



# Alea: de metales a materiales estructurales no cristalinos

A. Burghardt, K. López, S. Molina, M. Toalombo

*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 2022

Entrega Proyecto 18 mayo 2022

Disponible online 5 Julio 2022

### Keywords:

Material compuesto

Sostenibilidad

Accesibilidad

## ABSTRACT

Con motivo de reducir la masiva contaminación de la industria de construcción, el siguiente trabajo presenta la producción de materiales alternativos e innovadores que sirven de sustitutos a los honeycomb de aluminio para distintos refuerzos estructurales. Logramos con esto transformar la industria en un sector más sostenible, a partir de materiales que son obtenidos y fabricados con facilidad para ser viables incluso en partes del mundo donde los recursos son escasos. Hemos determinado mediante diferentes ensayos que sus propiedades mecánicas les permiten ser adecuados para introducirse en la construcción.

© 2022 ESTRUMAT 2.0. All rights reserved.

## 1. Introducción

Actualmente, podemos considerar la industria de la construcción como uno de los sectores más contaminantes debido a los cambios continuos de tendencias, su excesivo desarrollo y gran cantidad de avances tecnológicos que se producen a través del tiempo. Globalmente, se consume un 40% de la energía en fabricar los materiales que se necesitan para construir una vivienda, el 50% de los residuos derivados de la construcción y demolición superan la tonelada anual por habitante, y más importante aún, la producción de aluminio es uno de los principales factores que contribuye a la emisión de gases que resultan muy contaminantes para el medio ambiente. Como alternativa a esto, queremos proponer una gama de materiales compuestos llamada ALEA que estarán fabricados de forma rápida, reciclable y sostenible, utilizando uno de los métodos más innovadores de hoy en día, el honeycomb, en español, panal de abeja.

Hemos diseñado cuatro materiales no cristalinos en base a las distintas propiedades que se necesitan para ser considerados como sustitutos de los honeycomb de aluminio, utilizando de relleno componentes accesibles y asequibles como la gelatina sin sabor, cola blanca, líquido de lentillas, talco, fibras de kevlar, tela, arena, hojas exfoliadas, sosa cáustica, entre otros, y para las láminas principalmente maicena.

El honeycomb es una estructura que se le otorga a los materiales, ya que reduce drásticamente su peso en la misma proporción de volumen, introduce una gran estabilidad y rigidez, pero más aún reducen la cantidad de material que debemos utilizar, y por tanto su costo. Luego, de este punto planteamos la hipótesis sobre la creación de materiales que puedan compensar las propiedades mecánicas del aluminio para refuerzos estructurales.

Con la creación de estas alternativas estaríamos suponiendo un cambio radical en el mercado de construcción, ya que las posibilidades de sustituir o reducir la cantidad de materiales contaminantes serían infinitas a nivel mundial, empezando por el aluminio.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Materiales

Como mencionamos en el apartado anterior, queremos elaborar un material que sirva de sustituto al honeycomb de aluminio, pero menos contaminante y que tenga unas propiedades semejantes. Para ello, decidimos crear una serie de 4 materiales diferentes que sirven de relleno:

#### 2.1.1. SLERENA

Este material está basado en la reacción que ocurre al mezclar el PVA con el bórax, generando un material idóneo. El acetato de polivinilo, también conocido como PVA, presente en las colas escolares blancas o transparentes está formado por moléculas largas y delgadas que son como cuentas ensartadas en un patrón repetido en una cuerda larga. El bórax o tetraborato de sodio es un ingrediente común en el líquido de lentillas, detergente para ropa y almidón líquido, además es muy bueno para conectar partes de polímeros de PVA entre sí.

Luego, al crear una disolución de cola blanca, bicarbonato y líquido de lentillas se genera una reacción química en donde la parte del borato se conecta con diferentes secciones del PVA y vamos mezclando y doblando la pasta creada entre sí para conseguir más conexiones, y finalmente, para que el material consiga una cierta flexibilidad y pueda ser moldeado con facilidad, se le añade agua. Es el elemento primordial, ya que permite que los polímeros débilmente conectados se deslicen y la interacción de las moléculas de agua con las moléculas de polímero de PVA y los iones de borato son los que hacen que este material sea posible.

Para este material también hemos seguido la receta clásica del slime pero con alguna variación. Hemos vertido la cola blanca en un recipiente al que le hemos añadido bicarbonato y polvos de talco, posteriormente le hemos añadido una carga inerte (arena) para que endurezca aún más el material y aguante mejor las condiciones a las que le sometemos, hasta conseguir una pasta homogénea, para luego añadir el líquido de lentillas hasta que no se quede pegado al recipiente. Finalmente, se ha conseguido una masa viscosa que

dejamos secar al sol dos días para conseguir que pase de un masa que adapta la forma del recipiente que la contiene a una con una forma completamente sólida.



Fig 1. Slerena antes de ser mezclado (izquierda) y masa Slerena (derecha)

### 2.1.2. KETEX

El Ketex tiene la misma matriz que el material anterior, pero para crear este material compuesto se le han añadido fibras de kevlar y tela como refuerzo, para darle más resistencia a la matriz. El poliparafenileno tereftalamida, más conocido como Kevlar, es una fibra de gran ligereza y excepcional resistencia a tracción. Además, tiene una gran resistencia para ser una fibra polimérica. Pero el kevlar es un material relativamente caro y no disponíamos de mucho. Por eso se decidió añadir trozos de tela de una camiseta vieja, pues pensábamos que sería una forma de aumentar la resistencia a tracción de la matriz, era más barato y se le podía dar una segunda vida a una camiseta vieja. Finalmente, se le añadieron polvos de talco para endurecer más rápido el material.

Para la fabricación de Ketex se ha utilizado cola blanca, líquido de lentillas, polvos de talco, bicarbonato, fibras de kevlar y tela de una camiseta de algodón y elastano.

Para prepararlo, en primer lugar, se ha mezclado la cola blanca con líquido de lentillas y bicarbonato como si se fuese a hacer "slime". A continuación, se han añadido los polvos de talco. Antes de meter las fibras de kevlar, estas han sido cortadas y separadas todo lo posible para que luego queden dispersas en la mezcla. La tela también ha sido cortada en trozos pequeños. Finalmente se han mezclado todos los ingredientes hasta dejar el material lo más homogéneo posible. Y para terminar se ha dejado secar durante unos tres días, que es cuando alcanza su dureza definitiva.



