



María Paz Pividal Parra

Estudio de las mantas no tejidas punzonadas de fibras naturales de capoc y lino para aplicaciones técnicas

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia







Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

María Paz Pividal Parra

Estudio de las mantas no tejidas punzonadas  
de fibras naturales de capoc y lino para  
aplicaciones técnicas

Tesis de Doctorado  
Ingeniería Textil

Trabajo efectuado bajo la orientación de la  
Profesora Doctora Ana María Rocha

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

### ***Licença concedida aos utilizadores deste trabalho***



***Atribuição CC BY***

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Agradecimientos

El fin de ciclo de este trabajo ha sido posible a través de la constancia y el esfuerzo realizado día a día. Quiero agradecer a todas aquellas personas que de alguna manera han ayudado a hacer que este trabajo se hiciera posible, en especial a mi orientadora Ana María Moreira Ferreira Rocha que me ha ayudado en todo lo que ha podido y me ha dejado total libertad a lo largo de esta investigación para poder crear un material que estaba calificado como imposible por todos los especialistas en no tejidos, por ello le agradezco sus directrices a la hora de esta investigación.

A la Universidad do Minho y a los técnicos del departamento de Ingeniería Textil por la colaboración directa e indirecta a lo largo de estos años durante del desarrollo del trabajo. A Verónica Costa por toda la guía y el apoyo de amistad que me ha dado de manera desinteresada.

Le agradezco a mi familia, a mis sobrinos, a mi sobrina Rosa María por lo que ha podido aportar a este trabajo, a mis sobrinos nietos: Izan y Mia del Rosario, a mis hermanos: Juan José y Micaela, a mis cuñados: Juani y Pedro y a todos mis amigos en general y de manera especial a Encarnación Robaina Falcón y a Francisco Fabián Ravelo Robaina por su inestimable amistad y por la ayuda ofrecida en diferentes parcelas de este trabajo.

Dedico este trabajo:

A mi padre Juan Pividal Poveda (in memoriam)

y a mi madre Rosa Parra Gazquez

“Trabajo, respeto, constancia y sudor del hombre hacia la tierra”

## Declaración de integridad

Declaro haber actuado con integridad en la elaboración de la presente tesis. Confirmando que a lo largo de toda la elaboración de este trabajo no recurrí en la práctica de plagio o cualquier otra manera de falsificación de los resultados.

Por tanto, declaro que tomé conocimiento integral del código de conducta ética de la Universidad de Minho.

Universidad de Minho, marzo de 2020

Nombre completo: María Paz Pividal Parra

Firma: \_\_\_\_\_

## Resumo

Na última década, a procura de soluções têxteis ecologicamente mais sustentáveis e com maior funcionalidade para áreas de aplicação técnica cresceu significativamente. Na área da agricultura, as mudanças climáticas e o aumento da população impulsionaram o desenvolvimento de têxteis inovadores, em particular não-tecidos, produzidos com fibras naturais ou biodegradáveis, destinados à gestão da água, um dos problemas mais prementes na agricultura atual.

Nesta tese o objetivo foi desenvolver um não-tecido à base de fibras de sumaúma em rama (designadas neste trabalho como fibras de capoc) e em mistura de fibras de sumaúma e linho, capaz de recolher água proveniente da condensação de infiltrações no solo e evapotranspiração das plantas, para possibilitar a sua utilização na rega. Como as fibras capoc são curtas e com baixa resistência mecânica, a criação de estruturas não tecidas com o desempenho requerido, constituiu um dos maiores desafios e conduziu ao estabelecimento de um método de produção inovador (pedido de patente nacional nº 109924 A) que permitiu a produção de não tecidos 100 % capoc com o desempenho funcional requerido para aplicações em agrotêxteis.

A estrutura base dos não-tecidos foi obtida pelo processo *dry-laid* (via seca) de formação da manta, usando a linha de não-tecidos "Automatex". Adotaram-se diferentes fluxos de materiais, diferente disposição das fibras e número de sobreposições (camadas). A consolidação da manta foi efetuada utilizando o método tradicional de agulhagem e o novo método de produção, que inclui prensagem, resultando em estruturas não-tecidas formadas unicamente por capoc e por misturas de capoc-linho, denominadas como não-tecido simples, *sandwich* e compostos.

Os não-tecidos produzidos foram caracterizados relativamente às suas propriedades geométricas e estruturais, propriedades mecânicas (tração e punção), propriedades térmicas, transferência de ar, capacidade de dispersão e absorção de água. Os não-tecidos 100% capoc foram expostos a envelhecimento acelerado (QUV), sendo posteriormente analisados química e estruturalmente (por espectroscopia de infravermelhos e calorimetria diferencial de varrimento) e avaliadas as suas propriedades mecânicas (tração e punção) e capacidade de molhagem (ângulo de contacto). O efeito da radiação UV e da condensação no aumento da espessura e captação de água do não-tecido também foi avaliado.

Os não-tecidos 100 % capoc desenvolvidos demonstraram ser super-hidrofóbicos, com ângulos de contacto variando entre 160° e 180°, com resistência à rotura atingindo cerca de 900 N e resistência à perfuração acima de 150 N. Estes não-tecidos, com espessuras muito pequenas,

apresentaram boas propriedades térmicas, com resistências térmicas situadas entre 148-186 ( $\times 10^{-3}$ )  $m^2KW^{-1}$ , e uma muito baixa permeabilidade ao ar (inferior a  $2 l/m^2/s$ ).

Os não-tecidos de mistura de capoc-linho desenvolvidos pelo processo convencional atingiram resistências à rotura de 600 N e à perfuração de 1400 N, com uma redução da extensão do dano em cerca de 30 % devido à maior densidade aparente destas estruturas.

O trabalho de investigação realizado permitiu assim obter estruturas não-tecidas 100 % capoc ou em mistura capoc-linho inovadoras, com o desempenho mecânico requerido para aplicações em agrotêxteis e geotêxteis, compatível com os requisitos de geotêxteis da classe III.



## Abstract

In the last decade, the search for more ecological, sustainable and functional textile solutions for technical applications has grown significantly. In the area of agriculture, climate change and population growth have driven the development of innovative textiles, especially nonwovens, produced from natural or biodegradable fibers, for water management, one of the most pressing problems in agriculture current.

In this research study, the intention was to develop a nonwoven based on raw kapok fibres and kapok-flax blends, capable of collecting water from the condensation of infiltrations in the soil and the evapotranspiration of plants, to enable its use in irrigation systems. As the kapok fibers are short and with low mechanical resistance, the creation of non-woven structures with the required performance was one of the biggest challenges and led to the establishment of an innovative production method (national patent application n° 109924 A) that allowed the production of 100 % kapok nonwovens with the functional performance required for application in agrotextiles.

The nonwoven base structure was obtained by the dry-laid process of mat formation, using the "Automatex" nonwoven Line. Different material fluxes, different fiber arrangements and number of overlays (layers) were adopted. The consolidation of the mat was carried out by the traditional needle-punching method and by the new production method, which includes pressing, resulting in 100 % kapok and kapok-flax blended nonwoven structures, referred as simple, sandwich and compound nonwovens.

The nonwovens produced were characterized regarding their geometric and structural properties, mechanical properties (tensile and puncture strength), thermal properties, air transfer, dispersion capacity and water absorption. The 100% kapok nonwovens were exposed to accelerated aging test (QUV) and subsequently analyzed chemically and structurally (by Infrared Spectroscopy and Differential Scanning Calorimetry). The mechanical properties (tensile and perforation) as well as, wetting capacity (angle of contact) were evaluated. The effect of UV radiation and condensation on nonwovens thickness increase and water collection was also analyzed.

The 100% kapok nonwovens developed demonstrated to be super-hydrophobic, with contact angles varying between 160° and 180°. The tensile strengths obtained were up to 900 N and the puncture resistances above 150 N. These nonwovens, with very small thicknesses, showed good thermal properties, with thermal resistances lying between 148-186 ( $\times 10^{-3}$ )  $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ , and extremely low air permeability (lower than 2  $\text{l}/\text{m}^2/\text{s}$ ).

The kapok-flax nonwovens produced by the conventional needle-punching method achieved tensile strengths of 600 N and puncture resistances of 1400 N, with a decrease in the through-thickness damage of around 30%, due to higher bulk density of these structures.

This research work allowed the production of novel 100 % kapok and kapok-flax nonwoven structures with the mechanical performance required for agrotextiles and geotextile applications, compatible with class III geotextiles' requirements.

# Índice

<b>Agradecimientos</b> .....	<b>iii</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>v</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>vii</b>
<b>Capítulo 1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1. Encuadramiento y Motivación .....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.3. Metodología adoptada .....	3
1.4. Estructura de la tesis .....	4
<b>Capítulo 2. Conceptos teóricos y Estado del Arte</b> .....	<b>6</b>
2.1. Características de las fibras de capoc y lino .....	6
2.1.1. Fibras de capoc (Ceiba pentandra (L.) Gaertn) .....	6
2.1.2. Fibras de lino (Linum usitatissimum) [19] .....	7
2.2. No tejidos para agrotexiles y geotexiles .....	8
2.2.1. Procesos de producción .....	9
2.2.2. Proceso de punzonado .....	10
2.2.3. Relación entre la estructura y propiedades de los no tejidos punzonados .....	13
2.2.4. Desarrollo de agrotexiles y geotexiles a base de fibras naturales .....	13
2.2.5. Investigaciones realizadas .....	15
2.2.6. Análisis de Patentes .....	19
<b>Capítulo 3. Desarrollo experimental</b> .....	<b>21</b>
3.1. Caracterización de las fibras .....	21
3.2. Métodos de creación y producción de las estructuras no tejidas .....	22
3.2.1. Método de producción de los no tejidos en la Línea Automatex .....	22
3.2.1.1. Plan de experiencias .....	24
3.2.2. Nuevo método de producción de no tejidos .....	27
3.2.2.1. Plan de experiencias .....	28
3.3. Métodos de caracterización de los no tejidos desarrollados .....	33
3.3.1. Propiedades geométricas y estructurales .....	34

3.3.2. Propiedades mecánicas.....	34
3.3.2.1. Adecuación de componentes.....	34
3.3.3. Propiedades de transferencia de aire, calor y líquidos.....	36
3.3.3.1. Permeabilidad al aire.....	36
3.3.3.2. Propiedades térmicas.....	37
3.3.3.3. Humectación y dispersión del agua y humedad (capilaridad).....	39
3.3.4. Degradación ambiental de los no tejidos.....	42
3.3.4.1. Alteraciones del equipo.....	43
3.3.5. Tabla resumen de las propiedades evaluadas.....	44
<b>Capítulo 4. Análisis y discusión de las propiedades de los no tejidos desarrollados.....</b>	<b>46</b>
4.1. No tejidos de mezclas de fibras de capoc-lino.....	46
4.1.1. No tejidos obtenidos por el proceso de producción en la Línea Automatex.....	46
4.1.1.1. Propiedades Mecánicas - Resistencia y Alargamiento máximo a la Rotura (Método <i>Grab</i> ).....	47
4.1.1.2. Resistencia a la punción.....	51
4.1.1.3. Propiedades térmicas y de transferencia al aire.....	56
4.1.1.3.1. Propiedades térmicas.....	56
4.1.1.3.2. Permeabilidad al aire.....	59
4.1.1.4. Dispersión y mojado.....	60
4.1.2. No tejidos obtenidos por el proceso de producción desarrollado por el nuevo método de producción.....	61
4.1.2.1. Propiedades mecánicas. Resistencia y Alargamiento a la Rotura (Método <i>Grab</i> ).....	65
4.1.2.2. Propiedades térmicas y de transferencia al aire.....	67
4.1.2.2.1. Propiedades térmicas.....	68
4.2. No tejidos de fibras de capoc.....	70
4.2.1. Propiedades Mecánicas - Resistencia y Alargamiento máximo a la Rotura (Método <i>Grab</i> ).....	83
4.2.1.1. No tejidos sándwich 100 % capoc.....	83
4.2.1.2. No tejidos compuestos 100 % capoc.....	85
4.2.2. Resistencia a la punción.....	89
4.2.3. Propiedades térmicas y transferencia de aire.....	90
4.2.3.1. Propiedades térmicas de los no tejidos simples.....	90
4.2.3.2. Propiedades térmicas de los no tejidos sándwich.....	96

4.2.3.3. Propiedades térmicas de los no tejidos compuestos.....	98
4.2.3.4. Propiedades de transferencia de aire de los no tejidos simples, sándwich y compuestos.....	100
4.2.3.5. Dispersión y mojado de los no tejidos sándwich de fibras 100 % capoc .....	104
4.3. Estudio de la degradación de los no tejidos compuestos 100 % capoc .....	104
4.3.1. Análisis de las propiedades mecánicas .....	105
4.3.1.1. Resistencia y Alargamiento a la Rotura (Método <i>Grab</i> ).....	105
4.3.1.2. Resistencia a la punción .....	108
4.3.2. Análisis de las propiedades térmicas.....	114
4.3.3. Análisis del ángulo de contacto .....	116
4.3.4. Análisis químico y estructural .....	117
4.3.4.1. Espectroscopia en Infrarrojos.....	117
4.3.4.2. Calorimetría de barrido diferencial (DSC) .....	119
4.3.5. Análisis del aumento del espesor y captación de agua después del envejecimiento acelerado (QUV).....	123
4.3.5.1. Efecto del UV .....	123
4.3.5.2. Efecto de la condensación .....	124
<b>Capítulo 5. Conclusiones y Perspectivas futuras .....</b>	<b>128</b>
5.1. Conclusiones.....	128
5.2. Perspectivas futuras .....	131
<b>Bibliografía .....</b>	<b>132</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>142</b>

## Índice de figuras

### Capítulo 1. Introducción

Figura 1. Tasas de crecimiento anual de la producción de tejidos no tejidos [1] ..... 1

### Capítulo 2. Conceptos teóricos y Estado del Arte

Figura 2. Árbol de Capoc. (a) Árbol amazónico emergente , (b) fruto con fibra de capoc [2], (c) estructura exterior e interior de la fibra de capoc [6] ..... 7

Figura 3. Fibras de lino [24] ..... 8

Figura 4. Clasificación de no tejidos según el proceso de producción y consolidación ..... 9

Figura 5. Diagrama del proceso de la formación de la manta de carda de un no tejido [39] ..... 10

Figura 6. Equipo de punzonado convencional (parte de una línea de laboratorio de no tejidos Automatex) ..... 11

Figura 7. (1): Descripción de dos agujas de no tejidos [35][30]. (2): Estructura de la barba de la aguja; (A) Distancia entre la primera barba de la aguja hasta la punta de la aguja, (B) distancia de barba a barba, (C) distancia entre barbas en los laterales contiguos, (L) longitud total de la aguja, (T) longitud de la hoja de la aguja, (S) longitud de espiga de la aguja intermedia y (R) longitud de la espiga de la aguja [40] ..... 11

Figura 8. Diagrama de la perforación de la aguja. Las barbas de las agujas cogen la fibra con una dirección vertical a través del grosor de la manta [35][41] ..... 12

Figura 9. No tejido de yute para germinación de semillas. Propagación de la raíz entre el no tejido de yute [60] ..... 14

Figura 10. (Izquierda) Barrera geotextil denominada silt-fence [66]; (Derecha) Colocación del geotextil de Kemafil en la superficie de la pendiente [67] ..... 15

Figura 11. Agrotexiles no tejidos de yute (500 g/m<sup>2</sup>) para control del crecimiento de hierbas en plantaciones de piña [68] ..... 15

Figura 12. a) No tejido 100 % lino producido por el proceso wet-laid para refuerzo de composites [77]; b) No tejido en mezcla de lino-cáñamo producido por el proceso air-laid y unido por punzonado [78] ..... 17

### Capítulo 3. Desarrollo experimental

Figura 13. Fibras de capoc y lino ..... 21

Figura 14. Línea Automatex: a) Abridora, b) Carda, c) Cross-Lapper, d) Punzonadora ..... 23

Figura 15. Flujograma de producción de no tejidos CP-CL en la Línea Automatex .....	25
Figura 16. Curva DSC de fibras de capoc.....	27
Figura 17. Método de obtención de estructuras a base de fibras de capoc: a) Abridora, b) Prensa, c) Punzonadora .....	28
Figura 18. Orientación de los no tejidos compuestos en el sentido longitudinal y cruzado.....	29
Figura 19. Flujograma de producción de no tejidos 100 % capoc (CP) .....	30
Figura 20. Flujograma de no tejidos de mezclas de capoc-lino (CP-CL) desarrollados por el nuevo método de producción .....	31
Figura 21. Mordazas reproducidas para el Test de tracción por el Método <i>Grab</i> y ejemplo de un test de no tejido compuesto 100 % capoc.....	35
Figura 22. Elementos auxiliares utilizados en el Test de punción y ejemplos de los Test de no tejido compuesto 100 % CP y no tejido sándwich de mezclas CP-CL .....	36
Figura 23. Test de permeabilidad al aire del no tejido sándwich 100 % capoc .....	37
Figura 24. Evaluación de las propiedades térmicas de los no tejidos sándwich de mezclas de capoc-lino (izquierda) y de los no tejidos compuestos 100 % capoc (derecha) con el instrumento Alambeta .....	39
Figura 25. Test de capilaridad vertical de los no tejidos de mezclas de fibras de CP-CL.....	41
Figura 26. Test de capilaridad horizontal de los no tejidos sándwich de fibras 100 % capoc .....	41
Figura 27. Prueba de la gota en el derecho y en el envés de los no tejidos de mezclas de fibras de CP-CL (arriba) y prueba de la gota en el envés y en el derecho de las mantas sándwich 100 % capoc (debajo).....	41
Figura 28. Prueba del Spray o Test de la lluvia de los no tejidos de mezclas de fibras de CP-CL.....	41
Figura 29. Medición del Ángulo de contacto en los no tejidos compuestos 100 % capoc antes y después del QUV .....	42
Figura 30. Alteraciones de las placas para realizar el test del QUV en los no tejidos compuestos 100 % capoc.....	43

#### **Capítulo 4. Análisis y discusión de las propiedades de los no tejidos desarrollados**

Figura 31. Resistencia de la rotura (N) en relación con la masa por unidad de área ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) de los no tejidos de fibras de capoc-lino desarrollados .....	48
Figura 32. Curvas de fuerza-alargamiento en dirección a la máquina (MD) y dirección transversal a la máquina (CD) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino (CP-CL) .....	50

Figura 33. Curvas de fuerza-alargamiento en dirección a la máquina (MD) y dirección transversal a la máquina (CD) de los no tejidos de mezclas de capoc y lino (CP+CL) .....	50
Figura 34. Curvas de fuerza-alargamiento en dirección a la máquina (MD) y dirección transversal a la máquina (CD) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino y lino (CP-CL+CL).....	50
Figura 35. Curvas de fuerza-alargamiento en dirección a la máquina (MD) y dirección transversal a la máquina (CD) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino y capoc y lino (CP-CL+CP+CL)...	51
Figura 36. Curvas de fuerza-alargamiento en dirección a la máquina (MD) y dirección transversal a la máquina (CD) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino y fibras abiertas de capoc y velos de lino (CP-CL+CP fibra abierta + CL) .....	51
Figura 37. Espesor medio de los materiales no tejidos sándwich CP-CL desarrollados (en condiciones de prueba) y diámetro medio de las perforaciones resultantes.....	52
Figura 38. Método usado para medir la altura del pico de perforación ( $h_{op}$ ) y los valores medios para los seis no tejidos sándwich CP-CL.....	52
Figura 39. Resistencia a la perforación (N) en relación con la densidad aparente ( $Kg/m^3$ ) y espesor (mm) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados.....	53
Figura 40. Curvas de perforación-alargamiento de los no tejidos de mezclas de capoc-lino y lino (CP-CL+CL) .....	55
Figura 41. Curvas de perforación-alargamiento de los no tejidos de mezclas de capoc-lino y capoc y lino (CP-CL+CP+CL).....	55
Figura 42. Curvas de perforación-alargamiento de los no tejidos de mezclas de capoc-lino y fibras abiertas de capoc y velos de lino (CP-CL+CP fibras abiertas + CL) .....	55
Figura 43. Conductividad térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ ) y resistencia térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ ) en relación con la masa por unidad de área ( $g/m^2$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos de capoc-lino desarrollados.....	57
Figura 44. Absortividad térmica ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ ) y flujo térmico ( $q_{m\acute{a}x}$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ] en relación con la masa por unidad de área ( $g/m^2$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos de capoc-lino desarrollados.....	58
Figura 45. Permeabilidad al aire ( $l/m^2/s$ ) en relación con el espesor (mm) y porosidad (%) de los no tejidos de mezclas de CP-CL .....	59
Figura 46. No tejido simple de mezclas de fibras de capoc-lino producido por el nuevo método de producción .....	63



Figura 47. No tejido sándwich de mezclas de fibras de capoc-lino producido por el nuevo método de producción .....	63
Figura 48. No tejido sándwich prensado de mezclas de fibras de capoc- lino .....	64
Figura 49. No tejido compuesto de mezclas de fibras de capoc-lino producido por el nuevo método de producción .....	64
Figura 50. No tejido compuesto prensado de mezclas de capoc-lino bajo estabilización con presión .....	65
Figura 51. Resistencia a la rotura (N) en relación con la masa por unidad ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) área de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción .....	66
Figura 52. Curvas de fuerza-alargamiento en dirección a la máquina (MD) del no tejido simple “ms” (izquierda) y del no tejido sándwich “mw” y no tejido sándwich prensado “mwp” (derecha) .....	67
Figura 53. Curvas de fuerza-alargamiento en dirección a la máquina (MD) del no tejido compuesto “mc” y no tejido compuesto bajo estabilización con presión “mcp” .....	67
Figura 54. Conductividad térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) y resistencia térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ ) en relación con la masa por unidad de área ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) y espesor (mm) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción .....	68
Figura 55. Absortividad térmica ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}\text{S}^{1/2}$ ) y flujo térmico ( $\times 10^{-3}$ ) [ $\text{Wm}^{-2}$ ] en relación con la masa por unidad de área ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción .....	69
Figura 56. Formación de no tejidos simples de fibras de capoc .....	70
Figura 57. ((1) y (2)) Intervalo de confianza entre la masa por unidad de área y espesor de los no tejidos simples de fibras de capoc .....	73
Figura 58. Formación de no tejido sándwich punzonado 100 % capoc .....	74
Figura 59. Formación de no tejidos sándwich punzonados y prensados de fibras 100 % capoc: (a) una vez prensado; (b) dos veces prensado .....	75
Figura 60. Formación del no tejido sándwich punzonado, una vez prensado y punzonado 100 % capoc .....	75
Figura 61. Intervalo de confianza entre la masa por unidad de área y espesor de los no tejidos sándwich de fibras de capoc reforzados por punzonado .....	76
Figura 62. Relación entre la masa por unidad de área y espesor de los no tejidos sándwich de fibras 100 % capoc .....	77

Figura 63. Formación de no tejidos compuestos de dos capas o superposiciones de no tejidos sándwich punzonados 100 % CP: (a) una vez prensado; (b) dos veces prensado .....	78
Figura 64. No tejido compuesto de tres capas o superposiciones de no tejidos sándwich punzonados 100 % capoc: (a) estabilización sin presión; (b) estabilización con presión .....	79
Figura 65. Formación de no tejidos compuestos de cuatro capas o superposiciones de no tejidos sándwich punzonados 100 % capoc .....	80
Figura 66. Intervalo de confianza entre la masa por unidad de área y espesor de los no tejidos compuestos de dos capas sobrepuestas en sentido longitudinal y prensadas en una pasada ...	81
Figura 67. Relación entre la masa por unidad de área y espesor de los no tejidos compuestos 100 % capoc formados por dos capas sobrepuestas en diferentes orientaciones .....	82
Figura 68. Relación entre la masa por unidad de área y espesor de los no tejidos compuestos 100 % capoc formados por 2, 3 y 4 capas.....	83
Figura 69. Curva de fuerza-alargamiento de los no tejidos sándwich punzonados una vez prensados (encima) y dos veces prensados 100 % capoc (abajo) .....	84
Figura 70. Resistencia a la rotura (N) en relación con la masa por unidad de área ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) de los no tejidos sándwich una vez y dos veces prensados .....	85
Figura 71. Curvas de fuerza-alargamiento de los no tejidos compuestos 100 % capoc desarrollados: no tejidos compuestos de dos capas prensados una vez (d) y dos veces (e) (izquierda). No tejidos compuestos de 3 y 4 capas con estabilización sin presión y con presión (p) (derecha).....	86
Figura 72. Resistencia a la rotura (N) en relación a la masa por unidad de área ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) de los no tejidos compuestos 100 % capoc .....	86
Figura 73. Curva de fuerza-alargamiento de los no tejidos compuestos (una y dos veces prensados) de dos superposiciones (diferentes orientaciones) de los no tejidos sándwich de fibras de capoc en la dirección de la máquina (MD) y dirección transversal a la máquina (CD) .....	87
Figura 74. Resistencia a la rotura (N) en relación con la masa por unidad de área ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) de los no tejidos compuestos de fibras de capoc de dos superposiciones (diferentes orientaciones) de los no tejidos sándwich de fibras de capoc .....	88
Figura 75. Curvas de penetración-alargamiento de los no tejidos compuestos de dos (arriba a la izquierda), tres (arriba a la derecha) y cuatro (debajo a la izquierda) capas de no tejidos sándwich 100 % capoc.....	89
Figura 76. ((1) y (2)) Intervalo de confianza entre la conductividad térmica y resistencia térmica de los no tejidos simples de fibras de capoc .....	93

Figura 77. ((1) y (2)) Intervalo de confianza entre la absorptividad térmica y flujo térmico de los tejidos simples de fibras de capoc.....	94
Figura 78. Media de la conductividad ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ ) y resistencia térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ ) en relación con la masa por unidad de área ( $g/m^2$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos simples de fibras de capoc.....	95
Figura 79. Absortividad térmica (b) ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ ) y flujo térmico ( $q_{max}$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ] en relación con la masa por unidad de área ( $g/m^2$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos simples de fibras de capoc.....	95
Figura 80. Conductividad ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ ) y resistencia térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ ) en relación con la masa por unidad de área ( $g/m^2$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos sándwich de fibras de capoc.....	97
Figura 81. Absortividad térmica [ $W m^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ ] y flujo térmico ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ] en relación con la masa por unidad de área ( $g/m^2$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos simples de fibras capoc .	97
Figura 82. Conductividad térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ ) y resistencia térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ ) en relación con la masa por unidad de área ( $g/m^2$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos compuestos (diferentes orientaciones) de fibras de capoc.....	98
Figura 83. Absortividad térmica ( $W m^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ ) y flujo térmico ( $q_{máx}$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ] en relación con la masa por unidad de área ( $g/m^2$ ) ( $\times 10^{-2}$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos compuestos (diferentes orientaciones) de fibras de capoc.....	99
Figura 84. ((1) y (2)) Intervalo de confianza del 99 % entre la permeabilidad al aire y porosidad de los no tejidos simples de fibras de capoc.....	101
Figura 85. ((1) y (2)) Permeabilidad al aire ( $l/m^2/s$ ) en relación con la porosidad (%) y el espesor (mm) de los no tejidos simples de fibras de capoc.....	102
Figura 86. Permeabilidad al aire ( $l/m^2/s$ ) en relación con la porosidad (%) y el espesor (mm) de los no tejidos sándwich de fibras de capoc.....	103
Figura 87. Resistencia a la rotura (N) en relación con la masa por unidad de área ( $g/m^2$ ) de los no tejidos 100 % capoc con el proceso de envejecimiento.....	107
Figura 88. Curvas fuerza -alargamiento a la rotura de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes (control) y después del envejecimiento (1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses).....	108
Figura 89. Espesor medio de los no tejidos compuestos 100 % capoc control y después de la degradación (en condiciones de la prueba) y diámetro medio de las perforaciones resultantes	109

Figura 90. Altura media del pico de perforación ( $h_{op}$ ) de los no tejidos compuestos 100 % capoc (control y después de la degradación) .....	109
Figura 91. Resistencia a la perforación (N) en relación con la densidad aparente $\rho_{ap}$ ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ) y espesor (mm) de los no tejidos compuestos de fibras de capoc control y los no tejidos compuestos de fibras de capoc después de la degradación .....	111
Figura 92. Curvas de perforación-alargamiento de los no tejidos compuestos de fibras de capoc control y después de la degradación (1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses) .....	114
Figura 93. Conductividad térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) y resistencia térmica ( $\times 10^3$ ) ( $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ ) en relación con la masa por unidad área ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) y espesor (mm) de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes (control) y después de 3 y 6 meses de degradación simulada .....	115
Figura 94. Absortividad térmica ( $10^{-3}$ ) ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}\text{S}^{1/2}$ ) y flujo térmico ( $\times 10^{-3}$ ) [ $\text{Wm}^{-2}$ ] con relación con la masa por unidad área ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) y espesor (mm) de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes (control) y después de 3 y 6 meses de degradación simulada .....	115
Figura 95. Ejemplos de algunos ángulos de contacto sobre los no tejidos compuestos 100 % capoc: control (izquierda) y después de la degradación (derecha) .....	116
Figura 96. Espectros ATR-FTIR: relación entre transmitancia (%) y longitud de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ) de los no tejidos compuesto de fibras de capoc control (gris oscuro) y expuestos en el UV durante 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses (rojo) .....	119
Figura 97. Termogramas obtenidos antes y después de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses de exposición a la radiación. ....	121
Figura 98. No tejido compuesto 100 % capoc expuesto 12 horas en la cámara de envejecimiento acelerado, con unos parámetros de 50 °C (UV), radiación 76 $\text{W}/\text{m}^2$ y UB- 340 nm .....	123
Figura 99. No tejido compuesto 100 % capoc expuesto 12 horas en la cámara de envejecimiento acelerado, con unos parámetros de 40 °C (condensación), radiación 76 $\text{W}/\text{m}^2$ y UB- 340 nm .....	125
Figura 100. Gotitas de agua en el corte del no tejido después de la degradación en el QUV (12h de condensación) .....	126

## Índice de Tablas

### Capítulo 2. Conceptos teóricos y Estado del Arte

Tabla 1. Principales propiedades y requisitos de agrotexiles. Adaptado de [54] .....	14
--	----

### Capítulo 3. Desarrollo experimental

Tabla 2. Propiedades de las fibras de capoc (CP) y lino (CL).....	21
Tabla 3. Parámetros de producción de Línea Automatex .....	23
Tabla 4. Método de desarrollo de los no tejidos producidos en la Línea Automatex.....	26
Tabla 5. Parámetros de producción del método de obtención de estructuras a base de fibras de capoc (Línea Automatex y Prensa) .....	28
Tabla 6. Método de desarrollo de los no tejidos de capoc .....	32
Tabla 7. Método de desarrollo de los no tejidos de capoc-lino .....	33
Tabla 8. Test de ensayo, Normas, condiciones de ensayo y parámetros evaluados .....	44

### Capítulo 4. Análisis y discusión de las propiedades de los no tejidos desarrollados

Tabla 9. Características geométricas y estructurales de los no tejidos de mezclas de CP-CL producidos en la Línea Automatex.....	47
Tabla 10. Resistencia y extensión máxima a la rotura en la dirección de la máquina (MD) y transversal (CD) de los no tejidos de capoc-lino (CP-CL) desarrollados .....	47
Tabla 11. Extensión del daño de perforación de los no tejidos sándwich capoc-lino, calculada de acuerdo con el método ideado .....	53
Tabla 12. Propiedades térmicas y de transferencia al aire de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados .....	56
Tabla 13. Capilaridad horizontal de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados .....	61
Tabla 14. Características geométricas y estructurales de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción .....	62
Tabla 15. Resistencia a la rotura y extensión máxima a la rotura de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción.....	65
Tabla 16. Propiedades térmicas y de transferencia al aire de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción.....	67
Tabla 17. ((1) y (2)) Características geométricas y estructurales de los no tejidos simples 100 % capoc (CP) .....	71

Tabla 18. Características geométricas y estructurales de los no tejidos sándwich 100 % capoc..	76
Tabla 19. Características geométricas y estructurales de los no tejidos compuestos de fibras de capoc formados por dos capas .....	80
Tabla 20. Características geométricas y estructurales de los no tejidos compuestos de fibras de capoc .....	82
Tabla 21. Resistencia y extensión máxima a la rotura de los no tejidos sándwich una y dos veces prensados 100 % capoc .....	84
Tabla 22. Resistencia y extensión máxima a la rotura de los no tejidos compuestos 100 % capoc formados por dos capas de no tejidos sándwich punzonados sobrepuestos longitudinalmente y cruzado .....	85
Tabla 23. Resistencia y extensión máxima a la rotura de los no tejidos compuestos 100 % capoc .....	87
Tabla 24. Resistencia a la perforación en relación con el alargamiento de los no tejidos compuestos 100 % capoc de dos, tres y cuatro capas.....	89
Tabla 25. ((1) y (2)) Propiedades térmicas de los no tejidos simples de fibras de capoc .....	91
Tabla 26. Propiedades térmicas de los no tejidos sándwich de fibras de capoc.....	96
Tabla 27. Propiedades térmicas y permeabilidad al aire de los no tejidos compuestos de fibras de capoc .....	98
Tabla 28. Propiedades de permeabilidad al aire de los no tejidos simples, sándwich y compuestos .....	100
Tabla 29. Propiedades de permeabilidad al aire de los no tejidos sándwich .....	103
Tabla 30. Propiedades de permeabilidad al aire de los no tejidos compuestos .....	104
Tabla 31. Características geométricas y estructurales de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes de la degradación (blanco o control) .....	105
Tabla 32. Resistencia y extensión máxima a la rotura de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes (control) y después del envejecimiento acelerado en el QUV.....	106
Tabla 33. Características geométricas y estructurales de los no tejidos compuestos 100 % capoc después de la degradación .....	106
Tabla 34. Valores medios de la resistencia y alargamiento a la perforación obtenidos en el ensayo y los parámetros de perforación calculados de los no tejidos compuestos control y después de la degradación .....	110

Tabla 35. Propiedades térmicas de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes (control) y después de una degradación simulada de 3 y 6 meses .....	114
Tabla 36. Ángulo de contacto de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes (control) y después de la degradación .....	116
Tabla 37. Calor latente de fusión antes y después del QUV (1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses) .....	122
Tabla 38. No tejido compuesto 100 % capoc expuesto 12 horas en la cámara de envejecimiento acelerado, con unos parámetros de 50 °C (UV), radiación 76 W/m <sup>2</sup> y UB- 340 nm.....	124
Tabla 39. No tejido compuesto 100 % capoc expuesto 12 horas en la cámara de envejecimiento acelerado, con unos parámetros de 40°C (condensación) radiación 76 W/m <sup>2</sup> y UB- 340 nm .....	125

## Capítulo 1. Introducción

En este capítulo se tiene en cuenta el encuadramiento y la motivación que ha llevado a tener como objetivo la utilización de la fibra de miraguano (identificadas en este trabajo como fibras de capoc) para la realización de estructuras no tejidas punzonadas ya que estas no existían, la metodología de investigación adoptada para la realización de este trabajo y la estructura de la tesis.

