

UPCommons

Portal del coneixement obert de la UPC

<http://upcommons.upc.edu/e-prints>

Aquesta és una còpia de la versió *author's final draft* d'un article publicat a la revista *Revista de química e indústria tèxtil*.

URL d'aquest document a UPCommons E-prints:
<http://hdl.handle.net/2117/178852>

Article publicat / *Published paper:*

González López, Laura, [et al.] Estudio de los efectos de tratamientos a no-tejidos de lino para su aplicación en materiales de construcción. *Revista de química e industria tèxtil*, 2018, núm. 225, p. 18-28

Estudio de los Efectos de Tratamientos a No-Tejidos de Lino para su aplicación en materiales de construcción

Laura González López

Sección Ingeniería Textil (CMEM). Universitat Politècnica de Catalunya

Este estudio ha sido realizado en el marco del proyecto del MINECO BIA2014-59399-R con la participación de los investigadores Heura Ventura, Ferran Parés, Josep Claramunt y Mònica Ardanuy.

1. INTRODUCCIÓN	2
1.2. OBJETIVOS	2
2. EXPERIMENTAL	2
2.1. MATERIALES	2
2.2. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES	3
2.2.1. PRODUCCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS NO TEJIDAS	3
2.2.2 METODOLOGÍA DE LOS TRATAMIENTOS DE LAS ESTRUCTURAS NO TEJIDAS	3
2.2.2.1. TRATAMIENTO ALCALINO CON NaOH	3
2.2.2.2. TRATAMIENTO ALCALINO CON NaOH Y APLICACIÓN DE ACEITE DE SOJA	4
2.2.3. FABRICACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO	4
2.2.3.1 PREPARACIÓN DE LOS COMPOSITES	4
2.2.3.2 ENVEJECIMIENTO DE LOS COMPOSITES	5
2.2.4. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROBETAS	5
2.2.4.1 ESTRUCTURAS NO TEJIDAS	5
2.2.4.2 MATERIAL COMPUESTO	5
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	6
3.1 TRATAMIENTOS DE ESTRUCTURAS NO TEJIDAS	6
3.1.1 NO TEJIDO SIN TRATAMIENTO	6
3.1.2 NO TEJIDO CON EL TRATAMIENTO ALCALINO CON NaOH (A) Y TRATAMIENTO ALCALINO CON NaOH MÁS LA APLICACIÓN DE ACEITE DE SOJA (AO)	6
3.2 RESULTADOS DEL MATERIAL COMPUESTO	8
3.2.1 ENSAYO A FLEXIÓN	8
3.2.1.1 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN. PROBETAS NO ENVEJECIDAS	8
3.2.1.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN. PROBETAS ENVEJECIDA	9
4. CONCLUSIONES	11
5. POSIBILIDADES DE APLICACIÓN DENTRO DEL MARCO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE	12
AGRADECIMIENTOS	12
BIBLIOGRAFÍA	13

Resumen (ESP)

La creciente necesidad de reducir el grado de contaminación de las sociedades más desarrolladas, ha puesto a las materias primas renovables y biodegradables en el punto de mira, tanto de la ciencia como de la industria.

El refuerzo de no-tejido de lino junto a una matriz cerámica, se convierte en una solución viable para la creación de un material compuesto destinado al sector de la construcción. Este estudio propone algunas técnicas, focalizadas en el tratamiento del refuerzo textil, con el objetivo de subsanar algunos de los inconvenientes de este nuevo material. A su vez, se persigue maximizar sus ventajas, como, por ejemplo, la alta resistencia de este material compuesto en condiciones extremas o bien, la ligereza del mismo. Estos avances han sido posibles gracias al refuerzo de no-tejido.

Palabras clave: [Fibra basta, lino, no-tejido, cementos, construcción, material compuesto.]

1. Introducción

El estudio que se plantea, analiza los efectos de diferentes tratamientos en telas no tejidas como material de refuerzo en composites. En la última fase del estudio, se determina qué tratamiento aporta mejores propiedades al material. Se ha realizado un tratamiento alcalino con sosa, que ayuda a eliminar componentes no celulósicos de los no tejidos, así como un tratamiento alcalino con sosa y aplicación por esprayado de aceite de soja, donde la eliminación de componentes no celulósicos ayuda a la penetración del aceite y este protege la fibra vegetal contra el envejecimiento prematuro dentro de la matriz cerámica.

1.2. Objetivos

El objetivo principal es la obtención y análisis de un material compuesto. Para ello se desarrollan los siguientes objetivos específicos:

- Objetivo 1: Utilizar materiales renovables y biodegradables tales como las fibras de lino.
- Objetivo 2: Utilizar tecnologías limpias, amigables con el medio ambiente para reducir las emisiones en el sector de la construcción.
- Objetivo 3: Aumentar la cohesión del refuerzo vegetal con la matriz cerámica.
- Objetivo 4: Favorecer la durabilidad del refuerzo dentro de la matriz.

2. Experimental

2.1. Materiales

- Fibra basta: fibras de lino no refinado ni enredado, de mediana calidad. Longitud media 6cm. El proveedor de esta fibra es Fibers Recherche Développement (Technopole de la Aube in Champagne, Francia)
- Tensioactivo Sandozin. Proporcionado por Laboratorios Sulab S.L.
- NaOH en pellets (40.00 g/muele) de la casa PanReac Applichem
- Ácido acético glacial (60.05 g/mol) de la casa PanReac Applichem
- Aceite de soja, de la casa Alfa Aesar. Proporcionado por Fisher Scientific
- Acetona. Proporcionado por Laboratorios Sulab S.L.
- Cemento aluminoso (*Electroland*), proporcionado por Cementos Molins Industrial, S.A. Particularmente, *Electroland*, no libera hidróxido de calcio durante su hidratación, favoreciendo la no degradación de la fibra.

2.2. Procedimientos experimentales

2.2.1. Producción de las estructuras No Tejidas

Las probetas de tela No Tejida han sido preparadas con la punzadora del departamento de materiales, sector textil, ESEIAAT (UPC Terrassa). Se trata de la punzadora Doble DILO OUG-II-6, equipada con laminador cruzado, alimentador de guata y telar de punzado.

Primero, se abren las fibras manualmente y se depositan sobre la cinta transportadora. Seguidamente la cinta transportadora alimenta la carda y forma una red mediante el método de colocación cruzada para formar la napa. Esta se consolida con la máquina perforadora de agujas que acaba de formar las telas No Tejidas.