Fig 2. Ketex antes de ser mezclado (izquierda) y masa de Ketex (derecha)

### 2.1.3. GELA

Gela es una versión de un material que nos proporciona menor rigidez, pero mucha deformación y elasticidad. Nos hemos basado en las propiedades químicas gelificantes de la gelatina neutra, la cual es un polímero derivado de la proteína colágena y que al mezclarla con agua se produce la separación de las cadenas que conforman la triple hélice de la molécula debido al rompimiento de los puentes de hidrógeno. En primer lugar, se realizaron pruebas con distintas composiciones para saber que propiedades podíamos observar y predecir en nuestro material una vez se dejara enfriar, tal como podemos observar en la figura 3.



Fig 3. Prueba de composiciones

Finalmente, decidimos realizar una mezcla de 3 sobres de gelatina por cada media taza de agua, luego le añadimos dos cucharadas de maicena para espesar la mezcla, dos cucharadas de glicerina y cuatro de cola blanca para mantener la densidad, todo en el mismo instante mientras la mezcla seguía caliente en la olla. Posteriormente se dejó enfriar por 2 días y obtuvimos nuestro material amorfo.

Básicamente, utilizamos una mezcla con una de las proteínas más resistentes y duraderas que es el colágeno. Esto lo podemos comprobar, puesto que es la que encontramos en mayor proporción en nuestra piel, uno de los órganos más resistentes del ser humano, el cual, junto a los péptidos, las moléculas de agua, el PVA de la cola blanca y las moléculas de almidón de la maicena, las cadenas poliméricas quedan mucho más compactas en el material y al enfriar resulta un material con una modesta dureza.

### 2.1.4. PERSEFONE

Como futuros ingenieros y ciudadanos responsables con el medio ambiente una de nuestras prioridades es mantener la materia prima en los menores índices de contaminación posible. Una forma de hacer esto es aprovechar aquellos materiales que se suelen desperdiciar, como es el caso de las hojas que proceden de la exfoliación de los árboles al llegar el otoño. Cuando llega el otoño estas irrumpen en las calles urbanas. Por las que las apartan en un vertedero donde se desperdicia o se procede a quemarlas, esto último por supuesto provoca una emisión de CO2 injustificada, ya que las hojas exfoliadas contienen celulosa

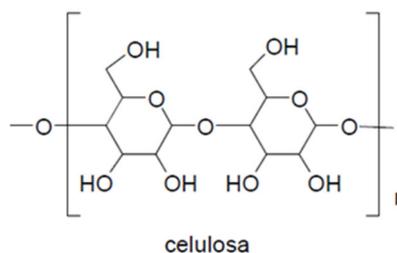


Fig 4. Estructura química de la celulosa

La celulosa es nuestro polímero estrella, en la naturaleza está unido por la lignina y puentes de hidrógeno entre sí. Pero queremos lograr obtener una red de fibras individuales. Logrando de este modo una estructura planar y semi ordenada el cual podremos moldear. Dicha estructura se logrará basándonos en el PROCESO DE FABRICACIÓN KRAFT, al menos en el inicio.

En primer lugar, se trituran las hojas hasta lograr que los trozos tengan una longitud de 0,7 cm aproximadamente. Luego se procede a calentar las hojas a 80°C, en un envase lleno con agua, hasta que se cubran las hojas. Con esto se busca acortar las cadenas de celulosa, las cuales serían demasiado largas de otro modo, se recomienda licuar también el líquido, durante un min estará bien.



Fig 5. Hojas en el recipiente caliente

Para agilizar dicho proceso, se añade hidróxido de sodio (sosa cáustica 159 g por cada kilogramo de hojas). La sosa produce una ruptura de cadenas de celulosa dando una celulosa de menor peso molecular. Después de añadir la sosa se espera a que el agua hierva durante 10 min. Esto nos devuelve un líquido café, muy poco espeso. Además de muy corrosivo debido a la acidez de la hidrólisis del Hidróxido de Sodio. Se debe cernir este líquido, eliminando así la sosa cáustica tan concentrada. El material resultante es una pasta café, la cual ya se puede utilizar para hacer hojas de papel u otro tipo de figuras al secar.



Fig. 6. Masa marrón café de hojas exfoliadas con sosa cáustica

Para hacer láminas de celulosa (hojas de papel) es necesario mezclar la pasta café de nuevo en agua abundante. Se recomienda 4 litros por cada 100 g de pasta. Este líquido se recogerá con cuadros de cernir, dándonos así una figura cuadrangular de una lámina fina del material. Dicha lámina se recogerá y se posarán en telas donde se secarán. Se obtiene un aprovechamiento del 50%-60% del material primario. Por otra parte, el material se puede blanquear también. Para el proceso de blanqueamiento se necesitará lejía (hipoclorito), peróxido de hidrógeno (con algún mineral para controlar su inestabilidad) o algún oxidante que reaccione con la lignina. En este caso, se ha utilizado 75 ml de lejía por cada 500 g de pasta café. Se deben revolver los dos componentes por aproximadamente 4 minutos a una velocidad de 70 RPM hasta notar que el material toma un tono marrón blanquecino. Con esta pasta se trabaja del mismo modo que con la primera, quedando del mismo modo las láminas de fibras. Este segundo material es muy similar al anterior, sin embargo, presenta más consistencia y parece ser que la fibra se comprimió haciendo que el material fuera más resistente. Esta segunda variante será la que ensayaremos.



Fig. 7. Masa de celulosa una vez blanqueada (izquierda) y láminas de celulosa (derecha)

Y para concluir este apartado, tenemos la conformación de las láminas de cada panal de abejas, hemos utilizado nuevamente cola blanca, maicena, vinagre, aceite. Nos basamos en que en el proceso de mezclado de estos materiales, las partículas de la harina de maíz se compactan en el momento que aplicamos energía al mezclar, de tal forma que atrapan moléculas de agua y PVA, endureciendo posteriormente una vez se deja enfriar y creamos un material extremadamente duro, resistente y con moderada fragilidad.



