

# Sombreadores forestales biodegradables

E. Montero, A. Somoza·B. Haro, R. Zuera

*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 2019

Entrega Proyecto 15 Mayo 2019

Disponible online 21 Mayo 2019

### Keywords:

Bioplástico

Repoblación forestal

Sombreador

## ABSTRACT

En este artículo se desarrollan los procedimientos necesarios para fabricar un material biodegradable, a partir de bioplástico y papel reciclado, que pueda ser sustituto del plástico que actualmente se utiliza como sombreador en las repoblaciones forestales de terrenos rasos e incendiados. Asimismo, se recogen los ensayos que han servido para determinar las propiedades y viabilidad e idoneidad de este material en la aplicación para la que estaba siendo desarrollado.

© 2019 ESTRUMAT 2.0. All rights reserved

## 1. Introducción

Partiendo de la idea de crear un material biodegradable que sustituyera a los sombreadores de plástico que actualmente se emplean en las repoblaciones, se propuso desarrollar un sombreador a partir de una pantalla de tejidos vegetales y unos tutores de madera. De esta manera se reduciría la contaminación en su fabricación y disminuirían los residuos, al ser biodegradable.

Sin embargo, se ha decidido cambiar el material de la pantalla por una mezcla de papel y bioplástico, con unas proporciones concretas entre componentes, que mantiene las características necesarias y esenciales para esta aplicación (resistir a la humedad, dar sombra, permitir el aporte de nutrientes,) pero que además presenta ventajas con respecto al tejido: mayor disponibilidad, menor precio y menor complejidad en cuanto a la sujeción.

Sobre qué composición es la idónea para esta aplicación y mediante qué ensayos se ha determinado se hablará en los apartados de "Materiales y métodos" y "Resultados". En este último apartado también se comentarán las desventajas que hubiera tenido el empleo de los tejidos vegetales.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Materiales para la pantalla.

Se han conformado cinco muestras a partir de las combinaciones en diferentes proporciones de:

- Agua
- Glicerina bidestilada
- Vinagre de vino blanco
- Harina de maíz
- Papel
- Colofonia natural de pino (*Pinus pinaster*)

En las muestras 4 y 5 no se ha empleado este último elemento. Además, se requiere una báscula y una cazuela.

### 2.2. Métodos empleados en la pantalla

#### 2.2.1. Procesos previos al mezclado.

- Elaboración del bioplástico base:

En las cinco muestras se ha fabricado el bioplástico a partir las proporciones de componentes que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Proporciones de ingredientes del bioplástico.

Agua	Glicerina	Vinagre	Harina de maíz
660 g	66 g	66 g	100 g

Tras la mezcla en frío de los componentes citados anteriormente estos se añaden a una cazuela (Fig. 1) y se remueven, aumentando la temperatura progresivamente, hasta que adquieren la textura adecuada (Fig.2).



Fig.1. Bioplástico base frío. Fig.2. Bioplástico base tras el calentamiento.

A partir de ahora se nombrará la mezcla resultante de este proceso "bioplástico base".

- Preparación del papel:

Se introducen trozos de papel en agua hasta que se reblandecen y son fácilmente disgregables. Se trituran hasta que estos trozos de papel adquieran el tamaño deseado.

Esta masa, más o menos homogénea de papel, se hierve durante 8 minutos (Fig.3).



Fig.3. Papel humedecido y disgregado

Para terminar, se elimina el exceso de agua haciendo pasar la mezcla por un colador.

De aquí en adelante se denominará al producto de este proceso "papel base".

- Preparación de la colofonia:

Se machaca la colofonia en un mortero dentro de una bolsa de tela (para evitar las pérdidas de material) hasta que toda quede reducida a polvo.

2.2.2. Mezclas.

Se añade el papel base al bioplástico base. En las muestras 1,2 y 3 se incorpora colofonia cuando la mezcla anterior queda homogénea (Fig.4).



Fig.4. Proceso de mezclado

Las cantidades de las tres sustancias empleadas se pueden observar en la Tabla 2 y las proporciones entre ellas en la Figura 5.