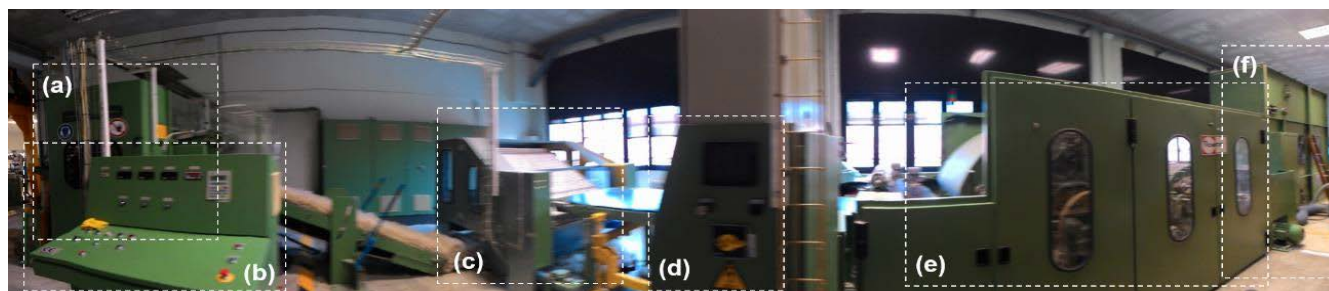


Figura 1 Máquina Punzadora Doble DILO OUG II-6. De derecha a izquierda: alimentador manual de fibras (f), individualizado y paralelizado de las fibras (e) formación de bloques (c), unidad de control (d), el bloque se consolida en telar de agujas (a), determinación de los parámetros para punzar(b).

2.2.2 Metodología de los tratamientos de las estructuras no tejidas

Los tratamientos se han codificado para poder identificar cada uno de ellos con los consecutivos procesos.

Tabla 1 Referencia de los tratamientos

Referencia	TRATAMIENTO		
	Lavado previo	Alcalino NaOH	Aceite de soja
U ¹	-	-	-
A ²	✓	✓	-
AO ³	✓	✓	✓

2.2.2.1. Tratamiento alcalino con NaOH

Se ha realizado un tratamiento alcalino con NaOH con el objetivo de eliminar la mayor parte de impurezas que presenta la fibra de lino. Se trata de un proceso de limpieza parecida a la técnica del descudado. No obstante, rigurosamente no se puede considerar descudado, puesto que esta técnica implica la aplicación de NaOH junto con agentes humectantes con un lavado acuoso posterior.²

Para llevar a cabo este tratamiento de limpieza superficial con álcalis, se han realizado las siguientes operaciones. Se cortan y se identifican las probetas en dirección máquina. A continuación, se realiza un lavado previo para eliminar las partículas tales como polvo, grasas, aceites, etc. que se derivan del proceso de fabricación del no tejido.

Para la limpieza previa utilizaremos un tensioactivo no-iónico de la casa Sandozin, a relación de baño 1:50. El lavado se realiza según la norma de análisis químico cuantitativo de artículos textiles. **UNE 40110:1994**

¹ No Tejido sin tratamiento. ² No Tejido tratado con NaOH. ³ No Tejido tratado con NaOH y Aceite de soja por esprayado.

² J.M Canal. 2017.

Se fabrican sacos de un tejido 50% PES y 50% CO, que hacen de barrera protectora entre los álcalis y la estructura textil. Una vez las probetas quedan fijadas dentro de los sacos protectores, se prepara un baño de agua a 100°C durante 30 minutos en un reactor a presión, proporcionado por LEPAMAP, Laboratorio de Ingeniería Papelera y Materiales Polímeros, UdG³. Seguidamente se prepara el proceso de neutralización con ácido acético (CH₃COOH)⁴. Es imprescindible neutralizar el tejido porque si la fibra permanece mucho tiempo en medio básico se degrada con facilidad. Después se procede a los ciclos de aclarado. Se realizan dos aclarados después de la neutralización para conseguir un pH neutro.

Una vez las probetas están a el pH neutro, se inicia el proceso de centrifugado. Se trata de una centrifugadora convencional. Finalmente, se procede al secado. Una vez secas, se anota el peso de cada una de las probetas previamente identificadas. La referencia de este tratamiento es A.

2.2.2.2. Tratamiento alcalino con NaOH y aplicación de aceite de soja

Al trabajar con materiales compuestos donde la matriz es cerámica y el refuerzo es una fibra natural vegetal, se hayan dos problemáticas principalmente. Por un lado, la adherencia matriz-refuerzo y del otro, la degradación del refuerzo al ser una fibra vegetal. El agua es el componente responsable de la degradación de la fibra y por esta razón, hay que protegerla de su ataque. La aplicación de aceites vegetales es una técnica innovadora que ha dado resultados satisfactorios en investigaciones previas. Después de comparar cuatro tipos de aceites vegetales, de oliva, de coco, de soja y de colza, representantes de todo el rango de composiciones de ácidos grasos, se selecciona como óptimo el aceite de soja, por ser el más poliinsaturado [1]. Este tratamiento tiene por objetivo maximizar la capacidad hidrofóbica de la fibra. Se considera que el tratamiento previo con NaOH mejora las condiciones de adherencia con la matriz y la aplicación del aceite de soja protege la fibra de la degradación al mejorar las condiciones hidrófobas de la misma.

La referencia del tratamiento es AO. Se prepara una solución homogénea de aceite de soja diluido en acetona. El aceite se aplica por esprayado pulverizando sobre el no tejido de arriba a abajo y de izquierda a derecha, de manera regular para homogeneizar las muestras. Después se depositan sobre papel filtro y empieza el proceso de secado. Las condiciones de secado son 60 minutos, a 110°C con estufa de aire.

2.2.3. Fabricación del Material Compuesto

La fabricación del material compuesto se ha desarrollado en dos fases. Por un lado, todas las probetas se someten a un proceso de curado. Por otro lado, una parte de las probetas se someten a ciclos de envejecimiento.

2.2.3.1 Preparación de los composites

Para la elaboración uniforme y reproducible de las muestras, se prepara la pasta de cemento y agua a una relación de 1:66. El cemento se corresponde con la referencia de producto *Electoland* proporcionado por *Cementos Molins Industrial S.A.* Las probetas han sido conformadas gracias a la fabricación de un molde diseñado especialmente para estudiar las propiedades de los composites reforzados con fibras, desarrollado por el grupo de investigación *TECTEX* de la UPC.

En primer lugar, se aplica una solución a toda la superficie y bordes del molde de hierro que ayuda a desmoldar el composite. Seguidamente, se deposita una tela de poliéster, de dimensiones 30 x 30 cm, para garantizar que se filtra el agua, pero no se pierde cemento a través de las perforaciones del molde. A continuación, se impregnan las probetas con cemento. La probeta debe impregnarse por ambas caras de forma intercalada, repitiendo la operación 4 veces. Para asegurar la homogeneidad de la muestra, la disposición de las probetas se intercala en dirección máquina y transversal consecutivamente. En total, 4 probetas de no tejido conformarán el composite.

³ Con la colaboración de la Sra. Helena Oliver Ortega.

⁴ El ácido acético genera niveles altos de DQO a las aguas residuales. Para neutralizar se puede utilizar también ácido fórmico que disminuye los niveles de DQO, o bien CO₂ si el proceso es en continuo. El CO₂ en continuo es muy sostenible puesto que no genera DQO a las aguas residuales.

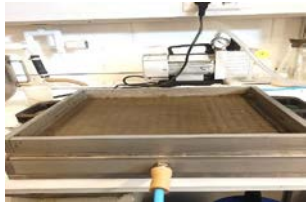


Figura 2 Molde diseñado para la fabricación de probetas de material compuesto reforzado con fibras.

Una vez finalizado el procedimiento, se deposita sobre el molde la tapa de hierro. Encima de esta tapa, se ha incorporado previamente la tela de poliéster impregnada con la solución que ayuda a desmoldar. Se procede a la compresión del material utilizando la *Universal Test Machine*, que ejerce una presión de 20 toneladas durante 24h.