Fig. 8. Prueba de láminas del honeycomb

Precios aproximados de cada material

SLERENA ≈ 3,85 €/500g

- Cola blanca: 2,35 €/100g
- Líquido de lentillas: 1,30 €/100ml
- Bicarbonato: 0,20 €/100g
- Arena recogida del parque: gratis



Fig. 9. Materiales de Slerena

KETEX ≈ 21 €/500g

- Cola blanca: 2,35 €/100g
- Líquido de lentillas: 1,30 €/100ml
- Bicarbonato: 0,20 €/100g
- Polvos de talco: 0,77 €/100g
- Tela de camiseta reciclada: gratis (Precio de la camiseta ≈ 10 €)
- Kevlar: 69,99 €/m



Fig. 10. Materiales de Ketex

GELA ≈ 29,20 €/500g

- Gelatina sin sabor: 9,20 €/100g
- Cola blanca: 2,35 €/100g
- Maicena: 0,48 €/100g
- Glicerina: 1,40 €/100ml
- PERSEPHONE ≈ 0,45€/500g
- Hojas exfoliadas: provienen del reciclaje (gratis)
- Sosa cáustica: 2,00/Kg
- Lejía: 0,11 €/100ml
- Combustible para calentar agua: 0,68/ Kg
- LÁMINAS DEL HONEYCOMB ≈ 5,1€/500g
- Aceite de oliva: 0,589€/100ml
- Vinagre: 0,15 €/100ml
- Cola blanca: 2,35€/100g
- Maicena: 0,48 €/100g

## 2.2. Métodos de ensayo

### 2.2.1. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción es uno de los ensayos normalizados más comunes para determinar las propiedades mecánicas de un material. Para realizar este ensayo se somete una probeta, cilíndrica o plana, a una tensión uniaxial de tracción hasta rotura, anotando en cada momento la carga aplicada y el alargamiento de la probeta. Con este ensayo se puede determinar el límite elástico, el módulo de Young, la ductilidad, etc. Hemos realizado una versión casera en donde se ha usado un banco de trabajo. Luego, un extremo de la probeta se ha sujetado a la mesa y del otro extremo con la ayuda de un alambre

plastificado se ha atado una bolsa grande. A esa bolsa se le ha ido añadiendo arroz hasta la rotura de la probeta.



Fig. 11. Ensayo de tracción casero

Para calcular el posible alargamiento se hicieron 4 líneas, el espacio pequeño entre líneas se intentó hacer de 5mm, aunque luego al medirlo con el calibre salieron valores cercanos a los 5 mm.

Tabla 1. Longitudes de las probetas de tracción previas al ensayo

	Espesor inicial (mm) ± 0,01mm	Ancho (mm) ±0,01mm	Sección inicial (mm²)	Longitud calibrada (mm) ± 0,01mm
<b>K: Probeta 1</b>	10	18	180	35
<b>P: Probeta 2</b>	2	16	32	36
<b>S: Probeta 3</b>	5	15	45	35
<b>G: Probeta 4</b>	9	13	117	36

Como se puede ver en la figura 1 las probetas no tienen el mismo espesor ni son de las mismas medidas. Pero al ser materiales muy duros sobre todo la probeta 1 y 3 fueron muy difíciles de recortar. La probeta 1 es la Ketex, la probeta 2 es la Persephone, la probeta 3 es la Slerena y la probeta 4 es la de Gela.



Fig.12. Probetas utilizadas para los ensayos de tracción, antes del ensayo

2.2.2. Ensayo de compresión

El ensayo de compresión suele hacerse en materiales frágiles, como el nuestro, para determinar su resistencia ante un esfuerzo o carga por compresión. En un principio, tratamos de realizar el ensayo utilizando una maquina de compresión hidráulica que habíamos hecho, pero tras ver que la presión máxima que podía ejercer era muy baja, decidimos hacer uso de un tornillo mecánico, el cual incrementa la fuerza aplicada.

Colocamos la probeta entre las mordazas (una fija y una móvil) y procedimos a girar la palanca para cerrarlas como se observa en la figura 3. Para calcular la resistencia a compresión colgamos de la palanca 4 kg que hacían fuerza para bajarla (Fig. 4). Al no ser suficientes kilogramos para girarla y romper la probeta, aplicamos fuerza extra con el brazo. La fuerza que hicimos con el brazo la medimos con una báscula, pesando en ella la misma fuerza que habíamos hecho sobre la palanca, y así ver su equivalencia en peso y poder sumarlo a los 6 kg que estaban fijos. Por esta razón, los resultados no son absolutamente precisos.



Fig. 13. Materiales entre mordazas (Slerena, Ketex, Gela y Perséfone)



Fig. 14. Tornillo mecánico con peso (Slerena, Ketex, Gela y Perséfone)

En la siguiente tabla se establecieron 2 probetas por cada material, recordando que cada inicial corresponde con el tipo de material creado.

Tabla 2. Medidas previas al ensayo

	Medidas iniciales (mm) ±1 mm		
	Ancho	Espesor	Largo
<b>S: Probeta 1</b>	25.81	5.74	34.19
<b>S: Probeta 2</b>	26.03	5.39	33.82
<b>K: Probeta 1</b>	25.87	10.51	50.37
<b>K: Probeta 2</b>	14.72	8.26	47.99
<b>G: Probeta 1</b>	28.97	16.77	31.94
<b>G: Probeta 2</b>	29.14	15.92	32.87
<b>P: Probeta 1</b>	27.79	1.23	60.74
<b>P: Probeta 2</b>	29.73	1.37	60.66

2.2.3. Ensayo de flexión en tres puntos

El ensayo de flexión en tres puntos se usa para determinar la flexión del material. Para realizar este ensayo se coloca una probeta en forma horizontal y en el centro se le aplica una fuerza. Según va aumentando la fuerza la probeta se va curvando, formando una U. Para realizar este

experimento de forma casera se ha utilizado la misma mesa que para el ensayo de tracción, pero luego la probeta se ha colocado sobre la mesa abierta y en la zona localizada se le ha puesto una bolsa, la cual se ha ido llenando de arroz hasta que rompiese la probeta.



Fig.15. Ensayo de flexión en tres puntos

Se han tomado las mismas medidas que para el ensayo de tracción pues se pretendía calcular lo mismo, por lo que las medidas que se utilizaron fueron las de la tabla 1. La probeta 1 es la Ketex, la probeta 2 es la Persefone, la probeta 3 es la Slerena y la probeta 4 es la de Gela.

Tabla 3. Medidas previas al ensayo

	Espesor inicial (mm) ± 0,01mm	Ancho (mm) ± 0,01mm	Sección inicial (mm <sup>2</sup> )	Longitud calibrada (mm) ± 0,01mm
Probeta 1	8	15	120	30
Probeta 2	2	16	32	36
Probeta 3	3	10	30	30
Probeta 4	7	12	84	30

2.2.4. Ensayo de resistencia al vapor

Este es un ensayo meramente orientativo, dado que la vista y el tacto juzgan por sí mismos el comportamiento del material en vapor. Se pone especial atención en características como la rigidez, deformación y elasticidad. Para este ensayo se ha adaptado un equipo de destilación químico.