### 1.1. Encuadramiento y Motivación

El Comité Conjunto D-13 de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales y de la Asociación Americana de Químicos y Coloristas Textiles definió un tejido no tejido como: "una estructura que consiste en una masa de fibras mantenidas juntas por un agente de unión" [1]. Los fieltros son considerados como los tejidos no tejidos más antiguos hechos por el hombre. Miles de años antes de Cristo, nómadas del desierto rellenaban sus botas con esquilas<sup>1</sup> de las ovejas manteniendo así los pies calientes y con la acción combinada de la humedad, de la transpiración y de la presión de los pies provocaron una reacción que hizo que las fibras se entrelazaran [1]. Una de las primeras patentes relativas al tejido no tejido apareció en 1860. A finales de 1930, productos utilizando materiales no tejidos unidos aparecieron en el mercado estadounidense en aplicaciones tales como, cubiertas para toallas sanitarias, toallas para odontología, y en los revestimientos de los pañales desechables [1]. La existencia de una industria de no tejidos reconocible en Europa se puede fechar a mediados de los años sesenta. Desde entonces, la fabricación de tejidos no tejidos se ha expandido rápidamente y el uso de tales productos ha penetrado en muchas aplicaciones industriales y personales [2]. La figura 1[1] muestra las tasas de crecimiento anual de la producción de tejidos no tejidos.

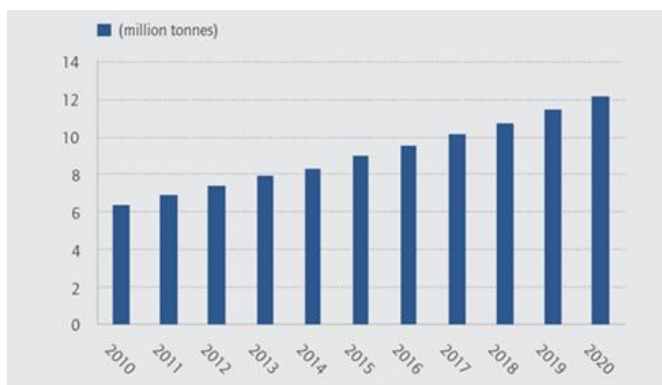


Figura 1. Tasas de crecimiento anual de la producción de tejidos no tejidos [1]

<sup>1</sup> Capa base de pelo que es recogida por peinado.



En la última década, la producción de textiles no tejidos ha presentado tasas de crecimiento anual prometedoras [3], en particular para áreas de aplicación técnica, especialmente, productos de higiene, construcción y agricultura, esperándose que mantengan este comportamiento hasta el 2020.

En una perspectiva tecnológica, los factores clave promotores de este crecimiento están esencialmente asociados a la flexibilidad operacional de la generalidad de las tecnologías utilizadas y a ciclos de fabricación cortos en comparación con los otros procesos de producción textil. Esas características facilitan la diversificación de productos, alargando el campo de aplicación de los tejidos no tejidos, y potencian el desarrollo de productos innovadores utilizando materias primas de diferentes orígenes.

En el área de la agricultura, los cambios climáticos y el aumento de la población ha impulsado a buscar soluciones (agrotexiles) ecológicamente más sustentables y con mayor funcionalidad. De acuerdo con su función, los no tejidos para aplicaciones en la agricultura pueden ser clasificadas en tres grandes grupos: i) no tejidos para protección (ej. contra intemperies, insectos); ii) no tejidos para control de la temperatura y la humedad (ej. invernaderos y suelos) y iii) no tejidos para gestión de agua (ej. sistemas de irrigación, sistemas de captación de agua de lluvia).

Uno de los problemas más acuciantes en la agricultura actual se relaciona con la gestión del agua, esto es, con la necesidad de reaprovechar y reducir el consumo del agua. Para este fin, la gran mayoría de los no tejidos utilizados son producidos con fibras sintéticas (ej. polipropileno, polietileno, poliéster), creando un problema de contaminación ambiental por la no biodegradabilidad. Pensando en este problema, la intención de este trabajo fue desarrollar un no tejido a base de fibras naturales capaz de recolectar agua proveniente de la condensación de infiltraciones en el suelo y de la evapotranspiración de las plantas, para que esta pudiera ser utilizada como riego. Como principales requisitos, estos no tejidos deberán ser hidrófobos, resistentes a las inclemencias meteorológicas donde van a estar expuestos, resistentes a la tracción y a la punción, para poder tener una larga vida útil para que el producto sea rentable a la hora de su aplicación.

La fibra de capoc surgió como principal material candidato dadas su hidrofobicidad, resistencia a la intemperie, abundancia y bajo costo. El gran problema residiría en el procesamiento de esta fibra en estructuras no tejidas 100 % capoc suficientemente resistentes para su fin. Como las fibras son cortas y con baja resistencia mecánica, la creación de estructuras no tejidas con fibras de capoc no tratadas químicamente, utilizando tecnologías convencionales, constituyó uno de los

mayores desafíos y condujo al establecimiento de un método de producción innovador (pedido de patente nacional n° 109924 A).

En este trabajo de investigación la fibra elegida como refuerzo fue el lino para ser mezclado con la fibra de capoc. Las estructuras no tejidas fueron producidas por procesos mecánicos de formación (*dry-laid*) y consolidación de la manta (punzonado). Estas tecnologías han sido seleccionadas por presentar una mayor versatilidad y potencial para el desarrollo de productos basados en fibras de origen natural.

## 1.2. Objetivos

El objetivo principal de esta investigación fue desarrollar estructuras no tejidas punzonadas 100 % capoc y de mezclas de capoc-lino, con propiedades adecuadas a la utilización industrial, principalmente agrotexiles. Se definieron como principales requisitos de la estructura a desarrollar la capacidad de dispersión de agua, la capacidad de aislamiento térmico, la resistencia a la degradación generada por las condiciones ambientales (humedad, temperatura y luz) y la resistencia a la tracción y punción.

Para lograrlo se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollo y producción de estructuras no tejidas punzonadas de capoc y lino con diferentes parámetros de construcción.
- Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los no tejidos resultantes.
- Establecer un nuevo método de producción de no tejidos punzonados integrando capoc (100 % capoc o mezcla con lino).
- Evaluación de la compatibilidad funcional de los no tejidos desarrollados con la aplicación en agrotexiles para control de la temperatura, humedad y gestión del agua.

## 1.3. Metodología adoptada

El plano de trabajo de investigación fue estructurado en las siguientes actividades:

- a) Estudios preliminares. Esta actividad abarcó la selección y caracterización de los materiales que se iban a utilizar para la creación de los no tejidos, teniendo en cuenta las propiedades morfológicas y las propiedades relacionadas con la absorción de agua (contenido y recuperación de humedad). Paralelamente, se estudió la relación entre las variables del proceso (n° de pasadas en la punzonadora, n° de capas y densidad de penetraciones) y las

diferentes colocaciones de las fibras en la manta, logrando la optimización de las variables de acuerdo con la tipología del no tejido pretendido (100 % capoc o mezcla de capoc-lino).

- b) Desarrollo de no tejidos punzados integrando fibras de capoc.
- c) Evaluación de propiedades de los no tejidos desarrollados. Se tuvo en cuenta las propiedades geométricas y estructurales (tamaño del poro, espesor y masa por unidad de área), propiedades mecánicas (resistencia a la tracción y punción) en estado seco y húmedo antes y después de la exposición a las diferentes condiciones ambientales, propiedades de la transferencia del aire, calor, líquidos.
- d) Desarrollo de un nuevo método de producción de los no tejidos punzonados 100 % capoc o integrando capoc.
- e) Análisis del comportamiento de los no tejidos desarrollados. Análisis de los factores que pueden afectar a las propiedades de los no tejidos.

#### **1.4. Estructura de la tesis**

De acuerdo con el trabajo desarrollado, la tesis fue estructurada en cinco capítulos.

En el capítulo 1 se hace el encuadramiento del trabajo, centrado en los no tejidos para aplicaciones técnicas y son presentadas las principales razones que llevarán a la propuesta de creación de un nuevo producto para aplicación en agrotexiles. Los objetivos, los principales desafíos y la metodología adoptada son también descritos. Este capítulo termina presentando la estructura de la tesis.

En el Capítulo 2 se presentan algunos conceptos teóricos y se analiza el Estado del Arte. Se caracterizan las fibras de capoc y lino utilizadas en el desarrollo del trabajo. Son presentados algunos conceptos sobre la tecnología de producción de no tejidos por el proceso *dry-laid* (en seco) y la consolidación por punzonado. Aquí se describen los estudios en agrotexiles y geotexiles con un análisis crítico de las patentes existentes sobre el proceso de producción de los no tejidos que contienen fibras de capoc.

El capítulo 3 está dedicado al desarrollo experimental. Aquí se presenta el método para producir estructuras integrando capoc por el proceso *dry-laid* (en seco) de formación de la manta y consolidación por punzonado y el nuevo método de producción concebido para la obtención de los no tejidos 100 % capoc. También se presentan las propiedades de las fibras seleccionadas siendo identificados los test utilizados de caracterización de las propiedades de los no tejidos desarrollados.

En el capítulo 4 se presenta el análisis y discusión de los resultados obtenidos. La influencia de diferentes parámetros de construcción en el aislamiento térmico, capacidad de dispersión de agua, resistencia a la degradación mecánica generada por las condiciones ambientales (humedad, temperatura, luz) y resistencia a la punción de los no tejidos desarrollados, es evaluada y analizada. El capítulo 5 presenta las principales conclusiones del trabajo realizado y las perspectivas futuras de investigación en esta área.

## Capítulo 2. Conceptos teóricos y Estado del Arte

En este capítulo se describen las características de las fibras de capoc y lino, los estudios de los no tejidos para agrotexiles y geotexiles, describiendo de manera general los procesos de producción que se utilizan para los no tejidos y de forma concreta el método de producción utilizado en este trabajo. Se tuvo en cuenta el proceso de punzonado, ya que esto define la formación de las estructuras creadas. Relación entre las estructuras y propiedades de los no tejidos punzonados, desarrollo de agrotexiles y geotexiles a base de fibras naturales e investigaciones realizadas. Al final de este capítulo se hace un análisis de las patentes.

### 2.1. Características de las fibras de capoc y lino

#### 2.1.1. Fibras de capoc (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn)

El capoc se extiende a través de África ecuatorial y el neotrópico [2], se considera de origen americano y crece de manera natural en las áreas tropicales húmedas y subhúmedas de América y África. Se creía que era originaria del sureste de Asia, donde se ha encontrado presente desde el siglo X después de Cristo. La evidencia genética sugiere que fue introducida desde África [6].

El capoc es una fibra vegetal natural con una sustancia sedosa de color amarillo y algodonosa que rodea las semillas en la vaina [7]. La primera cosecha del capoc ocurre durante el tercer año, los árboles continúan produciendo fibra hasta una edad de 50 años o más [6]. La fibra se separa de la vaina de las semillas con la mano desnuda [4]. Está compuesto principalmente de celulosa, lignina y polisacáridos; además de estos componentes, contiene una pequeña cantidad de cera que cubre la superficie de las fibras haciendo que sea mucho más hidrofóbica [5].

Se componen de dos capas principales con diferente orientación microfibrilar. La capa externa está compuesta de microfibrillas de celulosa orientadas transversalmente al eje de la fibra, mientras que la capa interior se compone de fibrillas orientadas casi paralelas al eje de la fibra. La estructura es bastante uniforme y sin huecos a lo largo de toda su longitud [6].

Se observa a partir de la Figura 2 [2][6] que [7] cada una de estas fibras es un microtubo cilíndrico con arrugas a nano escala, que se orientan a lo largo de la fibra con la altura de varios nanómetros [8]. La fibra tiene una estructura tubular hueca (o lumen) con un diámetro externo de  $16,5 \pm 2,4 \mu\text{m}$ , un diámetro interno de  $14,5 \pm 2,4 \mu\text{m}$ , y una longitud de  $25 \pm 5 \text{ mm}$ , indicando que el 77 % del volumen de la fibra es lumen. La densidad del material de la pared de la fibra de capoc es de  $1,31 \text{ g.cm}^{-3}$  [9], con un espesor de pared de  $0,8\text{-}1,0 \mu\text{m}$  [10]; con un alargamiento a la rotura de 1,2 %, una resistencia a la tracción de 93,3 MPa y un Módulo de Young de 4 GPa [11].

La composición química de la fibra de capoc es de un 64 % de celulosa; 23 % de hemicelulosa; 13 % de lignina; 1,4-3,5 % de ceniza; 0,8 % de grasas y ceras; 23 % de pectinas y un 8,6 % de agua [5] [4] [12] [13]. Tiene las ventajas de los materiales absorbentes de aceite tradicionales, con bajo costo [14][15][16][17]. Como indica el autor X. Zhang *et al.* es un material natural abundante, resistente a ácidos/álcalis, ecológico, biodegradable y con gran flotabilidad, siendo uno de los materiales de flotación de la naturaleza más ligeros. La hidrofobicidad es una de sus propiedades más destacables [8].

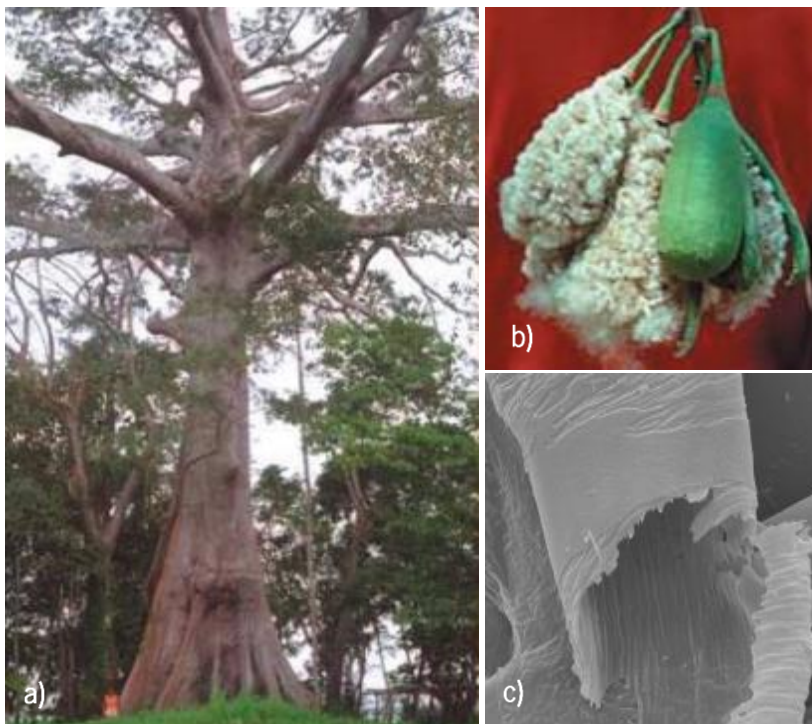


Figura 2. Árbol de Capoc. (a) Árbol amazónico emergente , (b) fruto con fibra de capoc [2], (c) estructura exterior e interior de la fibra de capoc [6]

Tradicionalmente, las fibras de capoc se han utilizado como material de relleno en camas y almohadas [3], en la fabricación de no tejidos para recubrimientos de invernadero, para absorción acústica [10], filtración de aguas residuales industriales, eliminación de hidrocarburos derramados en grandes superficies de agua y en componentes de refuerzo de compuestos de polímeros [18][5][9].

### 2.1.2. Fibras de lino (*Linum usitatissimum*) [19]

El lino es uno de los cultivos de fibras más antiguos del mundo. El género *Linum* tiene cerca de 230 especies. Es una planta anual y crece  $0,5 \pm 1,25$  m de alto. Crece en climas templados y los países más productores son China, Francia y Bielorrusia [20][18]. Se cosecha para la producción

de fibra después de aproximadamente 100 días o cuando la base de la planta se vuelve amarilla. La planta se cultiva tanto por su fibra como por sus semillas, que se utilizan para producir aceite de linaza. Las fibras liberianas se separan de la corteza interior por enriado. Aproximadamente  $0,1 \pm 0,25$  % del peso del tallo son fibras del liber [20].

La fibra de lino (Figura 3 [21]) es hueca y capaz de absorber agua hasta el 20 % de su propio peso. También se seca rápidamente, no transpira y es antiestática por naturaleza [22]. Está compuesta por celulosa 71–81 %, hemicelulosa 18,6–20,6 % y lignina 2,2–3 % [18]. La longitud máxima de la fibra promedia en 33 mm (9-70 mm), siendo la media de las fibras de  $19 \mu\text{m}$  ( $5\text{-}38 \mu\text{m}$ ) de diámetro y la densidad es  $1,5\text{-}1,54 \text{ g/cm}^3$  [20][23]. La resistencia a la tracción de las fibras de lino tiene una gran dispersión que se atribuye a la variación del tamaño de la fibra a lo largo de su eje longitudinal y su resistencia aumenta cuando se moja [22][24]. La resistencia del lino puede variar entre 400-2000 MPa; con una deformación a la rotura del 1,2-3 % y Módulo de Young de 30-110 GPa [23].

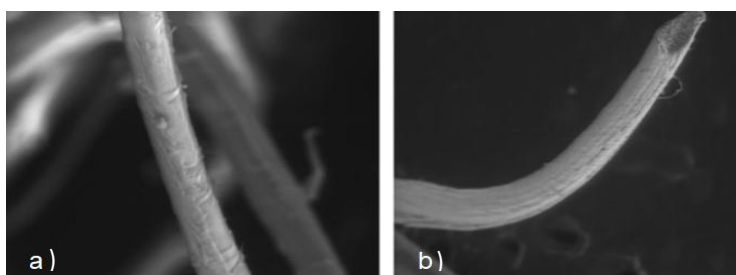


Figura 3. Fibras de lino [21]

Las fibras más largas son usadas en la producción de hilos y tejidos, y las fibras más cortas son utilizadas en la producción de no tejidos para aplicaciones técnicas, principalmente, agrotexiles, geotexiles y materiales de absorción acústico [22].

## 2.2. No tejidos para agrotexiles y geotexiles

El sector de los agrotexiles es considerado uno de los precursores del desarrollo de los textiles técnicos. En la actualidad los productos textiles agrícolas no tejidos se utilizan generalmente para cubiertas del suelo, esteras de mantillo, sombreado de invernaderos o mantas que modifican moderadamente el microambiente alrededor de un cultivo [25]. Estos productos son con mayor frecuencia producidos con fibras no naturales (artificiales o sintéticos). Las fibras naturales se utilizan principalmente en productos con un tiempo de vida útil limitado (temporales) debido a su biodegradabilidad, actuando simultáneamente como fertilizantes naturales[25].

Los geotextiles, por su parte, son una clase de textiles técnicos principalmente destinados a abordar problemas relacionados con el suelo en proyectos de construcción [26]. Hoy en día, se utilizan ampliamente para la separación, filtración, refuerzo y drenaje para proteger muros y terraplenes [27][28][29]. A semejanza de los no tejidos para fines agrícolas y debido a los mayores requisitos de desarrollo mecánico, son producidos principalmente con fibras no naturales.

### 2.2.1. Procesos de producción

Un no tejido se caracteriza por ser anisotrópico en términos de su estructura y propiedades. Debido a la aleatoriedad y la disposición de los puntos de unión de la fibra en su estructura, en general, la manta no es uniforme, ya sea en peso o en grosor, o ambos. Por otro lado, la estructura del no tejido puede ser manipulada para obtener funcionalidades y características específicas [30][31]. La figura 4 ilustra los diferentes procesos de producción y consolidación de los no tejidos.

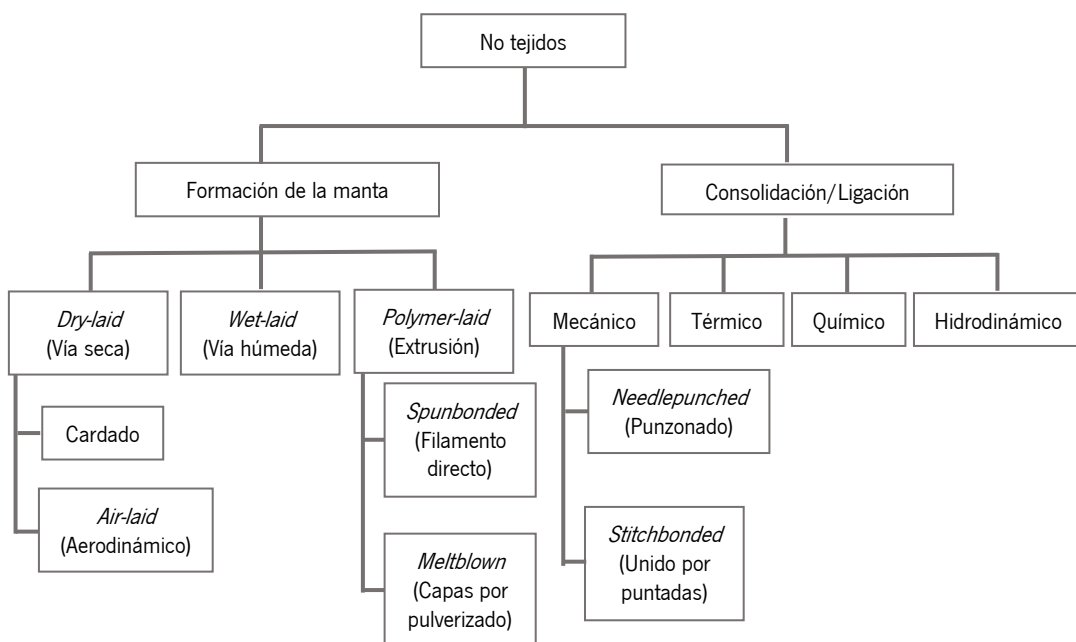


Figura 4. Clasificación de no tejidos según el proceso de producción y consolidación

El método de formación del velo y la naturaleza de la unión o tipo de refuerzo utilizado son las principales formas de clasificación de los no tejidos [32]. De acuerdo con el método de formación, los tejidos no tejidos se fabrican utilizando procesos en seco (*dry-laid*), en húmedo (*wet-laid*) [33] o de extrusión (*polymer-laid*), este último utilizado en el caso de fibras sintéticas. La consolidación de las mantas puede ser efectuada por procesos mecánicos, hidrodinámicos, térmicos o químicos [33][34].



La formación del velo por vía seca (*dry-laid*) [33] y consolidación mecánica de la manta por punzonado son los procesos más utilizados en el desarrollo de agrotexiles y geotextiles no tejidos basados en fibras de origen natural. Desde el punto de vista tecnológico, los pasos esenciales del proceso *dry-laid* o por vía seca implican: preparación de la fibra (apertura de balas; dosificación; mezcla; apertura fina) y formación del velo [33]. La carda es un elemento determinante en la formación del velo. Su función es ordenar y orientar las fibras que le son alimentadas, individualizándolas, para ser paralelizadas, según el uso final del artículo. Una sola capa del velo producido a partir de la carda es demasiado delgada, por lo tanto, a menudo se utilizan múltiples capas apiladas para conseguir el espesor deseado [32][35] de la manta. La *Cross-Lapper*<sup>2</sup> es el equipo que se utiliza para crear esta manta con un espesor y anchura adecuados, logrando así los efectos de superposición (Figura 5 [39]).

La consolidación mecánica por punzonado [36], efectúa el enmarañamiento de las fibras por agujas [37]. Las barbas de las agujas atrapan las fibras durante el punzonado y las conducen en la dirección del grosor, creando el enmarañamiento [38].



Figura 5. Diagrama del proceso de la formación de la manta de carda de un no tejido [39]

### 2.2.2. Proceso de punzonado

La consolidación de velos fibrosos por acción mecánica en la forma tradicional de punzonado se basa en la acción de numerosas agujas dotadas de barbas que penetran perpendicularmente en los velos fibrosos arrastrando fibras que, con su disposición normal al eje del plano del velo, consolidan la misma dimensionalmente. El punzonado puede realizarse por una o por las dos caras del velo [35]. En la Figura 6 se presenta una punzonadora convencional con una placa de agujas.

<sup>2</sup> Napadora para cruzado de velos



Figura 6. Equipo de punzonado convencional (parte de una línea de laboratorio de no tejidos Automatex)

Las agujas o punzones, que dan nombre a la técnica de punzonado, son los elementos que producen la consolidación del velo. Para obtener un efectivo enmarañamiento de las fibras es decisiva la calidad, la sección del punzón y el número y dimensiones de las barbas. Los punzones convencionales están constituidos por una parte gruesa de sección circular (mango de fijación del talón), una parte cónica de delimitación de la zona de trabajo (cono), eventualmente una parte intermedia más fina (mango reducido), y una parte con barbas y punta (zona de trabajo). Los punzones más gruesos se fabrican con mango simple o de doble reducción. En la Figura 7 [35][30] [40] se indican los dos tipos de punzones más comunes: convencional y de doble reducción. El cono puede ser de longitud mayor, a fin de minimizar las roturas de fibras en la penetración [35].

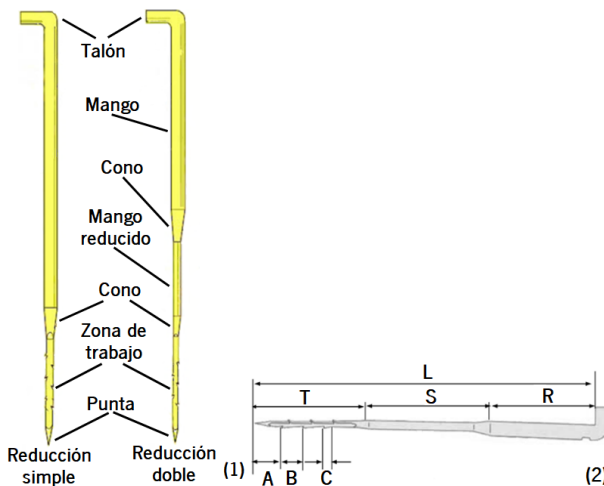


Figura 7. (1): Descripción de dos agujas de no tejidos [35][30]. (2): Estructura de la barba de la aguja; (A) Distancia entre la primera barba de la aguja hasta la punta de la aguja, (B) distancia de barba a barba, (C) distancia entre barbas en los laterales contiguos, (L) longitud total de la aguja, (T) longitud de la hoja de la aguja, (S) longitud de espiga de la aguja intermedia y (R) longitud de la espiga de la aguja [40]

En la producción de no tejidos punzonados, las características de la estructura pueden ser controladas por variación de diversos parámetros de la máquina, regulables, es decir, número de

punzones, avance de la manta, densidad de punzonado, separación de placas y profundidad de penetración [35][41].

- a) **Número de punzones** (*strokes/min*): El número de golpes que de la placa de agujas por minuto.
- b) **Avance** (*mm/stroke*): Recorrido de la manta entre dos golpes de la placa de agujas, cuando éstas no están insertadas en la manta. El avance depende de la velocidad de la máquina (relación entre la velocidad de entrada y de salida) y del número de punzones, estando determinado por el desplazamiento, en milímetros, que recorre el tejido no tejido por golpe.
- c) **Densidad de punzonado** (*strokes/cm<sup>2</sup>*): Número de penetraciones de las agujas por unidad de área de la manta. La densidad de punzonado depende de la velocidad de la máquina y del número de agujas por cm en la placa de agujas.
- d) **Separación de las placas** (*mm*): Distancia entre las placas superior e inferior de la punzonadora.
- e) **Profundidad de penetración** (*mm*): Distancia recorrida por la aguja en la dirección del espesor de la manta. La distancia entre placas y la longitud de la aguja determinan la profundidad de penetración (Figura 8 [35][41]).

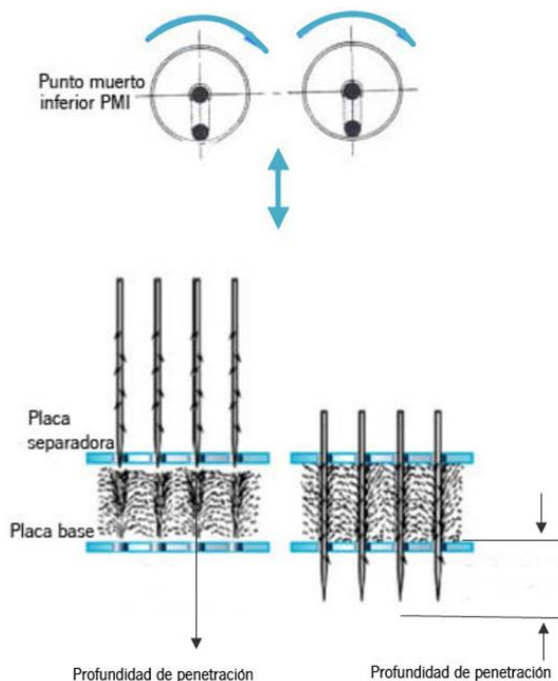


Figura 8. Diagrama de la perforación de la aguja. Las barbas de las agujas cogen la fibra con una dirección vertical a través del grosor de la manta [35][41]

La conjugación de los efectos de estas variables, junto con las propiedades de las fibras, conduce a la formación de una estructura, cuyas características pueden ser controladas, de las cuales depende el comportamiento del no tejido a las sollicitaciones mecánicas, en la transferencia del aire y líquidos, entre otros.

### **2.2.3. Relación entre la estructura y propiedades de los no tejidos punzonados**

Las propiedades de los no tejidos punzonados son influenciadas por factores relacionados con:

- a) Propiedades y características de las fibras (composición química, longitud, sección transversal, resistencia mecánica, entre otros).
- b) Estructura de la manta (orientación de las fibras, masa por unidad de área y uniformidad de la manta).
- c) Características de la punzonadora y parámetros de punzonado (densidad y disposición de las agujas en la placa, tipo de aguja, número de pasadas en la punzonadora, número de punzones, avance de la manta, densidad de punzonado, profundidad de penetración, etc.).

De acuerdo con la literatura [42][43][44][45][46][47][48][49] los parámetros relacionados con la máquina con un efecto más significativo en las propiedades de los no tejidos son la densidad de punzonado y la profundidad de penetración. Por lo general, el aumento de la densidad y profundidad del punzonado conduce a un mayor enmarañamiento de las fibras y compactación, resultando en un no tejido con mayor masa por unidad de área, menor grosor y mayor resistencia mecánica.

La orientación de las fibras en la formación del velo y en la manta son los principales factores relacionados con la estructura con mayor influencia en las propiedades mecánicas (de tracción, rasgo o punción) de los no tejidos punzonados. Estos factores, son determinantes de la masa por unidad de área y grosor de los no tejidos, características esenciales a considerar en el desarrollo de estructuras no tejidas. Estas características afectan también la transferencia de aire, calor líquido y vapor a través de la estructura, una vez que alteran su porosidad.

### **2.2.4. Desarrollo de agrotexiles y geotexiles a base de fibras naturales**

En los últimos años el desarrollo de agrotexiles y geotexiles no tejidos a base de fibras naturales ha crecido, sin embargo, dados los requisitos de las aplicaciones, estas estructuras incorporan, en la mayoría de los casos, fibras sintéticas. Las fibras naturales más comúnmente utilizadas como material único en la composición de los no tejidos son el yute, la lana, el coco, el sisal, el lino y el

cáñamo [50]. Un agrotexil y un geotexil [51] debe de tener unas propiedades físicas, mecánicas, hidráulicas y de degradación adecuadas para las funciones deseadas [52][53]. La Tabla 1, identifica las principales propiedades que un no tejido debe presentar para aplicaciones en agrotexiles.

Tabla 1. Principales propiedades y requisitos de agrotexiles. Adaptado de [54]

Propiedades del no tejido	Requisito funcional
Resistencia a la tracción y alargamiento	Durabilidad a sollicitaciones mecánicas
Resistencia a la radiación solar	Durabilidad con la variación de temperatura
Resistencia a la radiación UV	Permeabilidad a la luz de 80 a 90 % (para permitir la fotosíntesis)
Biodegradabilidad	Degradación en la naturaleza
Resistencia a la abrasión	Durabilidad al desgaste superficial
Elevada retención de agua	Capacidad de retener humedad y agua
Rigidez /elasticidad/resistencia al mojado	Capacidad de protección contra la intemperie (viento) y creación de un microclima con temperatura y humedad constante
Resistencia a microorganismos y a los ambientes tóxicos	Protección de los cultivos y durabilidad
Estabilidad de construcción	Manutención de propiedades requeridas por la aplicación

Los estudios existentes actualmente sobre no tejidos a base de fibras naturales se han enfocado esencialmente en el desarrollo de estructuras para aplicación directa en el suelo [55].

Estas estructuras tienen como principales objetivos:

- a) Mejorar las condiciones térmicas y de humedad alrededor de las plantas, influenciando de esta forma su crecimiento y desarrollo [56][57]. Estas mejoras, ocurren a un nivel de absorción/retención de agua, dando como resultado la reducción de la cantidad de agua y fertilizantes utilizados y, por lo tanto, contribuyendo para una agricultura sostenible [58][59] [60] (Figura 9).

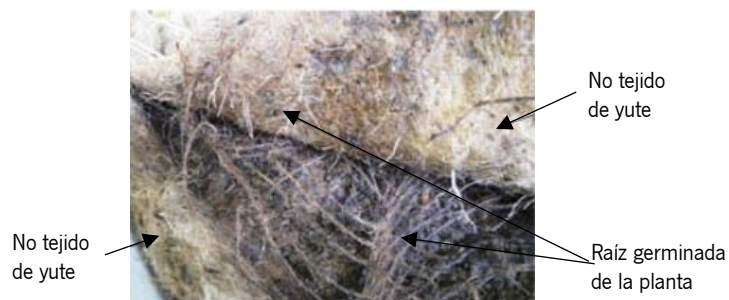


Figura 9. No tejido de yute para germinación de semillas. Propagación de la raíz entre el no tejido de yute [60]

- b) Reducir el exceso de agua superficial y subterránea para evitar la erosión interna del suelo, manteniendo la integridad de la estructura [61][62][63]. En este caso los no tejidos pueden

actuar como un sistema de filtración efectivo para la retención de varios tamaños de partículas [64][65].

