debido a que la gelatina caliente es líquida, mientras que el pegamento más denso, resulta más difícil de absorber. Por ello, el híbrido presenta valores más altos que el papel de pegamento.

En el caso del plátano, al cortarlo produce naturalmente una savia que ayuda a cicatrizar el corte. Esta savia ha aportado cierto refuerzo al papel, haciéndolo soportar más tensiones que el papel reciclado.

#### 3.2. Ensayo de flexión

Este ensayo está pensado para papeles con propiedades parecidas al papel de envoltura o cartones, permitiendo ver como nuestro material cede o rompe al ser sometido a fuerzas sobre secciones reducidas. Con dos mordazas colocadas horizontalmente se colocó peso sobre la probeta con una cuerda de la que colgar el peso para, de esta forma, poder reducir la sección de la forma más eficiente.

En este ensayo, el papel de algodón-híbrido, que presenta una mayor resistencia a flexión llegando a romper a los 1,131 N/mm<sup>2</sup>; mientras que el papel reciclado, es el que ha obtenido un menor valor.

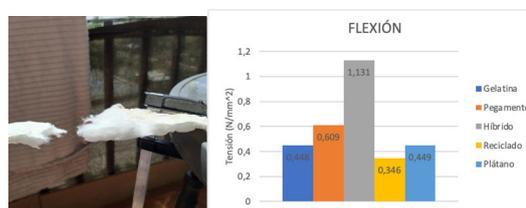


Fig. 3. Probeta en ensayo de flexión. Gráficos de columnas con los datos de los ensayos de flexión, a partir de las medias realizadas.

Como ya ha sido mencionado anteriormente, el pegamento al ser más denso no se absorbe con tanta facilidad, pero para el ensayo de flexión crea una superficie mucho más resistente; en cambio, el de gelatina, al absorberse hasta el centro, aunque mantiene valores igualmente altos durante el ensayo, no impide que la matriz de algodón se deforme. El resultado de estas dos propiedades es un papel híbrido con muy buena respuesta a la deformación por flexión. Esto se debe a que el pegamento proporciona una superficie resistente y la gelatina refuerza el algodón en el interior.

Otra vez se puede apreciar como la savia del plátano ha aportado al papel cierta resistencia al papel sin perder ductilidad. En cambio, el

papel reciclado resiste menos al ensayo de flexión, y por ende, es menos resistente a la deformación.

### 3.3. Ensayo de Cobb

Una de las propiedades características del papel de cocina es la capacidad de absorber y retener el líquido. Este ensayo se realizó sumergiendo cuadrados de 6,5 cm x 6,5 cm de papel bajo el agua durante 15 segundos y dejando escurrir durante 30 segundos el agua de vuelta al recipiente. Con la diferencia de peso en el recipiente de agua podemos aproximar la cantidad de agua que quedó retenida en el papel.

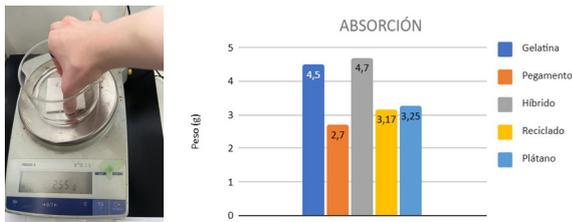


Fig. 4. Realización de ensayo de Cobb (izquierda) y Gráficos de columnas con los datos de los ensayos de flexión, a partir de las medias realizadas.

En la gráfica se ve como el papel de gelatina y el híbrido son los que más absorben de todos los papeles ensayados. Esto es debido a la composición de la gelatina, ya que lleva presente colágeno, que es un polímero hidrofílico, que tiene afinidad por el agua con la capacidad de retenerla, ocasionando mayor absorción. En el caso del híbrido, presenta las mismas propiedades y capacidades que el de gelatina; sin embargo, se puede observar una pequeña diferencia de capacidad de absorción, esto seguramente pueda ser debido a fallos a la hora de tomar los datos o relacionado con el espesor.

En cambio, el papel de pegamento absorbe agua debido más al algodón que por el pegamento.

### 3.4. Ensayo de combustión

En este ensayo se mide la capacidad del papel para quemarse en su totalidad y el tiempo que tarda. De esta forma, comparando como quema el papel y cuánto tiempo tarda se podrían dar distintas aplicaciones, ya sea como posible aislante o como combustible en los casos en los que este haga falta.

Si tarda en apagarse, tiene mayor resistencia a la combustión que un papel que arde rápido.

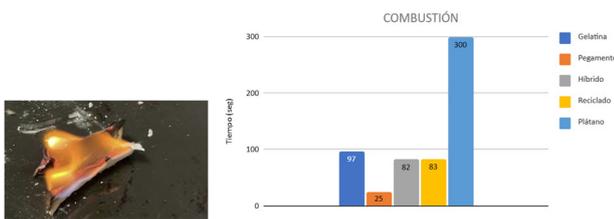


Fig. 5. Probeta en el procedimiento de ensayo de combustión. Gráfico de columnas con los datos de los ensayos de combustión, a partir de las medias realizadas.