En este ensayo se sometió a los materiales a un flujo constante de vapor, en un espacio resguardado. Dicho vapor tenía una temperatura media de 70°C, esto se controlará con un termómetro que estará a escasos milímetros del material que estemos ensayando.



Fig.16. Ensayo de Resistencia al vapor

En un matraz redondo de 1 litro se introducen piezas de ladrillo, para que al momento de calentar 500 ml de agua esto se haga homogéneamente, sin cambios bruscos de temperatura. Se espera hasta que el vapor comience a brotar y tenga 67°C. Por el propio mecanismo este será dirigido hacia el material con una columna de

fraccionamiento. Es en este momento cuando se enciende el cronómetro y se observa el comportamiento del material.

También se observa el comportamiento del material luego de haberse secado.

2.2.5. Ensayo de abrasión

En este ensayo llevaremos a cabo la acción y efecto de desgastar por fricción, en los agregados gruesos una de sus propiedades físicas en las cuales sus importancia y conocimiento son indispensables en el diseño de mezcla. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN O DESGASTE Esta es importante porque con ella conoceremos la durabilidad y resistencia. Se pretende medir el desgaste producido por una combinación de impacto y rozamiento superficial en una muestra de agregado de granulometría preparada.

Con este fin se usará una máquina que contará con un platillo redondo que girará por una fuerza mecánica que aplicaremos nosotros, y que mediante un equipo de engranajes usaremos para girar el platillo. En dicho plato se colocarán granos de cemento granulado los cuales cuentan con un coeficiente de rozamiento dinámico de 0,8.

El platillo girará a una velocidad angular controlada de 50 RPM (5,23 rad/s), se posará el material a justo 5 cm del centro del platillo. El material se sostendrá por los lados con un tubo de papel que no presionara del todo el material, simplemente no hará que este retroceda, encima del material se pondrá una masa de 40 g que sumará peso a la fricción. Se tomará el tiempo una vez iniciado el material y se pasará a medir la altura que se ha disminuido, esto junto a la sección inicial de nuestro material nos dirá el volumen que disminuye el material por unidad de tiempo. Utilizando las siguientes ecuaciones:



Fig.17. Ensayo de resistencia a la abrasión

- Unidad de desgaste [mm<sup>3</sup>]/[J\*s]:  
*Velocidad de pérdida de volumen \* Energía de fricción*
- Velocidad de pérdida de volumen [mm<sup>3</sup>/s]:  
*Sección \* Altura perdida / Tiempo de ensayo*
- Energía de Fricción [J]:  
*(Peso del material + Peso aplicado) \* Longitud recorrida / Coeficiente de rozamiento*
- Peso del material + Peso aplicado [N]:  
*(Masa del material + Masa aplicada) \* 9,81*
- Longitud recorrida [m]:  
*(Velocidad angular [rad/s] \* Tiempo empleado [s]) \* Radio de giro [m]*

- Unidad media de desgaste [ $mm^3/J*s$ ]

*Sumatorio de unidades de desgaste/ número de ensayos*

En conclusión, el material más resistente será el que menor pendiente (unidad media de desgaste) tenga. Este método de medición es creado por los mismos redactores de este informe.

En este ensayo las probetas se corresponderán de la siguiente manera:

- Probeta 1: Ketex
- Probeta 2: Persefone
- Probeta 3: Gela
- Probeta 4: Slerena

Tabla 4. Medidas previas al ensayo

	Altura (mm)	Anchura (mm)	Grosor (mm)	Sección (mm <sup>3</sup> )
<b>Probeta 1</b>	45,0	22,0	10,0	220,0
<b>Probeta 2</b>	45,0	22,0	10,0	220,0
<b>Probeta 3</b>	25,0	30,0	5,0	150,0
<b>Probeta 4</b>	17,0	20,0	20,0	400,0

2.2.6. *Ensayo de resistencia a impacto*

Para cuantificar el comportamiento mecánico de nuestros materiales ante una carga dinámica o de impacto hemos realizado un ensayo charpy con una máquina casera tal como se muestra en la figura a continuación.



Fig.18. Ensayo de resistencia a impacto

Se ha liberado un péndulo con un peso de 113g desde una altura inicial marcada para cada probeta y sobre una hoja se hizo una marca de los ángulos que tuvo el brazo antes y después del impacto, por lo que pudimos utilizar la siguiente fórmula para conocer la energía potencial inicial y final:

$$E = mgL(\cos\beta - \cos\alpha)$$

siendo  $\beta$  el ángulo final y  $\alpha$  el ángulo inicial con respecto de la vertical. Cuanto mayor altura y/o ángulo alcance el péndulo luego de haber golpeado la probeta, mayor será la deformación absorbida por el material, luego esto nos permitirá definir si nuestros materiales son frágiles o dúctiles.

Para los materiales Persefone y Slerena se tenía un espesor de 3mm y para Gela y Ketex un espesor de 5mm.

2.2.7. *Ensayo de conductividad eléctrica*

Hemos realizado un ensayo de conductividad eléctrica, puesto que es una propiedad importante en los metales, y como nuestra intención es sustituir un material que tiene una excelente fluidez eléctrica es crucial comparar esta propiedad. La conductividad es una medida físicamente cuantificable que se define como el transporte de corrientes eléctricas. Sin embargo, la capacidad de conducir la electricidad depende de varios factores, como por ejemplo la presencia y el número de electrones móviles dentro de un material.

Estos afectan directamente a su nivel de conductividad, por lo que, al estar creando materiales desde cero, no es descabado tener en cuenta lo que puede suceder a un nivel estructural, es decir, un nivel de comportamiento más profundo en nuestros materiales.

Hemos utilizado un multímetro para medir la conductividad eléctrica, este aparato genera un impulso continuo de corriente eléctrica para medir la continuidad de esta a través de un material. Primero juntamos los dos polos opuestos y nos aparece en el aparato una medida de cero, y luego fuimos probando para cada una de nuestras probetas.