- c) Eliminar la infiltración de aguas pluviales, interceptando y confiscando el flujo de la escorrentía para formar áreas de embalse que evitan la formación de canales erosivos y protegen de deslizamientos a los bancos de tierra. Estos no tejidos permiten controlar adecuadamente la descarga de aguas pluviales, al tiempo que retiene los sedimentos [66][67] (Figura 10).



Figura 10. (Izquierda) Barrera geotextil denominada silt-fence [66]; (Derecha) Colocación del geotextil de Kemafil en la superficie de la pendiente [67]

En los subcapítulos siguientes son presentados los resultados más relevantes de los estudios realizados sobre no tejidos punzonados a base de fibras naturales y analizados los métodos propuestos (patentes) para la producción de las estructuras no tejidas integrando capoc.

### 2.2.5. Investigaciones realizadas

La fibra de yute está siendo objeto de varios estudios con vistas a su utilización en agrotexiles y geotextiles en sustitución de las fibras no naturales. Los no tejidos de yute (Figura 11 [68]) son esencialmente utilizados para auxiliar la germinación de semillas, evitar el crecimiento de hierbas y la erosión del suelo.



Figura 11. Agrotexiles no tejidos de yute (500 g/m<sup>2</sup>) para control del crecimiento de hierbas en plantaciones de piña [68]

El estudio realizado por los investigadores [69] demostró que las estructuras no tejidas punzonadas de yute desarrolladas en múltiples capas son las más adecuadas para la germinación de semillas. Estos no tejidos, para colocar directamente en el campo, fueron producidos con una densidad aparente de  $0,116 \text{ g/cm}^3$  y una masa de  $500 \text{ g/m}^2$ , utilizando una densidad de punzonado de  $160 \text{ strokes/cm}^2$  y una profundidad de penetración de aguja de 13 mm.

En otro estudio [70], los investigadores concluyeron en que un no tejido punzonado de yute con  $500 \text{ g/m}^2$  es una alternativa prometedora a los materiales tradicionales no naturales (en general, láminas de polietileno) utilizados en el cultivo de fresas. Se observó que el no tejido de yute mostró una mejora notable en comparación con la lámina de polietileno, con un 13 % de aumento en el peso en seco de las plantas, 9 % en altura de la planta, 14 % en peso de la fruta, 28 % en temperatura del suelo y 11 % en rendimiento. Además, el no tejido de yute mantenía las partículas sueltas del suelo en su lugar, resistiendo considerablemente a la erosión y a la pérdida de nutrientes durante las lluvias, vientos fuertes y riegos (debido a su superficie áspera) y reducía la hierba en un 68 %, lo que es mejor que otras fundas biodegradables.

El efecto de la masa por unidad de área de agrotexiles de yute no tejidos en la salud del suelo, crecimiento y productividad del brócoli (*Brassica oleracea* L) fue evaluado en el campo, en el suelo laterítico<sup>3</sup> seco de la India oriental, en la temporada de invierno de 2015-2016, y su rendimiento comparado con un mantillo de polietileno negro [71]. Los no tejidos testados tenían  $300 \text{ g/m}^2$ ,  $350 \text{ g/m}^2$  y  $400 \text{ g/m}^2$ . El no tejido de  $350 \text{ g/m}^2$  fue muy eficaz en comparación con otros mantillos para aumentar el crecimiento y la productividad del brócoli, mediante la supresión de malezas, el aumento de la humedad, la población microbiana y el contenido de nutrientes del suelo laterítico. La más baja densidad de malas hierbas de hojas anchas, juncos y hierbas se registró con el no tejido de  $400 \text{ g/m}^2$ , equivalente al mantillo en polietileno. No obstante, como los no tejidos de yute son una propuesta más costosa que otras cubiertas, su utilización suele ser económicamente viable para cultivos de alto valor [71].

Los no tejidos integrando fibras de lino son actualmente mayoritariamente utilizados como auxiliar en la germinación de semillas, para evitar la erosión del suelo y como refuerzo de composites. Pero, debido a la gran variación inherente de longitud y finura de las fibras de lino, es usual la

---

<sup>3</sup> Suelo propio de regiones cálidas, caracterizado por la pobreza en sílice y su elevada cantidad de hierro, alúmina y/u otros minerales. Las costras lateríticas se deben a la meteorización de la capa superficial del suelo, es decir, a la acción *in situ* de los agentes meteorológicos (lluvia, insolación, viento, acción de los seres vivos, etc.).

producción de estas estructuras en mezcla con otras fibras o la utilización de métodos de formación y unión con adición de productos ligantes para obtener el desempeño mecánico requerido por las aplicaciones técnicas [60][72][22][73]. La Figura 12 [77][78] ilustra no tejidos integrando fibras de lino.

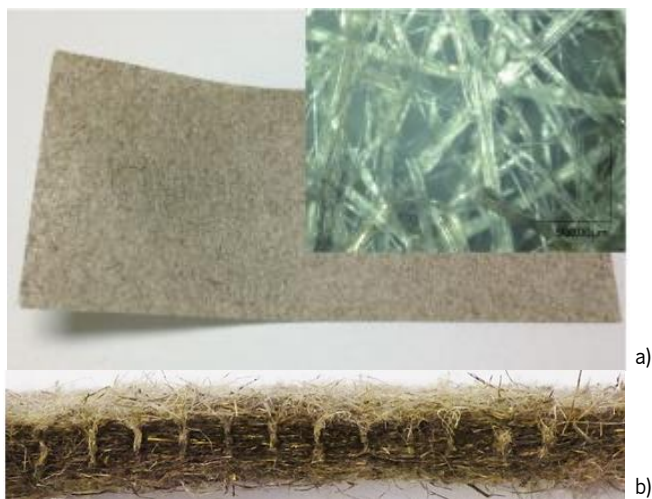


Figura 12. a) No tejido 100 % lino producido por el proceso *wet-laid* para refuerzo de composites [77]; b) No tejido en mezcla de lino-cáñamo producido por el proceso *air-laid* y unido por punzonado [78]

El proceso *air-laid* de formación y los parámetros de producción de no tejidos basados en fibra de lino y de cáñamo fueron estudiados por [74] con vistas a la optimización de las condiciones del proceso. Para una velocidad de alimentación para el punzonado de  $0,45 \text{ m/min}^{-1}$  y una velocidad de punzonado de  $118 \text{ strokes/min}^{-1}$ , las estructuras demostraron propiedades mecánicas adecuadas, con las fibras completamente enmarañadas. La densidad del punzonado fue de  $23,65 \text{ punzones/cm}^2$  y la profundidad de punzonado se ajustó a 20 mm.

Aunque diversos trabajos de investigación sobre no tejidos a base de fibras naturales tradicionales como el yute y el lino se están llevando a cabo, recientemente nuevas fibras de origen natural están siendo exploradas para aplicaciones en agrotexiles y geotexiles. En el estudio de [75] los geotexiles no tejidos punzonados fueron preparados a partir de fibras de ortiga y poli (ácido láctico) en diferentes proporciones para el control de la erosión del suelo y la estabilización de taludes. Las fibras de ortiga, tratadas con álcali, se mezclaron manualmente con fibras de poli (ácido láctico) lo más homogéneamente posible en cinco proporciones (0/100, 25/75, 50/50, 75/25, 100/0) y alimentaron una máquina de cardado en miniatura. Durante el punzonado, la densidad de punzonado se mantuvo a  $225 \text{ strokes/cm}^2$  y la profundidad de la penetración de la aguja se mantuvo en 12 mm. Se encontró que la resistencia a la tracción de los geotexiles disminuía con



el aumento del porcentaje de fibras de ortiga (con resistencia mecánica más elevada). Este comportamiento se explicó por el mayor deslizamiento de las fibras de ortiga en la estructura del no tejido, lo que provocó una disminución de resistencia a la tracción. Además, las estructuras con mayor porcentaje de fibras de ortiga demostraron una mayor biodegradabilidad y cuando se enterraron, todos los geotextiles exhibieron una pérdida de resistencia a la tracción.

En la literatura, los estudios existentes sobre no tejidos integrando fibras de capoc no tienen como objetivo el desarrollo de estructuras para agrotexiles y geotexiles. Sin embargo, el análisis de estos estudios es un punto de partida importante en la investigación a ser realizada en el ámbito de este trabajo, una vez que nos permite conocer el comportamiento de estas fibras durante el procesamiento y evaluar su potencial de aplicación en agrotexiles.

En el estudio [76], no tejidos (velos) de mezclas de polipropileno (PP)/capoc, con una proporción de 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 y 10/90 fueron preparados mediante un proceso de punzonado en una condición fija optimizada (densidad de punzonado 50 *strokes/cm*<sup>2</sup> y profundidad de penetración 4 mm) para la aplicación de absorción de aceite. La relación de mezcla 50/50 PP/capoc fue la que generó la mayor capacidad de absorción de aceite, que se atribuyó a la densidad aparente más baja de la mezcla (0,035 g/cm<sup>3</sup>).

Otros investigadores [77] investigaron el efecto de la proporción de mezcla de capoc y fibras de *milkweed* (asclepia) con algodón, densidad aparente y distancia del no tejido a la fuente de sonido en la reducción del sonido. Verificaron que la reducción de sonido aumenta con el aumento de la proporción de mezcla de las fibras de capoc y la asclepia. El no tejido con 40/60 algodón/asclepia fue el que presentó el mayor potencial de reducción de sonido. A medida que la distancia entre el no tejido y las fuentes de sonido aumenta, la reducción del sonido aumenta linealmente debido a la reducción de la intensidad del sonido que reduce la transmisión de sonido a través del no tejido. Además, la conductividad térmica de las muestras no tejidas disminuye con el aumento de la proporción de mezcla de capoc y *milkweed* debido al aumento en el espesor de las muestras. Por lo tanto, las muestras no tejidas de mezcla de capoc y *milkweed* proporcionan características de aislamiento acústico y térmico. Para crear este no tejido se utilizó una punzonadora, con 6000 agujas en su placa de agujas, con una perforación de 25 punzones/cm<sup>2</sup> y 12 mm de profundidad de penetración. La punzonadora consta de 2 placas de agujas con movimiento descendente.

En [78] se estudiaron las propiedades de absorción de sonido de los tejidos no tejidos de fibra de capoc en una región de frecuencia de 100 a 2500 Hz utilizando el método de tubo de impedancia.

Se estudiaron los efectos de los parámetros físicos, incluida la proporción de mezclas de fibras, la densidad aparente y el espesor en las propiedades de absorción de sonido de los compuestos. Las comparaciones de fibra de capoc con fibra de polipropileno y fibra hueca de poliéster indicaron que, como fibra natural, la fibra de capoc tenía propiedades acústicas superiores a baja frecuencia. Los tejidos no tejidos que contenían fibra de capoc y fibra hueca de poliéster en diferentes proporciones de peso, densidades y grosor se produjeron mediante cardado, seguido del punzonado. Las muestras y su composición son: capoc y poliéster hueco en relaciones en peso de 50/50, 60/40, 70/30, 80/20 y 90/10; y el polipropileno y poliéster hueco en relación en peso de 90/10.

### **2.2.6. Análisis de Patentes**

Los no tejidos existentes actualmente que utilizan fibras de capoc se destinan mayoritariamente en el relleno o revestimiento, siendo los productos de higiene su principal campo de aplicación. La baja resistencia mecánica y la falta de cohesión de estas fibras son las principales limitaciones. Como forma de aumentar la cohesión interfibras se recurre generalmente al pretratamiento químico de las fibras. Sin embargo, como este tratamiento provoca degradación mecánica, las fibras quedan aún más frágiles, siendo necesario promover la resistencia de la manta durante el proceso. Las soluciones existentes actualmente para mejorar la resistencia se basan en la adición de productos ligantes a la manta o en la mezcla de otras fibras. De las soluciones identificadas se destacan las siguientes:

El documento de patente CN103205862 (A) describe un método de producción de no tejidos con fibras de capoc por el proceso hidrodinámico o de fieltro (spunlaced). El método se aplica para una relación en peso, variando entre 20-90 % de fibras de capoc y 80-10 % de otras fibras y propone el pretratamiento de las fibras de capoc en rama por pulverización con un aditivo a base de agua y aceite, seguido de pulverización con una solución de goma y un tratamiento de vaporización de la manta precursora formada por cardado. Este método A se pensó de utilizar fibras de capoc en rama, el método descrito en el documento CN103205862 recurre a la adición de productos ligantes (gomas) y la mezcla con otras fibras para mejorar la procesabilidad y aumentar la cohesión interfibras. Desde el punto de vista de la tecnología, introduce operaciones en el proceso, que obligan a modificaciones en los equipos existentes.

En el documento de patente WO/2012/103893 se describe un método para la producción de una manta no tejida, obtenida por cardado, conteniendo una mezcla de fibras de capoc con fibras

ligantes bicomponentes, en las proporciones de 40-70 % de capoc y 60-25 % de fibras ligantes, reforzada térmicamente o fieltrada y posteriormente calandrada y grabada.

Se presenta un método para pretratar las fibras de capoc antes de ser mezcladas con otras fibras. El agente auxiliar aumenta la resistencia de la fibra de capoc y representa 1,5-5 % del peso de la fibra, permitiendo la producción de no tejidos punzonados integrando capoc, reforzados por punzonado o chorro de agua (*spunlaced*).

La búsqueda y el análisis de la literatura y de patentes permitió verificar que las investigaciones y soluciones existentes actualmente no se direccionan ni conducen, en su mayoría, en el desarrollo y a la producción de no tejidos constituidos únicamente por fibras de capoc. Incorporan otras fibras lo que hace que las propiedades de los no tejidos resultantes sean determinadas, dependiendo de la cantidad, por las propiedades de las fibras adicionadas, o productos ligantes/aditivos que también interfieren en las propiedades.

### Capítulo 3. Desarrollo experimental

El desarrollo de no tejidos punzonados compuestos por fibras de capoc con propiedades físico-mecánicas adecuadas a su utilización plantea desafíos técnicos importantes debido a la baja resistencia de las fibras de capoc y a la falta de cohesión interfibras.

En este capítulo se describirá el plan de investigación adoptada para conseguir este objetivo que implica: a) la caracterización de las fibras de capoc y lino seleccionadas; b) el establecimiento de los métodos de creación y de producción de las estructuras no tejidas; c) la identificación y caracterización de los métodos de ensayo más relevantes para la evaluación de las propiedades de los no tejidos y de verificación de su conformidad con los requisitos de la aplicación.

#### 3.1. Caracterización de las fibras

En este trabajo se tenía claro que para la creación de los no tejidos se trabajaría con fibras de capoc en rama (sin tratamiento) y que para superar sus limitaciones de resistencia mecánica se mezclarían con otras fibras naturales de origen vegetal, concretamente, sisal, yute o lino. La opción final recayó en la fibra de lino.

Las fibras de capoc y lino sin procesar fueron suministradas por la compañía Somelos Mix, S.A. Las propiedades de estas fibras se muestran en la Tabla 2. En la Figura 13 se muestran las imágenes de las fibras de capoc y lino.

Con estas fibras se desarrollarán las estructuras de los no tejidos.

Tabla 2. Propiedades de las fibras de capoc (CP) y lino (CL)

Fibra	Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) [1]	Longitud de la fibra (mm) [1]	RH (%)	Contenido en Cenizas (%)	Contenido en ceras (%)
Capoc	0,97	8,15	6,2	5,8	1,6
Lino	1,5	22,2	7,4	5,7	2,0

[1] Suministradas por la empresa



Figura 13. Fibras de capoc y lino

### **3.2. Métodos de creación y producción de las estructuras no tejidas**

Como se mencionó anteriormente, el proceso de formación de mantas por el método *dry-laid* (vía seca) es considerado como el más adecuado para la producción de no tejidos a partir de fibras naturales (variación de longitudes entre 12-200 mm). Por otro lado, la consolidación de la manta por punzonado permite obtener estructuras no tejidas en una amplia gama de masa por unidad de área y espesor, lo que hizo considerarlo la forma de refuerzo preferente para el desarrollo de estructuras para aplicaciones técnicas, en particular, agrotexiles/geotexiles.

En este trabajo, las estructuras no tejidas se desarrollaron utilizando este proceso de formación y de consolidación de la manta por punzonado, específicamente, la Línea Automatex de laboratorio. Sin embargo, las dificultades encontradas en la formación del velo de la carda y en la obtención de una manta consolidada con fibras de capoc (debido a la falta de cohesión interfibras y capacidad de enmarañado) condujeron, por un lado, a explorar diferentes alternativas al flujo del material en la Línea Automatex de producción de no tejidos y por otro, a desarrollar un método capaz de producir estructuras a base de capoc, con propiedades compatibles con la aplicación. Dada la novedad del método desarrollado, se sometió un pedido de patente nacional (PT 109924 A), publicada el 21 de septiembre de 2018.

Los siguientes subcapítulos presentan la metodología de desarrollo seguida para producir no tejidos de mezclas de capoc-lino y 100 % capoc utilizando el método de producción "convencional" de la Línea Automatex y el método desarrollado sometido a pedido de patente.

#### **3.2.1. Método de producción de los no tejidos en la Línea Automatex**

La línea de laboratorio de producción de no tejidos Automatex se compone de abridora, carda, *Cross Lapper* y punzonadora. La máquina de punzonado tiene una placa con 1344 agujas, con un largo por ancho de 25x70 cm. Los principales componentes de esta Línea están reflejados en la Figura 14.



Figura 14. Línea Automatex: a) Abridora, b) Carda, c) Cross-Lapper, d) Punzonadora

La primera etapa de la investigación consistió en establecer los parámetros relacionados con la máquina, siendo estos considerados determinantes de las propiedades mecánicas de los no tejidos, en particular, densidad de punzonado y profundidad de penetración. Para su determinación se prepararon mantas con mezclas de capoc-lino con cerca de 150 hasta 250 g/m<sup>2</sup>, evaluando su consistencia después del punzonado (primera pasada). En la Tabla 3 se presentan el tipo de agujas y parámetros establecidos para la producción de todas las estructuras no tejidas desarrolladas, que resultaron en una densidad de punzonado de cerca de 55 *strokes/cm*<sup>2</sup>, calculada a partir de la ecuación 1 [79] y con una profundidad de penetración de 2 cm.

$$\text{Densidad de punzonado (strokes/cm}^2\text{)} = [(A \times B \times C) / (D)] \quad (1)$$

Donde:

A= n° de punzones o frecuencia de punzonado (*strokes/min*)

B= n° de agujas/cm<sup>2</sup> de la placa de agujas

C= ancho de la placa de agujas

D= Velocidad de salida de la punzonadora (cm/min)

Tabla 3. Parámetros de producción de Línea Automatex

Parámetros de producción	
Velocidad de entrada en la punzonadora (cm/min)	56
Velocidad de salida de la punzonadora (cm/min)	142
N° punzones golpes/min ( <i>strokes/min</i> )	409,51
Distancia entre placas (cm)	3
Aguja:15x16x32x3 R222 G53037	

### 3.2.1.1. Plan de experiencias

Las mantas no tejidas de mezclas de capoc-lino (CP-CL) se prepararon considerando dos alternativas posibles de alimentación de la *Cross-Lapper* (superposición): fibras abiertas/mezcladas en la abridora y velos de la carda. La Figura 15 ilustra el flujograma de producción adoptado en el desarrollo de los no tejidos punzonados denominados como simples, sándwich y compuestos de mezclas CP-CL.

Como se puede observar, se desarrollaron 13 estructuras de no tejidos punzonados con mezclas de CP-CL: i) disposición de las fibras, ii) número de superposiciones (capas) y iii) número de pasadas en la punzonadora.

La tabla 4 muestra la referencia de las muestras con matriz de factores de variación examinados.

Figura 15. Flujo de producción de no tejidos CP-CL en la Línea Automatex

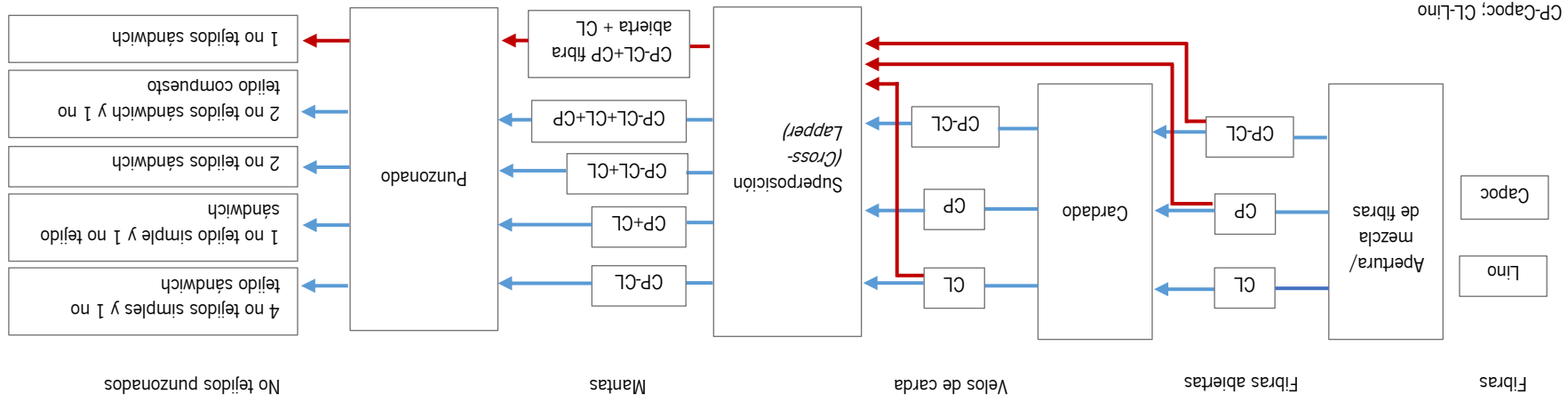




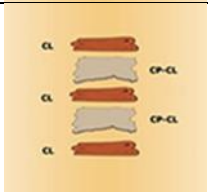
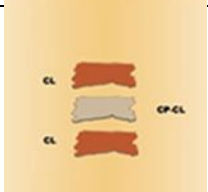
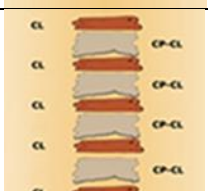
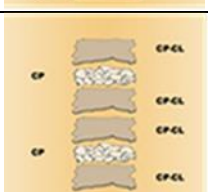




Tabla 4. Método de desarrollo de los no tejidos producidos en la Línea Automatex

Tipo de no tejido /N° capas (composición)	Ref. NT (ms, mw, mc)	Fibra abierta		Velos de la carda			Disposición	Número de capas	Último punzonado
		CP-CL	CP	CP-CL	CL	CP			
Simples/1 (CP-CL)	ms0-M	-	-	+	-	-		1	Ambas caras
	ms7-M	-	-	+	-	-		1	Ambas caras
	ms8-M	-	-	+	-	-		1	Ambas caras
	ms10-M	-	-	+	-	-		1	Ambas caras
Sándwich/3 (CP-CL)	mw9-M	-	-	+	-	-		3	Ambas caras
Simples/1 (CP+CL)	ms12-M	-	-	-	+	+		1	Ambas caras
Sándwich/2 (CP+CL)	mw15-M	-	-	-	+	+		2	Ambas caras
Sándwich/5 (CP-CL+CL)	mw21-M	-	-	+	+	-		5	Una cara
	mw22-M	-	-	+	+	-		5	Ambas caras
Sándwich/3 (CP-CL+CP+CL)	mw1-M	-	-	+	+	+		3	Ambas caras
Sándwich/9 (CP-CL+CP+CL)	mw31-M	-	-	+	+	+		9	Una cara
Compuesto/18 (CP-CL+CP+CL)	mc32-M	-	-	+	+	+		18	Ambas caras
Sándwich/6 (CP-CL+CP fibra abierta + CL)	mw11-M	+	+	-	+	-		6	Una cara

### 3.2.2. Nuevo método de producción de no tejidos

La primera tentativa de producir estructuras 100 % capoc (CP) se realizó usando las dos alternativas consideradas en el método de producción en la línea Automatex (fibras abiertas y velos de carda) y los mismos parámetros de producción, con excepción del tipo de aguja (más fina) para adecuarse mejor al tipo de fibra (Tabla 5).

Sin embargo, a pesar de haber sido posible producir mantas 100 % capoc, la consolidación por punzonado no confería a la estructura la cohesión necesaria, por lo que se estudiaron formas de aumentar la capacidad de unión de las fibras. La opción por un refuerzo térmico de la manta con calor seco y presión surgió como posibilidad.

Para determinar la temperatura a utilizar en la consolidación de la manta se analizaron las propiedades térmicas de las fibras de capoc por calorimetría diferencial de barrido (DSC). En la Figura 16 se presenta un ejemplo del termograma obtenido.

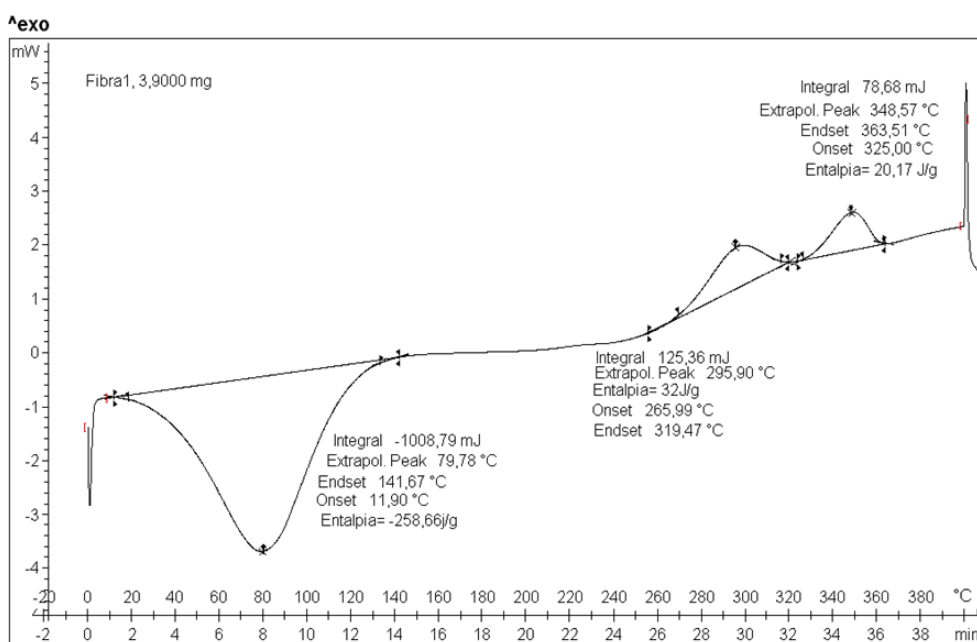


Figura 16. Curva DSC de fibras de capoc

Como se puede observar, el primer pico endotérmico ocurre en la gama de temperaturas 11,9-141,67°C y es indicativo de la desorción de agua de las fibras. Los segundos y terceros picos exotérmicos ocurren a los 295,90°C y 348,57°C, respectivamente y representan la degradación y descomposición final de la fibra. Con base a este comportamiento se definió como temperatura máxima de consolidación de la manta 145°C y como temperatura mínima 100°C.

Así, el nuevo método de producción de los no tejidos 100 % capoc incluyó como método de refuerzo, la unión térmica de la manta producida en la Línea Automatex antes del punzonado. Esta operación fue realizada en una prensa fuera de la Línea de producción de los no tejidos. Los componentes necesarios en la producción de estas estructuras están reflejados en la Figura 17.



Figura 17. Método de obtención de estructuras a base de fibras de capoc: a) Abridora, b) Prensa, c) Punzonadora

Los parámetros de producción de la punzonadora y de la prensa están indicados en la Tabla 5, y fueron utilizados en la producción de todas las estructuras no tejidas 100 % capoc y no tejidos de capoc-lino.

Tabla 5. Parámetros de producción del método de obtención de estructuras a base de fibras de capoc (Línea Automatex y Prensa)

Línea Automatex		Prensa modelo TS5PAD	
Velocidad de entrada en la punzonadora (cm/min)	56	Temperatura superior - inferior (°C)	140-100
Velocidad de salida de la punzonadora (cm/min)	142		
N° punzones ( <i>strokes</i> /min)	409,51	Presión (bar)	5-6
Distancia entre placas (cm)	3		
Aguja:15x18x38x3 R222 G3027 no tejidos simples (ms)		Termofijado de no tejidos compuestos (°C)	145-100
Aguja:15x16x32x3 R222 G3037 no tejidos sándwich (mw)			

La secuencia y el número de pasadas en las operaciones de refuerzo fueron establecidos por evaluación cualitativa (de aspecto) y cuantitativa (resistencia mecánica) de las estructuras no tejidas resultantes.

### 3.2.2.1. Plan de experiencias

Las estructuras no tejidas 100 % capoc preparadas a partir de velos de fibras 100 % capoc tratadas térmicamente (por prensado) y punzonadas por una cara, no presentaban resistencia a la rotura aceptable. Considerándose así, dos alternativas:

- a) Superposición de más de un no tejido formado por mantas de fibras abiertas, prensadas y punzonadas (designados como no tejidos simples), resultando en un no tejido sándwich. Estas estructuras unidas por punzonado (por una cara), presentaron resistencias a la rotura entre 30 a 60 N (no suficiente para agrotexiles).
- b) Superposición de más de un no tejido sándwich prensado, resultando en los llamados no tejidos compuestos, que lograron resistencias a la rotura superiores a los 200 N. Se tuvo en cuenta la orientación de prensado. Las orientaciones de los no tejidos sándwich para formar estructuras no tejidas compuestas son presentadas en la Figura 18.

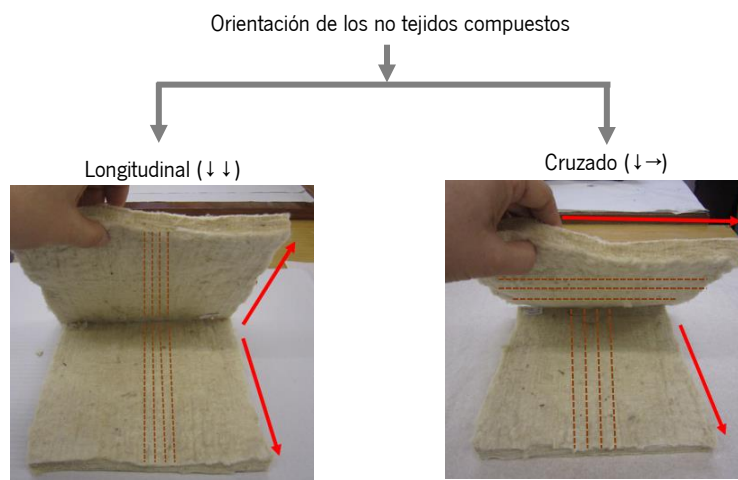


Figura 18. Orientación de los no tejidos compuestos en el sentido longitudinal y cruzado

Además de las estructuras no tejidas 100 % capoc, el nuevo método de producción fue utilizado en la producción de no tejidos simples, sándwich y compuestos de mezclas de capoc-lino, en proporciones de 50/50 %.

La Figura 19 ilustra el enfoque adoptado en el desarrollo de las estructuras de no tejidos simples, sándwich y compuestos 100 % capoc (CP) y en la Figura 20 de los no tejidos de mezclas de capoc-lino (CP-CL).