Figura 3 Universal Test Machine

Pasadas estas 24h se extrae la muestra del molde y se deposita en una cámara de humedad para curar durante 28 días. Este procedimiento se realiza 2 veces, para los tres tipos de probetas que se obtienen (U, A y AO). De estos dos composites obtenidos para cada tratamiento, uno se ensaya y el otro se envejece.

2.2.3.2 Envejecimiento de los composites

El envejecimiento consiste en realizar 4 ciclos de 4 días de mojado en agua destilada a temperatura ambiente y 3 días de secado en un horno Mermett a 60°C.

2.2.4. Caracterización de las probetas

2.2.4.1 Estructuras No Tejidas

Para realizar la caracterización de los no tejidos se han determinado las siguientes propiedades:

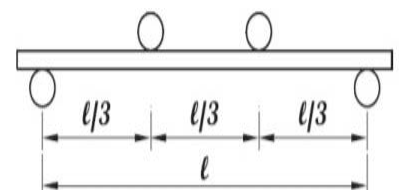
1. Peso. El peso se determina después de secado durante 4-16h al horno Mermett y dejando reposar a temperatura ambiente durante 24 h aproximadamente.
2. Gramaje. El gramaje se determina a partir del peso, mediante la siguiente fórmula: $\text{Peso}/\text{m}^2 \cdot 100$
3. Humedad. Se mide con la balanza de humedad *Cobos*. Se ha seleccionado el programa AUTO (modo automático), con una rampa de 105°C y un error de 0.01%.
4. Humectabilidad. La humectabilidad se ha medido de forma manual mediante una jeringuilla. Se deposita una gota (0.5 ml), igual a todas las muestras y se calcula con cronómetro el tiempo de absorción.
5. Propiedades mecánicas (tracción y alargamiento). Selección de probetas aleatorias de no tejido en sentido máquina y transversal. Las probetas son de 5 x 30 cm. La célula de carga es de 5N y las mordazas neumáticas. La distancia entre mordazas es de 2cm. El ensayo está normalizado por UNE-ISO 13934-1.
6. % Pérdida de peso. Para medir la pérdida de peso, se ha tomado el peso de todas las muestras secas para cada U de los ciclos. Las condiciones bajo las cuales se han registrado los pesos son siempre en seco.
7. SEM (Scanning Electron Microscope). Para ver la superficie del sustrato a gran resolución, se ha utilizado la técnica de Microscopia electrónica de rastreo, a 350, 1000 y 1500 aumentos.

2.2.4.2 Material Compuesto

Figura 4 Flexión a 4 puntos. Longitud 26cm

Ensayo a Flexión. La caracterización de las propiedades mecánicas del composite se ha realizado mediante el ensayo de resistencia a la flexión apoyada en 4 puntos. El equipo utilizado es la Máquina de Ensayos Universal con software Icotecnic. Configuración: 300 kN de carga máxima; La célula de carga de 3 kN; Velocidad de ensayo de 5 mm/ min; Procedimiento normalizado por UNE-EN-196-1-2005 “Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas”. Todas las muestras han sido pesadas y se ha medido tanto su espesor como su anchura con un pie de rey.

Tanto el espesor como la anchura son elementales para el cálculo del MOR (resistencia a la flexión, puesto que ninguno de los dos parámetros es constante entre las probetas. También, se han calculado otros parámetros como el LOP (punto inicial de rotura de la probeta), el MOE (módulo de elasticidad) y la energía (área bajo la curva).



3. Resultados y discusión

3.1 Tratamientos de estructuras No Tejidas

3.1.1 No Tejido sin Tratamiento

Se realizan diferentes ensayos con el no tejido original, atendiendo principalmente a su gramaje, su humedad y la resistencia a la tracción (fuerza máxima y alargamiento hasta la ruptura).

3.1.2 No tejido con el tratamiento alcalino con NaOH (A) y tratamiento alcalino con NaOH más la aplicación de aceite de soja (AO)

A continuación, se muestran los resultados de los cambios experimentados respecto al gramaje, la humedad, la humectabilidad y la resistencia a la tracción con la aplicación de los tratamientos A y AO respecto a la muestra original sin tratar.

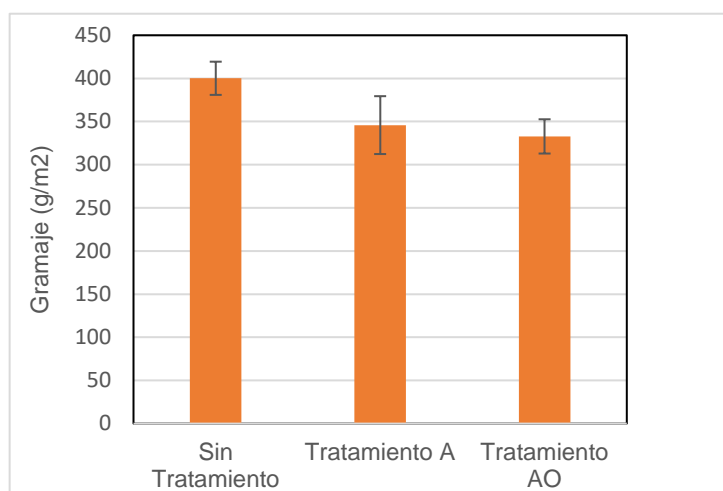


Figura 5. Evolución del gramaje con los consecutivos tratamientos

El gráfico muestra cómo va disminuyendo el gramaje de las muestras en relación a los diferentes tratamientos que se le aplican.

Hay que aclarar que las probetas tratadas con NaOH y aceite de soja, registran un peso inferior a las probetas tratadas únicamente con NaOH. En primer término, se podría deducir que al aplicar un producto el peso de la probeta aumentaría, pero sucede que las probetas correspondientes al tratamiento AO, registran un porcentaje de humedad inferior a las probetas del tratamiento A. Este gráfico nos muestra concretamente el porcentaje de pérdida de peso de las probetas tratadas con NaOH y con NaOH más la aplicación del aceite vegetal respecto a las probetas originales sin tratamiento.



Figura 6. Diferencias de color no tejido sin tratamiento (U) y no tejido tratado NaOH (A)

En el caso del tratamiento A, se registra una pérdida de peso. Esto nos indica que el tratamiento con sosa ha eliminado materia. Dado el color ligeramente blanqueado del no tejido, podemos deducir que se ha eliminado parte de la lignina, la que se encuentra entre fibras, puesto que este componente no celulósico es el principal responsable de la pigmentación de la fibra. La lignina no se elimina al 100%, persiste en la pared secundaria de la fibra donde es más difícil penetrar y ablandarla. Por otro lado, el valor registrado respecto la pérdida de peso con el tratamiento AO permite afirmar que el aceite de soja ha creado una capa protectora a la superficie del no tejido que dificulta la absorción de la humedad.

Los tratamientos aplicados al no tejido, han provocado un descenso de humedad. Por un lado, hay que aclarar los efectos del tratamiento alcalino con NaOH, y, por otro lado, el descenso considerable de la humedad después de la aplicación de aceite de soja.