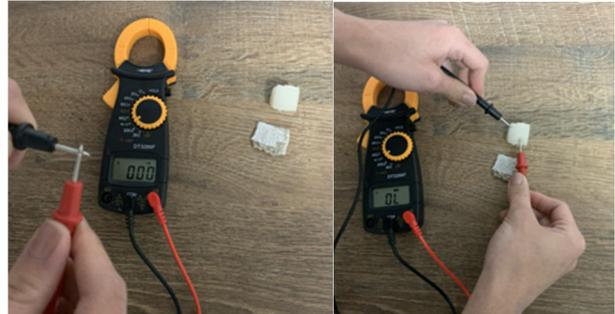


Fig.19. Ensayo de conductividad eléctrica

3. RESULTADOS

3.1. *Ensayo de tracción*

Los resultados del ensayo de tracción fueron los esperados, pues las probetas con una matriz de slime se deformaron y soportaron una gran carga. Se esperaba que el material con kevlar aguanta más, pero al no ser un material perfectamente homogéneo puede que esa probeta no tuviese suficientes fibras. El que más aguantó fue el de arena, del cual se esperaba que admitiera mucha deformación, ya que el refuerzo de arena estaba distribuido de forma homogénea. El material que menos aguantó fue el de realizado con gelatina, al que no se le pudo hacer el ensayo. De las dos probetas que había disponibles para hacer el ensayo, ambas rompieron antes de la zona calibrada y por su propio peso más, el alambre plastificado y las dos pinzas que ayudaban a sujetar el alambre, lo que suponía un total de 31g. Pues este material no era lo suficientemente resistente. El material hecho de hojas no aguantó tanto arroz como el de arena y kevlar, pues desde el principio se esperaba que fuese más frágil.

La probeta 1 es la Ketex, la probeta 2 es la Persephone, la probeta 3 es la Slerena y la probeta 4 es la de Gela.

Para calcular la fuerza máxima se ha usado la siguiente fórmula:

$$F = m * g \quad (1) \quad \text{donde } g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Para calcular la tensión máxima se ha usado la siguiente fórmula:

$$R_m = F_{max} / S_0 \quad (2)$$

Tabla 5. Cálculos y valores tras realizar el ensayo de tracción

	Masa máxima (kg) ±0,001kg	Fuerza max (N)	Tensión (MPa)	Deformación (mm/mm)	Lo (mm) ± 0,01mm	Lf (mm) ± 0,01mm
Probeta 1	2,948	28,91988	0,160666	0,739872068	4,69	8,16
Probeta 2	0,141	1,38321	0,043225313	0,32	5	6,6
Probeta 3	3,846	37,72926	0,838428	0,777570093	5,35	9,51
Probeta 4	0,031	0,30411	0,002599231	0	5	5

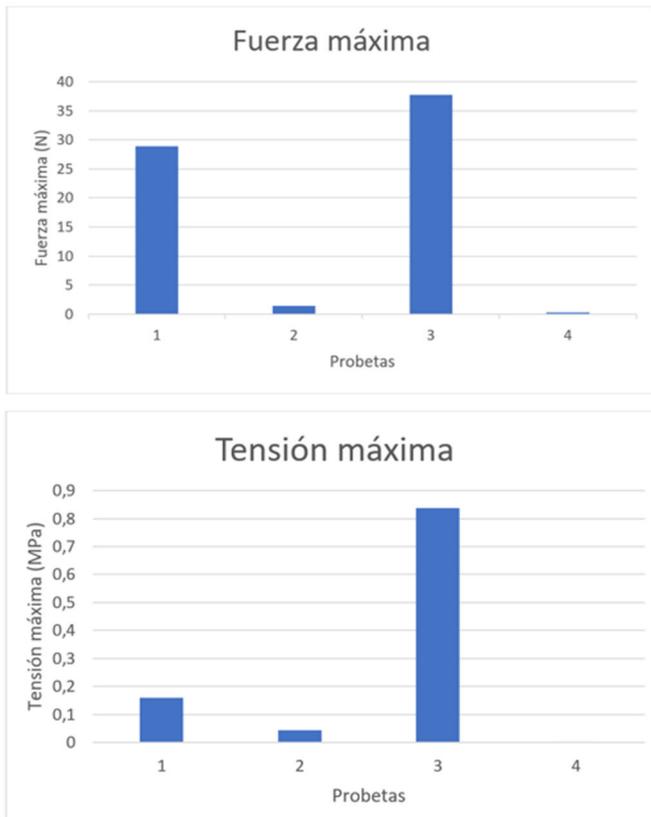


Fig. 20. Fuerza y Tensión máxima soportada por las probetas

3.2. Ensayo de compresión

Tras la realización del ensayo en los cuatro materiales hemos concluido que el material más resistente es la masa Slerena. El resultado de Slerena, tras hacer el ensayo con el tornillo pudimos observar que puede soportar una carga de hasta 74 kg ± 1 kg.

El resultado del material Ketex, después de realizar el ensayo concluimos que puede soportar una carga de hasta 64 kg ± 1 kg.

El resultado del material Gela, concluimos que como carga máxima puede soportar 17kg± 1 kg, llegando a partir la probeta en dos mitades.

Y para finalizar, el resultado de Persephone, es que puede soportar una carga de hasta 54 kg ± 1 kg reduciendo su espesor a algo más de la mitad.



Fig. 21. Probetas tras el ensayo de compresión

Tabla 6. Carga aplicada y medidas finales tras el ensayo

	Carga (Kg) ± 1kg	Fuerza (N)	Medidas finales (mm) ±1mm		
			ancho	espesor	Largo
S: Probeta 1	74	725.2	28.03	0.56	61.41
S: Probeta 4	72	705.6	30.39	0.69	61.34
K: Probeta 1	64	627.2	31.98	8.35	51.23
K: Probeta 2	63	617.4	15.94	7.04	48.64
P: Probeta 1	54	529.2	26.41	4.34	34.64
P: Probeta 2	53	519.4	26.84	4.02	34.27
G: Probeta 1	16	156.8	29.05	4.96	33.57
G: Probeta 1	17	166.6	29.98	3.44	42.2

En un inicio, no esperábamos obtener estos resultados, pues, al principio pensábamos que el material Ketex tendría los mejores resultados a compresión por las fibras de kevlar y los trozos de tela. Pero como queda demostrado, el mejor comportamiento a compresión es Slerena por su carga inerte o arena que hace que el material soporte grandes cargas.

Por otro lado, los resultados de Gela y Perséfone son los esperados, ya que por parte de Gela se esperaba que soportase poca carga, y así fue, y de perséfone, que soportara una carga media y así fue.

3.3. Ensayo de flexión en tres puntos

Este ensayo ha dado valores muy parecidos a los de tracción como muestra la tabla 6. Todas las probetas han aguantado más que en el ensayo de tracción. Puede que porque según se iba añadiendo peso se caían por el agujero del banco de trabajo, se deformaban mucho poniéndose casi en vertical la de arena y kevlar pero no se partían. Por lo que pusimos libros encima para sujetarlo y que no se cayese, ya que queríamos calcular el peso máximo que aguantan antes de romper.