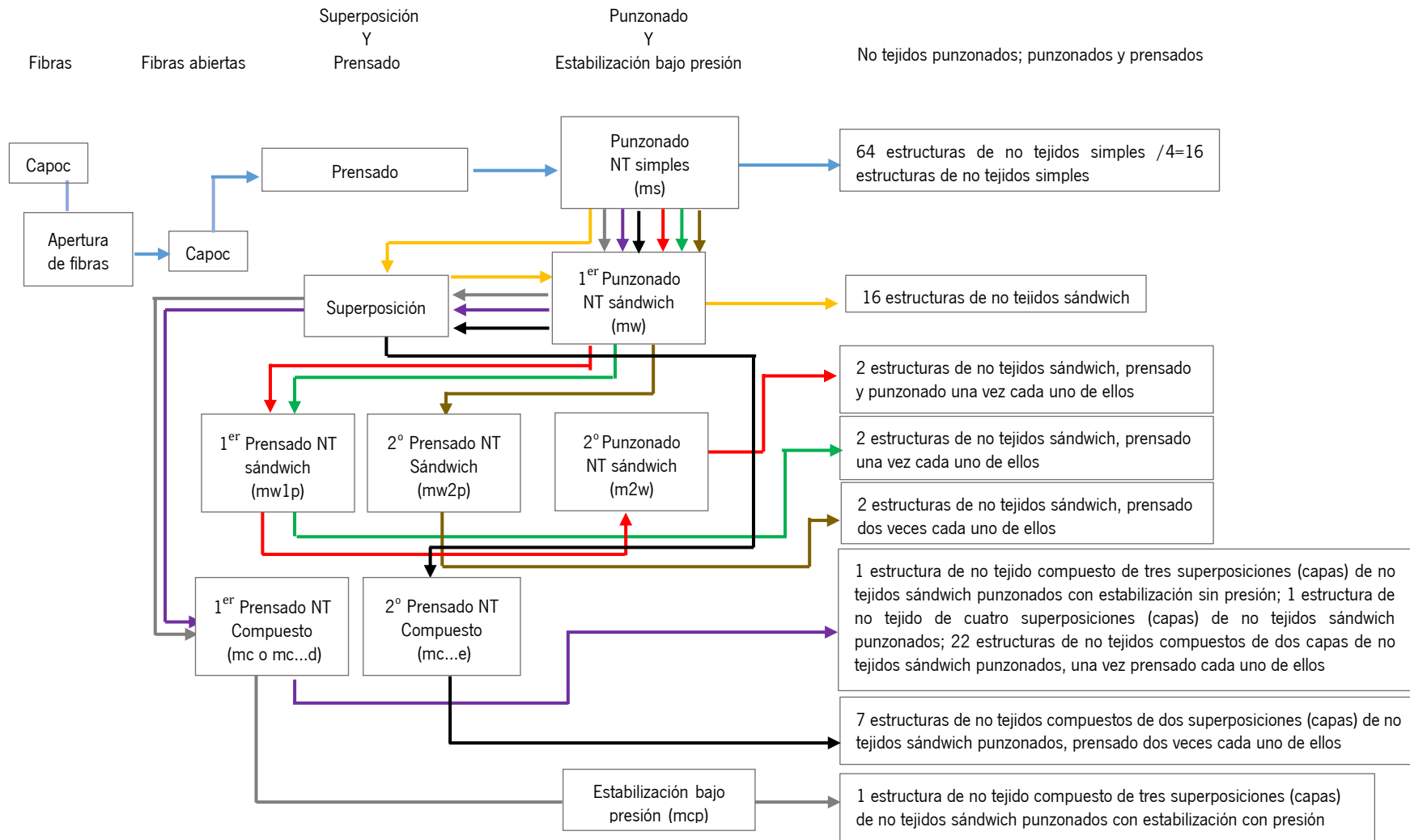


Figura 19. Flujo de producción de no tejidos 100 % capoc (CP)

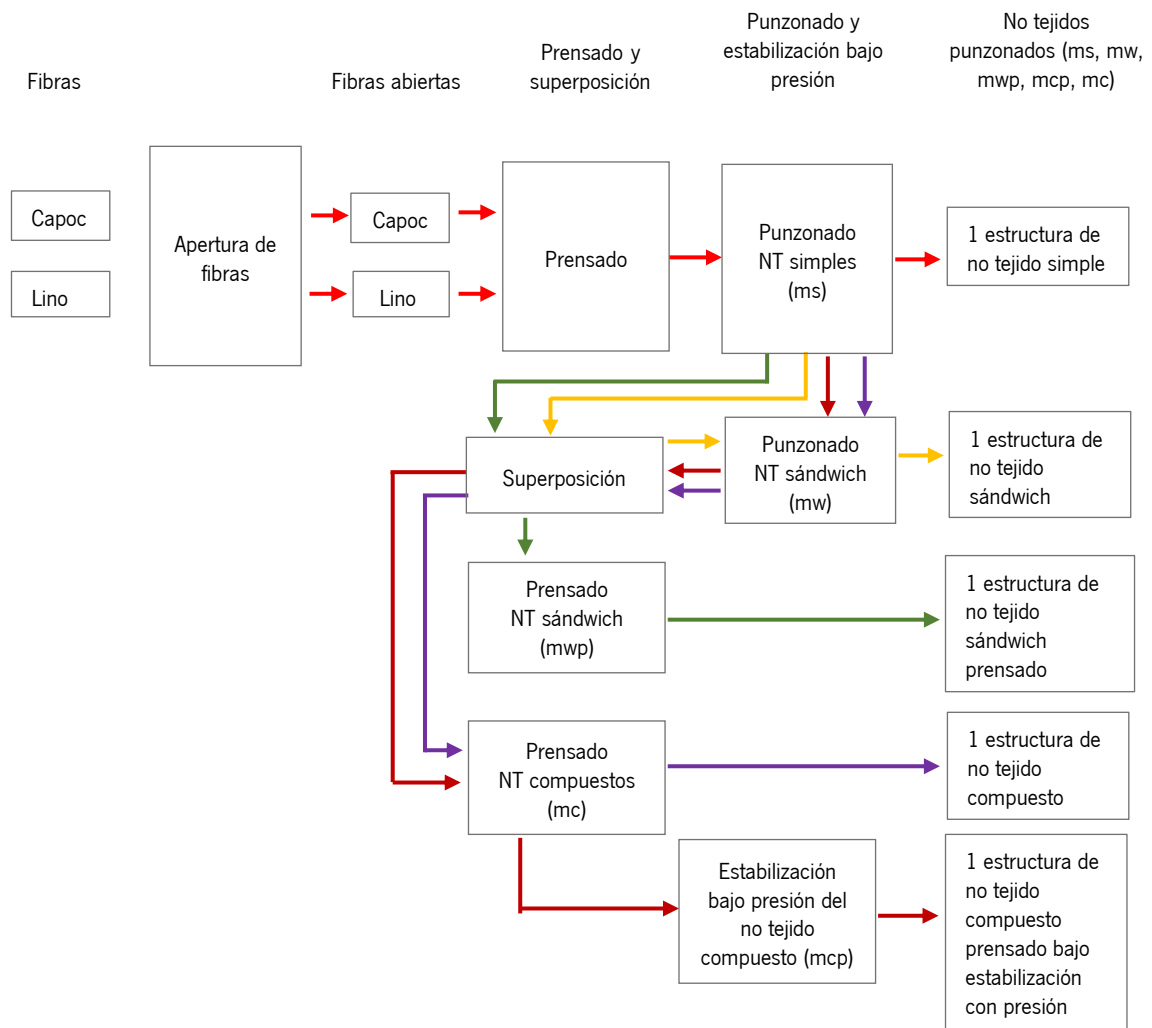

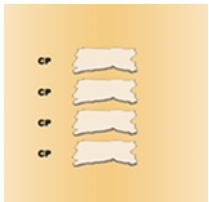
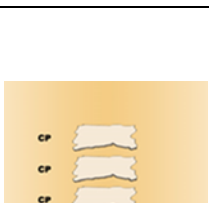



Figura 20. Flujograma de no tejidos de mezclas de capoc-lino (CP-CL) desarrollados por el nuevo método de producción

Como se puede observar, se desarrollaron 118 estructuras 100 % capoc: 16 grupos de cuatro (64 estructuras de no tejidos simples) siendo cada grupo de cuatro analizadas una por una, 22 no tejidos sandwich y 32 no tejidos compuestos. También se desarrollaron 8 estructuras de mezclas de capoc-lino.

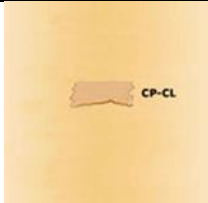
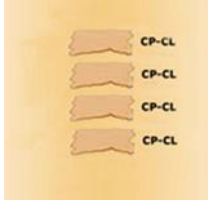
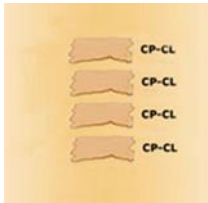
La tabla 6 y 7 muestra la referencia de las muestras desarrolladas con la matriz de factores de variación examinados.

Tabla 6. Método de desarrollo de los no tejidos de capoc

Ref. NT	Ref. NT	Fibra abierta		Disposición	Número superposición de mw	N° de capas	Último punzonado	Veces de prensado	Estabilización bajo presión
		CP	CL						
<sup>4</sup> Simples/1	ms10;ms11;ms12;ms15; ms16;ms17;ms18;ms19; ms20;ms21;ms22;ms23; ms24;ms25;ms36;ms37	+	-		-	5	Una cara	-	-
Sándwich punzonado /4	mw10;mw11;mw12;mw15;mw16; mw17;mw18;mw19;mw20;mw21; mw22;mw23;mw24;mw25;mw36; mw37	+	-		-	4	Una cara	-	-
Sándwich punzonado prensado/4	mw1p24;mw1p36	+	-		-	4	Una cara	1	-
	mw2p25;mw1p37	+	-		-	4	Una cara	2 (1 vez derecho-1 envés)	-
Sándwich punzonado-prensado-punzonado/4	m2w10;m2w15	+	-		-	4	2x una cara	1	
Compuesto / 2 (diferentes orientaciones)	mc11d;mc31d;mc51d;mc1d;mc3;mc 1-4AB; mc2-4AB; mc4AB;mc4-4AB; mc5-4AB; mc6-4AB; mc1-4A; mc2- 4A;mc3-4A; mc4-4A; mc5-4A; mc64A; mc2d;mc5d; mc1;mc13;mc14	+	-		2	8	Una cara	1	-
Compuesto / 2 (diferentes orientaciones)	mc2e;mc4e;mc5e;mc8e; mc22e;mc42e;mc62e	+	-		2	8	Una cara	2 (1 vez derecho-1 envés)	-
Compuesto/3	mc3				3	12	Una cara	2	-
Compuesto con presión/3	mcp3				3	12	Una cara	2	+
Compuesto/4	mc4			4	16	Una cara	3	-	

<sup>4</sup> ms10 (ms10-1,ms10-2,ms10-3,ms10-4); ms11 (ms11-1,ms11-2,ms11-3, ms11-4); ms12 (ms12-1,.....);...; ms37 (ms37-1,ms37-2,ms37-3,ms37-4) ver en tabla 17

Tabla 7. Método de desarrollo de los no tejidos de capoc-lino

Tipo de no tejido /N° de capas (composición)	Ref. NT	Fibra abierta		Disposición	Número superposición de mw	N° de capas	Último punzonado	Último prensado	Estabilización bajo presión
		CP	CL						
Simple/ (CP-CL)	ms8	+	+		-	5	Una cara	-	-
Sándwich punzonado/4 (CP-CL)	mw8	+	+		-	4	Una cara	-	-
Sándwich punzonado/4 (CP-CL)	mwp8	+	+		-	4	-	1	-
Compuesto/3 (CP-CL)	mc8	+	+		3	12	Una cara	1	-
Compuesto con presión/3 (CP-CL)	mcp8	+	+		3	12	Una cara	1	+

### 3.3. Métodos de caracterización de los no tejidos desarrollados

Los no tejidos de capoc, lino y mezclas de capoc-lino desarrollados fueron caracterizados respecto a sus propiedades geométricas y estructurales, propiedades térmicas y de permeabilidad al aire, propiedades mecánicas (tracción y punción), capacidad de dispersión y absorción de agua. En los no tejidos 100 % capoc con propiedades mecánicas y térmicas compatibles con su aplicación en agrotexiles, se consideró importante evaluar y analizar la degradación mecánica y estructural provocada por exposición prolongada en condiciones de humedad y temperatura ambiente. Así, estas muestras fueron expuestas a los test de envejecimiento acelerado (QUV) y posteriormente evaluadas a sus propiedades mecánicas (resistencia a la tracción y extensión) y capacidad de mojado (ángulo de contacto). Estas muestras fueron además caracterizadas por espectroscopia de infrarrojos (FTIR) y calorimetría de barrido diferencial (DSC) para evaluar la degradación ocurrida a nivel microestructural. Todos los test de caracterización fueron realizados tras el acondicionamiento de las muestras en unas condiciones de ambiente normalizadas (temperatura  $20 \pm 2$  °C,  $65 \pm 2$  % de humedad relativa), de acuerdo con la norma ISO 139:2011.



### 3.3.1. Propiedades geométricas y estructurales

Las estructuras no tejidas fueron caracterizadas según el espesor, masa por unidad de área, densidad aparente y porosidad, siendo estos últimos parámetros calculados de acuerdo con las ecuaciones [80]:

$$\rho_w = m / (t \cdot 10^3) \quad (2)$$

$$P_v = [1 - (\rho_w / \rho_f)] \cdot 100 \quad (3)$$

Donde:

$\rho_w$  = densidad aparente del no tejido o masa volumétrica del no tejido (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_f$  = densidad de la fibra o masa volumétrica de la fibra (g/cm<sup>3</sup>)

m = masa por unidad de área del no tejido (g/m<sup>2</sup>)

t = espesor del no tejido (mm)

$P_v$  = porosidad (volumétrica) del no tejido (%)

### 3.3.2. Propiedades mecánicas

El comportamiento mecánico de los no tejidos desarrollados fue evaluado en lo que se refiere a las propiedades de tracción (fuerza y extensión a la rotura) y punción. Estas propiedades fueron consideradas importantes en las aplicaciones de agrotexiles. Los ensayos de resistencia a la tracción fueron realizados en estado seco, antes y después de la exposición a condiciones ambientales diferentes (simulados). El test de punción fue realizado sólo sobre los no tejidos que demostraron resistencia a la tracción adecuadas a la aplicación. Los métodos, condiciones de ensayo y normas utilizadas en la realización de los test son presentadas en la Tabla 8.

#### 3.3.2.1. Adecuación de componentes

Dado el espesor de algunos de los no tejidos desarrollados hubo la necesidad de adecuar el elemento de fijación de las muestras del dinamómetro y de producir un elemento auxiliar para el test de Punción.

Para la realización del test de tracción, en algunos ensayos, además de utilizar las mordazas originales también se utilizaron otras mordazas que se realizaron de madera con las dimensiones de las originales del método *Grab*, cuya fijación permitió una mayor capacidad de abertura, necesaria para el ensayo de las muestras del no tejido con mayor espesor (Figura 21). Los tornillos

y tuercas originales fueron sustituidos por tornillos más largos. Ocurriendo lo mismo en el test de punción, donde los tornillos originales también fueron sustituidos por unos más largos. Para garantizar el alineamiento de la muestra con el centro de punzonado se realizó un patrón de cartón con marcaciones (cuatro agujeros iguales que las placas de sujeción) para ser colocado sujetando la muestra a la base de la abrazadera (Figura 22). Los métodos, condiciones de ensayo y normas utilizadas en estos test se muestran en la Tabla 8.



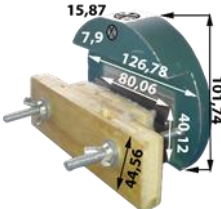
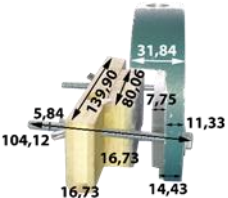






	<b>Dinamómetro Hounsfield 100 RS</b>			
				
<b>Mordazas producidas para el test de tracción por el Método <i>Grab</i></b>				
				
No tejido antes del ensayo	Frontal del no tejido y mordazas antes del ensayo	Izquierda del no tejido y mordazas antes del ensayo		
				
Derecho del no tejido y mordazas antes del ensayo	Frontal del no tejido y mordazas después del ensayo	No tejido después del ensayo		

Figura 21. Mordazas reproducidas para el Test de tracción por el Método *Grab* y ejemplo de un test de no tejido compuesto 100 % capoc

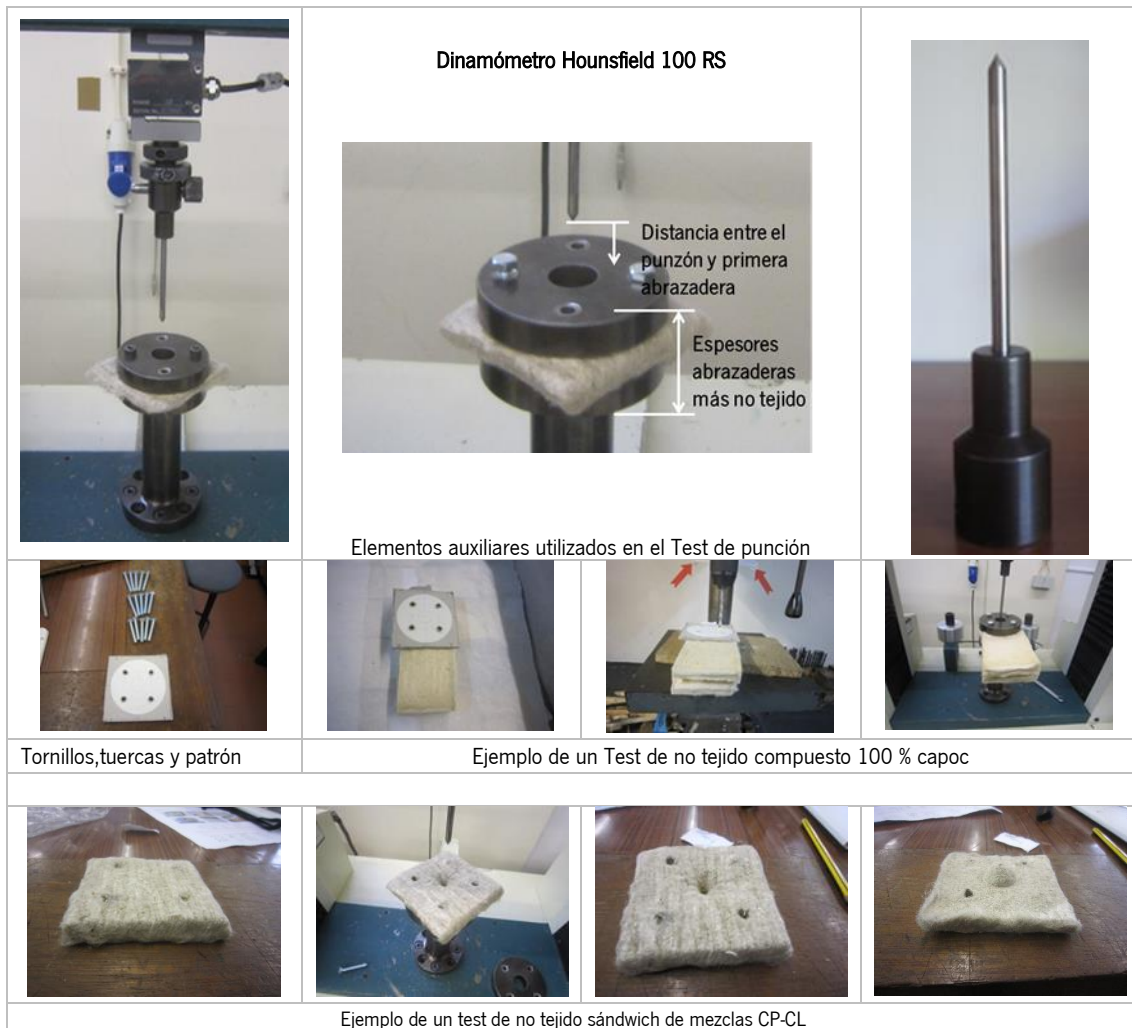


Figura 22. Elementos auxiliares utilizados en el Test de punción y ejemplos de los Test de no tejido compuesto 100 % CP y no tejido sándwich de mezclas CP-CL

### 3.3.3. Propiedades de transferencia de aire, calor y líquidos

En estas propiedades se tendrá en cuenta la permeabilidad al aire, propiedades térmicas (conductividad térmica, resistencia térmica, absorción térmica y flujo térmico) y humectación y dispersión del agua y humedad (capilaridad).

#### 3.3.3.1. Permeabilidad al aire

La permeabilidad al aire de los no tejidos es una de las propiedades más importantes para aplicaciones en agrotexiles y depende en gran medida de sus propiedades geométricas y estructurales [81]. Esta capacidad es determinada midiéndose la velocidad del flujo del aire al pasar perpendicularmente en una muestra bajo condiciones específicas de área, presión y tiempo [82]. La tortuosidad de la estructura, esto es, la relación entre la longitud efectiva del canal y el

espesor de la muestra, es un factor importante en la determinación del flujo de aire que pasa a través de materiales no tejidos [83].

En la Figura 23 se ilustra un ejemplo del ensayo realizado. Las características del equipamiento, condiciones de ensayo y las normas utilizadas se muestran en la Tabla 8.



Figura 23. Test de permeabilidad al aire del no tejido sándwich 100 % capoc

### 3.3.3.2. Propiedades térmicas

La transmisión de calor a través de un tejido se produce tanto por conducción del calor a través de la fibra, del aire atrapado y por la radiación. El aislamiento de un no tejido se mide por su resistencia térmica [84], dependiendo de su espesor y masa por unidad de área, aumentando directamente con estas características y con la menor densidad de punzonado [85]. La conductividad térmica del no tejido depende más del aire que queda atrapado dentro del no tejido que de la conductividad térmica de la fibra [86]. Los parámetros de transmisión térmica de los no tejidos desarrollados se evaluaron por medio del instrumento Alambeta, que permite una medición de las propiedades térmicas (Figura 24) colocando la muestra a una presión de 200 Pa entre dos platos, uno caliente a una temperatura de 32 °C y otro frío [87]. En este trabajo se consideró la conductividad térmica ( $\lambda$ ), la resistencia térmica ( $r$ ), la absortividad térmica ( $b$ ) y el flujo máximo de calor ( $q_{m\acute{a}x}$ ) como los parámetros más importantes. Estos parámetros son definidos por las expresiones [88]:

#### 1) Conductividad térmica ( $\lambda$ )

La conductividad térmica ( $\lambda$ ) nos da una cantidad de calor que fluye por el material, por unidad de longitud, para una variación de temperatura de 1 °C.

Un valor elevado de conductividad térmica ( $\lambda$ ) representa una elevada capacidad de conducción del calor. Los valores más altos corresponden a los metales puros, mientras que los más bajos

pertenecen a los gases y vapores. Dado que las fibras textiles son materiales más aislantes presentan un bajo nivel de conductividad térmica.

La conductividad térmica se define con la siguiente ecuación:

$$\lambda = q \cdot h / \Delta t \text{ [W/m. K]} \quad (4)$$

Dónde:

$q_{\text{máx}}$  = Flujo térmico [W.m<sup>-2</sup>];

$h$  = Espesor (mm);

$\Delta t$  = Gradiente de temperatura entre dos superficies;

2) Resistencia térmica ( $R_t$ )

En muchos casos los artículos de vestuario son compuestos por varias capas textiles, con el objetivo de obtenerse propiedades específicas de aislamiento y contacto térmico, las cuales difieren de las propiedades térmicas de tales capas cuando son consideradas aisladamente. En los artículos textiles multicapas, el modo de unión de las capas individuales afecta sustancialmente los resultados de las propiedades térmicas de los artículos de vestuario y, consecuentemente, los resultados globales de una de esas propiedades designadas por resistencia térmica ( $R_t$ ) siendo dada por la siguiente ecuación:

$$R_t = h_t / \lambda_t \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W]} \quad (5)$$

Pudiéndose definir la resistencia al flujo de calor como inversamente proporcional a la conductividad térmica.

Dónde:

$h_t$  = Espesor total [m];

$\lambda_t$  = Conductividad térmica resultante [W/m.K];

3) Absortividad térmica ( $b$ )

La absorción térmica es una propiedad transitoria que representa el flujo térmico instantáneo que ocurre cuando dos cuerpos semi-infinitos con diferentes temperaturas entran en contacto físico.

La absorptividad térmica ( $b$ ) y que es definida por:

$$b = (\sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}) \text{ [W.m}^2 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{S}^{1/2}] \quad (6)$$

Dónde:

$\lambda$  = Conductividad térmica [W/m.K];

$\rho$  = Masa específica [Kg.m<sup>-3</sup>];

$c$  = Calor específico [J/Kg.K];

4) Flujo térmico ( $q_{\text{máx}}$ ) es definido por la siguiente expresión:

$$(q_{\text{máx}}) = b \cdot \Delta t / (r \cdot \tau)^{1/2} \text{ [W.m}^{-2}\text{]} \quad (7)$$

Dónde:

$b$  = Absortividad térmica [W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>.S<sup>1/2</sup>];

$\Delta t$  = Es el gradiente de temperatura [°K];

$\tau$  = Tiempo [s];



Figura 24. Evaluación de las propiedades térmicas de los no tejidos sándwich de mezclas de capoc-lino (izquierda) y de los no tejidos compuestos 100 % capoc (derecha) con el instrumento Alambeta

### 3.3.3.3. Humectación y dispersión del agua y humedad (capilaridad)

El comportamiento de la humectación y absorción o capilaridad de las fibras es muy importante para describir el transporte de fluidos en medios fibrosos. La humectación de una superficie sólida se entiende como la condición resultante de un contacto con un líquido bajo condiciones específicas. Un transporte espontáneo de un líquido impulsado en un sistema poroso por fuerzas

capilares se denomina absorción porque las fuerzas capilares son causadas por humectantes. La humectación es un requisito previo para la absorción o empapamiento, y la absorción es el resultado de la humectación espontánea en un sistema capilar. La humectación de los textiles implica varios procesos primarios: inmersión, sorción capilar, adhesión y propagación [89].

Los no tejidos desarrollados fueron relativamente testados en la capilaridad vertical, horizontal, absorción (prueba de la gota) y en la resistencia al agua de lluvia (ensayo del spray). También fue determinado el ángulo de contacto del agua en los no tejidos que fueron sujetos al test de degradación ambiental (envejecimiento acelerado). El ángulo de contacto es definido por la tangente en la superficie del líquido con el sólido y es determinado por las tensiones en la interface, de acuerdo con la ecuación de Young:

$$\gamma_S - \gamma_{SL} = \gamma_L \cos \Theta \quad (8)$$

Donde:

$\gamma_L$  = Tensión superficial del líquido

$\gamma_{SL}$  = Tensión superficial sólido- líquido

$\gamma_S$  = Tensión superficial del sólido

$\Theta$  = Ángulo de contacto

Un ángulo de contacto inferior a 90° indica que el líquido se dispersará en el material por capilaridad.

Cuando se deposita una gota de agua sobre la superficie de los agregados de la fibra, una fuerza repelente de superficie de naturaleza superhidrófoba soporta la gota contra su gravedad, dando así un gran ángulo de contacto (CA) de aproximadamente  $153 \pm 2^\circ$  [8]. Las gotitas esféricas de agua con un ángulo de contacto de 157° puede permanecer de manera estable en la superficie del conjunto de la fibra, exhibiendo su comportamiento superhidrófobo [90]. El ángulo de contacto aparente de una gota sobre una superficie rugosa a menudo se modela utilizando las fórmulas de *Wenzel* o de *Cassie*. Los experimentos previos no son concluyentes con respecto a qué fórmula usar y cuándo [91].

Los métodos, condiciones de ensayo y normas utilizadas se muestran en la Tabla 8. Las Figuras desde la 25 a la 29 muestran ejemplos de los Test efectuados.



Figura 25. Test de capilaridad vertical de los tejidos de mezclas de fibras de CP-CL



Figura 26. Test de capilaridad horizontal de los tejidos sándwich de fibras 100 % capoc

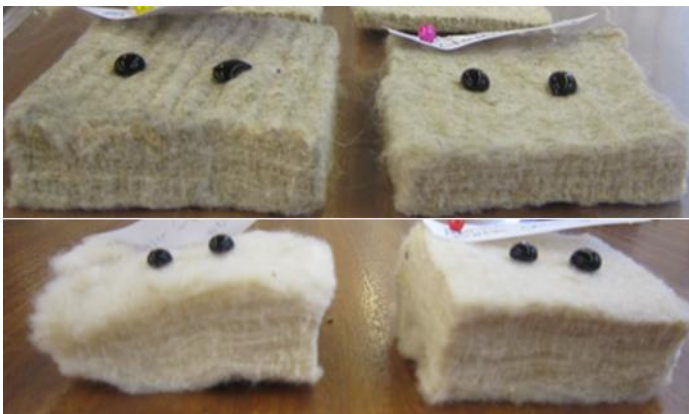


Figura 27. Prueba de la gota en el derecho y en el envés de los tejidos de mezclas de fibras de CP-CL (arriba) y prueba de la gota en el envés y en el derecho de las mantas sándwich 100 % capoc (debajo)

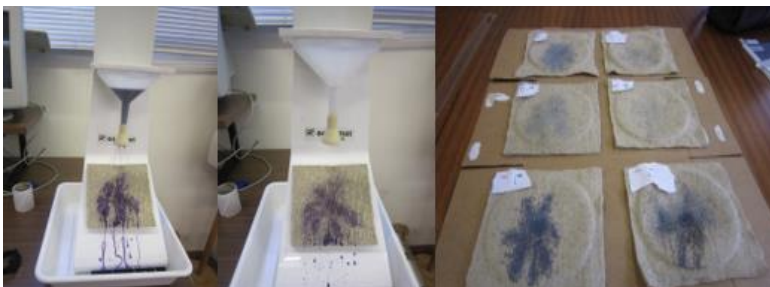


Figura 28. Prueba del Spray o Test de la lluvia de los tejidos de mezclas de fibras de CP-CL



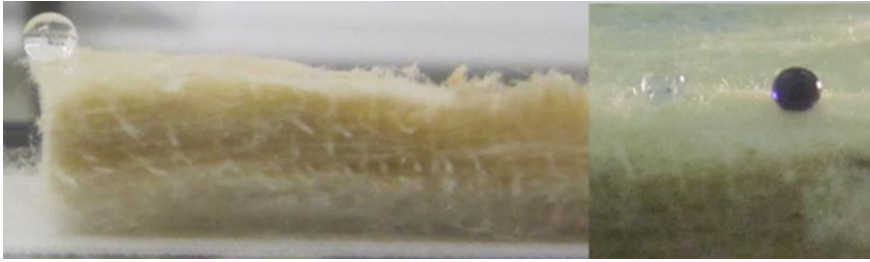


Figura 29. Medición del Ángulo de contacto en los no tejidos compuestos 100 % capoc antes y después del QUV

### 3.3.4. Degradación ambiental de los no tejidos

La durabilidad de los materiales para agrotexiles es influenciada por las condiciones atmosféricas, los agroquímicos utilizados y otros factores [92]. Los factores ambientales degradantes más importantes incluyen el clima, época del año, precipitaciones, humedad y presencia de atmosfera industrial [93]. Mantener las propiedades funcionales durante el uso, en particular, las propiedades mecánicas y físicas cuando se exponen a los agentes climáticos y los pesticidas [94] es uno de los principales requisitos de un material para agrotexiles. La degradación de los materiales es principalmente iniciada por los rayos ultravioleta (UV) de radiación solar. La polución atmosférica y lluvias ácidas también pueden acelerar la degradación por UV [95]. La calidad y la intensidad de la radiación solar varían con el clima, la ubicación y el tiempo, pero el efecto promedio sobre el envejecimiento durante todo un año no difiere mucho de un año a otro en un lugar determinado [96]. La degradación inducida artificialmente empleada por los procedimientos de envejecimiento artificial actuales y estándares se basa en la utilización de la radiación UV [97]. La región UV puede ser subdividida en tres rangos de longitud de onda: UV-A (315-400 nm), UV-B (290-315 nm) y UV-C (por debajo de 290 nm) [95]. Los ensayos realizados en laboratorio se deben elegir lo más cercano posible a la realidad. Una exposición máxima al aire libre de 6 meses en el verano en el norte de Europa, es aceptable para causar una amplia variabilidad [96].

En este trabajo, los ensayos de envejecimiento acelerado, simulando entre uno y seis meses de exposición se llevarán a cabo por exposición a una fuente de luz fluorescente VB-A (ensayo QUV). Cada 24 horas de exposición simulada equivale a una semana en ambiente real, siendo 12 horas de condensación a 40 °C y 12 horas de exposición UV a 50 °C. Para estos seis meses se necesitó la realización de 1445 horas de exposición en el QUV.

Las condiciones de ensayo y la norma utilizada se muestran en la Tabla 8.

### 3.3.4.1. Alteraciones del equipo

En este trabajo no se pudieron utilizar las placas originales del equipo, dado que los no tejidos eran en principio más espesos que la profundidad de las placas del QUV y ganaron en espesor después del test. Así, para que el no tejido expuesto tuviera la movilidad requerida, fueron creadas y producidas para que fueran adecuadas a las muestras que se estaban analizando. La Figura 30 ilustra las alteraciones realizadas y un ejemplo de los test efectuados.

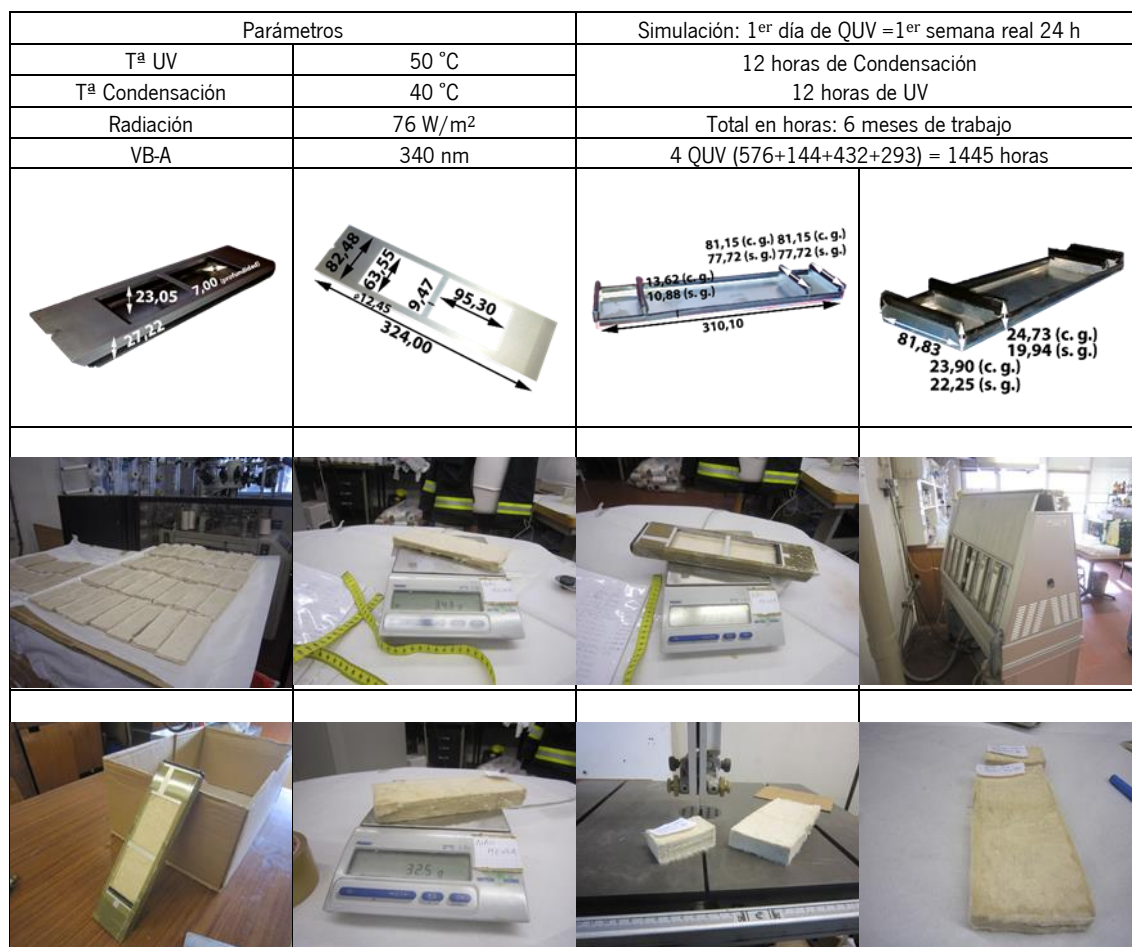


Figura 30. Alteraciones de las placas para realizar el Test del QUV en los no tejidos compuestos 100 % capoc

La degradación de los no tejidos fue evaluada comparando la resistencia y extensión a la rotura antes y después de la degradación (después del QUV) y analizando el grado y tipo de daño causado a través de la espectroscopia en infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) y calorimetría de barrido diferencial (DSC). De acuerdo con la literatura, para los geotextiles convencionales, una retención de la resistencia del 50 % después de 672 horas, puede ser aceptable. Para los geotextiles no tejidos punzonados utilizados como contenedores, se recomienda un mínimo del 80 % de retención de la resistencia [98].

### 3.3.5. Tabla resumen de las propiedades evaluadas

La tabla resumen de las propiedades evaluadas se muestra en la Tabla 8, esta está dividida en dos partes (1) y (2).