Los efectos que un tratamiento alcalino efectúa sobre el no tejido es más complejo que en el caso de la celulosa pura. Además de que con el tratamiento alcalino se ha disuelto buena parte de la lignina y hemicelulosas, se produce una reacción de hinchamiento intrafibrilar.⁵ Esta reacción, es la responsable de la producción de dos efectos simultáneos: cambios en la capacidad de retención de agua de la fibra, y a la vez, mayor capacidad de enlaces entre fibras. También la eliminación de lignina también favorece los enlaces entre fibras, lo que se conoce como fibrilación externa.

⁵ M. Lewin. *Handbook of Fiber Chemistry*. 3d Edition. Taylor and Francis Group. 2007.

Otro factor a tener en cuenta, es la modificación física superficial del no tejido con la aplicación de NaOH. Varios estudios confirman, que la sosa a concentraciones adecuadas aumenta la rugosidad superficial de la estructura textil, el que se traduce como una mejora de la adhesión matriz-refuerzo [2]. Así mismo, el fenómeno que puede explicar el descenso radical de la humedad con la aplicación del aceite de soja, gira alrededor de la modificación química de la fibra. Los triglicéridos de los aceites vegetales contienen tres cadenas de acilo⁶ de diferentes longitudes y grados de saturación unidos a una cadena principal de glicerol. El recubrimiento de la superficie celulósica con los triglicéridos hidrofóbicos tendría que conducir a una celulosa hidrófoba, pero sin permanencia. Para conseguir superficies hidrofóbicas, las estructuras formadas por enlaces covalentes son las más deseables. La reacción de transesterificación⁷ entre los triglicéridos e hidroxilos de la celulosa forma cadenas de acilo largas hidrofóbicas, unidas covalentemente a la celulosa. Esta reacción conducirá a fibras celulósicas con superficies hidrófobas con una cobertura extendida de las cadenas de acilo de los ácidos grasos [1]. Este hecho es el que impide la absorción de la humedad a la superficie del no tejido. Se entiende que los valores de humedad registrados, corresponden a la humedad intrafibra provocada por el efecto de hinchamiento del tratamiento alcalino previo.

Figura 7 Humectabilidad del no tejido. U, A y AO

Se observa disminución del tiempo de absorción con el tratamiento de sosa (A) respecto al no tratado (U). Por el contrario, el tratamiento de sosa y aceite (AO) registra valores superiores al tejido sin tratar. A su vez, la fibra se volverá más hidrófila, es decir, absorbe más agua, pero no la retiene. Cabe distinguir entre el fenómeno de absorción y el fenómeno de retención. Ambos se derivan del tratamiento alcalino, pero provocan reacciones diferentes. Por un lado, las mejoras en hidrofilia favorecen la afinidad del no tejido con el cemento. Por otro lado, el descenso de la humedad favorece la no degradación prematura de la fibra.

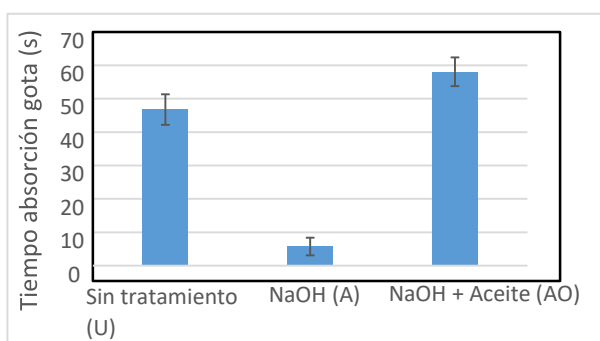


Figura 8. Resistencia a la tracción, [N]. U, A y AO

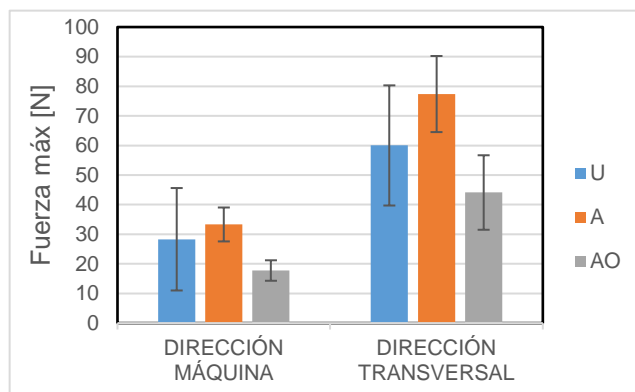
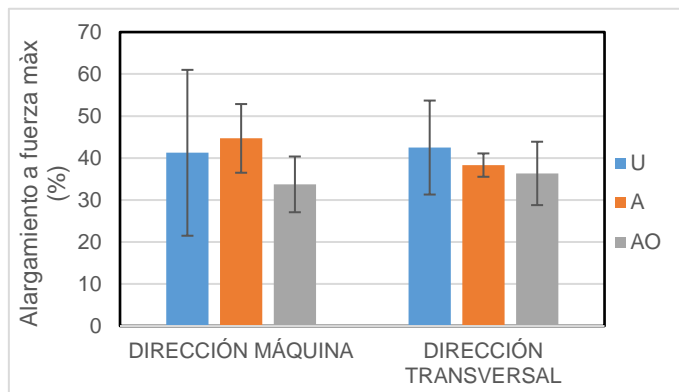


Figura 9. Alargamiento (%). Probetas U, A y AO



El tratamiento A, ofrece más resistencia tanto en el sentido máquina como transversal. El tratamiento con sosa sobre fibras vegetales produce varios efectos. Uno de ellos es el efecto de fibrilación externa, que genera más capacidad de enlaces entre fibras sobre todo enlaces puente hidrógeno. Gracias a la eliminación de parte de la lignina y hemicelulosas aumentan las interacciones entre unidades glucosídicas formando más cadenas de celulosa. También aumenta la cristalinidad de la fibra, ya que la celulosa presenta una elevada cristalinidad en comparación al resto de componentes no celulósicos. A su vez, la aplicación de sosa con temperatura también ha generado más fieltro de la estructura no tejida. Por otro lado, las probetas tratadas con sosa (A) tienen más capacidad de deformación en dirección máquina que no en dirección transversal. Por el contrario, las probetas no tratadas (U) son más elásticas en su sentido transversal que no en dirección máquina. Respecto a las probetas tratadas con NaOH más la aplicación del aceite de soja (AO), presentan bastante regularidad en el alargamiento hasta la ruptura en sentido máquina y sentido transversal.

⁶ Un grupo acilo es un grupo derivado de un oxoácido, normalmente un ácido carboxílico, por eliminación de uno o más grupos hidroxilo.

⁷ Proceso de intercambio de un grupo alcoxi de un alcohol. Estas reacciones suelen catalizarse intermediando un ácido o una base. En este estudio se ha catalizado con acetona.