Tabla 7. Cálculos y valores tras realizar el ensayo de flexión en tres puntos

	Masa máxima (g) ±0,001kg	Fuerza max (N)	Tensión (MPa)	Deformación (mm/mm)	Lo (mm) ±0,01mm	Lf (mm) ± 0,01mm
Probeta 1	8,6	84,366	0,70305	0,448	5	7,24
Probeta 2	1,012	9,92772	0,31024125	0,1	5	5,5
Probeta 3	8,7	85,347	2,8449	0,31	5	6,55
Probeta 4	0,231	2,26611	0,0269775	0,132	5	5,66

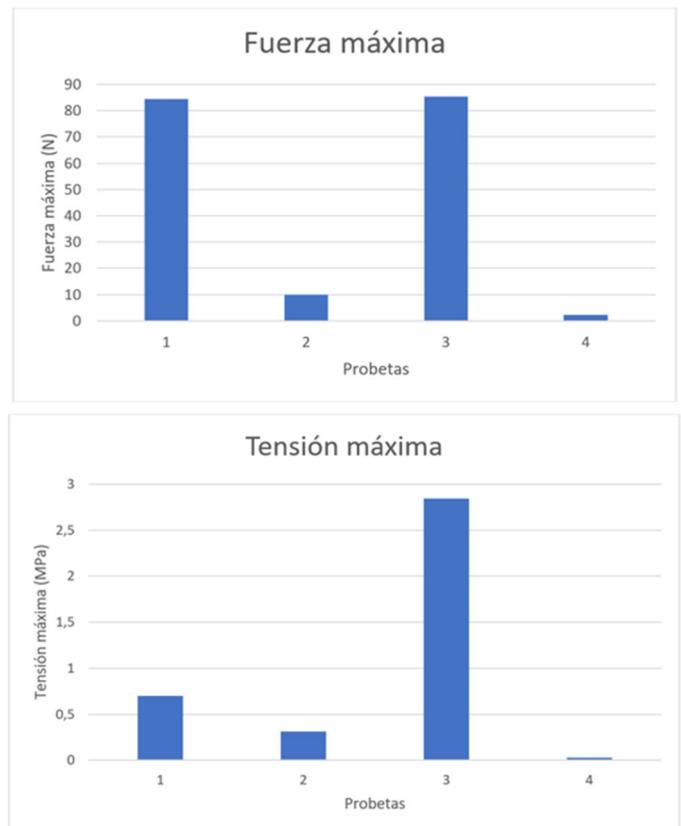


Fig. 22. Fuera y Tensión máxima soportada por las probetas

En este ensayo también se ha calculado la fuerza máxima utilizando la fórmula (1) y la tensión máxima usando la fórmula (2).

La probeta 1 es la Ketex, la probeta 2 es la Persephone, la probeta 3 es la Slerena y la probeta 4 es la de Gela.

### 3.4. Ensayo de resistencia al vapor

Se procederá a nombrar algunas propiedades y se marcará el material que presente dichas propiedades.

En este ensayo las probetas se numeran del siguiente modo

- Probeta 1: Ketex
- Probeta 2: Perséfone
- Probeta 3: Slerena
- Probeta 4: Gela

Tabla 8. Cálculos y valores tras realizar el ensayo de resistencia al vapor

Tabla de resultados del ensayo				
CUESTIONES	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROBETA 4
Absorbe el agua (Permeable)	Si	Si	Si	El material se diluye con el agua
Al humedece el material deforma	No	No	Si	No mantiene su estructura
Disminucion de la rigidez	Si	Si	Si	Se convierte a nula
Resiste al menos el 50 % de su preción en condiciones normales	Si	No	Si	No
Resiste al menos el 70 % de su preción en condiciones normales	No	No	Si	No
Deforma elasticamente al aplicar la presion	Si	Si	Si	NO
Al secar el material regresa a sus propiedades originales	Si	Si	Si	No
Al secar el material regresa a su forma original	Si	Si	SI	No
Calificacion relativa de la resistencia a la humedad	Medio	Bajo	Alto	NO optimo

Debido a que la probeta 4 estaba compuesta de agua, se deshizo durante el ensayo y no pudimos cuantificar sus propiedades. De acuerdo con estos resultados podemos visualizar que el material que presenta un comportamiento más adecuado para la aplicación en la industria es el Slerena. Esto era de esperarse puesto que tiene una matriz compuesta por materiales que se solidifican muy bien unos con otros y los enlaces entre las cadenas poliméricas están unidos muy fuertemente.

### 3.5. Ensayo de abrasión

Por motivos del mecanismo de ensayo será la suma de las masas del material y la masa aplicada será igual 300g:

Tabla 9. Resultados luego de haber realizado el ensayo de resistencia a la abrasión

Resultados de probeta 1							
Tiempo (s)	Longitud disminuida (mm)	Volumen disminuido (mm³)	Peso de material + Peso aplicado (N)	Longitud recorrida (m)	Energia de rozamiento (J)	Velocidad de disminucion de volumen (mm³/s)	Unidad de desgaste (mm³/J*s)
379,2	1	220	2,943	99,1608	233,4641875	0,580168776	135,448632
559,2	1,5	330	2,943	146,2308	344,2857955	0,590128755	203,172948
Media de unidad de desgaste :						169,31079	

Resultados de probeta 2							
Tiempo (s)	Longitud disminuida (mm)	Volumen disminuido (mm³)	Peso de material + Peso aplicado (N)	Longitud recorrida (m)	Energia de rozamiento (J)	Velocidad de disminucion de volumen (mm³/s)	Unidad de desgaste (mm³/J*s)
300	0,2	44	2,943	78,45	184,70268	0,146666667	27,0897264
600	0,4	88	2,943	156,9	369,40536	0,146666667	54,1794528
Media de unidad de desgaste :						40,6345896	

Resultados de probeta 4							
Tiempo (s)	Longitud disminuida (mm)	Volumen disminuido (mm³)	Peso de material + Peso aplicado (N)	Longitud recorrida (m)	Energia de rozamiento (J)	Velocidad de disminucion de volumen (mm³/s)	Unidad de desgaste (mm³/J*s)
60	7	1540	2,943	15,69	36,940536	25,66666667	0,694810348
125	13	2860	2,943	32,6875	76,95945	22,88	0,297299422
Media de unidad de desgaste (mm³/J*s) :						0,496054885	