Tabla 8. Test de ensayo, Normas, condiciones de ensayo y parámetros evaluados

(1) Test de ensayo, Normas, condiciones de ensayo y parámetros evaluados			
Propiedades/ Características	Norma/método de ensayo	Condiciones de ensayo	Parámetros evaluados
Propiedades geométricas	NP EN 29073-1:1993	Presión 100 Pa Nº de mediciones = 5/muestra	Espesor (mm)
	NP EN ISO 9073-2:2002	Dimensión de las probetas 10 x10 cm Nº de probetas = 2/muestra	Masa por unidad área (g/m <sup>2</sup> )
Propiedades de transferencia de aire	NP EN ISO 9237:1995	Permeabilímetro Textest FX-3300 Presión diferencial 100 Pa Nº de mediciones = 3/muestra	Permeabilidad al aire (l/m <sup>2</sup> /s)
Propiedades térmicas	Método Alambeta	Aparato Alambeta Temperatura de contacto 32°C Presión 200 Pa Nº de mediciones = 5/muestra (derecho y envés)	Conductividad térmica [ $\lambda$ ] [W/m.K] (10 <sup>-3</sup> ) =(x10 <sup>-3</sup> ) (Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ) Resistencia térmica [R] [m <sup>2</sup> K/W] (x10 <sup>-3</sup> ) =(x10 <sup>-3</sup> ) (m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup> ) Absortividad térmica (b) [Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> S <sup>1/2</sup> ] Flujo térmico máx. (q <sub>máx</sub> ) (x10 <sup>-3</sup> ) [Wm <sup>-2</sup> ]
Propiedades mecánicas	NP EN ISO 13934-2: 2016 Resistencia a la tracción y en extensión máxima- Método <i>Grab</i>	Dinamómetro Hounsfield 100 RS Distancia entre mordazas 75 mm Velocidad de ensayo 50 mm/min Pre-tensión 5 kN Dimensión de las probetas 7,5x150 mm Nº de probetas 4/muestra (2 para evaluar la resistencia a la tracción y extensión en la dirección de la máquina (MD) y 2 en el sentido transversal (CD))	Fuerza máxima de rotura (N) Extensión máx. (%)
	D6241-99 Método para el punzonado estático de Geotextiles	Dinamómetro Hounsfield 100 RS Pre-tensión 5 kN Distancia entre el punzonador y el 1º anillo de fijación 2 cm Punzonador: Diámetro 4,52 mm Altura 5,02 mm	Resistencia a la punción (N) Profundidad (mm) Parámetros definidos por la autora como relevantes para el estudio: Diámetro de la punción (mm) Altura de la punción fuera del plano del no tejido
Propiedades de dispersión, absorción y repelencia de agua	Capilaridad vertical AATCC TM 197-2018- método Byreck	Aparato de laboratorio Tiempo de ensayo 10 min (medición en intervalos de 1 min) Dimensión de las probetas 20 x 2,5 cm Nº de probetas = 2/muestra	Altura de mojado (mm)
	Capilaridad horizontal	Aparato de laboratorio Tiempo de ensayo 10 min (medición en intervalos de 1 min) Dimensión de las probetas 10 x 10 cm Nº de probetas = 2/muestra	Cantidad de agua absorbida/dispersada por el no tejido (ml o g) Calculada por la diferencia entre la cantidad de agua inicial en el depósito (75 ml o g) y el nivel de agua registrado en el depósito en los diferentes intervalos y en el final del ensayo.

(2) Test de ensayo, Normas, condiciones de ensayo y parámetros evaluados			
Propiedades/ Características	Norma/método de ensayo	Condiciones de ensayo	Parámetros evaluados
Propiedades de dispersión, absorción y repelencia de agua	Prueba de la gota	Tiempo máximo de ensayo 3 min Dimensión de las probetas-indistintamente N° de probetas = 2/muestra	Tiempo de absorción completa de la gota de agua (s)
	Método de la gota estática o sésil	Medición de ángulo de contacto óptico (OCA)-SCA 20 Cantidad de líquido de la jeringa 500 µL Tasa de dosificación 50 (µL/s)	Ángulo de contacto entre el líquido y el no tejido (°)
	AATCC 22- Determinación de la repelencia al agua mediante la prueba del spray	Prueba del spray cantidad de agua 250 ml Tiempo de ensayo 15-30 s (ducha continua) Dimensión de las probetas de 180x180 mm Dimensión del bastidor 150 cm diámetro N° de probetas = 2/muestra	Grado de mojabilidad Comparación visual con fotos - patrón clasificación de 1 a 5: 1. Humectación completa. 2. Humectación de más de la mitad de la superficie. 3. Humectación solamente en pequeñas áreas discretas. 4. Ninguna humectación, pero adhesión de pequeñas gotas en la superficie. 5. Ninguna humectación ni adherencia de pequeñas gotas en la superficie.
Envejecimiento acelerado	AATCC Método de ensayo 186-2000- Resistencia al clima: UV Exposición a la luz y a la humedad.	QUV Test de envejecimiento acelerado Fuente de radiación-lámpara UV-VB-A Temperatura a 50°C Condensación a 40°C Radiación a 76 W/m <sup>2</sup> Dimensión de las probetas 7 x 20,5 cm Duración de degradación 6 meses N° de probetas = 2/muestra	Tasa de reducción de: Resistencia a la tracción y Extensión máxima Método <i>Grab</i> (ensayos realizados en las mismas condiciones de los anteriores)
Espectroscopia Infrarroja de transformada de Fourier (FTIR)	Spectrophotometer/ HATR 10 Horizontal Attenuated total Reflectance Accessory	Rango (cm <sup>-1</sup> ) 700 nm a 4000 nm Resolución = 8 % transmitancia N° de probetas antes de la degradación = 2/muestras por mes N° de probetas después de la degradación = 8/muestras por mes	Variación del % de transmitancia
Colorimetría de Barrido Diferencial (DSC)		0 a 400 °C 10 ml/min N <sub>2</sub> N° de probetas antes de la degradación =1/muestra N° de probetas después de la degradación = 4/muestra	Variación de Entalpías

## **Capítulo 4. Análisis y discusión de las propiedades de los no tejidos desarrollados**

Las propiedades de las estructuras no tejidas de capoc-lino y 100 % capoc preparadas según los dos métodos descritos anteriormente fueron evaluadas y los resultados obtenidos presentados y discutidos en este capítulo. Para mejor sistematización el análisis será presentado de acuerdo con la composición del no tejido, concretamente, no tejidos producidos con mezclas de fibras de capoc-lino y no tejidos 100 % capoc. Para poder interpretar las representaciones gráficas se utilizaron diferentes graduaciones numéricas en los ejes de coordenadas, ya que en algunos casos existen gran variedad de resultados en las estructuras o no tejidos.

### **4.1. No tejidos de mezclas de fibras de capoc-lino**

Las estructuras de no tejidos de mezclas de capoc-lino se realizaron por dos métodos de producción: el método Automatex (convencional) y el nuevo método (pedido de patente nacional). A los no tejidos obtenidos por el método de la Línea Automatex se les realizó un estudio de las propiedades geométricas y estructurales, propiedades mecánicas de resistencia y alargamiento máximo a la rotura (Método *Grab*), resistencia a la punción (nuevo método), propiedades térmicas y de transferencia al aire y dispersión y mojado.

A los no tejidos obtenidos por el proceso de producción desarrollado por el nuevo método de producción se les realizó un estudio de las propiedades geométricas y estructurales, propiedades mecánicas de resistencia y alargamiento máximo a la rotura (Método *Grab*) y propiedades térmicas y de transferencia de aire.

#### **4.1.1. No tejidos obtenidos por el proceso de producción en la Línea Automatex**

Como se describió en el capítulo 3, se desarrollaron 13 estructuras de no tejidos punzonados con mezclas de CP-CL. Estas estructuras fueron producidas a partir de la superposición y consolidación por punzonado de una o más mantas preparadas según la disposición de fibras anteriormente descritas, dando origen a no tejidos (Figura 15, Tabla 4) designados simples “ms” (con sólo una capa), sándwich “mw” (varias capas de no tejidos simples) y compuestos “mc” (varias capas de no tejidos sándwich). En la Tabla 9 son presentadas las características geométricas y estructurales de los no tejidos desarrollados.

Tabla 9. Características geométricas y estructurales de los no tejidos de mezclas de CP-CL producidos en la Línea Automatex

Tipo de no tejido / N° capas (composición) <sup>5</sup>	Ref. NT (ms, mw, mc)	Espesor (mm)	Masa por unidad área (g/m <sup>2</sup> )	Densidad $\rho_{ap}$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Porosidad P <sub>NT</sub> (%)
Simples/1 (CP-CL)	ms0-M	6,41	1102,20	171,95	86,07
	ms7-M	4,57	710,20	155,40	87,42
	ms8-M	7,23	1690,80	233,86	81,06
	ms10-M	4,86	886,20	182,35	85,23
Sándwich/3 (CP-CL)	mw9-M	7,72	1454,80	188,45	84,74
Simples/1 (CP+CL)	ms12-M	7,79	3102,70	398,29	67,77
Sándwich/2 (CP+CL)	mw15-M	8,21	1490,70	181,57	85,30
Sándwich/5 (CP-CL+CL)	mw21-M	19,22	1247,00	64,88	94,75
	mw22-M	8,56	1838,40	214,77	82,61
Sándwich/3 (CP-CL+CP+CL)	mw1-M	6,06	611,30	100,87	91,83
Sándwich/9 (CP-CL+CP+CL)	mw31-M	7,33	1455,30	198,54	83,92
Compuesto/18 (CP-CL+CP+CL)	mc32-M	12,96	3375,00	260,42	78,91
Sándwich/6 (CP-CL+CP fibra abierta + CL)	mw11-M	15,66	4517,90	288,50	76,64

#### 4.1.1.1. Propiedades Mecánicas - Resistencia y Alargamiento máximo a la Rotura (Método *Grab*)

Los valores medios de la resistencia y extensión máxima a la rotura de los no tejidos simples, sándwich y compuestos de mezclas de capoc-lino se muestran en la Tabla 10 [99].

Tabla 10. Resistencia y extensión máxima a la rotura en la dirección de la máquina (MD) y transversal (CD) de los no tejidos de capoc-lino (CP-CL) desarrollados

Tipo de no tejido / N° capas (composición)	Ref. NT (ms, mw, mc)	Resistencia a la rotura (N)		Extensión a la rotura (%)	
		MD	CD	MD	CD
Simples/1 (CP-CL)	ms0-M	96,54	131,25	9,40	45,41
	ms7-M	53,47	55,25	49,87	49,55
	ms8-M	230,70	208,90	33,10	46,26
	ms10-M	73,55	98,40	39,25	49,90
Sándwich/3 (CP-CL)	mw9-M	203,99	133,90	45,27	35,12
Simples/1 (CP+CL)	ms12-M	149,60	164,05	26,99	25,39
Sándwich/2 (CP+CL)	mw15-M	121,60	120,20	28,43	34,03
Sándwich/5 (CP-CL+CL)	mw21-M	100,30	131,80	32,65	35,00
	mw22-M	226,10	351,60	32,53	34,02
Sándwich/3 (CP-CL+CP+CL)	mw1-M	26,70	18,93	25,13	45,92
Sándwich/9 (CP-CL+CP+CL)	mw31-M	213,44	174,40	14,65	48,53
Compuesto/18 (CP-CL+CP+CL)	mc32-M	616,00	305,20	23,57	40,96
Sándwich/6 (CP-CL+CP fibra abierta + CL)	mw11-M	409,90	667,50	23,84	32,69

<sup>5</sup> Codificación de las muestras: msi-M – no tejidos simples de mezclas de capoc-lino; mwi-M - no tejidos sándwich de mezclas de capoc-lino; mci-M - no tejidos compuestos de mezclas de capoc-lino

En el Anexo A (Tablas A1 y A2) se presentan las restantes medidas de dispersión.

Comparando los resultados obtenidos con las características geométricas y estructurales de los no tejidos desarrollados, en particular la masa por unidad área (Figura 31), es posible constatar que la resistencia a la rotura de las estructuras es más elevada cuando su masa por unidad de área es mayor.

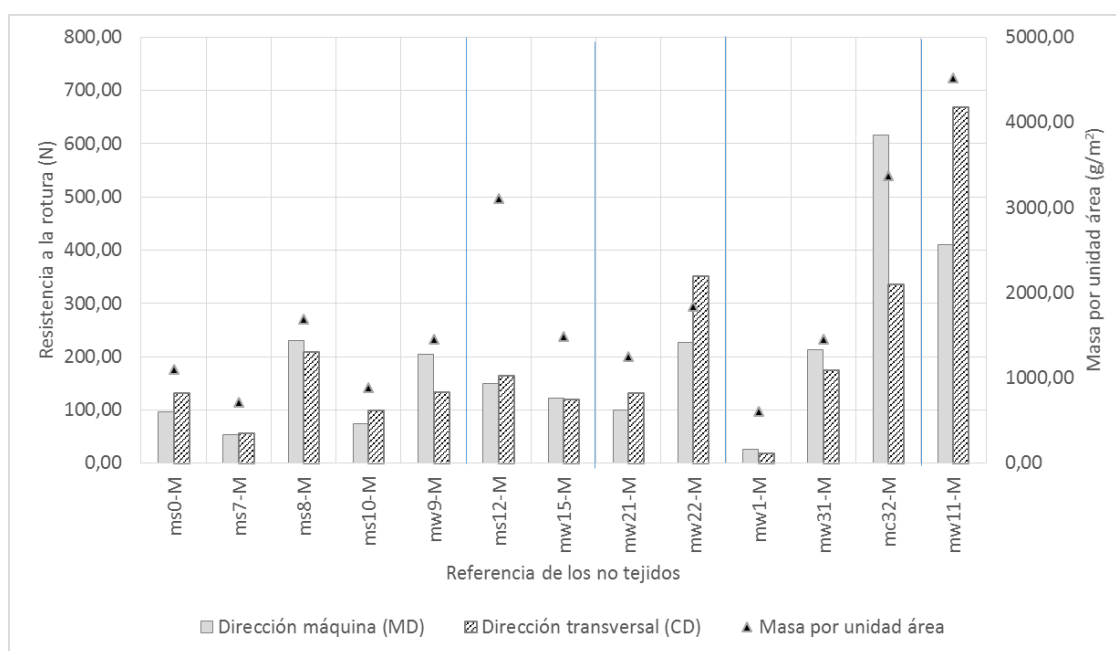


Figura 31. Resistencia de la rotura (N) en relación con la masa por unidad de área (g/m<sup>2</sup>) de los no tejidos de fibras de capoc-lino desarrollados

En los no tejidos simples formados por velos de mezclas de fibras CP-CL (ms0-M, ms7-M, ms8-M y ms10-M) producidos con una variación máxima en la masa por unidad área de aproximadamente un 140 % (710,20-1690,80 g/m<sup>2</sup>), se verifica que la resistencia a la rotura prácticamente se triplica (MD- 53,67-230,70 N; CD- 55,25-208,90 N). Los no tejidos ms0-M y ms8-M (con una masa por unidad de área superior a 1000 g/m<sup>2</sup>) son los que presentan la mejor relación de la resistencia a la rotura con la masa por unidad de área. Un incremento de la masa por unidad de área de cerca de 50 % condujo a un aumento de la resistencia a la rotura de cerca de 140 %.

El efecto del número de capas se evaluó comparando el no tejido simple ms8-M con el no tejido sándwich mw9-M, formado por 3 capas de velos de mezclas de CP-CL. En la masa por unidad de área (1690,80-1454,80 g/m<sup>2</sup>) y en la resistencia a la rotura MD (230,70-203,99 N) se verifica que no existían diferencias significativas, pero en la dirección CD la diferencia es de un 58 % (208,90-133,90 N).

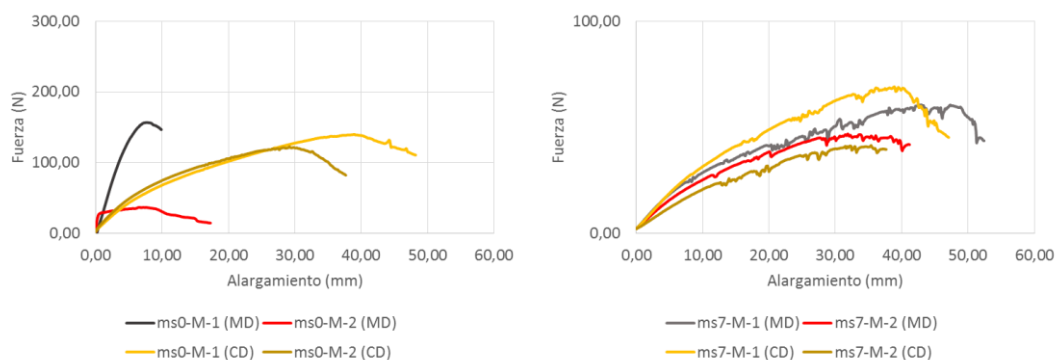
Los no tejidos producidos con velos de capoc y lino (CP+CL) ms12-M y mw15-M fueron comparados, se verifica que la estructura sándwich de dos capas (mw15-M) presentó una reducción de la masa por unidad de área cercana al 108 % (3102,70-1490,70 g/m<sup>2</sup>). Esta reducción fue acompañada por una disminución de la resistencia a la rotura de aproximadamente un 30 % en ambas direcciones (MD-149,60-121,60 N; CD-164,05-120,20 N).

El efecto del número de pasadas en la punzonadora puede ser observado comparando los no tejidos sándwich (mw21-M y mw22-M) formados por cinco capas de velos de mezcla de capoc-lino y lino (CP-CL + CL). La estructura obtenida por un doble punzonado (mw22-M), presentó un aumento de masa por unidad de área de aproximadamente un 45 % y la resistencia a la rotura se duplicó en ambas direcciones (MD-100,30-226,10 N; CD-131,80-351,60 N).

Los no tejidos sándwich formados por 3 capas (mw1-M) y 9 capas (mw31) de velos de mezclas de capoc-lino y capoc y lino (CP-CL+ CP +CL) fueron comparados. Se verificó un aumento de la masa por unidad de área en más del doble, produciendo esto un gran aumento en la resistencia a la rotura (media de 700 %). En el no tejido compuesto de 18 capas (mc32-M) producido por superposición y punzonado de dos no tejidos sándwich mw31-M se verificó un aumento en la masa por unidad de área en más del doble y un aumento medio de la resistencia a la rotura similar en ambas direcciones (MD-213,44-616,00 N; CD-174,40-305,20 N).

La estructura sándwich no tejida de 6 capas (mw11-M) tiene una composición semejante a las estructuras mw1-M, mw31-M y mc32-M, pero la disposición incluye capas de fibras abiertas de capoc en lugar de velos. Es la más pesada de todas las estructuras desarrolladas (4157,90 g/m<sup>2</sup>) y la que ha obtenido resistencias a la rotura elevadas tanto en MD como en CD (409,9 N y 668,0 N, respectivamente).

Las curvas de fuerza-alargamiento de los no tejidos de mezcla de capoc-lino desarrollados están ilustradas desde la Figura 32 hasta la Figura 36.





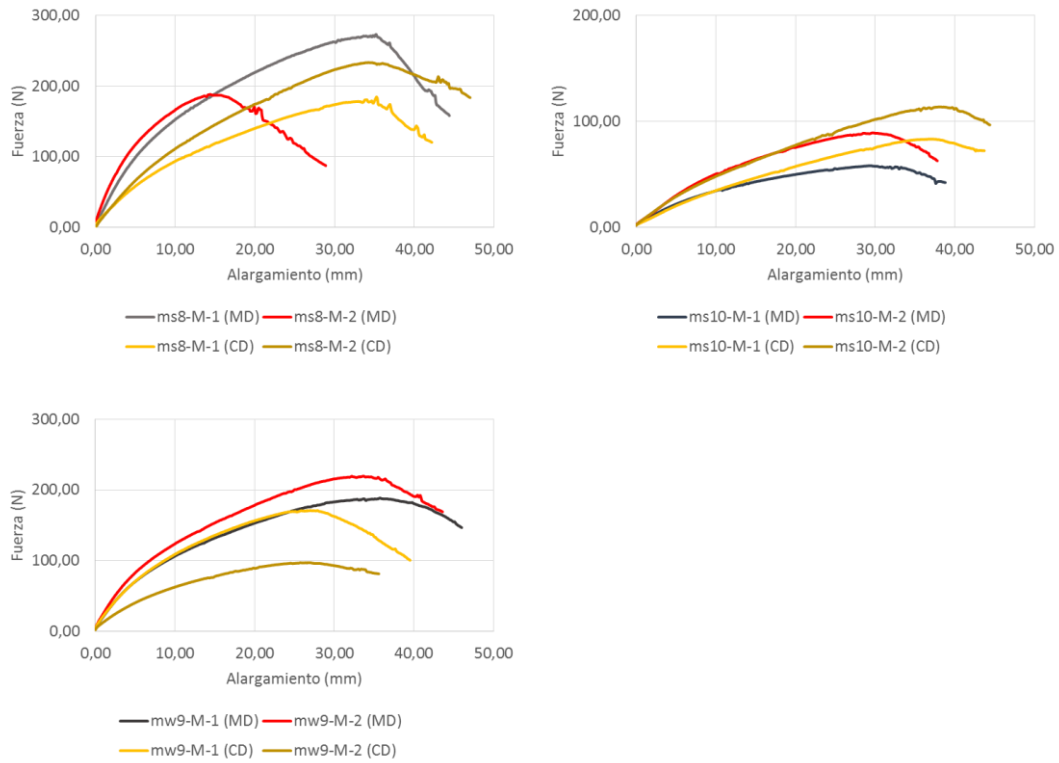


Figura 32. Curvas de fuerza-alargamiento en dirección a la máquina (MD) y dirección transversal a la máquina (CD) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino (CP-CL)

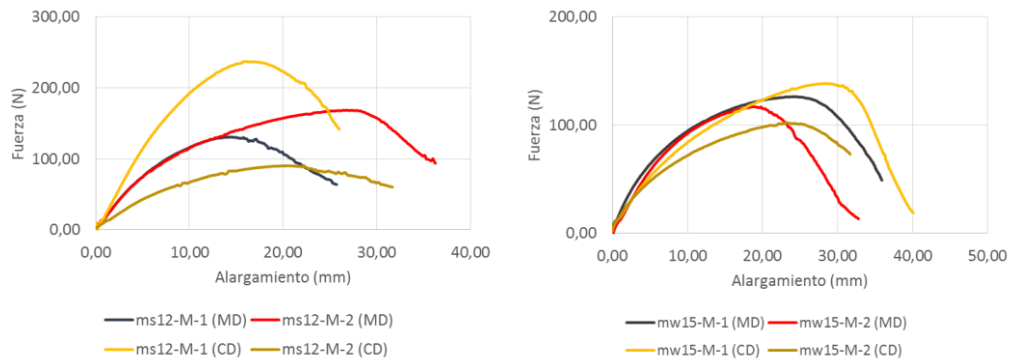


Figura 33. Curvas de fuerza-alargamiento en dirección a la máquina (MD) y dirección transversal a la máquina (CD) de los no tejidos de mezclas de capoc y lino (CP+CL)

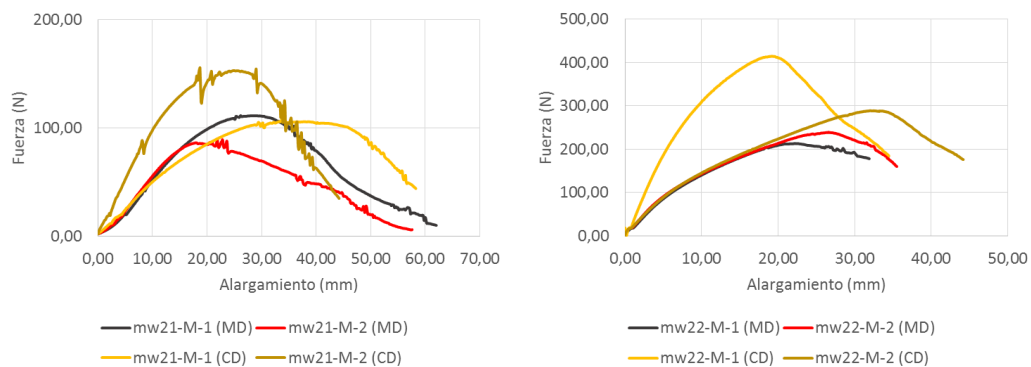


Figura 34. Curvas de fuerza-alargamiento en dirección a la máquina (MD) y dirección transversal a la máquina (CD) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino y lino (CP-CL+CL)

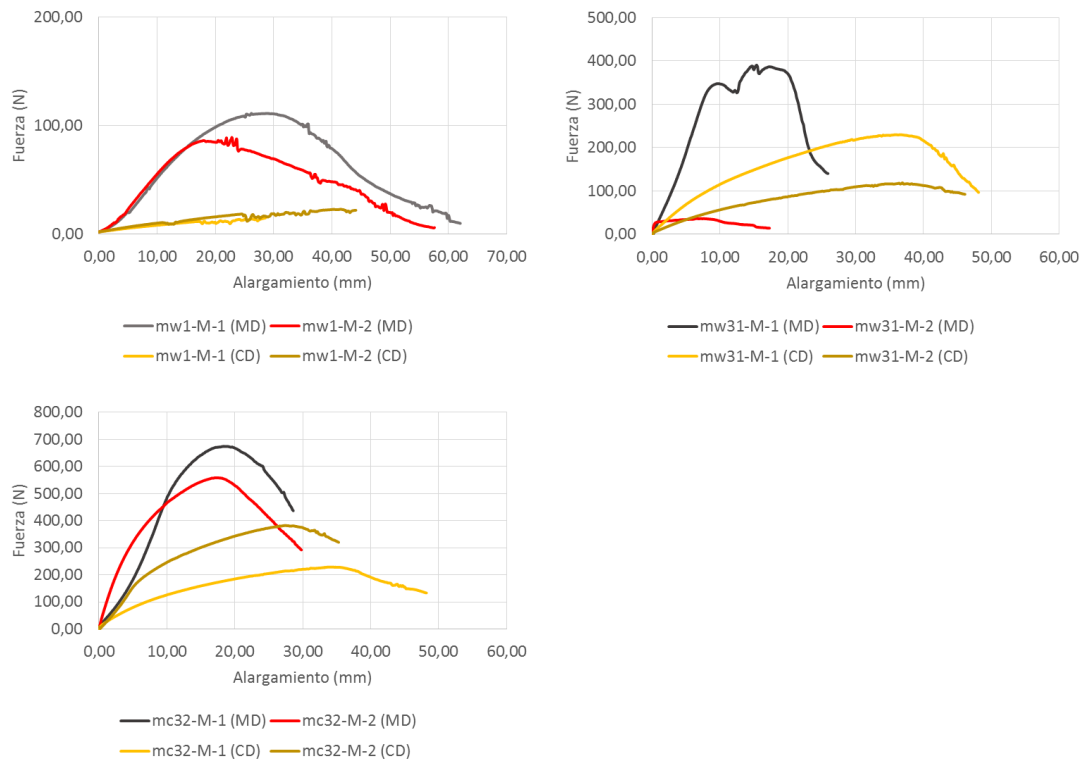


Figura 35. Curvas de fuerza-alargamiento en dirección a la máquina (MD) y dirección transversal a la máquina (CD) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino y capoc y lino (CP-CL+CP+CL)

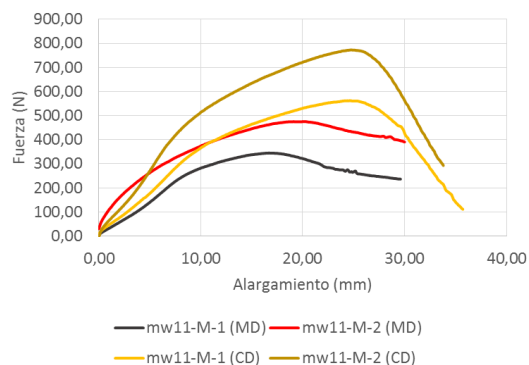



Figura 36. Curvas de fuerza-alargamiento en dirección a la máquina (MD) y dirección transversal a la máquina (CD) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino y fibras abiertas de capoc y velos de lino (CP-CL+CP fibra abierta + CL)

#### 4.1.1.2. Resistencia a la punción

Los ensayos de resistencia a la perforación estática y extensión fueron realizados sobre los no tejidos sándwich mw1-M, mw21-M, mw22-M, mw31-M, mw11-M y el no tejido compuesto mc32-M. Se utilizó el método indicado en la Tabla 8 del capítulo 3. No obstante, se consideró que, para evaluar y comprender mejor el daño causado a las estructuras de los no tejidos, sería necesario determinar la extensión del daño, razón por la cual se definió un procedimiento.

Se consideraron dos parámetros representativos, la relación entre la altura del pico de perforación ( $h_{op}$ ) y el espesor real de las muestras bajo prueba ( $T_{@t}$ ), denominado *through-thickness damage*, y la relación entre el diámetro de la perforación ( $d$ ) y el diámetro del émbolo, denominado *lateral damage* [99]. En la Tabla 11 se presentan los resultados obtenidos.



$T_{@t}$ Espesores de las muestras (mm)	mw1-M	mw21-M	mw22-M	mw31-M	mc32-M	mw11-M
$d$ Diámetro de perforación (mm)	mw1-M	mw21-M	mw22-M	mw31-M	mc32-M	mw11-M

Figura 37. Espesor medio de los materiales no tejidos sándwich CP-CL desarrollados (en condiciones de prueba) y diámetro medio de las perforaciones resultantes

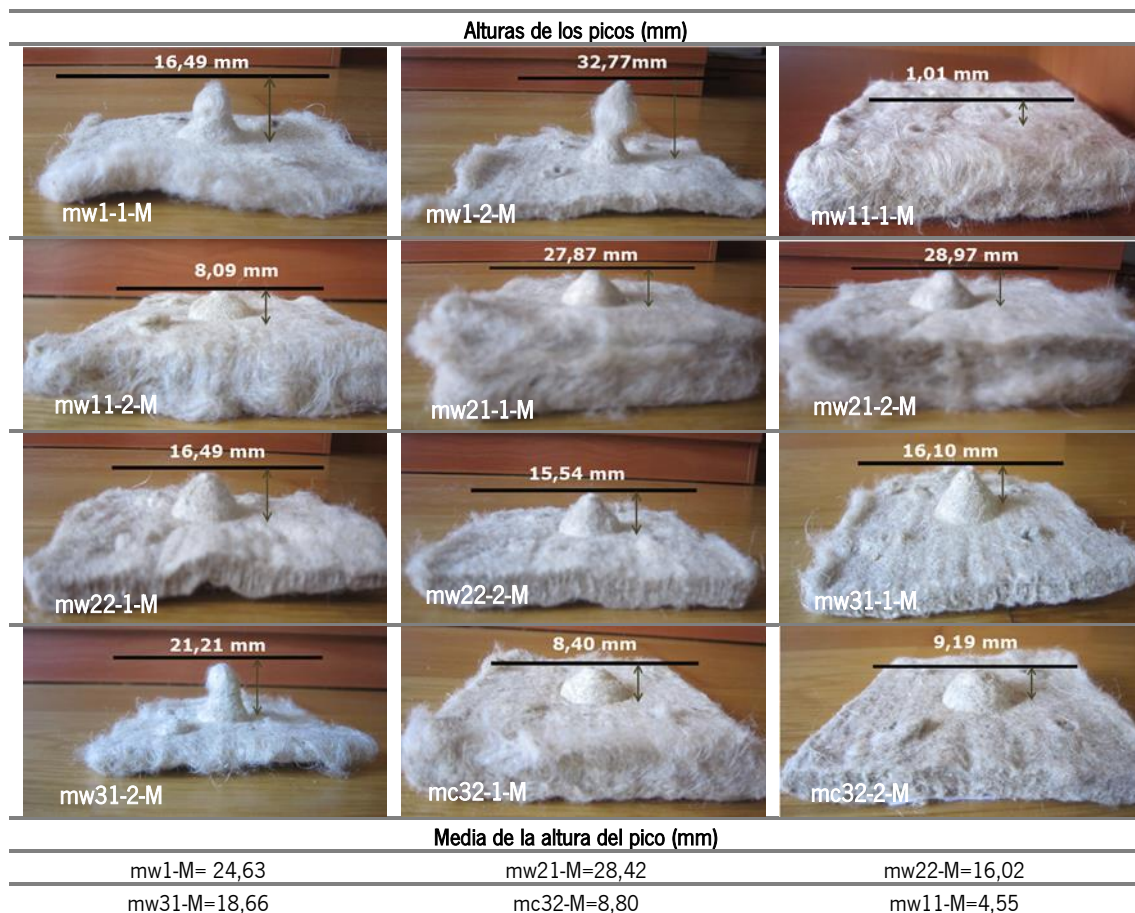


Figura 38. Método usado para medir la altura del pico de perforación ( $h_{op}$ ) y los valores medios para los seis no tejidos sándwich CP-CL

El espesor real medio de cada muestra en condiciones de la prueba ( $T_{@t}$ ) y el diámetro medio de las perforaciones resultantes ( $d$ ) se presentan en la Figura 37. La distancia entre las caras externas

de los dos anillos de sujeción después del posicionamiento de la muestra y el grosor de la base de las abrazaderas se usó para calcular el espesor real de las muestras no tejidas. En la figura 38 se indica el método utilizado para medir la altura del pico de perforación ( $h_{op}$ ) y se presentan los valores medios obtenidos para cada muestra (2 probetas/muestra). Todas las mediciones se realizaron con un Paquímetro digital.