Tabla 2. Componentes de las mezclas

	Bioplástico base (g)	Papel base (g)	Colofonia (g)
Muestra 1	864	615	34
Muestra 2	895	297	18
Muestra 3	883	360	41
Muestra 4	908	264	0
Muestra 5	868	480	0

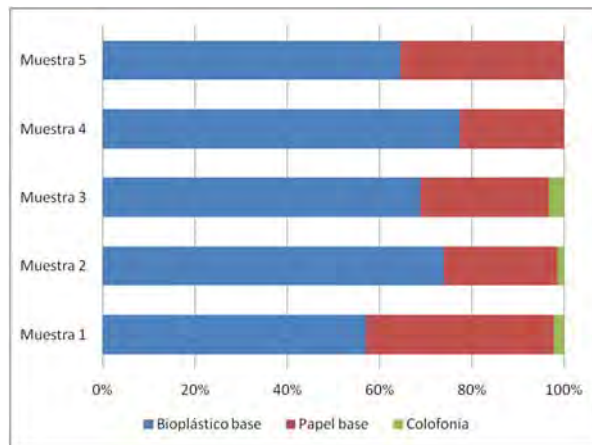


Fig.5. Proporciones de componentes

Las muestras se remueven hasta conseguir una distribución uniforme de sus componentes.

2.2.3. Secado.

Las muestras se secan al aire sobre papel de aluminio.

2.3. Materiales y métodos para los ensayos.

2.3.1. Observación con lupa (Modelo: Optika ST-30-2LR).

Materiales:

Esteriomicroscopio binocular Optika ST-30-2LR y muestras sin ensayar, tras el ensayo de humedad y, en el caso de la muestra 5, tras el ensayo de tracción (ensayos que se explicarán posteriormente) (Fig.6).



Fig.6. Esteriomicroscopio

Métodos:

configurando los aumentos deseados y eligiendo una zona representativa de la muestra se observan y se toman fotografías de estas. En el caso de la muestra 5 la zona representativa es el lugar de ruptura de la probeta en el ensayo a tracción.

2.3.2. Resistencia a la humedad.

Materiales:

Para realizar este ensayo se han empleado:

- Cinco vasos.
- Jeringuilla de 10 ml.
- 50 ml de agua corriente.
- Probeta cuadrada de 2 cm de lado de cada una de las muestras.

Métodos:

Gracias a la ayuda de la jeringuilla se rellena cada vaso con 10 ml de agua. Posteriormente se sumerge una probeta en cada uno de ellos (Fig.7.).



Fig.7. Resistencia a la humedad.

### 2.3.3. Nutrientes.

#### Materiales:

- Pimentón y agua en un cuenco.
- Probetas cuadradas de 4 cm de lado de cada una de las muestras.
- Pinzas.
- Regadera con agua.

#### Métodos:

Con ayuda de las pinzas se sumergen las probetas en una solución de pimentón y agua para comprobar que la rugosidad de las mismas permite la adherencia de suficiente cantidad de nutrientes (Fig.8).



Fig.8. Inmersión de probeta en solución de pimentón.

Posteriormente se someten a un riego de treinta segundos.

### 2.3.4. Combustión.

#### Materiales:

- Probeta cuadrada de 2 cm de lado de cada una de las muestras.
- Pinzas.
- Mechero.

#### Método:

Sujetando la probeta por un vértice con las pinzas se prende el vértice opuesto. Se cronometra el tiempo hasta que termina la combustión.

### 2.3.5. Resistencia a tracción.

#### Materiales:

Probetas para ensayo de tracción con las dimensiones que se muestran en la Figura 9.

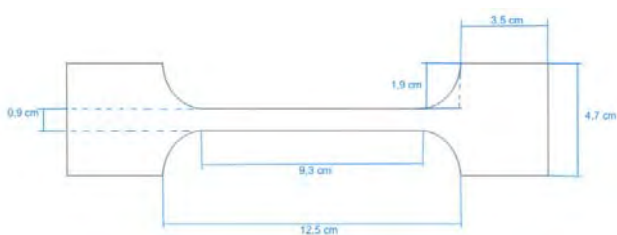


Fig.9. Dimensiones de la probeta.

- Lugar de anclaje paralelo al suelo y a una altura considerable (en este caso se empleó la estructura de sujeción de la puerta de un garaje).
- 2 agarraderas para sujetar la probeta. Hechas a partir de:
  - 4 tableros de madera contrachapada de 5 mm de espesor.
  - 8 tornillos y 8 tuercas dispuestos formando un rectángulo con el objeto de que la presión sobre la probeta sea lo más uniforme posible.
  - 2 aros de metal y un mosquetón (enganchado a uno de los aros)
  - Dos cubos de diferentes tamaños.
  - Jarra.
  - Agua.
  - Báscula.