Resultados de probeta 3							
Tiempo (s)	Longitud disminuida (mm)	Volumen disminuido (mm³)	Peso de material + Peso aplicado (N)	Longitud recorrida (m)	Energia de rozamiento (J)	Velocidad de disminucion de volumen (mm³/s)	Unidad de desgaste (mm³/J*s)
381,6	0,2	30	2,943	99,7884	234,941809	0,078616352	0,000334621
681,6	0,4	60	2,943	178,2384	419,644489	0,088028169	0,000209768
Media de unidad de desgaste :						0,000272194	

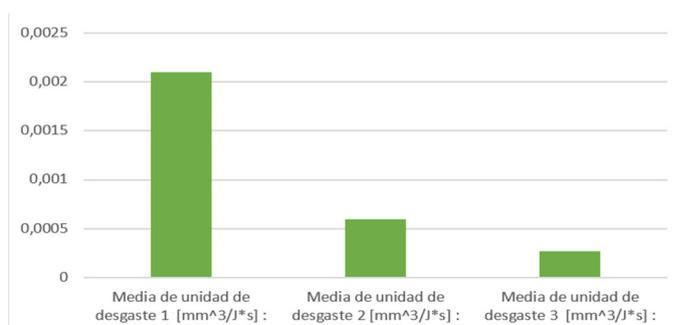


Fig. 23. Comparación de pendientes de desgaste (unidad media de desgaste)

Como hemos explicado antes, el material con mayor resistencia será el que menor pendiente (Unidad media de desgaste presente), siendo así Slerena el óptimo para someterse a fuerzas de abrasión. Esto es debido a la consistencia que le dan los granos de arena, lo que le da una resistencia única. Seguido por Perséfone que gracias a sus fibras de celulosa el material resiste casi la mitad de lo que resiste Serena. Ketex está por debajo Cuadruplicando el desgaste de Persefone, pero siendo aun así suficiente para resistir la abrasión, esto debido a las fibras de Kevlar la cual une aún más la matriz del material. Por otro lado, Gela, al tratarse de una estructura gelatinosa no es óptima para resistir el desgaste. Siendo su pendiente dos órdenes de magnitud más grande.

### 3.6. Ensayo de resistencia a impacto

Después de realizar el ensayo, obtuvimos los resultados que podemos observar en la tabla 10:



Fig. 24. Resultados del ensayo de resistencia a impacto (izquierda) y probeta del material Ketex que no ha roto (derecha)

Tabla 10. Resumen de resultados obtenidos de las medidas del ensayo casero Charpy

	KETEX	PERSEFONE	SLERENA	GELA
ENERGÍA ABSORBIDA POR CADA PROBETA (J)	No rompió	0,699	0,094	No rompió

Estos resultados demuestran que todos nuestros materiales son muy resistentes y tienen una baja fragilidad a excepción del Persefone. Esto es debido principalmente por la composición de hojas secas del material, lo que hace que sea elevadamente frágil en comparación a los otros materiales.

### 3.7. Ensayo de conductividad eléctrica

Los resultados que obtuvimos tras realizar el ensayo fueron que el multímetro marcaba infinito para cada uno de nuestros materiales, puesto que no se detectó ningún tipo de continuidad de corriente eléctrica. La tabla 11 recoge dicha información:

Tabla 11. Resumen de resultados obtenidos de las medidas de un multímetro.

	Slerena	Ketex	Gela	Persefone
Conductividad eléctrica	No conduce	No conduce	No conduce	No conduce

Estos resultados eran de esperarse puesto que no empleamos ningún material de tipo metálico o que presentara un comportamiento anormal en su microestructura. Es importante destacar que este ensayo nos permite llevar un control de las propiedades del material, y así podemos garantizar la calidad en su comportamiento macroscópico al momento de aplicarlo en la industria.

## 4. CONCLUSIONES

Para concluir, tenemos que luego de haber realizado los experimentos, el material idóneo para realizar nuestro honeycomb es el material Slerena. Necesitábamos un material que soporte grandes cargas, que no fuese demasiado frágil para que pudiera resistir un golpe, por ejemplo, una patada o un impacto contra él, que fuese ligero, resistente y admitiera cierta deformación, ya que queremos destinarlo a la fabricación del relleno de los muebles en cada uno de nuestros hogares. Debido a todos estos requisitos concluimos que este sería el material idóneo para tal finalidad.

Además, tras los experimentos hemos determinado que, si bien no podríamos utilizarlos en refuerzos estructurales de paredes o pisos, podemos mencionar distintas aplicaciones de menores requerimientos, pero igualmente destinadas al sector que buscamos revolucionar. Como hemos dicho antes, Slerena es el mejor material de relleno para las mesas o las sillas, ya que aguantan grandes esfuerzos sin deformarse ni romperse fácilmente. Ketex es un buen material para el relleno de las puertas, pues es más ligero y es capaz de soportar ciertas tensiones como golpes y es en cierta medida ligero. Gela es un material demasiado inestable con respecto a altas temperatura como para usarlo de relleno en muebles, así que lo destinamos como matriz de protección principalmente de elementos decorativos que reduzcan el consumo de materiales más contaminantes, ya que gracias a su flotabilidad es capaz de deformarse mucho antes de dejar llegar el impacto a su interior. Por último, tenemos Perséfone, que es igualmente ideal para la decoración tanto interior como exterior, debido a su ligereza y además si se usa con varias capas resulta un material muy rígido, pero con cierta elasticidad, ideal para resistir largos periodos de tiempo expuestos a medios físicos moderadamente hostiles.

Animamos a los próximos científicos a que investiguen más con nuestros materiales y que encuentren nuevas destinaciones para ellos,

puesto que este es el primer paso en la dirección correcta para hacer de nuestro mundo un lugar más sostenible.

Finalmente, queríamos destacar que, con el desarrollo y correcta fabricación de nuestros materiales, seguro que la reducción de la contaminación producida por los honeycombs de aluminio sería considerable, pero lamentablemente no hemos podido crear un sustituto del todo debido a que no tenemos todas las herramientas necesarias para ello. Sin embargo, cualquiera de los cuatro materiales que hemos creado son menos contaminantes y cumplen con los objetivos ODS marcados de la agenda 2030, haciendo especial énfasis en el fin de la pobreza, tal y como lo habíamos mencionado, puesto que podríamos crear objetos que conforman los hogares desde adentro e impulsan y motivan en el día a día a todas aquellas personas que trabajan arduamente. Presentamos alternativas que suponen menores costes asociados, y los precios de venta pueden ser más accesibles, facilitando el desarrollo social de una comunidad. Además, podemos asegurar que con nuestra innovación e ingenio en los procesos de producción, el sector de la construcción se vería completamente modificado mediante el consumo responsable de materiales, ya que reducimos el desperdicio en residuos y realizamos una gestión eficiente de recursos naturales, lo que influye directamente en la disminución del impacto ecológico que tiene relacionado dicha industria en el planeta Tierra.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Para empezar, quisiéramos agradecer la ayuda a nuestras madres y padres. Que nos han aportado buenas ideas, experiencia y conocimientos para empezar nuestro trabajo, además, son quienes nos han proporcionado los fondos necesarios para conseguir cada uno de los materiales que conforman ALEA, e incluso para hacer las máquinas de los distintos ensayos. Queremos hacer una especial mención al señor Javier Gambín (tío de Almudena) por habernos regalado las fibras de kevlar.