Tabla 11. Extensión del daño de perforación de los no tejidos sándwich capoc-lino, calculada de acuerdo con el método ideado

Tipo de no tejido /N° capas (composición)	Ref. NT (ms, mw, mc)	Resistencia a la perforación (N)	Alargamiento (mm)	Through thickness damage (%)	Lateral damage (%)
Sándwich/5 (CP-CL+CL)	mw21-M	1368,50	55,01	252,90	148,45
	mw22-M	886,00	46,11	251,62	171,13
Sándwich/3 (CP-CL+CP+CL)	mw1-M	108,90	48,45	460,38	216,26
Sándwich/9 (CP-CL+CP+CL)	mw31-M	340,70	60,60	260,57	157,41
Compuesto/18 (CP-CL+CP+CL)	mc32-M	790,50	60,70	69,42	145,13
Sándwich/6 (CP-CL+CP fibra abierta + CL)	mw11-M	1150,50	58,15	33,00	184,46

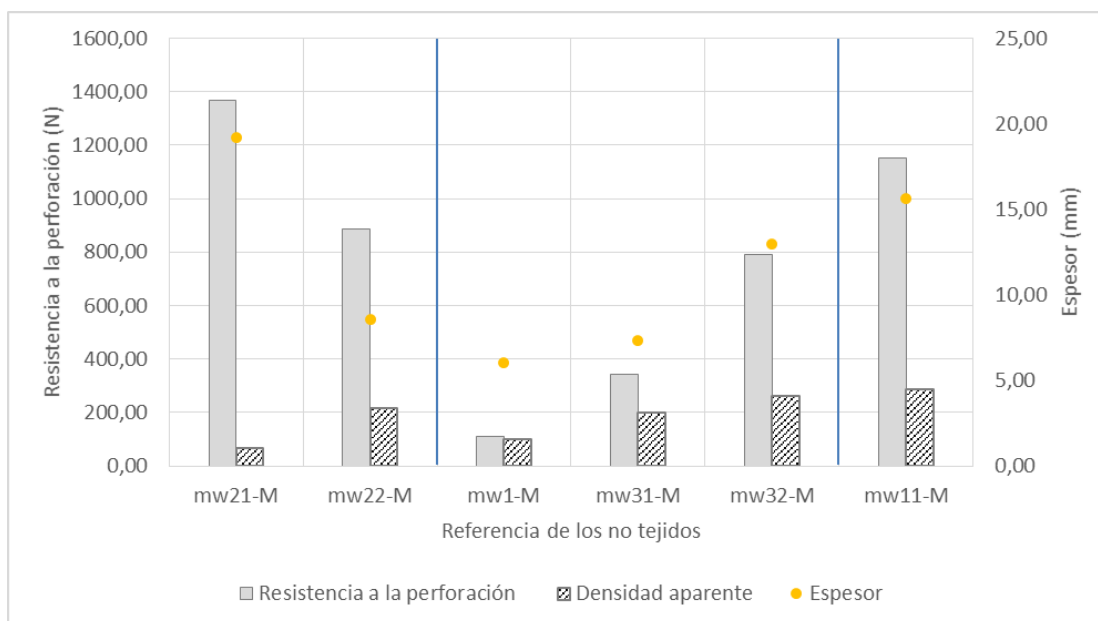


Figura 39. Resistencia a la perforación (N) en relación con la densidad aparente ( $\text{Kg/m}^3$ ) y espesor (mm) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados

Como se puede observar en la Figura 39, los no tejidos sándwich con mayor espesor (mw21-M y mw11-M) mostraron las mayores medias a la resistencia a la perforación, siendo esta propiedad el principal factor de los resultados obtenidos. Sin embargo, las diferencias estructurales de estos no tejidos son perceptibles en el daño impartido por la perforación. Como se puede ver en la Figura

38, la media de perforación de mayor pico ( $h_{op}$ ) es el de la muestra mw21-M que es significativamente mayor que la mw11-M. Esto se explica principalmente por su baja densidad aparente. Por tanto, el daño a través del espesor (*through-thickness damage*) de la estructura mw11-M es mucho más bajo que el de la mw21-M (Tabla 11), lo que probablemente se deba a la diferente disposición y composición de la muestra mw11-M.

Cuando comparamos el comportamiento de perforación (Figura 39) en los no tejidos sándwich mw21-M y mw22-M con la misma disposición de fibras en la manta y diferentes densidades de punzonado, es evidente que la resistencia a la punción o perforación es mayor en la estructura mw21-M. La mayor disminución en espesores ocurrió en la mw22-M debido al punzonado, redujo la resistencia a la perforación de la estructura no tejida. El daño impartido a ambas estructuras por la perforación no es considerada significativamente diferente en lo que concierne a los parámetros de perforación considerados el daño a través del espesor (*Through-thickness damage*) y diámetro del émbolo (*lateral damage*), pero la media de la altura del pico de perforación ( $h_{op}$ ) es significativamente menor, demostrando claramente la mayor densidad aparente de la estructura mw22-M.

El efecto del número de capas en la resistencia a la perforación es demostrado a través del no tejidos sándwich mw31-M y el no tejido compuesto mc32-M. El aumento en el espesor promovido por el número de capas de la estructura mc32-M parece ser el factor principal para la mayor resistencia a la perforación. La extensión del daño de la perforación en el no tejido compuesto mc32-M es menor en lo que concierne a la altura media del pico de perforación ( $h_{op}$ ) y el daño a través del espesor (*Through-thickness damage*). Esto puede ser debido por la mayor densidad aparente y las diferentes disposiciones de la manta de la estructura mc32-M, respectivamente.

A partir de los resultados obtenidos, es evidente que el espesor del no tejido juega un papel clave en la determinación de la resistencia de la estructura. Pero, también está claro que la extensión de los daños de la perforación es afectada por la densidad aparente y el manejo de los no tejidos. Por lo tanto, la evaluación de la idoneidad del material no tejido para la aplicación debe considerar no sólo la resistencia a la perforación, sino también la extensión del daño impartido por la perforación.

Las curvas de perforación-alargamiento de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados se ilustran desde la Figura 40 hasta la 42.

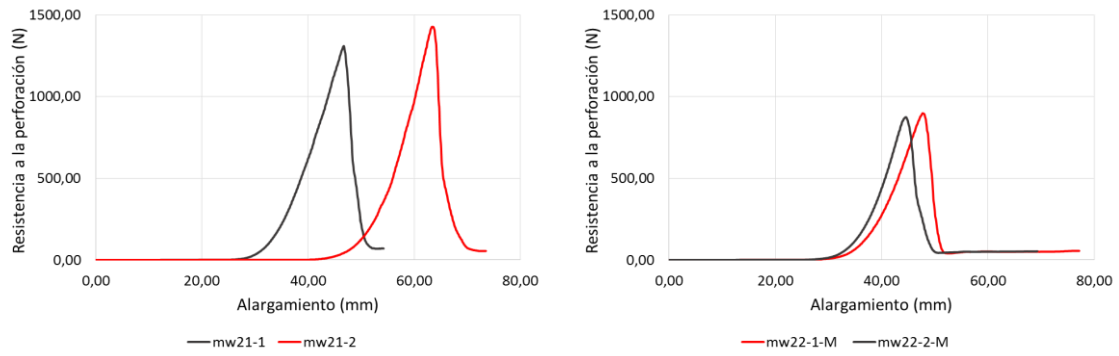


Figura 40. Curvas de perforación-alargamiento de los no tejidos de mezclas de capoc-lino y lino (CP-CL+CL)

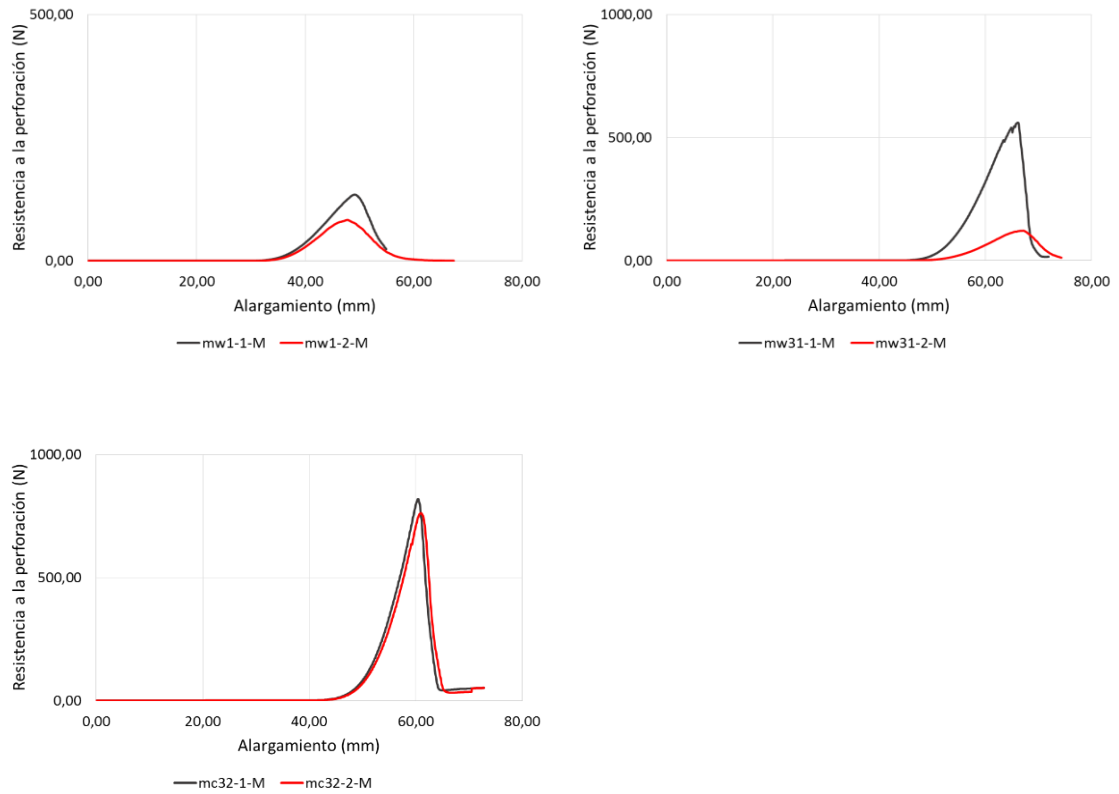


Figura 41. Curvas de perforación-alargamiento de los no tejidos de mezclas de capoc-lino y capoc y lino (CP-CL+CP+CL)

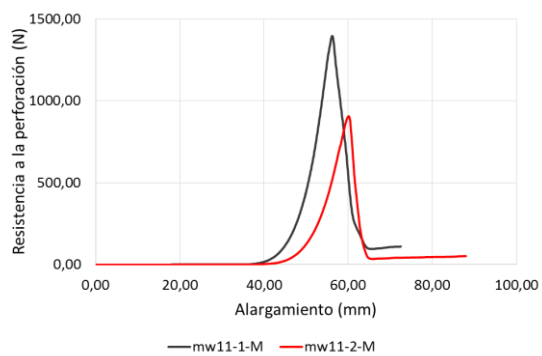


Figura 42. Curvas de perforación-alargamiento de los no tejidos de mezclas de capoc-lino y fibras abiertas de capoc y velos de lino (CP-CL+CP fibras abiertas + CL)

Como se puede observar, el comportamiento de las probetas es diferente dado que las estructuras no tejidas son muy heterogéneas.

#### 4.1.1.3. Propiedades térmicas y de transferencia al aire

En la tabla 12 se presentan las propiedades térmicas y de transferencia al aire de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados.

Tabla 12. Propiedades térmicas y de transferencia al aire de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados

Tipo de no tejido /N° capas (composición)	Ref. NT (ms, mw, mc)	Conductividad térmica ( $\lambda$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )	Resistencia térmica [R] ( $\times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ )	Absortividad térmica (b) [ $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ ]	Flujo térmico ( $q_{m\acute{a}x}$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ]	Permeabilidad al aire ( $l/m^2/s$ )
Simples/1 (CP-CL)	ms0-M	61,98	103,80	92,50	345	22,53
	ms7-M	58,44	78,40	96,96	393	51,33
	ms8-M	66,22	109,40	93,20	290	46,07
	ms10-M	59,42	82,12	96,06	345	51,27
Sándwich/3 (CP-CL)	mw9-M	67,06	115,00	98,02	291	31,00
Sándwich/1 (CP+CL)	ms12-M	72,78	110,08	94,88	360	13,98
Sándwich/2 (CP+CL)	mw15-M	80,02	101,80	111,46	381	26,43
Sándwich/5 (CP-CL+CL)	mw21-M	144,00	154,20	94,84	408	18,90
	mw22-M	89,38	96,24	144,00	421	14,20
Sándwich/3 (CP-CL+CP+CL)	mw1-M	67,40	90,14	98,76	359	34,20
Sándwich/9 (CP-CL+CP+CL)	mw31-M	68,52	107,14	98,32	232	28,53
Compuesto/18 (CP-CL+CP+CL)	mc32-M	106,08	141,60	78,86	235	9,78
Sándwich/6 (CP-CL+CP fibra abierta + CL)	mw11-M	132,56	118,40	79,13	275	-

##### 4.1.1.3.1. Propiedades térmicas

Los gráficos de las Figuras 43 y 44 representan, respectivamente, la conductividad, la resistencia térmica, la absortividad térmica y el flujo térmico de los no tejidos de mezclas de capoc-lino en función de la masa por unidad de área y espesor.

Entre los no tejidos simples de CP-CL (ms0-M, ms7-M, ms8-M y ms10-M), los que más destaca por su mayor resistencia térmica son ms0-M y ms8-M, con mayor masa por unidad de área y espesor. La diferencia máxima en la resistencia térmica es de aproximadamente un 40 % (78,40-109,40 ( $\times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ )). Cuando se compara la resistencia térmica de estos no tejidos simples con el no tejido sándwich CP-CL formado por 3 capas (mw9-M) se verifica sólo un ligero aumento, debido a la semejanza de la masa por unidad de área y espesor de estos no tejidos.

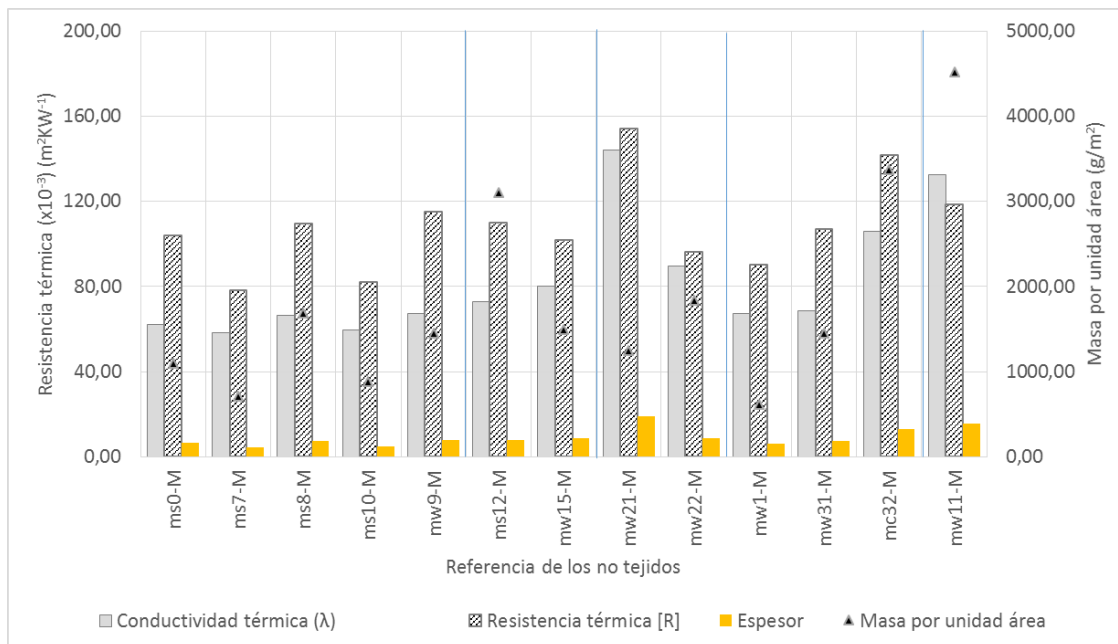


Figura 43. Conductividad térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ ) y resistencia térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ ) en relación con la masa por unidad de área ( $g/m^2$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos de capoc-lino desarrollados

El no tejido sándwich de CP+CL formado por dos capas (mw15-M) resultó tener una mayor resistencia térmica (cerca de 7,68 %) que el no tejido simple con la misma composición (ms12-M), siendo la mayor masa por unidad de área de este no tejido la principal causa para esta variación.

Los no tejidos sándwich de CP-CL+CL formados por cinco capas (mw21-M y mw22-M) fueron comparados para evaluar el efecto del número de pasadas de punzonado. La mayor resistencia se obtuvo en el no tejido mw21-M, que, a pesar de tener una menor masa por unidad de área, presenta casi el doble en espesor. Entre estos no tejidos existió una diferencia en la resistencia térmica de un 61,11 % ( $96,24-154,20 \times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ ).

Los no tejidos sándwich CP-CL+CP+CL formados por 3 capas (mw1-M), 9 capas (mw31-M) y el no tejido compuesto de 18 capas (mc32-M), fueron comparados. Como se esperaba, el no tejido compuesto ha obtenido mayor resistencia térmica que los no tejidos sándwich dado que este tiene mayor masa por unidad de área y espesor.

Comparando el tejido sándwich mw31-M con el no tejido compuesto mc32-M, la resistencia térmica aumentó en un 32,20 % ( $107,14-141,60 \times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ ). Relativamente a los no tejidos sándwich (mw1-M y mw31-M), el aumento del número de 3 a 9 capas condujo al aumento de la resistencia térmica en un 18,9 % ( $90,14-107,14 \times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ ) y la conductividad térmica aumentó un 55 % ( $67,40-106,08 \times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ ).



El no tejido sándwich de mezcla CP-CL+CP fibra abierta + CL (mw11-M) con la mayor masa por unidad de área (4517,90 g/m<sup>2</sup>) y un espesor de 15,66 mm, presenta una resistencia térmica (118,40 (x10<sup>-3</sup>) (m<sup>2</sup>KW<sup>-1</sup>)) igual que los no tejidos sándwich (mw9-M) de 3 capas con una masa por unidad de área (1454,80 g/m<sup>2</sup>) y espesor (7,72 mm) significativamente más bajos.

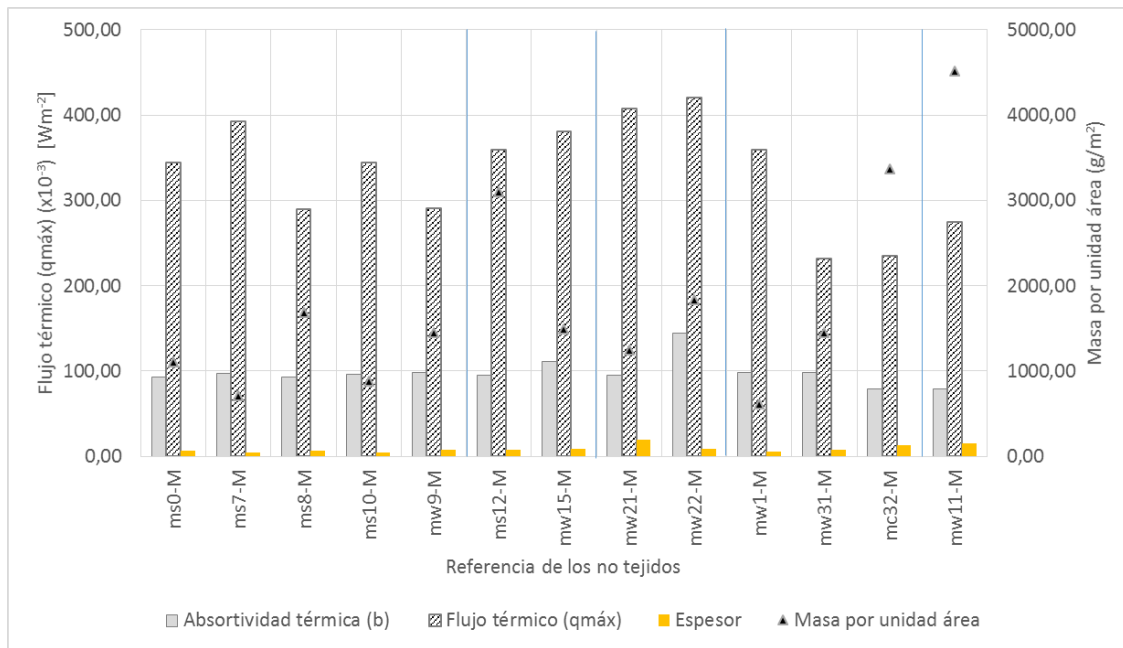


Figura 44. Absortividad térmica (Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>S<sup>1/2</sup>) y flujo térmico (qmáx) (x10<sup>-3</sup>) [Wm<sup>-2</sup>] en relación con la masa por unidad de área (g/m<sup>2</sup>) y el espesor (mm) de los no tejidos de capoc-lino desarrollados

La absortividad térmica de los no tejidos simples CP-CL y CP+CL (ms0-M, ms7-M, ms8-M y ms10-M y ms12-M) no es significativamente diferente. Además, la absortividad térmica y el flujo térmico de los no tejidos simples CP-CL son prácticamente igual a la del no tejido sándwich de 3 capas, con la misma disposición (mw9-M). En las estructuras de mezclas CP+CL, la absortividad térmica de los no tejidos sándwich (mw15-M) es superior a la de los no tejidos simples (ms12-M), con un 17,5 % (94,88-111,46 (Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>S<sup>1/2</sup>)), pero el flujo térmico es muy similar.

Relativamente a las estructuras sándwich en CP-CL+CL, la absortividad térmica de los no tejidos con mayor número de pasadas en la punzonadora (mw22-M) es superior en un 51,83 % (94,84-144,00 (Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>S<sup>1/2</sup>)), sin embargo, el flujo térmico es muy similar.

Comparando los no tejidos de CP-CL+CP+CL, se constata una disminución de aproximadamente un 22 % (98,32-78,86 (Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>S<sup>1/2</sup>)) en la absortividad térmica de los no tejidos compuestos (mc32-M) en relación a los no tejidos sándwich (mw31-M y mw1-M). Relativamente al flujo térmico,

los no tejidos sándwich de 3 capas (mw1-M) fueron los que presentaron mayores valores de flujo térmico, con una variación máxima del 54,7 %.

Los no tejidos integrando fibra abierta (mw11-M) presentaron valores bajos de absorptividad térmica y flujo térmico (respectivamente, 79,13 % ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ ) y  $275 (x10^{-3}) [Wm^2]$ ).

#### 4.1.1.3.2. Permeabilidad al aire

La Figura 45 presenta los resultados de la permeabilidad al aire de los no tejidos de capoc-lino en función del espesor y la porosidad.

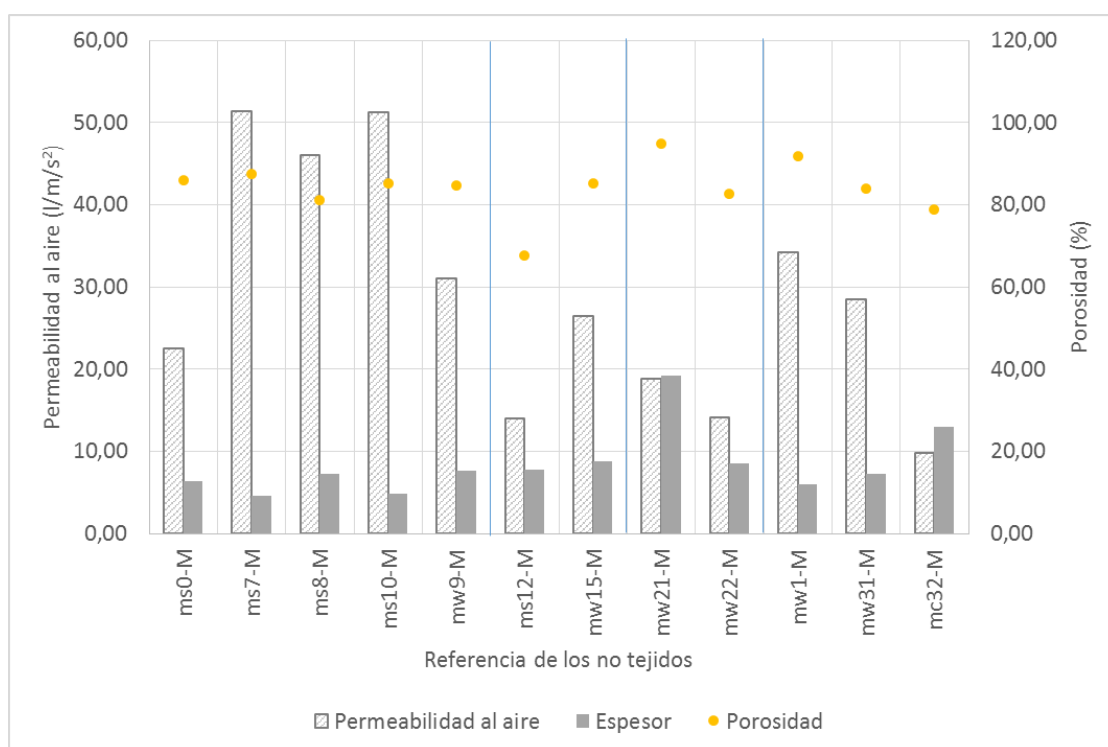


Figura 45. Permeabilidad al aire ( $l/m^2/s$ ) en relación con el espesor (mm) y porosidad (%) de los no tejidos de mezclas de CP-CL

Los mayores valores en permeabilidad al aire han sido obtenidos en los no tejidos simples de CP-CL (ms0-M, ms7-M, ms8-M y ms10-M). Sin embargo, hay una gran variación, cerca del 127,82 %, entre la permeabilidad al aire del no tejido ms0-M y los restantes no tejidos.

El no tejido sándwich mw9-M (3 capas) al ser comparado con los no tejidos ms0-M, ms7-M, ms8-M y ms10-M (1 capa), obtuvo un aumento de permeabilidad al aire de un 37,60 % ( $22,53-31,00 (l/m^2/s)$ ), porosidad similar (86,07-85,23 %) y un aumento mínimo en espesor (6,41-7,72 (mm)) con respecto a ms0-M. Este no tejido obtuvo una permeabilidad al aire más pequeña (31,00

$l/m^2/s$ ) que ms7-M y ms10-M y teniendo menor permeabilidad al aire (32,72 %) que el no tejido ms8-M a pesar de tener una cantidad de fibra aproximada y espesores similares.

El no tejido sándwich CP+CL formado por dos capas (mw15-M) resultó tener una mayor permeabilidad al aire de un 89,10 % (13,98-26,43  $l/m^2/s$ ) que el no tejido simple (ms12-M), con la misma composición, pudiendo ser debido a que tiene menor masa por unidad de área (51,95 %), mayor porosidad con un 17,53 % (67,77-85,30 %), ganado en espesor con un 5 % (7,79-8,21 mm).

El no tejido sándwich CP-CL+CL formado por 5 capas (mw22-M) obtuvo una menor permeabilidad al aire con un 33,1 % (18,90-14,20  $l/m^2/s$ ), menor porosidad con un 12,14 % (94,75-82,61 %) y una gran disminución en espesor con un 124 % (19,22-8,56 mm) que el no tejido mw21-M, esto puede ser debido al mayor número de pasadas por la punzonadora y una mayor masa por unidad de área con un 32,18 %, mayor compactación y una mayor tortuosidad al paso del aire.

Los no tejidos sándwich CP-CL+CP+CL formados por 3 capas (mw1-M), 9 capas (mw31-M) y el no tejido compuesto de 18 capas (mc32-M), fueron comparados. Como se esperaba, el no tejido compuesto obtuvo un valor mínimo en permeabilidad al aire, menor porosidad y mayor masa por unidad de área, por tanto, este no tejido tendrá mayor compactación y una mayor tortuosidad en el paso del aire. Los no tejidos mw1-M y mw31-M aumentaron en permeabilidad al aire aproximadamente en un 20 % (34,20-28,53  $l/m^2/s$ ) con un aumento de porosidad 10,91 % (94,83-83,92 %) y sus espesores resultaron ser muy aproximados (6,06-7,33 mm). En los no tejidos mw31-M y mc32-M hay un gran aumento de permeabilidad al aire 191,72 % (28,53-9,78  $l/m^2/s$ ), porosidad 5 % (83,92-78,91 %) y espesor con un 76,8 % (7,33-12,96 mm).

Al no tejido sándwich mw11-M no se le realizó el ensayo de la permeabilidad al aire.

#### **4.1.1.4. Dispersión y mojado**

Los no tejidos simples, sándwich y compuestos de mezclas de capoc-lino, no obtuvieron capilaridad vertical en las estructuras, llegando a flotar en el agua (Figura 25) y como se puede observar en la Tabla 13 no existió capilaridad horizontal en ninguna de las estructuras (Figura 26).

A los no tejidos se les realizó la prueba de la gota (Figura 27), este análisis tuvo un tiempo máximo de tres minutos, pudiéndose comprobar que las gotas rodaban sobre el no tejido sin perder su forma esférica característica, no dejando rastro de agua al rodar por la superficie del no tejido. En la prueba de la lluvia (Figura 28), el agua se desliza por encima de la superficie del no tejido,

quedando sobre este un resto de agua en forma de gotitas, siendo estas las causantes del aumento de la masa del no tejido sándwich de fibras de capoc-lino.

Tabla 13. Capilaridad horizontal de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados

Capilaridad Horizontal				
Tipo de no tejido /N° capas (composición)	Ref. NT (ms, mw, mc)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Diferencia de la masa (g)
Simples/1 (CP-CL)	ms0-M	75,025	75,028	0,004
	ms7-M	74,998	75,008	0,013
	ms8-M	74,979	74,990	0,015
	ms10-M	74,936	74,949	0,017
Sándwich/3 (CP-CL)	mw9-M	74,958	74,971	0,017
Sándwich/1 (CP+CL)	ms12-M	75,563	75,587	0,032
Sándwich/2 (CP+CL)	mw15-M	75,488	75,508	0,026
Sándwich/5 (CP-CL+CL)	mw21-M	75,189	75,199	0,013
	mw22-M	75,201	75,219	0,024
Sándwich/3(CP-CL+CP+CL)	mw1-M	75,368	75,387	0,025
Sándwich/9 (CP-CL+CP+CL)	mw31-M	75,024	75,027	0,004
Compuesto/18( CP-CL+CP+CL)	mc32-M	75,011	75,018	0,009
Sándwich/6 (CP-CL+CP fibra abierta + CL)	mw11-M	75,029	75,043	0,019

En estos no tejidos se puede demostrar a través de las pruebas, que no hubo absorción de agua en las estructuras.

#### 4.1.2. No tejidos obtenidos por el proceso de producción desarrollado por el nuevo método de producción

Como se indicó anteriormente, el nuevo método de producción de los no tejidos fue desarrollado para superar la dificultad en la formación de las estructuras 100 % capoc con una resistencia mecánica adecuada para las aplicaciones técnicas. De esta manera, se decidió probar este método en la producción de los no tejidos en mezclas de capoc-lino para evaluar el efecto del proceso en las propiedades de los no tejidos resultantes. Se desarrollaron 5 estructuras de no tejidos con mantas de fibras abiertas de capoc y de lino. La Tabla 14 presenta las características geométricas y estructurales de los no tejidos simples, sándwich y compuestos desarrollados por el nuevo método de producción. El flujo de materiales y las condiciones del proceso son ilustrados desde la figura 46 hasta la figura 50.

Los no tejidos simples “ms8” (Figura 46) se formaron por superposición y punzonado de cinco mantas de fibras abiertas de capoc y de lino prensadas individualmente con calor seco para consolidar la estructura. A partir de estos no tejidos simples punzonados se desarrollaron dos tipos de estructuras no tejidas sándwich, una formada por la superposición y posterior punzonado de cuatro no tejidos simples “mw8” (Figura 47) y otra formada por superposición y prensado de cuatro no tejidos simples con calor seco “mwp8” (Figura 48).

De la superposición y doble prensado con calor seco de tres no tejidos sándwich punzonados (mw8) se obtuvieron los no tejidos compuestos. Para la estabilización de la estructura se utilizaron dos rutas: una sin presión, aplicada sobre la muestra, resultando los no tejidos compuestos identificados como “mc8” (Figura 49) y la otra con presión, aplicado sobre la muestra durante un tiempo determinado después de la producción y seguida de la estabilización bajo presión, los no tejidos compuestos resultantes fueron identificados como “mcp” (Figura 50).

En la Tabla 14 son presentadas las características geométricas y estructurales de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción.