3.2 Resultados del Material compuesto

3.2.1 Ensayo a Flexión

La caracterización del comportamiento de los materiales se ha obtenido a partir del análisis de las curvas tensión-deformación. En el caso de las fibras, para minimizar la heterogeneidad del no tejido, se calculó el parámetro fuerza/ peso de la muestra ensayada. Por cada grupo formado por 6 muestras (n=6) se determinó la media aritmética y la desviación típica. En el caso de los composites, se calculó la tensión a partir de la fórmula n: $\sigma = \text{fuerza} / \text{área}$. Para cada grupo de probetas se elaboró la tensión media y su desviación típica. En cuanto al fibrocemento se han calculado los siguientes parámetros mecánicos después de transformar la curva fuerza-desplazamiento en tensión-deformación: el límite de proporcionalidad (LOP), el módulo de ruptura (MOR), el módulo de elasticidad (MOE), la absorción de energía.

Se define LOP como el valor de la tensión máxima antes del momento de la rotura de la matriz y se obtiene directamente de la curva tensión-deformación. El valor MOR es la tensión máxima del material:

$$MOR = \frac{F \times l}{b \times h^2}$$

El MOE es la tangente del ángulo de la curva tensión-deformación, al 80% del LOP:

$$MOE = \frac{23 \times F \times l^3}{108 \times f \times b \times h^3}$$

La energía absorbida es el área bajo la curva tensión-deformación desde el principio hasta la finalización de la prueba, dividida por el área transversal de la probeta. Se recomienda que la prueba concluya cuando se dé el primero de los dos sucesos siguientes: cuando el valor MOR durante el ensayo decaiga un 40% respecto al máximo, o bien, cuando el valor de la deformación llegue al 10% de la distancia entre los apoyos. En este caso, se ha aumentado el límite hasta el 80% del valor de MOR respecto al máximo, los valores de las muestras quedaban fuera de ambos límites del RILEM. El 40% del valor de MOR respecto al máximo, es un punto arbitrario del RILEM, por eso se ha considerado aumentar el límite hasta el 80% del valor de MOR coincidiendo con el punto inferior de la fuerza en el valor de LOP (punto de primera rotura). Las ecuaciones dependen de la configuración de flexión, las distancias entre los apoyos de las piezas y su relación con las fuerzas, donde, F=Fuerza máxima (kN) l=Longitud entre los apoyos (mm) f=Deformación máxima (mm) b=Anchura de la pieza (mm), h=Altura de la pieza (mm).

3.2.1.1 Resistencia a la flexión. Probetas no envejecidas

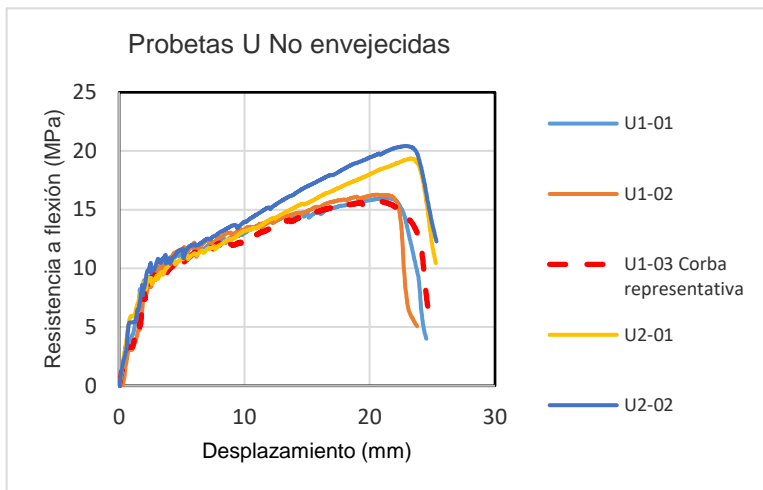


Figura 10. Refuerzo sin tratamiento (U). Probetas no envejecidas.

El gráfico muestra las curvas tensión-deformación de las 6 probetas sin tratamiento (U) y no envejecidas. La curva representativa logra una resistencia máxima de aproximadamente 15 MPa, estando su punto de rotura alrededor de los 20 mm. Aun así, algunas curvas han experimentado resistencias más elevadas, alrededor de los 20 MPa.

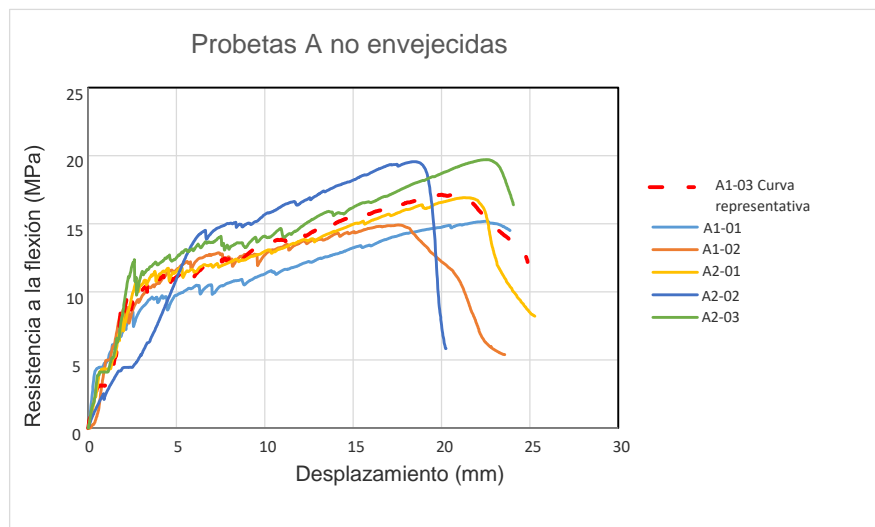


Figura 11 Refuerzo tratado con NaOH (A). Probetas no envejecidas.

El gráfico contempla las curvas de tensión-deformación para las 6 probetas tratadas con NaOH (A) no envejecidas. La curva representativa nos muestra una resistencia a flexión por encima de los 15 MPa. Existe más homogeneidad entre las probetas de este grupo, con una media de $17,24 \text{ MPa} \pm 2.05$. La resistencia a la flexión es más elevada en este grupo de probetas respecto las probetas no tratadas (U).

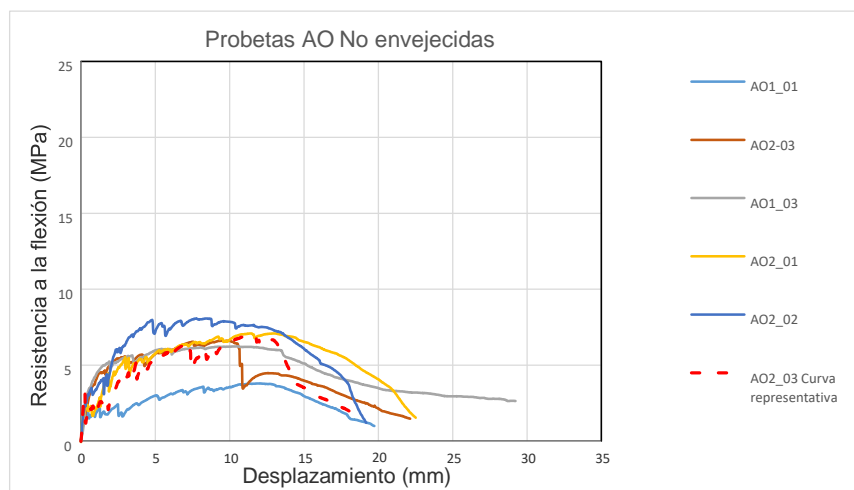


Figura 12 Refuerzo tratado con NaOH y aceite de soja (AO). Probetas no envejecidas.