#### Métodos:

Se realizan 4 marcas en la probeta como se muestra en la Figura 10.

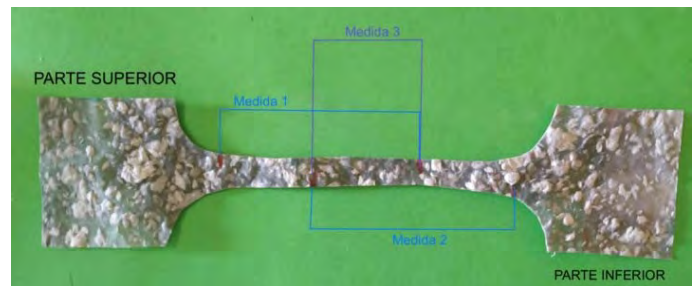


Fig.10. Probeta marcada.

Posteriormente se introducen las cabezas de la probeta (hasta el inicio de los radios de curvatura) en las agarraderas.

Esta estructura se cuelga del lugar de sujeción, dejando la agarradera con el mosquetón en el extremo inferior (Fig.11). A partir de este momento comienza el ensayo.



Fig.11. Inicio del ensayo a tracción.

El objetivo de este ensayo es obtener información sobre cómo se incrementa la deformación del material al aumentar la carga aplicada en él, es decir, conseguir un gráfico de tensión-deformación.

Para saber cuál es la tensión aplicada en cada momento del ensayo se necesita conocer la fuerza y el área sobre la que se está aplicando esta fuerza. Como el espesor de la probeta es tan fino que es imposible medirlo con los medios de los que se dispone, no es posible calcular el área y por tanto tampoco la tensión. Pero si se parte de la hipótesis de que el área en que se aplica la fuerza es constante durante todo el ensayo, se puede afirmar que la tendencia en la gráfica será la misma si es tensión-deformación o fuerza-deformación (Ecuación 1).

$$\sigma = F/A \quad (1)$$

Por tanto, se realizará la gráfica en relación a la fuerza, que se calculará a partir de la segunda ecuación de Newton (Ecuación 2):

$$\sigma = m * a \tag{2}$$

Donde "m" es la masa que está colgando de la probeta y "a", tomada como 9.81, es la aceleración.

La masa del cubo (primero pequeño y después grande) y de la agarradera inferior se mantienen constantes y, al añadir agua, la masa total se va incrementando. Cuando el sumatorio de las masas del cubo pequeño y del agua en su interior alcanzan la del grande, se sustituyen por este.

A medida que se incrementa la masa que está colgando de la probeta, es decir, la fuerza, esta se alarga. Para cuantificar este alargamiento se miden las distancias entre las marcas que se habían realizado en la probeta. Teniendo estas tres distancias se puede calcular la longitud en ese momento de la probeta (Tabla 3) como se muestra en la Ecuación 3:

$$medida\ 1 + medida\ 2 - medida\ 3 = L_f \tag{3}$$

Medida 1 (cm)	Medida 2 (cm)	Medida 3 (cm)	Longitud final (cm)
6,50	6,50	3,65	9,35
6,80	6,75	3,70	9,85
6,80	6,80	3,70	9,90
6,80	6,80	3,70	9,90
6,90	6,80	3,70	10,00
6,90	6,90	3,75	10,05
6,90	6,90	3,75	10,05
6,95	6,95	3,75	10,15
6,95	7,00	3,75	10,20
6,95	7,00	3,75	10,20
6,95	7,10	3,75	10,30
6,95	7,10	3,75	10,30
7,10	7,10	3,90	10,30
7,10	7,10	3,90	10,30
7,10	7,10	3,90	10,30
7,10	7,10	3,90	10,30
7,10	7,10	3,90	10,30

Tabla 3. Cálculo de la longitud final (tras cada incremento de masa) para la Probeta 1.