Tabla 14. Características geométricas y estructurales de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción

Tipo de no tejido /N° de capas (composición)	Ref. NT	Espesor (mm)	Masa por unidad área (g/m <sup>2</sup> )	Densidad $\rho_{ap}$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Porosidad $P_{NT}$ (%)
Simples/1 (CP-CL)	ms8	10,50	737,37	70,23	94,31
Sándwich punzonado/4 (CP-CL)	mw8	18,25	3137,25	171,90	86,08
Sándwich prensado/4 (CP-CL)	mwp8	14,61	5184,31	354,85	71,27
Compuesto/3 (CP-CL)	mc8	24,60	7568,62	307,67	75,09
Compuesto con presión /3 (CP-CL)	mcp8	24,68	7403,92	300,00	75,71

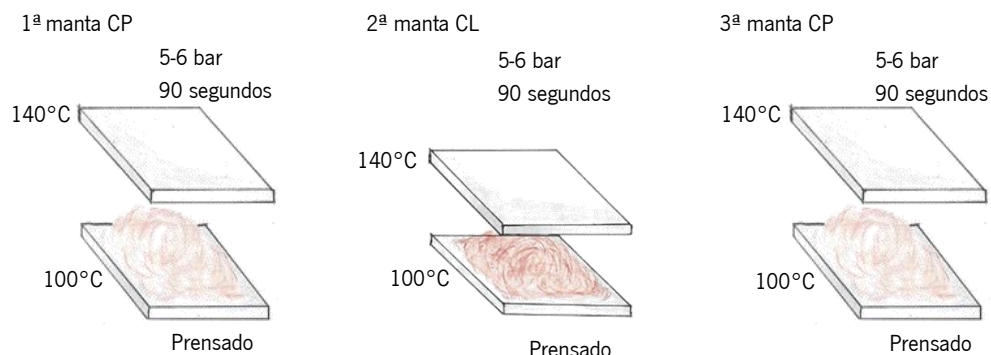




Figura 46. No tejido simple de mezclas de fibras de capoc-lino producido por el nuevo método de producción



Figura 47. No tejido sándwich de mezclas de fibras de capoc-lino producido por nuevo método de producción

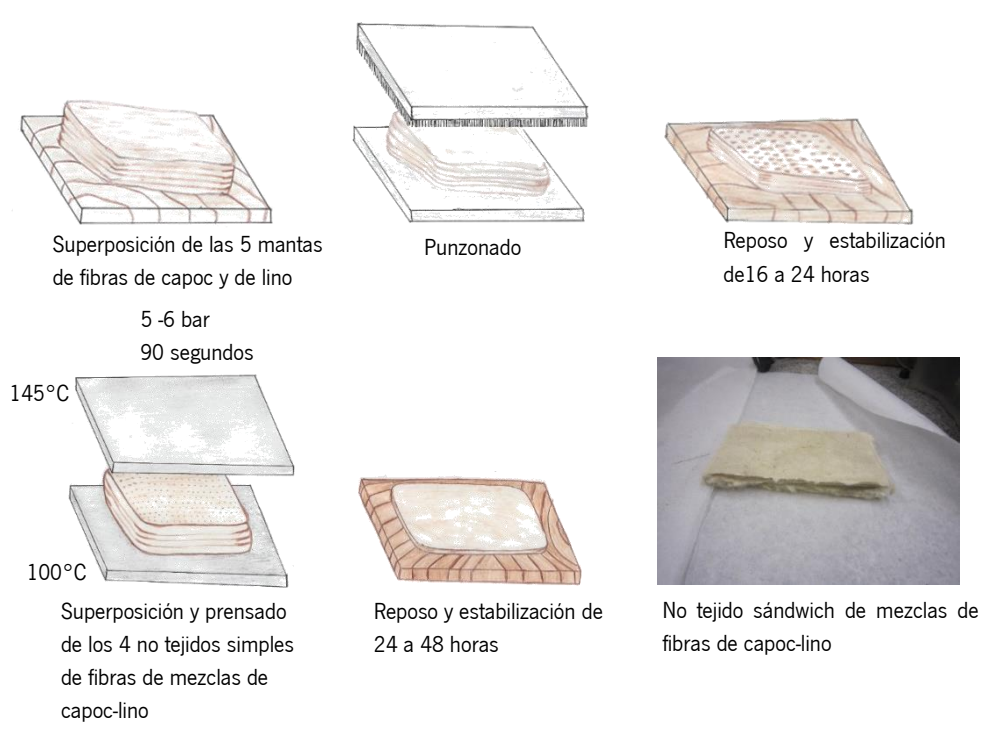


Figura 48. No tejido sándwich prensado de mezclas de fibras de capoc- lino



Figura 49. No tejido compuesto de mezclas de fibras de capoc-lino producido por el nuevo método de producción

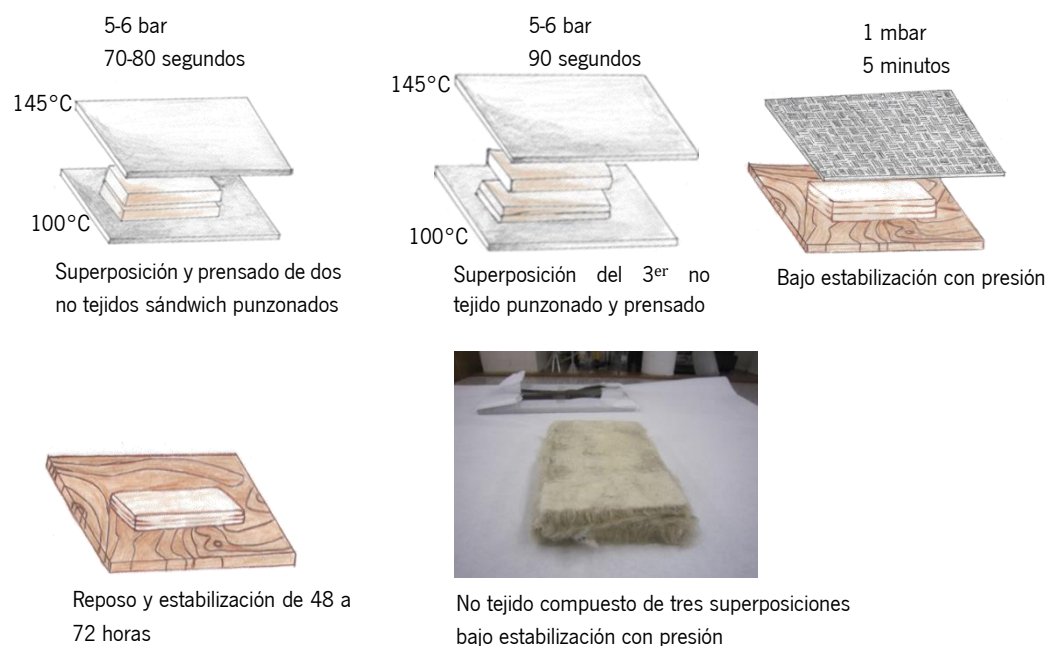


Figura 50. No tejido compuesto prensado de mezclas de capoc-lino bajo estabilización con presión

#### 4.1.2.1. Propiedades mecánicas. Resistencia y Alargamiento a la Rotura (Método *Grab*)

Los valores de la resistencia a la tracción y extensión máxima a la rotura de los no tejidos simples, sándwich y compuestos de mezclas de fibras de capoc-lino se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Resistencia a la rotura y extensión máxima a la rotura de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción

Tipo de no tejido/Nº de capas (composición)	Ref. NT	Resistencia a la rotura (N)	Extensión a la rotura (%)
		MD	
Simples/1 (CP-CL)	ms8	57,70	26,50
Sándwich punzonado/4 (CP-CL)	mw8	310,00	40,40
Sándwich prensado/4 (CP-CL)	mwp8	521,00	13,44
Compuesto/3 (CP-CL)	mc8	408,50	16,21
Compuesto con estabilización con presión /3 (CP-CL)	mcp8	609,00	12,07

Como se ya esperaba, la semejanza de los no tejidos CP-CL producidos por el proceso de la Línea Automatex, nos da la posibilidad de constatar que, en general, la resistencia a la rotura es más elevada cuanto más elevada es la masa por unidad de área de la estructura (Figura 31). Excepto



la estructura no tejida compuesta mc8, que siendo la que tiene mayor masa por unidad de área, no presenta la mayor resistencia a la tracción o a la rotura (Figura 51).

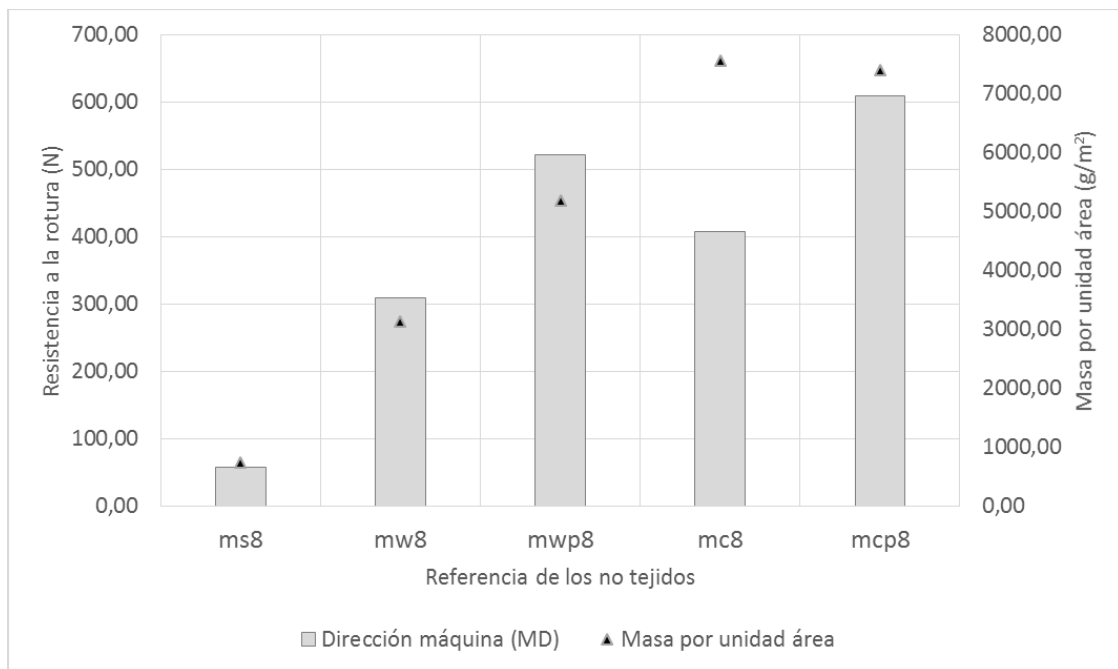


Figura 51. Resistencia a la rotura (N) en relación con la masa por unidad (g/m<sup>2</sup>) área de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción

El no tejido mc8 tiene una estructura semejante a la del no tejido mc8p, formada por 3 no tejidos sándwich punzonados reforzados por un doble prensado en caliente. Sin embargo, difiere en el tiempo y las condiciones de estabilización de la estructura, teniendo este último, una estabilización con presión. Al ser comparados, el no tejido compuesto mcp8 presenta una resistencia a la tracción superior al 49,08 % (609,00-408,50 N), a pesar de tener una menor masa por unidad de área cercana al 20 % (7403,92-7568,62 g/m<sup>2</sup>). Este resultado indica que el tiempo y las condiciones de estabilización influyen el nivel de consolidación de la estructura, aumentando cuando la estabilización es realizada bajo presión.

Cuando se comparan con los no tejidos simples ms8 que le dieron origen, las estructuras sándwich punzonadas (mw8) y prensadas (mwp8) presentan resistencias a la tracción superiores a la suma de las resistencias individuales. La resistencia en el no tejido mwp8 es superior 2 veces y media (230,8-521,0 N) y para el no tejido mw8 la resistencia es superior y cercana al 35 %. Esta estructura mwp8 ha sido prensada en lugar de punzonada, teniendo por ello un aumento significativo.

Las curvas de fuerza-alargamiento del nuevo método de producción de los no tejidos simples, sándwich, sándwich prensado, compuesto y compuesto prensado de mezclas de fibras de capoc-lino están ilustradas en la Figura 52 y Figura 53.

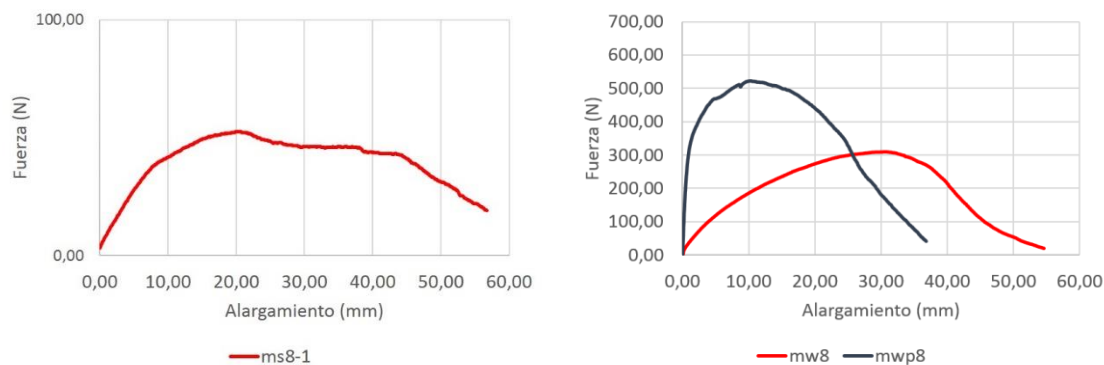


Figura 52. Curvas de fuerza-alargamiento en dirección a la máquina (MD) del no tejido simple “ms” (izquierda) y del no tejido sándwich “mw” y no tejido sándwich prensado “mwp” (derecha)

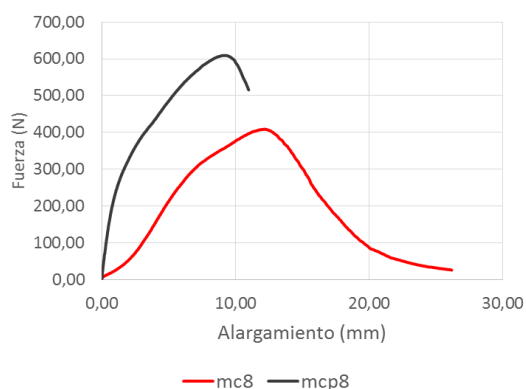


Figura 53. Curvas de fuerza-alargamiento en dirección a la máquina (MD) del no tejido compuesto “mc” y no tejido compuesto bajo estabilización con presión “mcp”

#### 4.1.2.2. Propiedades térmicas y de transferencia al aire

En la tabla 16 se presentan las propiedades térmicas y de transferencia al aire de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción.

Tabla 16. Propiedades térmicas y de transferencia al aire de los no tejidos de mezclas de capoc-lino creados por el nuevo método de producción

Tipo de no tejido / N° de capas (composición)	Referencia NT	Conductividad térmica ( $\lambda$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )	Resistencia térmica [R] ( $\times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ )	Absortividad térmica (b) ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ )	Flujo térmico ( $q_{m\acute{a}x}$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ]
Simples/1 (CP-CL)	ms8	67,68	184,00	40,74	299,20
Sándwich punzonado/4 (CP-CL)	mw8	121,20	190,00	17,74	194,40
Sándwich prensado/4 (CP-CL)	mwp8	118,57	154,50	24,10	156,00
Compuesto/3 (CP-CL)	mc8	135,40	133,40	30,30	188,80
Compuesto con estabilización con presión /3 (CP-CL)	mcp8	149,00	158,60	22,70	196,60

#### 4.1.2.2.1. Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de los no tejidos: simples, sándwich, sándwich prensado, compuesto y compuesto prensado de mezclas de fibras de capoc-lino están representados en la Figura 54 con los resultados de la conductividad térmica y resistencia térmica. En la Figura 55 se representa la absorptividad térmica y el flujo térmico.

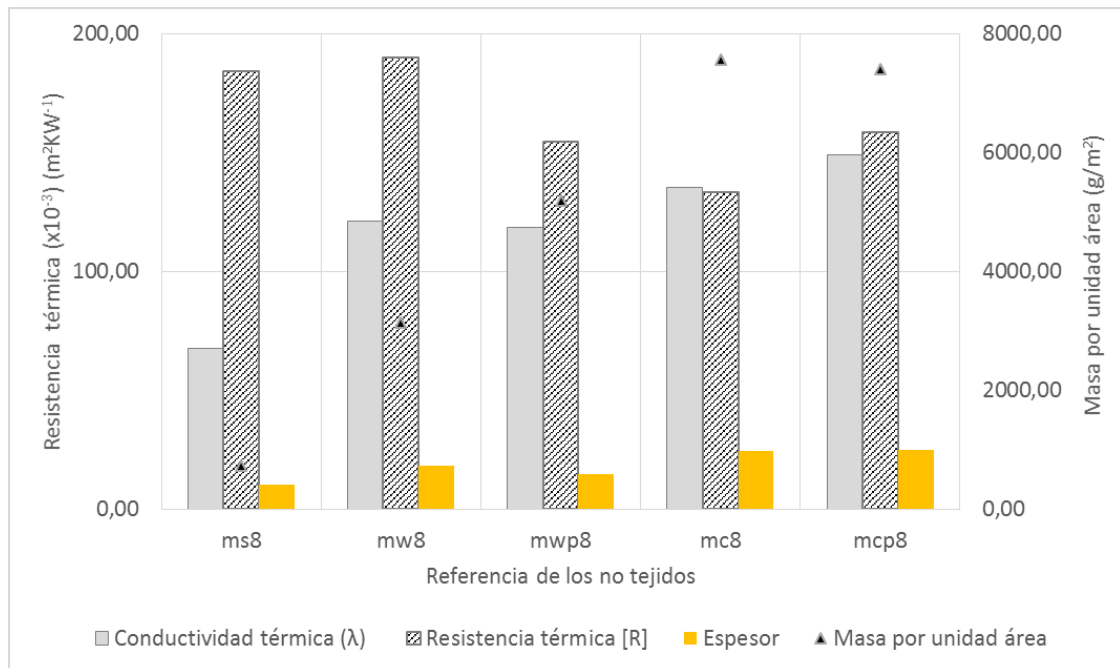


Figura 54. Conductividad térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) y resistencia térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ ) en relación con la masa por unidad de área ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) y espesor (mm) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción

El no tejido sándwich mw8 obtuvo una mayor resistencia térmica 3,26 % ( $184,00-190,00 (\times 10^{-3}) (\text{m}^2\text{KW}^{-1})$ ) y conductividad térmica 79,08 % ( $67,68-121,20 (\times 10^{-3}) (\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1})$ ), siendo cuatro veces mayor en la masa por unidad de área ( $3137,25 \text{ g}/\text{m}^2$ ) y con el doble de espesor ( $10,50-18,25 \text{ mm}$ ) que el no tejido simple ms8.

El no tejido mwp8 resultó tener una menor resistencia térmica con un 22,98 % ( $190,00-154,50 (\times 10^{-3}) (\text{m}^2\text{KW}^{-1})$ ), mayor masa por unidad de área, menor conductividad térmica 22,18 % ( $121,20-118,57 (\times 10^{-3}) (\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1})$ ) y mayor espesor que el no tejido sándwich mw8.

El no tejido compuesto mcp8 obtuvo mayor resistencia térmica con un 18,89 % ( $158,60-133,40 (\times 10^{-3}) (\text{m}^2\text{KW}^{-1})$ ), mayor conductividad térmica con un 10,04 % ( $149,00-135,40 (\times 10^{-3}) (\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1})$ ), menor masa por unidad de área y mayor espesor que el no tejido compuesto mc8. Los 4 no tejidos de mezclas de capoc-lino obtuvieron una resistencia térmica mayor que la conductividad

térmica, al contrario, el no tejido compuesto mc8 resultó tener una conductividad mayor que la resistencia térmica.

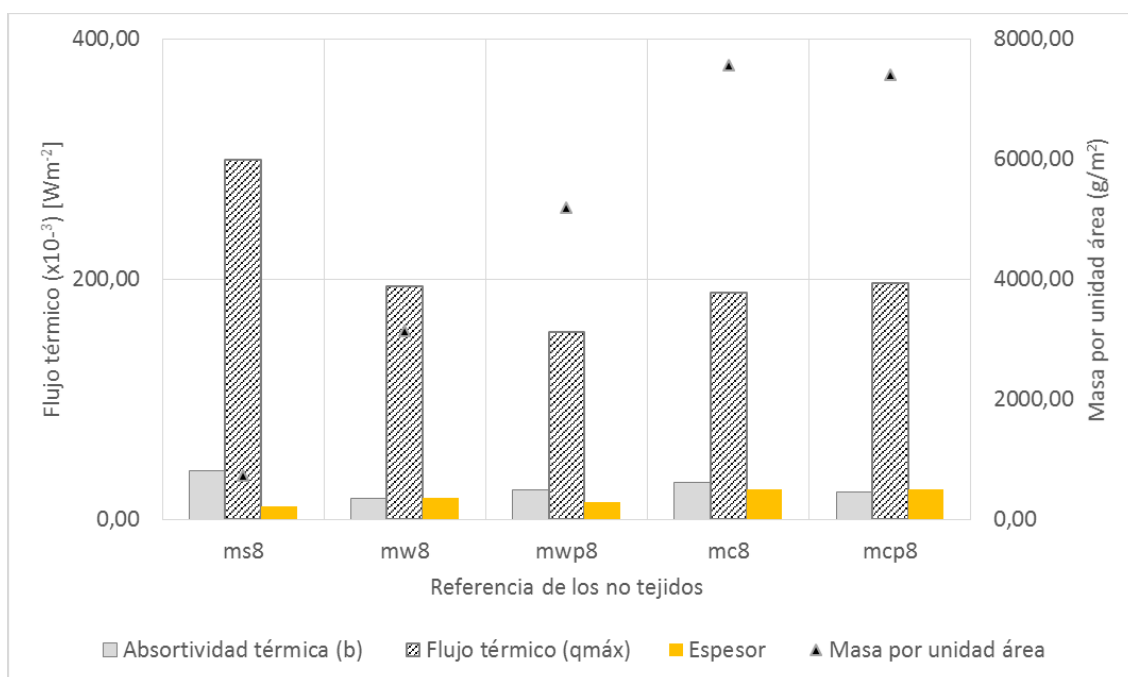


Figura 55. Absortividad térmica ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ ) y flujo térmico ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ] en relación con la masa por unidad de área ( $g/m^2$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción

El no tejido sándwich mw8 tuvo una menor absortividad térmica 12,96 % ( $40,74-17,74$  ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ )) y menor flujo térmico 53,91 % ( $299,20-194,40$  ( $\times 10^{-3}$ ) [ $W/m^2$ ]) que el no tejido simple ms8.

El no tejido sándwich prensado mwp8 resultó tener mayor absortividad térmica 35,85 % ( $17,74-24,10$  ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ )) y menor flujo térmico 24,61 % ( $194,40-156,00$  ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ]) que el no tejido sándwich mw8.

El no tejido compuesto prensado mcp8 obtuvo una menor absortividad térmica 3,43 % ( $22,70-30,30$  ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ )) y un mayor flujo térmico 4,13 % ( $196,60-188,80$  ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ]) que el no tejido compuesto mc8.

La permeabilidad al aire de los no tejidos sándwich, sándwich prensado, compuesto y compuesto prensado de mezclas de fibras de capoc-lino no se pudo llevar a cabo a causa de la dureza de los no tejidos. Este ensayo sólo se pudo realizar en el no tejido simple, dando una permeabilidad al aire de  $30,90$  ( $l/m^2/s$ ). Para conseguir resultados de estos no tejidos de mezclas de fibras de capoc-lino se tendrá que encontrar el equipo apropiado, siendo esto destinado a futuras investigaciones.

## 4.2. No tejidos de fibras de capoc

Los no tejidos simples, sándwich y compuestos constituidos completamente por fibras de capoc fueron producidos por el método desarrollado, sometido a pedido de patente (PT 109924 A).

Los no tejidos simples, denominados como “ms” son estructuras formadas por cinco mantas de fibras abiertas de capoc prensadas con calor seco, sobrepuestas y reforzadas por punzonado (Figura 56).

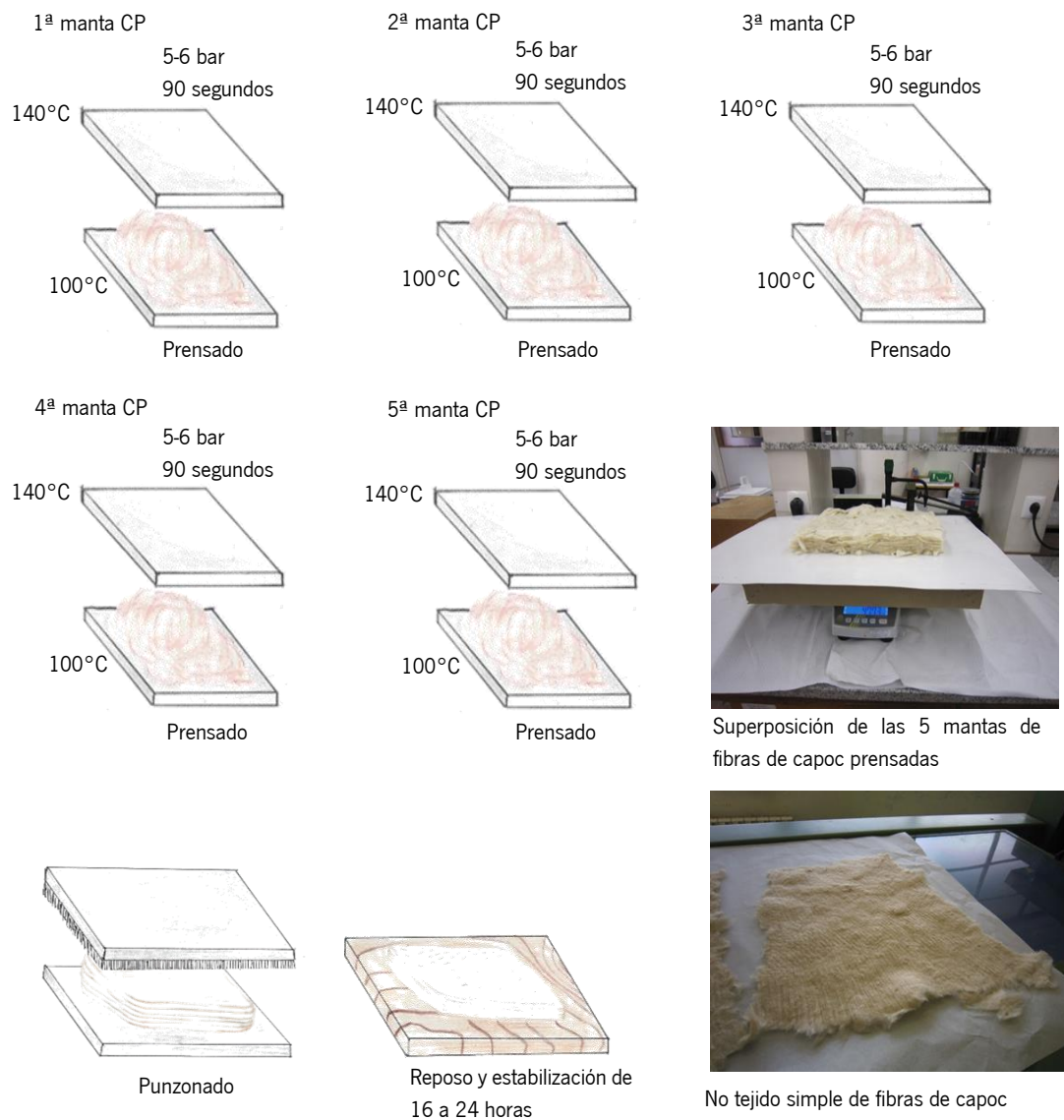


Figura 56. Formación de no tejidos simples de fibras de capoc

Las características geométricas y estructurales de las 64 muestras de los no tejidos simples desarrollados se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17. ((1) y (2)) Características geométricas y estructurales de los no tejidos simples 100 % capoc (CP)

(1) Características geométricas y estructurales de los no tejidos simples					
Ref. NT ms	Referencia no tejidos	Espesor (mm)	Masa por unidad de área (g/m <sup>2</sup> )	Densidad aparente $\rho_{ap}$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Porosidad $P_{NT}$ (%)
ms10	ms10-1	8,00	235,39	29,42	96,97
	ms10-2	8,16	225,75	27,77	97,14
	ms10-3	7,52	211,78	28,15	97,10
	ms10-4	6,68	228,56	34,21	96,47
ms11	ms11-1	8,98	234,63	26,13	97,37
	ms11-2	7,19	193,85	26,96	97,22
	ms11-3	8,53	273,68	32,08	96,69
	ms11-4	7,48	248,55	33,23	96,57
ms12	ms12-1	7,57	240,65	31,79	96,72
	ms12-2	7,90	216,57	27,41	97,17
	ms12-3	9,85	238,35	24,20	97,51
	ms12-4	8,49	165,85	19,53	97,99
ms15	ms15-1	9,34	308,02	32,98	96,60
	ms15-2	10,76	301,93	28,06	97,10
	ms15-3	10,06	357,13	35,49	96,34
	ms15-4	10,39	393,13	37,84	96,09
ms16	ms16-1	11,36	341,57	30,07	96,90
	ms16-2	10,11	339,73	33,60	96,53
	ms16-3	10,36	337,65	32,60	96,64
	ms16-4	10,88	324,00	29,78	96,93
ms17	ms17-1	8,58	283,35	33,02	96,59
	ms17-2	9,09	293,29	32,26	96,67
	ms17-3	9,22	313,85	34,04	96,49
	ms17-4	9,96	315,68	31,69	96,73
ms18	ms18-1	8,87	333,32	37,58	96,12
	ms18-2	9,18	306,48	33,38	96,56
	ms18-3	9,26	365,06	39,42	95,93
	ms18-4	9,73	366,20	37,64	96,12
ms19	ms19-1	8,94	320,08	35,80	96,30
	ms19-2	9,44	382,84	41,81	95,82
	ms19-3	8,66	305,57	35,28	96,36
	ms19-4	9,52	321,81	33,80	96,51

(2) Características geométricas y estructurales de los no tejidos simples					
Ref. NT ms	Referencia no tejidos	Espesor (mm)	Masa por unidad de área (g/m <sup>2</sup> )	Densidad aparente $\rho_{ap}$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Porosidad P <sub>NT</sub> (%)
ms20	ms20-1	7,83	244,48	31,22	96,78
	ms20-2	8,00	241,71	30,21	95,60
	ms20-3	8,06	259,62	32,21	96,68
	ms20-4	7,49	235,04	31,38	96,76
ms21	ms21-1	8,50	270,01	31,76	96,72
	ms21-2	8,05	293,96	36,52	96,23
	ms21-3	7,84	254,04	32,40	96,40
	ms21-4	8,88	287,47	32,37	96,66
ms22	ms22-1	8,25	233,16	28,26	97,09
	ms22-2	7,99	285,60	36,85	96,31
	ms22-3	8,11	241,22	29,74	96,93
	ms22-4	9,00	248,78	27,64	97,15
ms23	ms23-1	8,01	260,17	32,48	96,75
	ms23-2	7,34	225,35	30,06	96,83
	ms23-3	8,10	262,17	32,37	96,66
	ms23-4	7,65	224,19	29,31	96,98
ms24	ms24-1	10,06	292,44	29,07	97,00
	ms24-2	9,53	266,19	27,93	97,12
	ms24-3	8,92	269,68	30,23	96,88
	ms24-4	9,22	289,35	31,38	96,76
ms25	ms25-1	9,20	314,69	34,20	96,47
	ms25-2	9,66	305,37	31,61	96,74
	ms25-3	8,95	288,43	32,23	96,68
	ms25-4	9,19	280,59	30,53	96,85
ms36	ms36-1	8,38	259,18	30,92	96,81
	ms36-2	8,79	261,53	29,75	96,93
	ms36-3	8,08	234,75	29,05	97,00
	ms36-4	8,11	253,40	31,24	96,78
ms37	ms37-1	8,09	260,76	32,23	96,68
	ms37-2	8,54	253,73	29,71	96,93
	ms37-3	7,81	239,08	30,61	96,84
	ms37-4	7,95	287,92	36,22	96,27

Como se esperaba, los no tejidos simples desarrollados presentan variación de la masa por unidad de área y espesor elevados. Analizando los valores obtenidos se verificó que para un nivel de confianza del 99 %, el valor medio de la masa por unidad de área se sitúa en el intervalo de 262,27-292,36 g/m<sup>2</sup> (Figura 57). El intervalo de confianza del espesor se sitúa entre 8,43 mm y 9,06 mm.

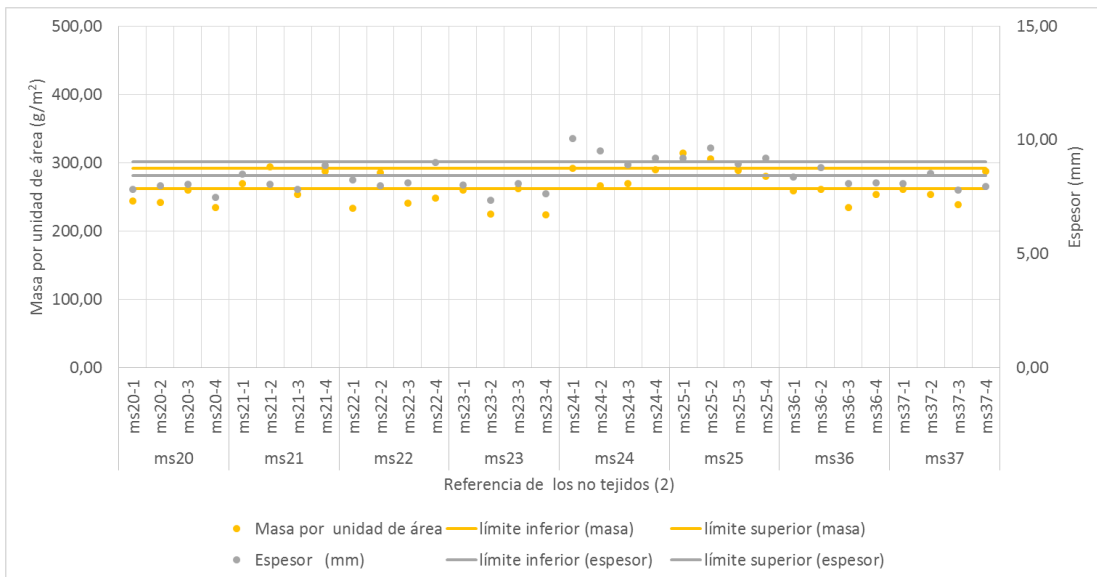
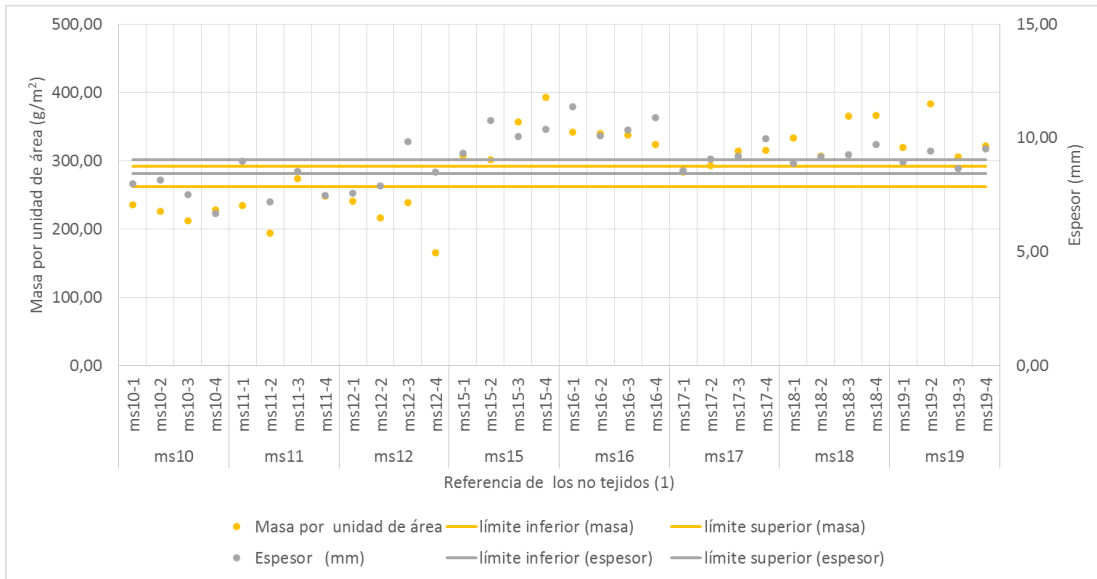


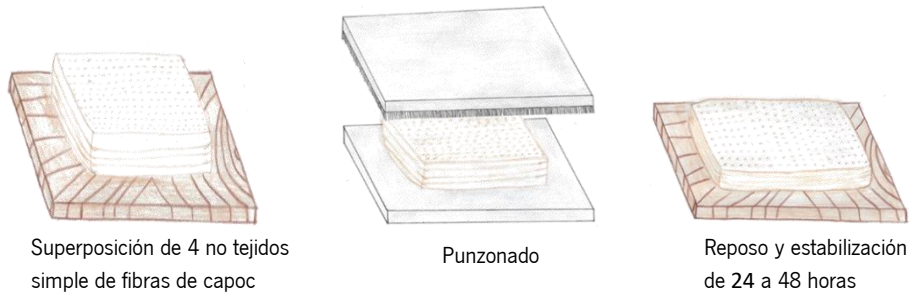
Figura 57. ((1) y (2)) Intervalo de confianza entre la masa por unidad de área y espesor de los no tejidos simples de fibras de capoc

Estos no tejidos simples, a pesar de presentar la cohesión necesaria para ser manipulados, no demostraron resistencia suficiente al uso. A partir de la superposición de cuatro no tejidos simples se desarrollaron estructuras no tejidas sándwich según los siguientes procesos de refuerzo:

- Punzonado (Figura 58), denominados como “mw”.
- Punzonado y prensado en caliente – una o dos pasadas (Figura 59), denominados como “mw1p y mw2p” respectivamente, con una o dos pasadas en la prensa.
- Punzonado, prensado en caliente en sólo una pasada y punzonado (Figura 60), denominados como “m2w”.



d) Este planteamiento tuvo como objetivo determinar cuál es la opción u opciones que conducirán a una resistencia mecánica de los no tejidos resultantes compatible con la aplicación pretendida.