El gráfico muestra las curvas de tensión-deformación de las 6 probetas tratadas con NaOH y aceite de soja (AO) no envejecidas. La curva representativa nos muestra una resistencia a la flexión alrededor de los 6 MPa y la curva de máxima resistencia no llega a los 10 MPa. Como se puede observar, este conjunto de probetas se encuentra muy por debajo de las resistencias a flexión experimentadas con las probetas sin tratamiento (U) y las probetas tratadas con NaOH (A).

3.2.1.2 Resistencia a la flexión. Probetas envejecidas

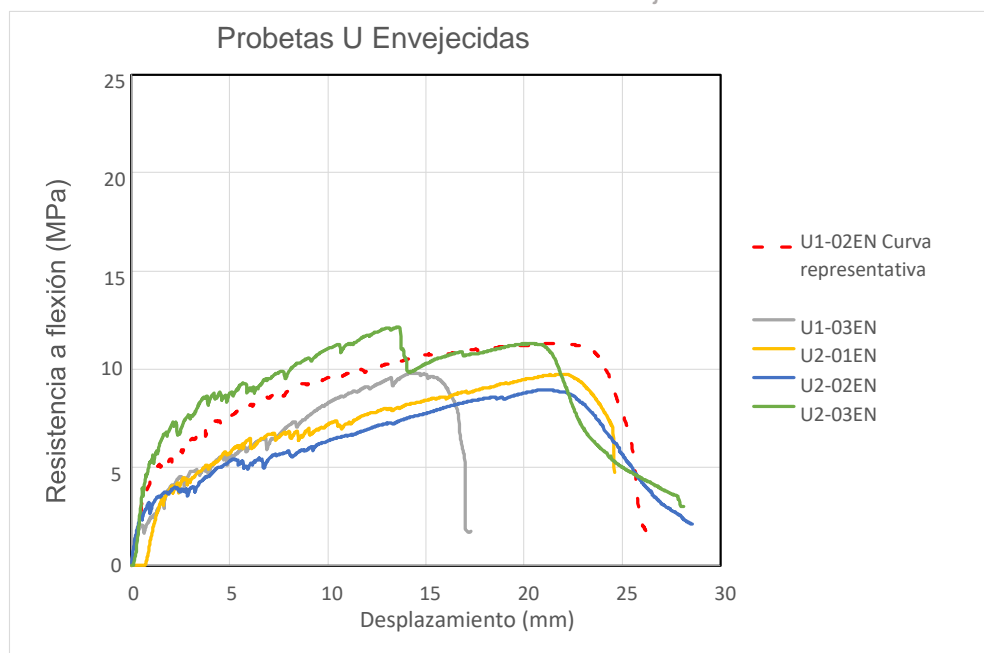


Figura 13. Refuerzo sin tratamiento (U). Probetas envejecidas.

El gráfico muestra las curvas tensión-deformación de las 6 probetas sin tratamiento (U) envejecidas. La curva representativa logra una resistencia máxima ligeramente por encima de los 10 MPa, y su punto de rotura llega a 25mm. Se observa una bajada considerable de la resistencia a la flexión respecto las muestras sin tratamiento (U) no envejecidas.

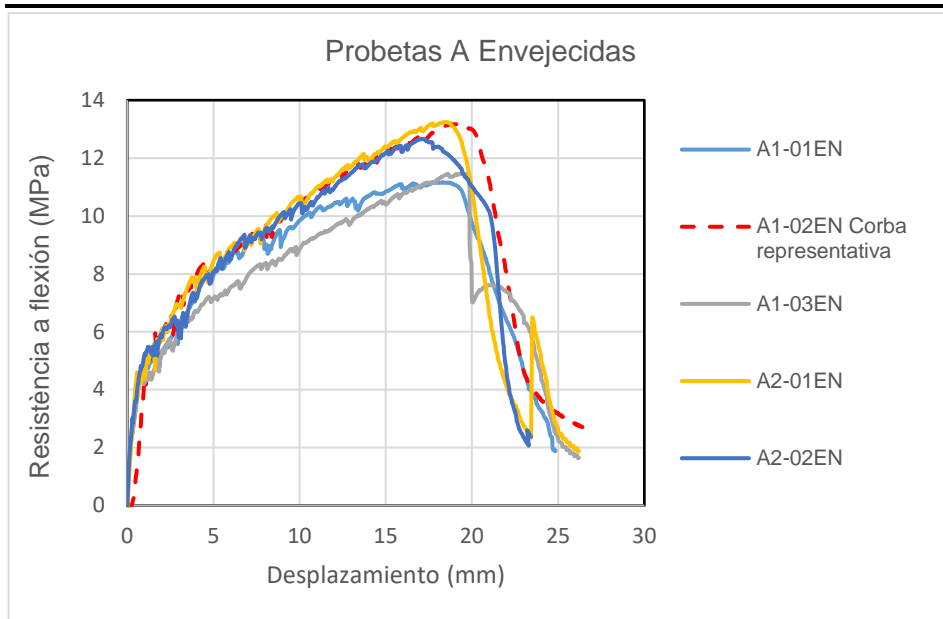


Figura 14 Refuerzo tratado con NaOH (A). Probetas envejecidas.

El gráfico muestra las curvas tensión-deformación de las 6 probetas tratadas con NaOH (A) envejecidas. La curva representativa logra una resistencia máxima alrededor de los 14 MPa y su punto de rotura sobre los 20 mm. Parece que la pérdida de resistencia respecto las probetas del mismo grupo sin envejecer, no ha sido tan importante cómo en el grupo de probetas sin tratamiento (U), donde se denotan diferencias más radicales comparando las envejecidas y las probetas sin envejecer.

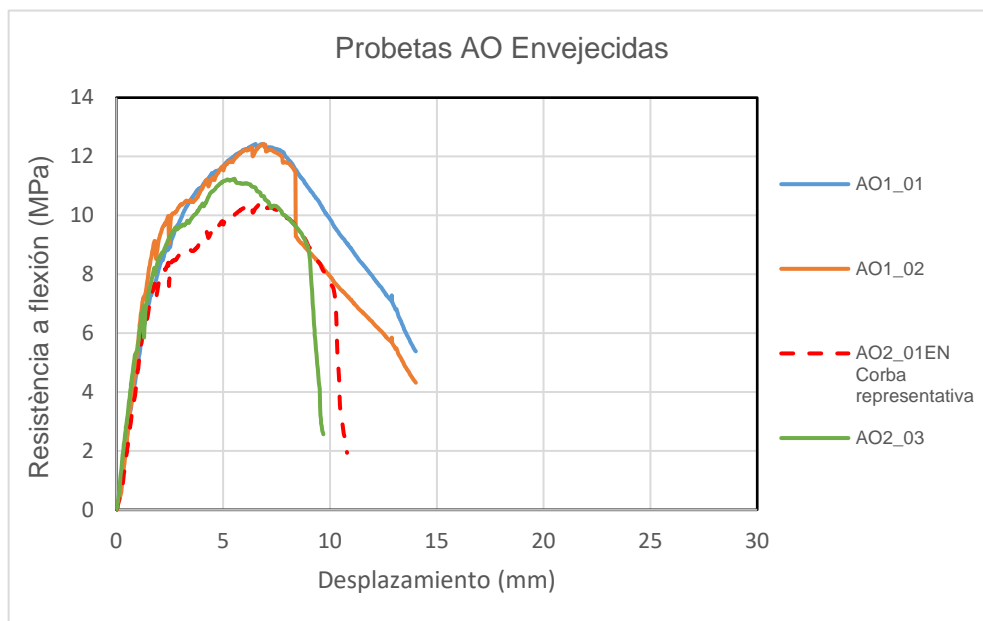


Figura 15 Refuerzo tratado con NaOH + Aceite de soja (AO). Probetas envejecidas.