Relacionando los resultados obtenidos a partir de esta ecuación (L<sub>f</sub>) tras todos los incrementos de masa con la longitud inicial de la probeta (L<sub>0</sub>) se puede calcular la deformación (Ecuación 3).

$$\epsilon = (L_f - L_0)/L_0 \tag{4}$$

Longitud inicial (cm)	Longitud final (cm)	Deformación (mm/mm)
9,35	9,35	0,00000000
9,35	9,85	0,053475936
9,35	9,90	0,058823529
9,35	9,90	0,058823529
9,35	10,00	0,069518717
9,35	10,05	0,074866310
9,35	10,05	0,074866310
9,35	10,15	0,085561497
9,35	10,20	0,090909091
9,35	10,20	0,090909091
9,35	10,30	0,101604278
9,35	10,30	0,101604278
9,35	10,30	0,101604278
9,35	10,30	0,101604278
9,35	10,30	0,101604278
9,35	10,30	0,101604278

Tabla 4. Cálculo de la deformación en la Probeta 1.

### 3. Resultados.

Aunque en el anteproyecto se planteó la posibilidad de utilizar tejidos como elemento base para la pantalla del sombreador, este material ha sido descartado y reemplazado por los que se han propuesto en el apartado "Materiales y métodos" por varios motivos:

- Menor disponibilidad de tejidos reciclados 100% naturales respecto al papel.
- Requieren una sujeción más compleja a los tutores en campo. Habría que graparlos o coserlos a estos mientras que el material que se propone, debido a su mayor consistencia, solo requeriría dos orificios por tutor para el mismo fin. Las operaciones de grapado o cosido aumentarían los costes de producción.
- El precio de la materia prima es mayor.

#### 3.1. Resultados de ensayos.

##### 3.1.1. Observación con lupa.

Aunque a simple vista parezca que las muestras están compuestas por dos fases inmiscibles (el bioplástico base y el papel base) si se observan a más aumentos se puede afirmar que, aunque es cierto que en determinadas zonas se acumulan grumos de papel, en la mayor parte de la superficie en la que parece predominar el bioplástico base, hay fibras delgadas que actúan como la fase de refuerzo de este material compuesto (Fig.12. y Fig.13.).



Fig.12.(izquierda) Estructura microscópica del material y Fig.13.(derecha) Estructura microscópica tras el ensayo a tracción.

Esto sólo ocurre cuando, en el proceso de fabricación, se calientan las muestras progresivamente porque, de otro modo, se forman grumos de bioplástico base que impiden que las fibras se entremezclen. Esto ha ocurrido en las muestras 1 y 4.

Cabe destacar que en las muestras con colofonia (1,2 y 3) esta no se mezcla si no que se queda formado pequeñas esferas que se posan sobre las fibras de papel (Fig.14.) lo que hace que el material sea más rígido. La rigidez aumenta cuando aumenta la cantidad de colofonia.



Fig.14. Esferas de colofonia sobre las fibras del papel.

##### 3.1.2. Humedad.

Aunque las cinco muestras han permanecido durante siete días sumergidas en agua, ninguna de ellas se ha disuelto o ha perdido su

consistencia inicial, por lo que se deduce que todas pueden soportar durante un tiempo cierto grado de humedad sin descomponerse.

3.1.3. *Nutrientes.*

Todas las muestras, gracias a su estructura rugosa, han fijado suficiente cantidad de solución de pimentón en su superficie, de lo que se infiere que podrían admitir cualquier fertilizante NPK disuelto en agua que se les aplicase.

La elección del fertilizante dependerá de las necesidades concretas de la planta y de la composición química del suelo en el que se coloque.

El riego al que se les ha sometido no ha lavado por completo el pimentón adherido (Fig.15).



Fig.15. Solución retenida por la rugosidad superficial.

La rugosidad, por tanto, supone una ventaja porque retiene el fertilizante y lo va liberando poco a poco con las sucesivas lluvias.

3.1.4. *Combustión.*

A continuación, se muestra en la figura 16 los efectos del fuego directo en las cinco muestras.

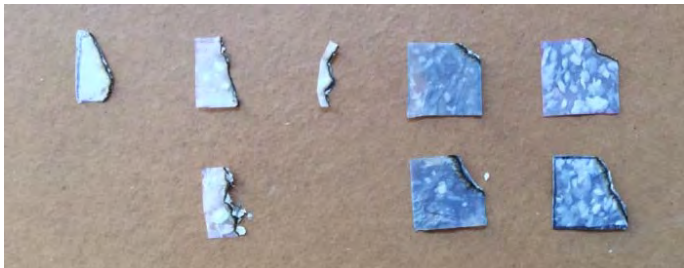


Fig.16. Efectos del fuego directo de las muestras 1-5 (de izq. a dcha.).