También se agradece al Magister Tesifonte Negro, profesor de Física y Química a nivel bachiller en el Instituto Tirso de Molina. Se le agradece por aportar indirectamente los conocimientos óptimos, de los procesos químicos que se llevaron a cabo en este trabajo.

Una mención simbólica también al autor del manga científico Dr Stone. En el capítulo setenta de dicho manga se menciona brevemente la producción de fibras de celulosa industrial. Esto sirvió de inspiración para la producción del material Persefone.

Y por último a internet por su infinito conocimiento, sin él no habríamos llegado hasta el final.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Argomedo, P. (s/f). La gelatina fotográfica. Estructura y composición química de la gelatina y la colágena. Revista LMI (revista digital, analógica y de conservación). [http://198.199.101.186/uploads/ckeditor/attachments/178/LMI\\_conservacion\\_004.pdf](http://198.199.101.186/uploads/ckeditor/attachments/178/LMI_conservacion_004.pdf)
- [2] Benavente, P. (2014). Ciencia casera: el líquido que a veces se comporta como un sólido. El confidencial. [https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2014-06-05/ciencia-casera-el-liquido-que-a-veces-se-comporta-como-un-solido\\_141635/#:~:text=La%20mezcla%20de%20agua%20y,transitoriamente%20en%20un%20material%20semis%3CB3lido](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2014-06-05/ciencia-casera-el-liquido-que-a-veces-se-comporta-como-un-solido_141635/#:~:text=La%20mezcla%20de%20agua%20y,transitoriamente%20en%20un%20material%20semis%3CB3lido)
- [3] Callister, W (1985) Ciencia e ingeniería de materiales. Editorial Reverté.
- [4] Inspiración del manga científico Dr Stone donde se nombra la producción de papel sin entrar en detalles. (Página web) <https://lectortmo.com/viewer/5b77337a1bdff/cascade>
- [5] Leonardo. (13 de noviembre de 2014). Conozca el proceso de obtención de la pulpa de celulosa. <https://www.leonardo-gr.com/es/blog/conozca-el-proceso-de-obtenci-n-de-la-pulpa-de-celulosa>

- [6] López, J. (8 de febrero de 2019). El aluminio, al desnudo: por qué tantos dispositivos de gama alta apuestan por este material. Xataka. <https://www.xataka.com/investigacion/aluminio-al-desnudo-que-dispositivos-gama-alta-apuestan-este-material>
- [7] S/a. (22 de julio de 2021). ¿De qué está hecha la gelatina?. Rousselot funcional ingredients. <https://www.rousselot.com/es/rousselot-funcional-ingredientes/medios/blog/de-que-esta-hecha-la-gelatina>
- [8] S/a. (2021). Honeycomb, la herencia de las abejas. Meka3: mecanizados y soluciones. <https://www.meka3.com/honeycomb-herencia-abejas/>
- [9] S/a. (11 de abril de 2018). Aluminio y bauxita: impacto socioambiental y alternativas de consumo. Ecofestes. <https://www.ecofestes.com/aluminio-bauxita-impacto-socioambiental-alternativas-de-consumo-n-47-es#:~:text=El%20aluminio%20al%20ser%20inorg%C3%A1nico,puede%20permanecer%20hasta%20200%20a%C3%B1os.>
- [10] S/a. (26 de julio de 2017). ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. ACNUR: agencia de la onu para los refugiados. [https://eacnur.org/es/actualidad/noticias/entidades-publicas/ods-objetivos-de-desarrollo-sostenible-de-la-onu?&tc\\_alt=47342&n\\_o\\_pst=n\\_o\\_pst&n\\_okw=\\_\\_c\\_52693938160&gclid=CjwKCAiAx8KQBhAGEiwAD3EiP\\_Cc8-fDGh3Eor8qt53wW954OlviCnTQk0F401BIDKRC8N95FSB8\\_BoCjvMQAvD\\_BwE](https://eacnur.org/es/actualidad/noticias/entidades-publicas/ods-objetivos-de-desarrollo-sostenible-de-la-onu?&tc_alt=47342&n_o_pst=n_o_pst&n_okw=__c_52693938160&gclid=CjwKCAiAx8KQBhAGEiwAD3EiP_Cc8-fDGh3Eor8qt53wW954OlviCnTQk0F401BIDKRC8N95FSB8_BoCjvMQAvD_BwE)
- [11] S/a. (16 de agosto de 2021). La importancia de la medición de la conductividad eléctrica. Fischer. <https://www.helmut-fischer.com/es/blog-fischer/la-importancia-de-la-medicion-de-la-conductividad-electrica>
- [12] S/a. (7 de agosto de 2018). 10 things you need to know about aluminum honeycomb panels. Arron Dragon Metal. <https://www.arrow-dragon.com/10-things-you-need-to-know-about-aluminum-honeycomb-panel/>
- [13] S/a. (13 de enero de 2022). Estructura de panel. Wikipedia. [https://es.wikipedia.org/wiki/Estructura\\_de\\_panel](https://es.wikipedia.org/wiki/Estructura_de_panel)
- [14] Sanz Tejedor, A. (s/f). Tecnología de la celulosa. La industria papelera. Química Orgánica Industrial. <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php#:~:text=La%20sosa%20produce%20rotura%20de,celulosa%20de%20menor%20peso%20molecular.>
- [15] Thomas, G. (5 de abril de 2013). Innovations in honeycomb composites. Azo Materials. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=8379>
- [16] Xu, J., Yang, L., Nie, Y., Yang, M., Wu, W., Wang, Z., Wang, X., Zhong, J. (13 de mayo de 2022). Effect of transglutaminase crosslinking on the structural, physicochemical, functional, and emulsion stabilization properties of three types of gelatins. Science direct. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643822004789>