El gráfico muestra las curvas tensión-deformación de las 6 probetas tratadas con NaOH + Aceite de soja (AO) envejecidas. La curva representativa logra una resistencia máxima alrededor de los 10 MPa y su punto de rotura sobre los 7 mm. Aparentemente, este grupo de probetas no muestra diferencias en cuanto a la pérdida de resistencia respecto las probetas del mismo grupo sin envejecer.

A continuación, se explica el comportamiento de las probetas no envejecidas y envejecidas, atendiendo al módulo de ruptura (MOR), módulo elástico (MOE), primer punto de rotura (LOP) y tenacidad,

El módulo de ruptura (MOR), manifiesta que las probetas sin tratamiento (U) así como de las probetas tratadas con NaOH (A) no envejecidas han experimentado valores superiores que las mismas probetas envejecidas. Esto no sucede con las probetas tratadas con NaOH + Aceite de soja (AO), donde las probetas envejecidas experimentan un módulo de ruptura superior a las no envejecidas. En los resultados de todos los tratamientos para el grupo de no envejecidas, se observa que las probetas sin tratamiento y las probetas tratadas con NaOH (U) y (A) respectivamente, logran un módulo de ruptura muy superior a las probetas tratadas con NaOH + Aceite de soja (AO). No se observan diferencias destacadas en cuanto al tratamiento NaOH (A) y las probetas sin tratamiento (U), en este caso. Analizando los resultados de todos los tratamientos para el grupo de envejecidas, se observa que en las probetas sin tratamiento (U) disminuye el módulo de ruptura. Contrariamente en el caso de las probetas tratadas con NaOH + Aceite de soja, las probetas envejecidas alcanzan un módulo de ruptura más elevado que las no envejecidas.

El módulo de elasticidad (MOE), manifiesta que las probetas sin tratamiento (U) probetas tratadas con NaOH + Aceite de soja (AO) no envejecidas han experimentado valores superiores que las mismas probetas envejecidas. Esto

no sucede con las probetas tratadas con NaOH (A), donde las probetas envejecidas experimentan un módulo de ruptura ligeramente superior a las no envejecidas.

Con las probetas no envejecidas, se observa que las probetas sin tratamiento y las probetas tratadas con NaOH + Aceite de soja (U) y (AO) respectivamente, logran un módulo de elasticidad superior a las probetas tratadas con NaOH (A). En cualquier caso, el tratamiento de NaOH + Aceite de soja (AO) ha dado mejores resultados en cuanto a módulo de elasticidad, en el grupo de no envejecidas. Para las envejecidas, se observa que las probetas sin tratamiento (U) disminuye el módulo de elasticidad. Esta disminución no es tan considerable en el caso de las probetas tratadas con NaOH + Aceite de soja (AO), y en el caso de las probetas tratadas con NaOH (A), las probetas envejecidas presentan un módulo de elasticidad ligeramente más elevado que las no envejecidas. Hay que destacar, que, en el módulo de elasticidad, todas las desviaciones estándar han sido muy elevadas, por lo tanto, los resultados son bastante heterogéneos en este caso.

El punto de primera rotura (LOP), manifiesta que tanto las probetas sin tratamiento (U) como las tratadas con NaOH (A) no envejecidas experimentan valores superiores que las mismas probetas envejecidas. Esto no sucede con el tratamiento NaOH + Aceite de soja (AO), donde las probetas envejecidas resisten más hasta la primera rotura. Se observa que tanto las probetas sin tratamiento (U) como las probetas tratadas con NaOH (A) disminuyen respecto a su grupo sin envejecer. Contrariamente, las probetas tratadas con NaOH + Aceite de soja envejecidas resisten más hasta la primera rotura que no las no envejecidas, experimentando nuevamente mejores resultados las envejecidas que no las no envejecidas.

La tenacidad, manifiesta que las probetas sin tratamiento (U) y las tratadas con NaOH (A) no envejecidas presentan valores más altos que las mismas probetas envejecidas, contrariamente a lo que sucede con las probetas tratadas con NaOH + Aceite de soja (AO).

En cuanto a las no envejecidas, las probetas sin tratamiento y las probetas tratadas con NaOH (U) y (A) respectivamente, presentan una tenacidad superior a las probetas tratadas con NaOH + Aceite de soja (AO). No se encuentran diferencias entre las probetas sin tratamiento (U) y las probetas tratadas con NaOH (A) no envejecidas. La tenacidad disminuye para las envejecidas tanto las probetas sin tratar (U) como las tratadas con NaOH (A). Contrariamente, las probetas tratadas con NaOH + Aceite de soja envejecidas presentan la misma tenacidad que su grupo sin envejecer. Se confirma que el tratamiento con NaOH + Aceite de soja (AO), resiste bastante bien a los ciclos de envejecimiento.

4. Conclusiones

La evaluación del material compuesto con matriz cerámica y refuerzo de no tejido de lino, recae sobre la adhesión entre ambos materiales, la resistencia y la durabilidad. En cuanto a la resistencia y la durabilidad, por un lado, se corrobora que el no tejido de lino, tiene que tratarse previamente. Las probetas sin tratamiento pierden resistencia al aplicar el ciclo de envejecimiento sin garantizar una buena durabilidad. Estas diferencias entre las probetas no envejecidas y envejecidas, se atenúan con la aplicación de los tratamientos.

Concretamente, el tratamiento con NaOH favorece la adhesión refuerzo-matriz y logra el mejor resultado de tenacidad. Se puede afirmar, que este tratamiento tiene un buen rendimiento y una tolerancia adecuada al envejecimiento. Por otro lado, se corrobora que el tratamiento con NaOH + Aceite de soja protege la fibra, pero no ayuda a la adhesión refuerzo-matriz. No obstante, después de los ciclos de envejecimiento, se observa que los resultados del material son bastante similares a los resultados previos al envejecimiento.

Como retos de futuro, se propone estudiar las posibles causas de los resultados del tratamiento NaOH + Aceite de soja, después del envejecimiento. Además, puesto que se confirma que el aceite de soja tiene un efecto satisfactorio en cuanto que la protección de la fibra, se propone bombardear la superficie del no tejido tratado con NaOH + Aceite de soja, con plasma, para aumentar la adhesión refuerzo-matriz.

5. Posibilidades de aplicación dentro del marco del desarrollo sostenible

Se plantea el proyecto en el marco del diseño sostenibilista, integrando las tres ramas de este concepto. El diseño sostenibilista es el último estadio de mejora de los productos y servicios integrando la dimensión ambiental, la dimensión económica haciendo eco al diseño eficiente, y la dimensión social con el objetivo de reducir el impacto negativo de la industria hacia la sociedad.