Durante este ensayo se ha podido observar que las muestras que contienen colofonia presentan ciertas características que podrían considerarse una desventaja respecto a las demás en caso de incendio:

- Se prenden en menor tiempo y arde rápido hasta consumirse en unos casos al completo y en otros en su mayor parte.
- La longitud de llama es mayor y chisporrotea, lo que podría contribuir a la propagación del incendio.
- Desprende un humo negro que produce picor en los ojos.

Estos procesos aumentan de forma directamente proporcional al porcentaje de colofonia en la muestra.

Por lo descrito en este apartado y porque tampoco supone una ventaja en la resistencia a la humedad, ni en las características microscópicas en relación con el resto de las muestras se ha decidido prescindir de las muestras 1,2 y 3 (con colofonia) para el siguiente ensayo.

3.1.5. *Resistencia a tracción.*

Habiendo descartado las muestras 1, 2 y 3 podrían ser candidatas a realizar este ensayo las muestras 4 y 5. Aunque inicialmente que las muestras presentaran grumos de bioplástico no se ha considerado como problema para realizar los ensayos, puesto que también

presentan grumos de papel, se ha decidido eliminar la muestra 4 de este ensayo por:

Entender que al ser más heterogénea daría peores resultados al no distribuir uniformemente la carga.

Ser una muestra más cara al llevar mayor proporción de bioplástico base (Gráfico 1 del apartado de materiales y métodos).

El resultado del ensayo de tracción se ha realizado, por tanto, exclusivamente en la muestra 5, en tres probetas distintas.

Gracias a las Ecuaciones 2 y 4 se han obtenido las tablas 5, 6 y 7 en las que están basados los figuras 17, 18 y 19, respectivamente.

Deformación (mm/mm)	Fuerza (N)
0,00000000	0,00000
0,053475936	4,44393
0,058823529	6,03315
0,058823529	7,34769
0,069518717	8,88786
0,074866310	11,56599
0,074866310	13,92039
0,085561497	16,51023
0,090909091	18,60957
0,090909091	21,38580
0,101604278	24,20127
0,101604278	27,21294
0,101604278	30,53853
0,101604278	33,28533
0,101604278	35,47296
0,101604278	38,48463
0,101604278	42,47730

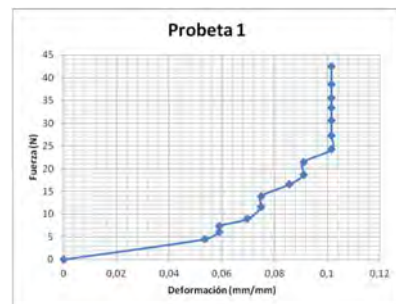


Tabla 5. y Fig. 17. Ensayo de tracción de la Probeta 1.

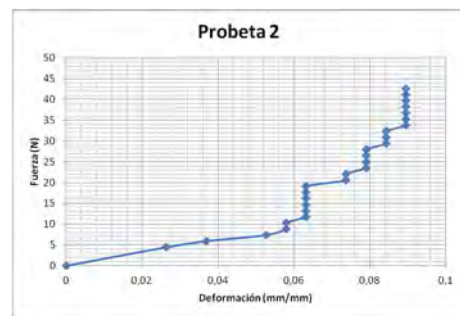


Fig.18. Gráfico del ensayo de tracción de la Probeta 2.

Deformación (mm/mm)	Fuerza (N)
0,00000000	0,00000
0,026315789	4,44393
0,036842105	5,91543
0,052631579	7,38693
0,057894737	8,85843
0,057894737	10,32993
0,063157895	11,80143
0,063157895	13,27293
0,063157895	14,74443
0,063157895	16,21593
0,063157895	17,68743
0,063157895	19,15893
0,073684211	20,63043
0,073684211	22,10193
0,078947368	23,57343
0,078947368	25,04493
0,078947368	26,51643
0,078947368	27,98793
0,084210526	29,45943
0,084210526	30,93093
0,084210526	32,40243
0,089473684	33,87393
0,089473684	35,34543
0,089473684	36,81693
0,089473684	38,28843
0,089473684	39,75993
0,089473684	41,23143
0,089473684	42,70293
0,089473684	44,17443

Tabla 6. Ensayo de tracción de la Probeta 2.