En este caso se pudo observar que el papel de plátano fue el que tardó más en quemarse hasta que se consumió por completo, pero, por el contrario, el que menor tiempo resistió al ensayo de combustión fue el papel de pegamento.

Hubo papeles, que carbonizaron, estos fueron, el papel de gelatina, el papel de pegamento y el papel híbrido. Esto es debido a que están hechos de algodón el cuál al quemarse procede a carbonizarse. En cambio, en los papeles de plátano y reciclado cuando empezaron a quemar, se fueron reduciendo a cenizas, este proceso químico, se debe a las moléculas del material.

Además, hubo una diferencia con el tiempo que se tardó en prender. Las de papel reciclado y de plátano no tardaron en encender, pero las

de algodón no encendió a la primera, esto puede ser debido a su recubrimiento ya que en las tres variaciones del papel de algodón, este tiene una superficie protectora por lo que lo protege de cierta manera del fuego. Nuestras probetas no estaban selladas por completo por este recubrimiento ya que en los bordes había apertura en la que se podía ver el interior, esto es debido al corte a la hora de hacer las probetas. Por ello, se cree que a pesar de la capa protectora que tenía, acabó encendiendo cuando el fuego llegó a alcanzar el algodón. Un dato que podría corroborar esta teoría sería el hecho de que, cuando prendieron, la llama en las hojas de algodón no era tan potente en comparación con las de los otros papeles, seguramente debido al bloqueo de la capa, por tanto, empezó a quemar por dentro.

El papel de plátano es el que tardó más en consumirse, debido principalmente a la cáscara del plátano, ya que está presenta una cantidad significativa de agua, lo que ayuda a retardar su combustión; además, la cáscara es rica en celulosa, resistente al fuego; es por ello, este papel tardó más en consumirse por completo.

El papel de algodón con pegamento es el que más rápido se quema debido a su estructura y la composición del pegamento. Debido a la elevada viscosidad del pegamento, este no se pudo absorber de manera correcta en todo el algodón, por lo que permitía en esas zonas, una mayor presencia de oxígeno para mantener la combustión y acelera el proceso; y en cuanto al pegamento, este estaba formado a partir de agua y harina, esta última a elevadas temperaturas, se descompone en otros elementos que pueden llegar a ser inflamables.

Mientras que el papel de algodón con gelatina tardó más en consumirse, ya que la gelatina está compuesta principalmente por colágeno que presenta elementos que le hacen más resistente al calor, como además de la cantidad de agua que tiene; como además de una estructura más compacta, haciendo que haya una menor concentración de oxígeno.

Es por ello, que el papel híbrido, tiene unas propiedades intermedias entre el de gelatina y el de pegamento; siendo similar al papel reciclado, formado principalmente por celulosa.

### 3.5. Ensayo de capilaridad

En este ensayo con la ayuda de un recipiente pequeño de agua, se introdujo una probeta rectangular, de medida 2cm x 6cm. Se introdujo la probeta durante 15 segundos y posteriormente se mide la distancia recorrida por el agua dentro del papel. A partir de esto, podemos comparar qué tipos de papel absorbe cierta cantidad de agua, en un tiempo determinado.

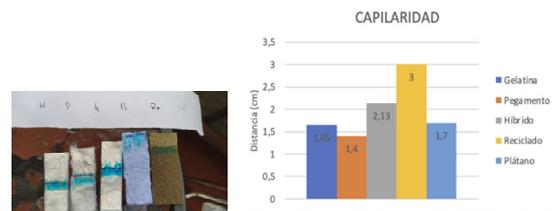


Fig. 6. Probeta en ensayo de capilaridad Fig.11. Gráficos de columnas con los datos de los ensayos en forma de capilaridad, a partir de las medias realizadas.

Al ser el papel un material poroso, se puede aplicar el ensayo de capilaridad. La capilaridad mide la capacidad de un fluido de vencer a la fuerza de la gravedad y ascender por un tubo capilar. Es importante saber que la capilaridad es inversamente proporcional al cuadrado del diámetro del tubo; es decir, cuanto más fino el tubo más subirá el agua. Esto nos permite aproximar la densidad o compacidad de nuestro papel, ya que, al tener más densidad, el material dentro del papel se verá más comprimido, creando una mayor capilaridad.