En cuanto a la dimensión ambiental, este nuevo material implica una reducción del impacto ambiental por la elección de materiales, puesto que se utiliza un recurso renovable y biodegradable, el lino, y se consigue disminuir el peso del cemento. Disminuir el peso de un material implica reducir el coste de producción y de transporte, ahorrar recursos y energía y tener menos residuo material cuando el producto llega a su fin de vida. A su vez, se ha procurado reducir el impacto en la etapa de producción, seleccionando el método de estructura no tejida por ser más eficiente que el proceso de calada, por lo tanto, se consigue reducir tiempo y energía en la etapa productiva. También se utilizan nuevas técnicas y productos, como el aceite de soja, de base natural, renovable y biodegradable como sustituto de productos químicos nocivos para el medioambiente.

La dimensión social del proyecto se basa primeramente en la elección de proveedores locales (dentro del marco del espacio europeo). Estos proveedores garantizan buenas condiciones laborales a sus trabajadores. Seguidamente, este proyecto contempla el lanzamiento de un producto que requiere formación laboral tanto en la fabricación como en la manipulación, por lo tanto, se encuentra en la línea de la generación de trabajos cualificados, fomentando una red social de calidad. En tercer lugar, la reducción de su peso genera una mejora en la calidad de vida y la salud de los operarios del sector de la construcción. Por último, favorece la prevención de accidentes en la vía pública causadas por el desprendimiento de fachadas, ya que este producto se ha diseñado para su aplicación para fachadas ventiladas.

Por último, la dimensión económica contempla la apertura de una nueva línea de negocio que puede recuperar un sector perjudicado por la reciente crisis financiera. La búsqueda de nuevos materiales para la construcción ofrece nuevas oportunidades al sector. Este material resistente a las grietas se puede destinar a otros tipos de construcciones arquitectónicas más complejas. Así mismo, la posibilidad de obtener un material resistente a las grietas aporta seguridad y confianza a los consumidores, por lo que se convierte en un producto con buenas perspectivas de mercado. Otro punto a tener en cuenta es que estos tipos de materiales están predestinados a imponerse como obligatorios en espacios públicos, en la línea de los materiales de prevención de incendios, las puertas especiales de emergencia, etc., por lo que constituyen una apuesta segura de inversión, estableciéndose una clara línea de negocio.

Agradecimientos

Se agradece la financiación recibida del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) en el marco del proyecto BIA2014-59399-R " Desarrollo de materiales de alta resistencia y durabilidad basados en morteros de cemento reforzados con no tejidos de fibras vegetales aplicables en fachadas ventiladas"

Bibliografía

1. Frederick T. Wallenberger; Watson, N Weston. *Natural fibers, Plastics and composites*. Kluwer Academic Publishers. 2004.
2. Stephen, W. Tsai; Miravete, A. *Diseño y análisis de materiales compuestos*. Ed. Reverté S.A. 1992.
3. Ronald, A. Kline. *Nondestructive characterization of composite media*. Technomic Publishing Company Inc. 1992.
4. Cegarra, J. *Fundamentos y tecnología del blanqueo de materias textiles*. Universidad Politécnica de Cataluña. 1997.
5. Russell, S.J. *Handbook of nonwovens*. Woodhead publishing in textiles. 2007.
6. Wei, Q. *Surface modification of textiles*; Woodhead Publishing Limited, 2009.
7. Gacén Guillén, J. *Fibras textiles, propiedades y descripción*. Universidad Politecnica de Cataluña. 1991.
8. Garcia Hortal, J.A. *Fibras papeleras de origen natural*. Universidad Politécnica de Cataluña. 1988.
9. Garcia Hortal, J.A. *Constituyentes fibrosos de pastas y papeles*. Universidad Politécnica de Cataluña. 1993.
10. Albin, F. Turbak. *Nonwovens: Theory, process, performance, and testing*. Tappi Press, 1993.
11. Backer. S. C.; Petterson, D. R. *Textile Research Journal*. 30 (12): 704. 1986.
12. M. Lewin. *Handbook of Fiber Chemistry*. 3th Edition. Taylor and Francis Group. 2007.
13. Vargas Rojas, G. *Botánica General desde los musgos hasta los árboles*. EUNED, 2011.
14. Alistar, D. Muero; Neil, D. Westcott; *Flax. the genus linum*. Taylor and Francis Group, 2003.
15. Dankovich, A.; You-Lo Hsieh. *Surface modifications of cellulose with plant triglycerides for hydrophobicity*. UC Davis. 2007.
16. Ardanuy, Mònica; Claramunt, Josep; Ventura, Hiedra; Manich, Albert M. Effect of *Water treatment donde the Fiber-Matrix bonding and durability of cellulose fiber cement composites*. Journal of Biobased Materials ad Bioenergy, volume 9, n°5, Oct 2015, pp. 486-492.
17. Akin, D.E.; Gamble, G.R.; Morrison III, W.H.; Rigsby, L.L.; Dodd, R.B. *Chemical and structural analysis of fiber and core tissues from flax*. J. Sci. Food Aric., Quiere 72. 1996. pp. 155-165.
18. Garcia Ferrero, Sergi. TFG. *Utilización de no tejidos de fibra vegetal para materiales compuestos con matriz de cemento*. Universidad Politécnica de Cataluña. Escuela superior de Agricultura de Barcelona. 2015.
19. Lady J. Rodríguez; Carlos E. Orrego. *Modificación química de las fibras de yute y de lino cono anhídrido acético y epíclorhidrina*. Revista NOOS Quiere 3. pp. 1-8. 2013.
20. Cobrerros Rodríguez, Carlos. TFM. *Uso de fibras vegetales procedentes de explotaciones agrícolas en la edificación sostenible*. Universidad Politécnica de Cataluña. Escuela Superior de Arquitectura de Barcelona.
21. Sáez Pinto, Javier. TFM. *Estudio del efecto del tratamiento cono plasma de fibras de lino para su aplicación en materiales compuestos*. Universidad Politécnica de Cataluña. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Industrial y Aeronáutica de Terrassa.
22. Muñoz Dominguez, Eva. *Tesis Doctoral. Fabricación y caracterización de green composites cono bioresina y tejido de fibra natural de lino mediante moldeo miedo transferencia de resina*. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales. 2016.
23. Cardim de Carvalho Filho, Arnaldo. *Tesis Doctoral. Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento*. Universidad Politécnica de Cataluña. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. 2001.
24. Labay, Cédric. *PhD Tesis. Treatment of textile surfaces by plasma technology for biomedical applications*. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería Textil y Papelera. 2014.
25. Soto Ciruela, Marc. TFM. *Mechanical characterization of vegetable fiber reinforced cement composites*. Universidad Politécnica de Cataluña. 2017.
26. Ventura, Hiedra; Claramunt, Josep; Navarro, Antonio; Rodríguez-Pérez, M.A; Ardanuy, Mònica. *Effects of Wet/Dry Cycling and plasma treatments donde the properties of flax nonwovens intended for composite reinforcing*. Materiales, 9, 93. 2016.