De aquí se deduce que la rotura de las probetas se produce con una fuerza media de 41.96 N y una deformación de 0.08567 mm/mm y que cuanto mayor sea la velocidad de deformación (mayor sea el incremento de fuerza entre una medida y la siguiente) menor es la resistencia a rotura de la probeta.

Deformación (mm/mm)	Fuerza (N)
0,00000000	0,00000
0,005494505	0,81423
0,010989011	1,35378
0,016483516	1,59903
0,016483516	1,84428
0,019230769	2,08953
0,019230769	2,33478
0,019230769	2,58003
0,019230769	2,82528
0,019230769	3,07053
0,019230769	3,31578
0,019230769	3,56103
0,019230769	3,80628
0,019230769	4,05153
0,019230769	4,29678
0,019230769	4,44393
0,019230769	9,81000
0,032967033	14,71500
0,032967033	19,62000
0,032967033	24,52500
0,049450549	29,43000
0,049450549	34,33500
0,065934066	39,24000

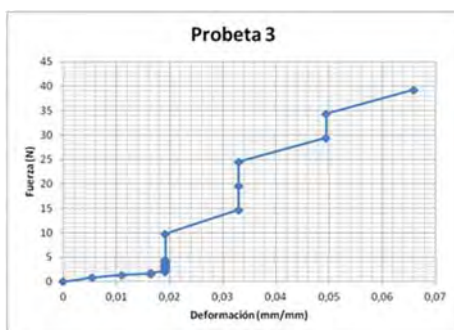


Tabla 7. y Fig.19. Ensayo de tracción de la Probeta 3.

Teniendo en cuenta la resistencia obtenida, se desarrolla la hipótesis de que este material soportará la fuerza media del viento en los lugares en los que se utilice.

Se observa que las gráficas presentan la forma del final de la curva de un polímero. No presentan la forma del resto de la misma porque:

- Los componentes base (papel y bioplástico) son polímeros, pero la muestra 5 es un material compuesto.
- La velocidad a la que se ha realizado el ensayo es muy rápida puesto que no se aplica la carga poco a poco y progresivamente si no que se aplica en muy poco tiempo. Por ello las cadenas de los polímeros no tienen tiempo suficiente para alinearse y por tanto tampoco se produce una zona de estricción en la parte central de la probeta.

Por otro lado, las gráficas tienen forma de escalera. La explicación de este fenómeno se basa en que la resolución del aparato de medida con el que se han obtenidos las medidas 1,2 y 3 y por consiguiente la deformación, es de 0,5 mm por tanto no se registran variaciones menores a esta.

#### 4. Conclusiones

Tras haberse fabricado cinco materiales distintos y tras haberlos sometido a diferentes ensayos para ir conociendo su idoneidad para la finalidad que se perseguía, se ha concluido que el material número 5 es el mejor para la aplicación que se le quiere dar. El resto han sido descartados por presentar alguna desventaja frente a él.

Por tanto, se propone el uso de este material como pantalla de unas dimensiones aproximadas de 20 x 40 cm que se colocará a una distancia de unos 15 cm de la planta, en dirección suroeste para que la sombra del mismo la proteja del calor, en repoblaciones de terrenos rasos o incendiados.

La pantalla se sujetará al terreno mediante el empleo de dos tutores de bambú de 60 cm de longitud que se introducirán al menos 30 cm en el terreno para asegurar la estabilidad de la pantalla (Fig.20).



Fig.20. Prototipo de sombreador de pequeñas dimensiones.

En cada uno de los laterales de la pantalla se realizarán dos orificios por los cuales se entrelazará el bambú.

El material elegido serviría también para proteger a la planta del ataque de pequeños mamíferos si se dispusiera en torno a ella con forma cilíndrica.

#### 5. Bibliografía

- [1] <https://www.youtube.com/watch?v=YTEEZce1Fho&t=47s>
- [2] [http://www.pirinoble.eu/docs/es/Eje%20B/Pirinoble\\_Guia\\_Protectores\\_Malla\\_Van-Lerberghe\\_2014\\_3-Eleccion\\_protector.pdf](http://www.pirinoble.eu/docs/es/Eje%20B/Pirinoble_Guia_Protectores_Malla_Van-Lerberghe_2014_3-Eleccion_protector.pdf)