Como se puede observar en las gráficas, en el papel reciclado es donde ha podido ascender más el agua, ya que tiene una estructura interna mucho más compacta, aunque sea amorfa; a pesar de haber sido depositadas a partir de una disolución, ésta es más densa y porosa que los papeles formados por algodón. En el caso del papel de plátano, al ser una mezcla entre el plátano y el papel, presenta un valor medio

de entre los que han resultado en este ensayo, esto es debido únicamente al papel reciclado el agua sube mucho más; mientras que la cáscara de plátano, al producir la savia que solidifica en el papel, impide el ascenso del agua, y tampoco llega a diluirse al no estar en contacto con el agua el tiempo suficiente, como es en el ensayo de absorción.

El papel de algodón admite en su estructura huecos y poros más grandes, los cuales ayudaron en la absorción. Esto resulta contraproducente respecto a la capilaridad y muestra una matriz más débil internamente, pero no menos fuerte estructuralmente, como ya se demostró en tracción y flexión.

En cuanto al papel de algodón, en el que más subió el agua, es en el híbrido, debido a lo compacto que se encuentra la estructura del algodón con el algodón y el pegamento.

El papel de algodón, con refuerzo de gelatina, presenta una mayor capilaridad que el pegamento; debido a su estructura más compacta que la del pegamento.

El papel de gelatina, al haber sido esta absorbida hasta el interior, creará una estructura interna más compacta respecto a la del pegamento, la cual se mantiene únicamente en la superficie.

#### 4. Conclusiones

Reciclando papel se contribuye directamente a ayudar a recuperar las masas forestales de nuestro planeta. Las ventajas de reciclar papel es que se evita la acumulación de residuos en vertederos o en las incineradoras de los ecoparques. Como dato de referencia, por cada 700 kilos de papel recuperado se libera del vertedero un espacio equivalente al de un automóvil. El papel reciclado se usa hoy en día para cuadernos, catálogos o folletos, debido a sus propiedades y textura superficial similar al papel con el que escribimos habitualmente.

La celulosa que contiene la planta de banano ofrece un mayor potencial para obtener papel de buena calidad sostenible con el medio ambiente. La tonalidad de este papel es algo artesanal, ya que es blanco cálido y con características únicas aleatorias que se muestran en cada hoja de papel. Cerca del 70% de los materiales que se necesitan en la industria del papel se podrían proporcionar a partir de cáscaras de frutas.

En cuanto a los papeles que se han fabricado, se puede observar que: Una ventaja del papel de algodón es la mayor resistencia respecto al papel reciclado o de plátano; sobre todo el papel de gelatina, que tiene una resistencia alta comparado con el papel pegamento, el cual tiene una resistencia media. Un posible uso para el papel de algodón-pegamento se podría utilizar, para manualidades, como papel protector para platos o piezas de cristal o como lienzo. El papel de gelatina, al tener mejores propiedades, se podría usar como carpetas, lienzos o portadas de cuadernos, al requerir mayores propiedades. El papel de algodón- mixto, podría utilizarse para cuadernos, etiquetas e incluso como papel para envolver objetos, estos usos se deben a las propiedades, ya que no es un papel tan resistente como el de gelatina, pero es manejable y se dobla con normalidad. Una curiosidad de este papel es que algunas zonas son algo más lisas, debido a la mezcla que se hizo de pegamento y gelatina, haciéndola perfecta para impresiones.

#### 5. Agradecimientos

Quiero aprovechar la ocasión para agradecer el apoyo de los padres de mis compañeras Grden y Asurza, por habernos dejado la casa, para poder realizar los ensayos. Asimismo, agradecer al Profesor Jose Ygnacio Pastor, por compartir su ayuda y sus conocimientos sobre el trabajo.

#### 6. Bibliografía

- [1] Tracción: (117) ENSAYO DE TRACCIÓN CASERO - PROYECTO DE MATERIALES - YouTube
- [2] Cobb: <https://www.youtube.com/watch?v=dImnHXcW1Zc>
- [3] Papel a partir de excrementos bovinos | Rojas | Ingenia Materiales (upm.es)
- [4] CARACTERIZACIÓN de MATERIAL CELULÓSICO de la EMPRESA SAICA (core.ac.uk)
- [5] <https://youtu.be/9tSrGjTjeg>
- [6] ¿Cuáles son las ventajas de reciclar papel? Todo lo que necesitas saber - Distribución de papel Castilla y León, S.A (dical.es)
- [7] Consumo de frutas en España y cada comunidad, en datos y gráficos (epdata.es)
- [8] Los 7 beneficios de reciclar el papel - Stop Basura
- [9] VENTAJAS DEL RECICLAJE DE PAPEL | Destrucción de documentos Zaragoza (anobium.es)
- [10] ¿Por qué son tan nocivas para el entorno las toallitas húmedas? - BBC News Mundo
- [11] 5 Beneficios de reciclar papel y cartón - Juega tu papel
- [12] Cinco razones por las que ya solo uso estos discos desmaquillantes reutilizables | Escaparate: compras y ofertas | EL PAÍS (elpais.com)