No tejido sándwich de fibras de capoc

Figura 58. Formación de no tejido sándwich punzonado 100 % capoc



(a)

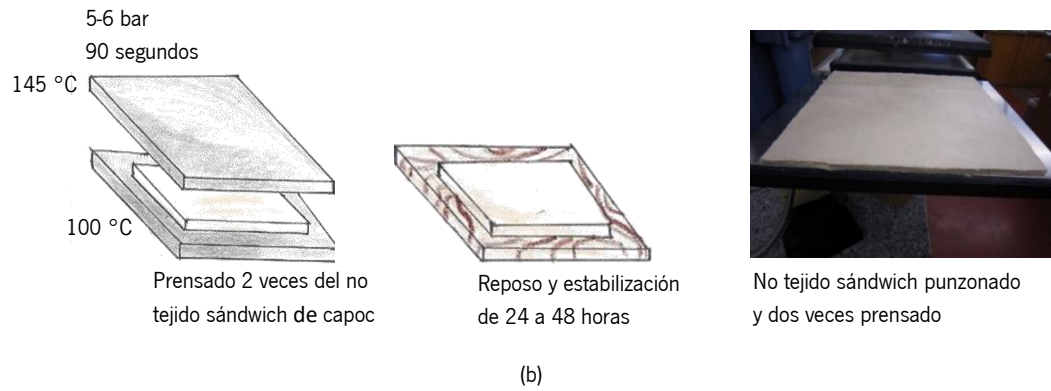


Figura 59. Formación de no tejidos sándwich punzonados y prensados de fibras 100 % capoc: (a) una vez prensado; (b) dos veces prensado

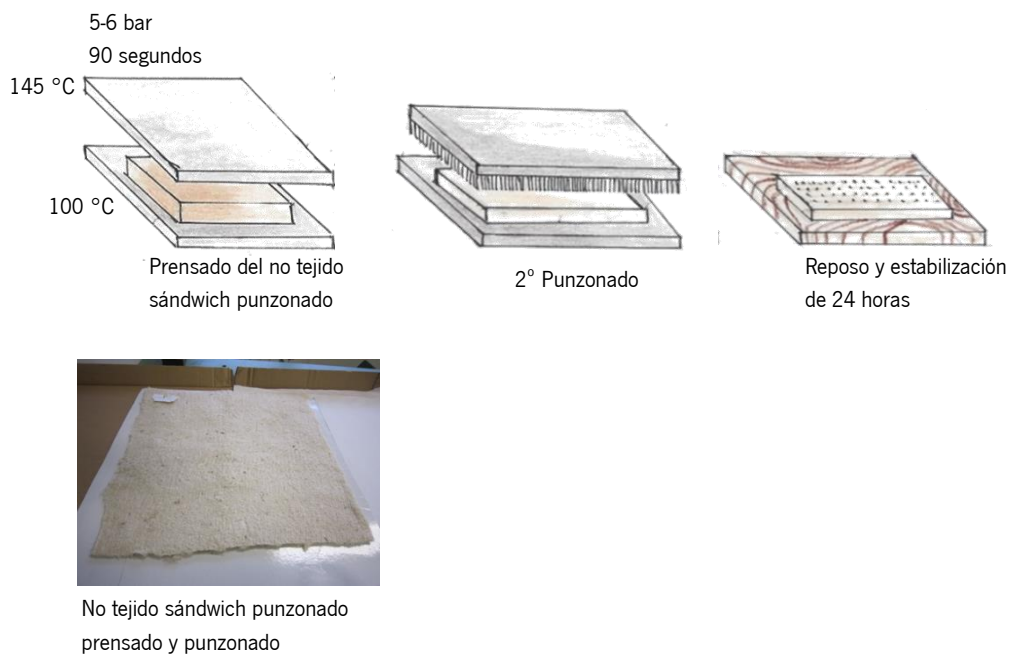


Figura 60. Formación del no tejido sándwich punzonado, una vez prensado y punzonado 100 % capoc

Las características geométricas y estructurales de los 22 no tejidos sándwich 100 % capoc desarrollados están presentadas en la Tabla 18.

Tabla 18. Características geométricas y estructurales de los no tejidos sándwich 100 % capoc

Tipo de no tejido /N° capas		Ref. No tejido	Espesor (mm)	Masa por unidad de área (g/m <sup>2</sup> )	Densidad aparente $\rho_{ap}$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Porosidad $P_{NT}$ (%)
Sándwich punzonado/4		mw10	15,32	690,32	45,06	95,35
		mw11	13,64	600,94	44,06	95,46
		mw12	15,20	480,86	31,64	96,53
		mw15	9,89	729,51	73,76	92,39
		mw16	15,83	1065,03	67,28	93,06
		mw17	14,44	723,64	50,11	94,83
		mw18	17,62	770,67	43,74	95,49
		mw19	16,65	915,09	54,96	94,21
		mw20	16,22	692,01	42,66	95,60
		mw21	20,42	685,98	33,59	96,54
		mw22	17,76	662,94	37,33	96,15
		mw23	16,48	668,58	40,57	95,82
		mw24	17,78	787,63	44,30	95,43
		mw25	19,08	806,90	42,29	95,64
		Sándwich punzonado-prensado/4		mw1p24	7,99	856,80
mw1p36	5,12			728,21	142,28	85,33
Sándwich punzonado-prensado/4		mw2p25	8,40	867,30	103,25	89,35
		mw2p37	6,26	709,32	113,31	88,32
Sándwich punzonado-prensado-punzonado/ 4		m2w10	6,67	599,04	89,81	90,74
		m2w15	6,30	727,76	115,52	88,09

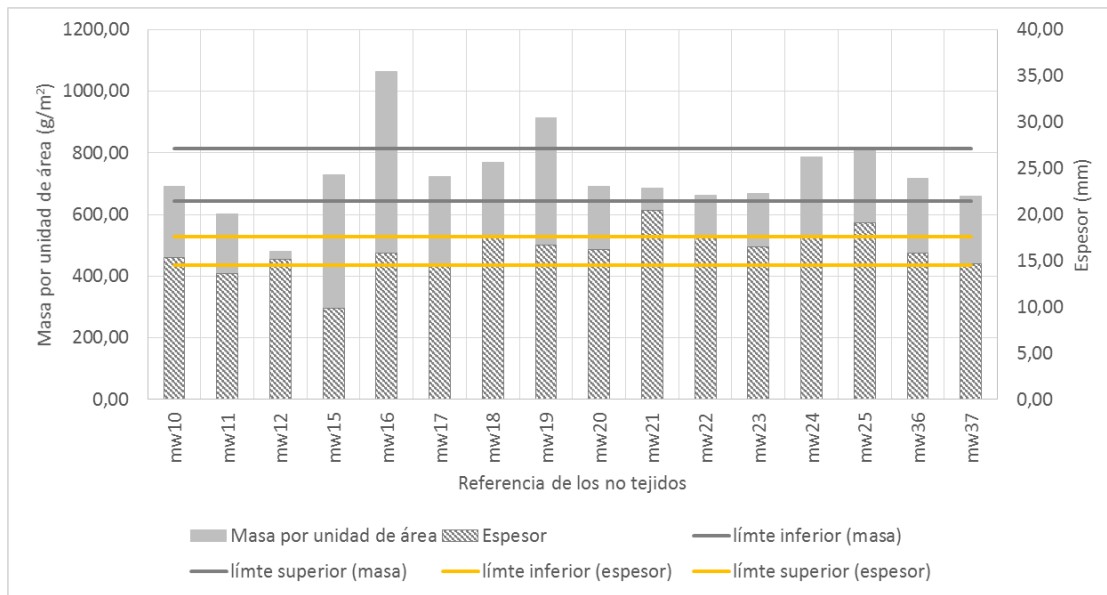


Figura 61. Intervalo de confianza entre la masa por unidad de área y espesor de los no tejidos sándwich de fibras de capoc reforzados por punzonado

Se verificó que para un nivel de confianza del 99 %, el valor medio de la masa por unidad de área de los no tejidos sándwich obtenidos según el proceso de refuerzo por punzonado se sitúa en el intervalo de 643,84-813,32 g/m<sup>2</sup> (Figura 61). El intervalo de confianza del espesor se sitúa entre 14,49 mm y 17,69 mm.

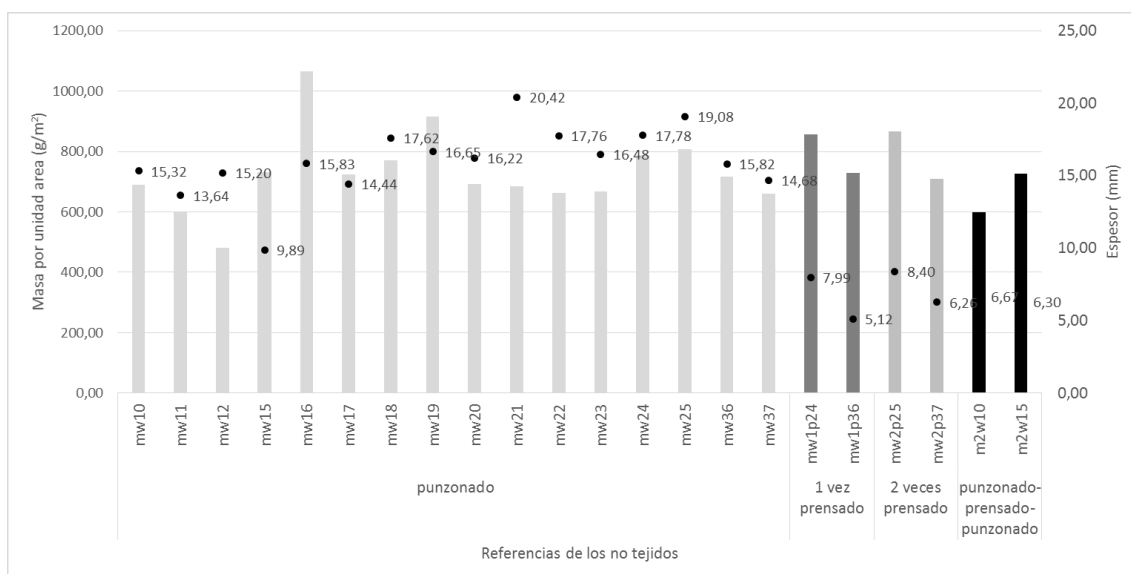


Figura 62. Relación entre la masa por unidad de área y espesor de los no tejidos sándwich de fibras 100 % capoc

Como se puede observar en la Figura 62, la variabilidad de la masa por unidad de área y el espesor se mantienen elevados para los no tejidos sándwich punzonados. A pesar de ser esperada una mayor homogeneidad debida a la sobreposición de capas de no tejidos simples, la pérdida de fibra a causa de la superposición y de la realización del punzonado no llegó a notarse el efecto de uniformidad.

El prensado condujo a una significativa reducción del espesor medio y a un aumento de la masa por unidad de área de los no tejidos. La presión del prensado fue la principal causa de este efecto. Sin embargo, cuando fueron comparados, la doble pasada en la prensa produjo un ligero aumento en el espesor y una reducción de la masa por unidad de área de los no tejidos.

El refuerzo por punzonado de los no tejidos punzonados y prensados en una pasada produjo una reducción significativa en el espesor y en la masa por unidad de área de los no tejidos resultantes.

La principal causa de la pérdida de fibra es debida al haber sido dos veces punzonados.

De la superposición de los no tejidos sándwich punzonados de fibras de capoc se han desarrollado no tejidos compuestos formados por:

- i) Dos capas o dos superposiciones unidas por prensado en una pasada (mc+número del no tejido) también referido como “mc+número del no tejido con una pasada por la prensa (d)” y “mc+número del no tejido con dos pasadas por la prensa (e)” (Figura 63 (a) y (b)).
- ii) Tres capas o tres superposiciones unidas por prensado, realizadas en dos etapas: en la primera etapa la formación de un no tejido compuesto de dos capas y en la segunda

sobreposición y prensado en una única pasada de la tercera capa. Estos no tejidos, estabilizados sin y bajo presión durante un determinado tiempo fueron denominados “mc3” y “mcp3” respectivamente (Figura 64 (a) y (b)).

- iii) Cuatro capas unidas por prensado realizadas en tres etapas: en la primera etapa la formación de un no tejido compuesto de dos capas, en la segunda formación de un no tejido formado por tres capas y en la tercera sobreposición y prensado en una única pasada de la cuarta capa, denominados “mc4” (Figura 65).

La superposición de los no tejidos sándwich punzonados en la formación de los no tejidos compuestos por 2 capas o dos superposiciones se realizó según las dos orientaciones referidas en el capítulo 3, denominadas longitudinal y cruzado (Figura 18).

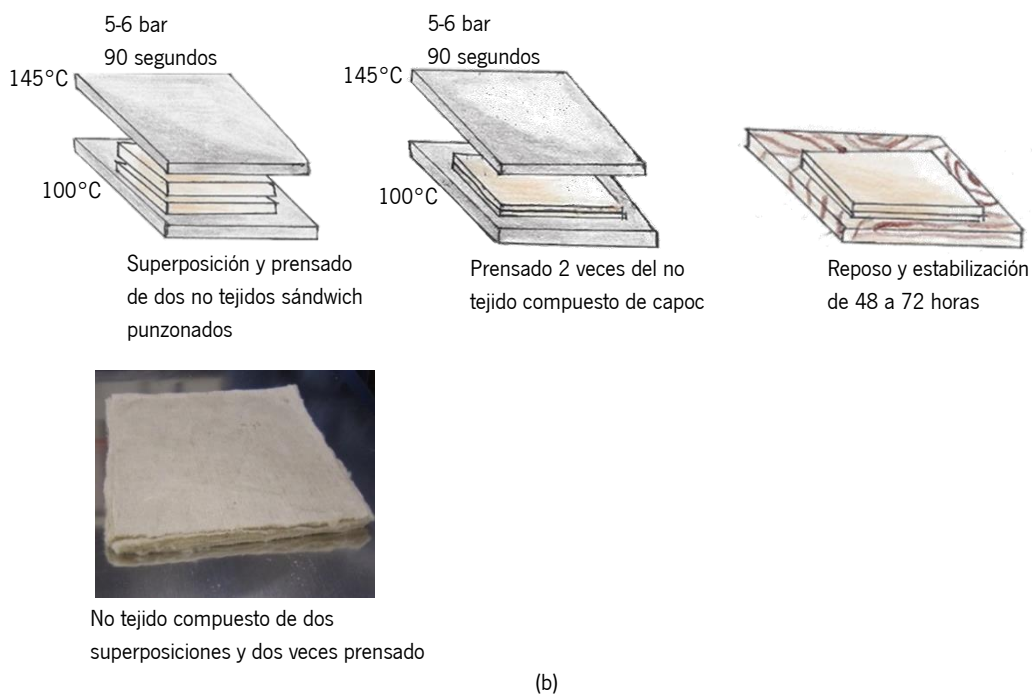
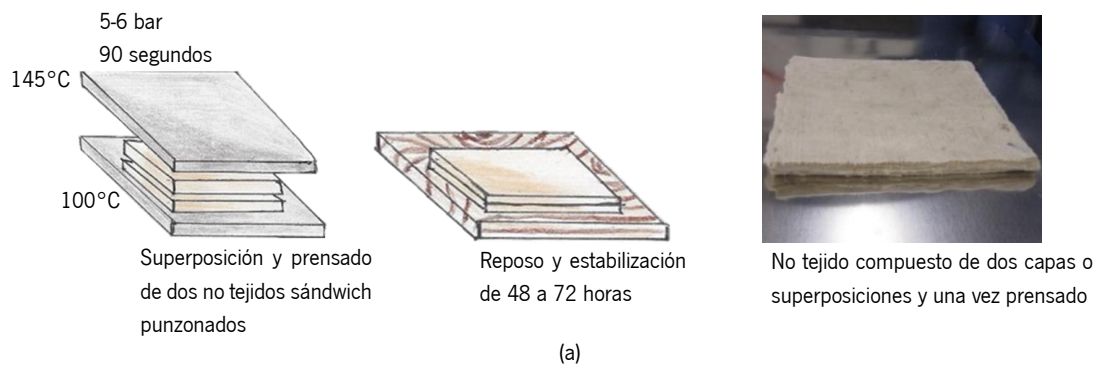
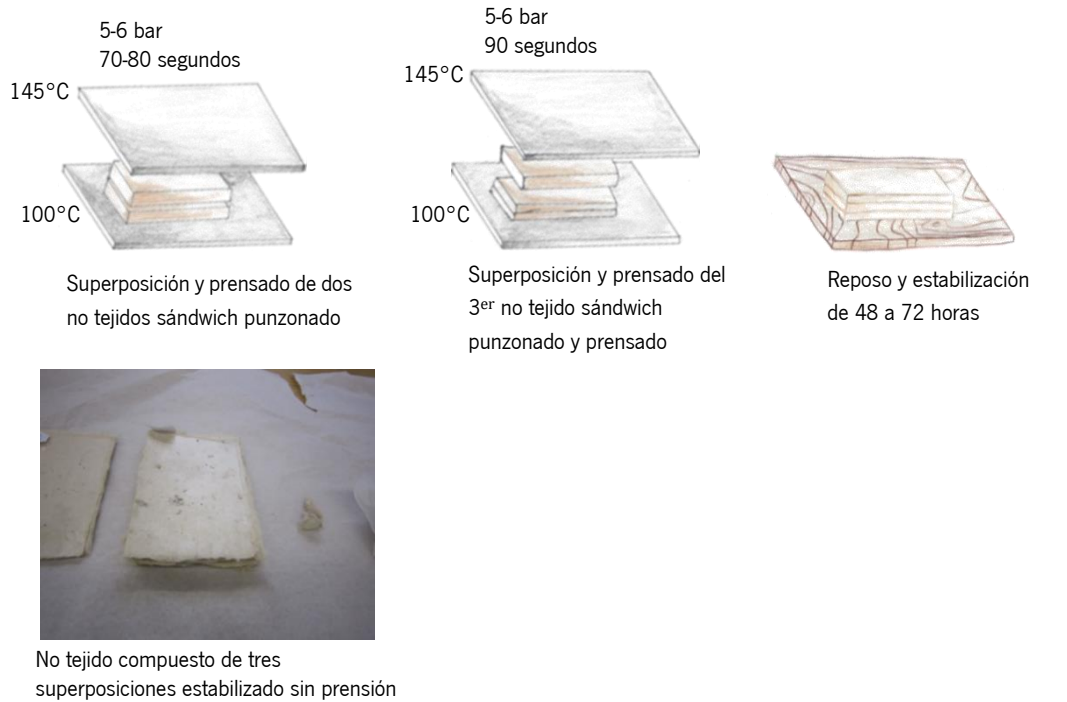
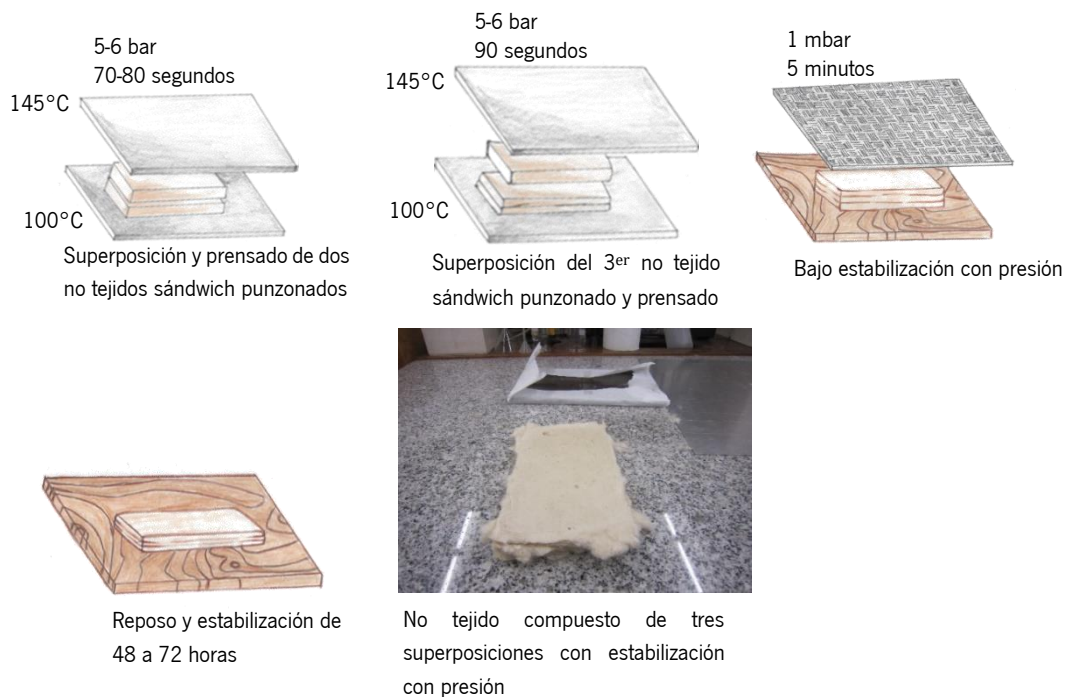


Figura 63. Formación de no tejidos compuestos de dos capas o superposiciones de no tejidos sándwich punzonados 100 % CP: (a) una vez prensado; (b) dos veces prensado



(a)



(b)

Figura 64. No tejido compuesto de tres capas o superposiciones de no tejidos sándwich punzonados 100 % capoc: (a) estabilización sin presión; (b) estabilización con presión

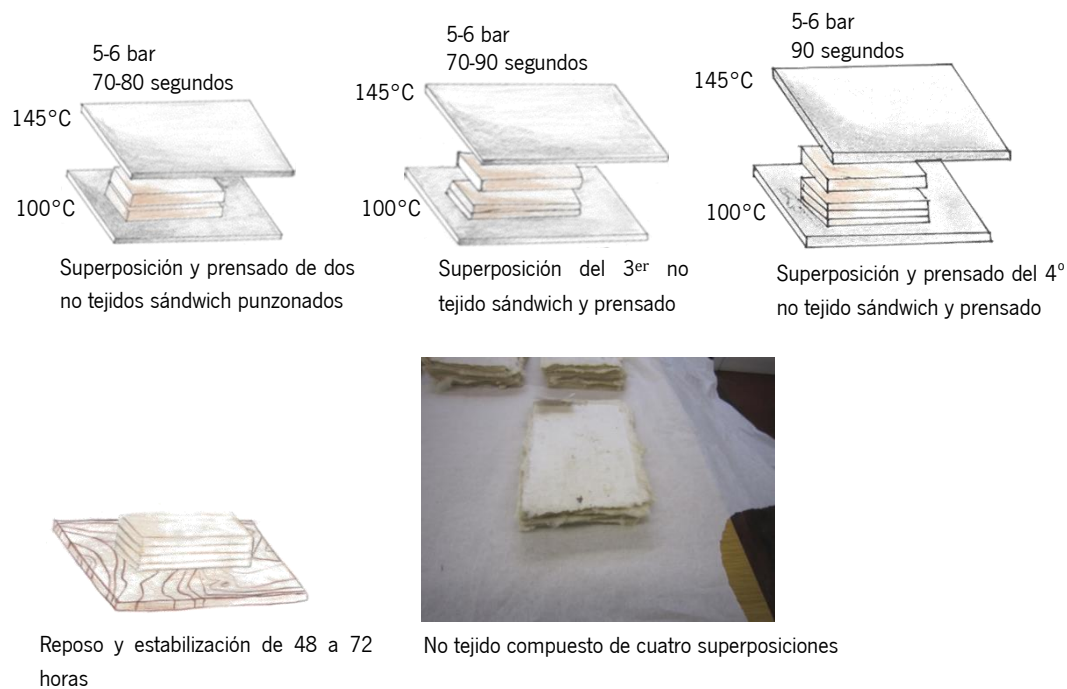


Figura 65. Formación de no tejidos compuestos de cuatro capas o superposiciones de no tejidos sandwich punzonados 100 % capoc

La Tabla 19 presenta las características geométricas y estructurales de los 20 no tejidos compuestos 100 % capoc desarrollados, formados por dos capas según las dos orientaciones.

Tabla 19. Características geométricas y estructurales de los no tejidos compuestos de fibras de capoc formados por dos capas

Nº capas (orientación de las capas)	Prensado	Tipo de no tejido	Espesor (mm)	Masa por unidad de área (g/m²)	Densidad Aparente $\rho_{ap}$ (Kg/m³)	Porosidad $P_{NT}$ (%)
Compuesto/2 ↓	1 pasada	mc1d	13,72	1604,44	116,94	87,94
		mc3d	13,24	1659,47	125,33	87,08
		mc1-4AB	8,54	2002,35	234,47	75,82
		mc2-4AB	8,15	2124,48	260,67	73,13
		mc3-4AB	8,73	1777,78	203,64	79,01
		mc4-4AB	6,96	1560,14	224,16	76,89
		mc5-4AB	8,28	1846,07	222,95	77,01
		mc6-4AB	7,69	1710,31	222,41	77,07
		mc1-4A	8,80	2121,43	241,07	75,15
		mc2-4A	9,68	2271,43	234,65	75,30
		mc3-4A	8,27	2328,57	281,57	70,97
		mc4-4A	8,39	1951,39	232,58	76,02
		mc5-4A	10,35	2264,81	218,82	77,44
		mc6-4A	9,51	2111,50	222,03	77,11
Compuesto/2 ↓→	1 pasada	mc5d	13,90	1616,44	137,45	85,83
		mc7d	13,52	1575,12	152,04	84,32
	2 pasadas	mc6e	10,72	1523,34	142,10	85,35
		mc8e	10,77	1772,54	164,58	83,03

De entre las estructuras desarrolladas, las obtenidas por sobreposición longitudinal de los no tejidos sandwich y prensado en una pasada fueron las que presentaron mayor variación en la

masa por unidad de área y espesor. Dada la variabilidad, se determinarán los intervalos de confianza de la masa por unidad de área, que se situaron entre 1767,31- 2137,57 g/m<sup>2</sup> y del espesor, situado entre 7,92-10,69 mm (Figura 66).

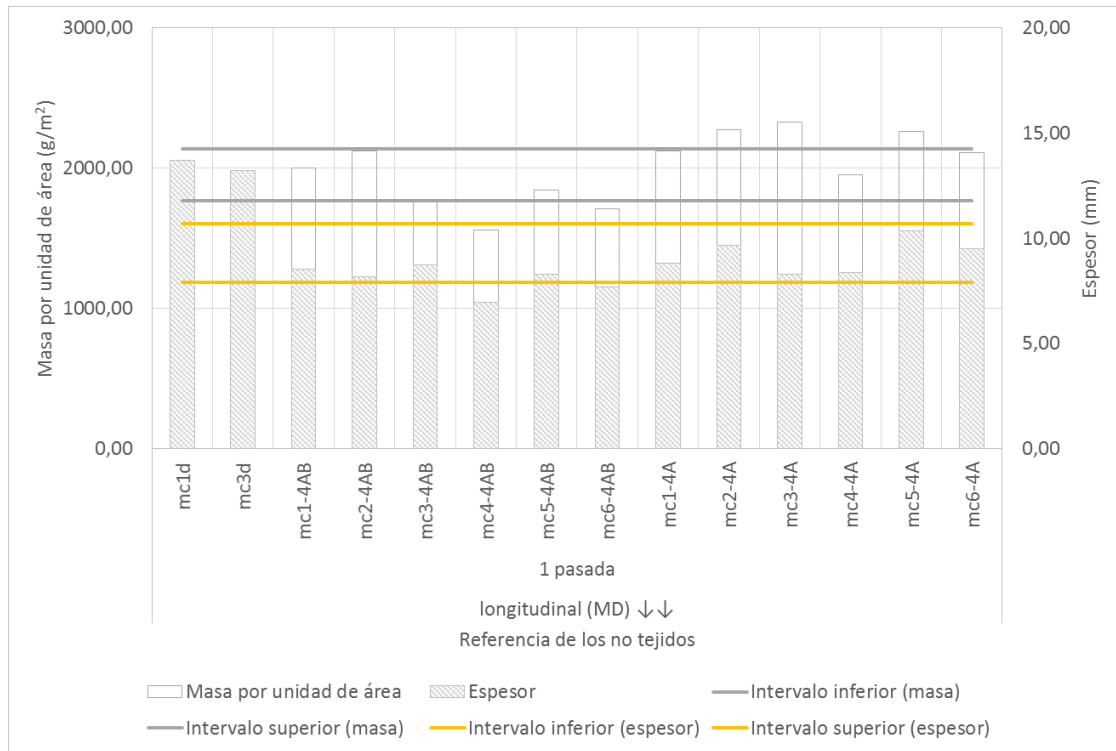


Figura 66. Intervalo de confianza entre la masa por unidad de área y espesor de los no tejidos compuestos de dos capas sobrepuestas en sentido longitudinal y prensadas en una pasada

Se observa en la Figura 67 que el aumento del número de pasadas en la prensa condujo a una disminución del espesor de todos los no tejidos compuestos formados por dos capas con orientación cruzado. Ocurriendo lo contrario en los no tejidos compuestos con orientación longitudinal y formados por dos pasadas, donde la media del espesor aumentó en un 23 % (9,31-11,44). No existe gran variación en la masa por unidad de área de los no tejidos compuestos por dos capas, indistintamente si son de una y dos pasadas con orientación cruzado. En los no tejidos compuestos orientados longitudinalmente con dos pasadas en la prensa la masa por unidad de área media disminuye cerca de 13 % (1952,44-1723,95 g/m<sup>2</sup>).



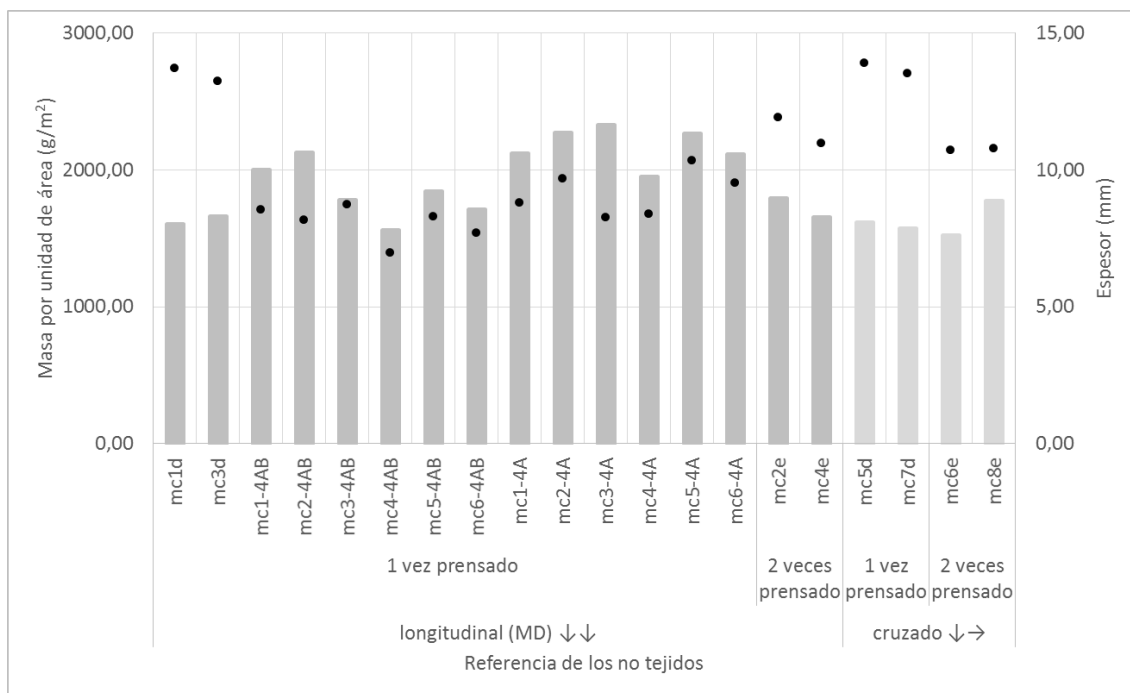


Figura 67. Relación entre la masa por unidad de área y espesor de los no tejidos compuestos 100 % capoc formados por dos capas sobrepuestas en diferentes orientaciones

La Tabla 20 presenta las características geométricas y estructurales de los 10 no tejidos compuestos desarrollados 100 % capoc, formados por dos, tres y cuatro capas de no tejidos sándwich sobrepuestos longitudinalmente y cruzado.

Tabla 20. Características geométricas y estructurales de los no tejidos compuestos de fibras de capoc

Nº capas (orientación de las capas)	Prensado	Tipo de no tejido	Espesor (mm)	Masa por unidad de área (g/m²)	Densidad Aparente $\rho_{ap}$ (Kg/m³)	Porosidad $P_{NT}$ (%)
Compuesto/2 ↓↓	1 pasada	mc1	5,48	2768,89	505,28	47,91
		mc11d	11,10	3277,42	295,26	69,56
		mc31d	11,89	3818,97	321,19	66,88
	2 pasadas	mc22e	7,17	2844,83	396,77	59,10
		mc42e	7,80	2917,65	374,00	61,44
Compuesto/2 ↓→	1 pasada	mc51d	11,58	3336,21	288,10	70,30
	2 pasadas	mc62e	7,77	2828,28	364,00	62,47
Compuesto/3 ↓↓	1 pasada	mc3	16,40	4960,00	302,44	68,82
	1 pasada (reposo con presión)	mcp3	12,66	3028,67	239,23	75,34
Compuesto/4 ↓↓	1 pasada	mc4	21,40	5960,00	278,50	71,28

Como se puede observar en el gráfico de la Figura 68, el aumento del número de capas condujo, como se esperaba, a un aumento del espesor y de la masa por unidad de área de los no tejidos. El efecto del aumento del número de pasadas en la prensa provocó una significativa reducción en el espesor (similar a lo que ocurrió en los no tejidos sándwich) y en la masa por unidad de área.

El efecto de la inclusión de la presión en el proceso de estabilización se evidencia en los resultados obtenidos en los no tejidos constituidos por 3 capas. El no tejido mcp3 redujo significativamente el espesor y la masa por unidad de área cuando fue comparado con el no tejido mc3. El proceso de formación de los dos no tejidos compuestos incluyó reposo y una estabilización final, pero al no tejido mcp3, antes del reposo y estabilización final se le realizó una estabilización con presión.

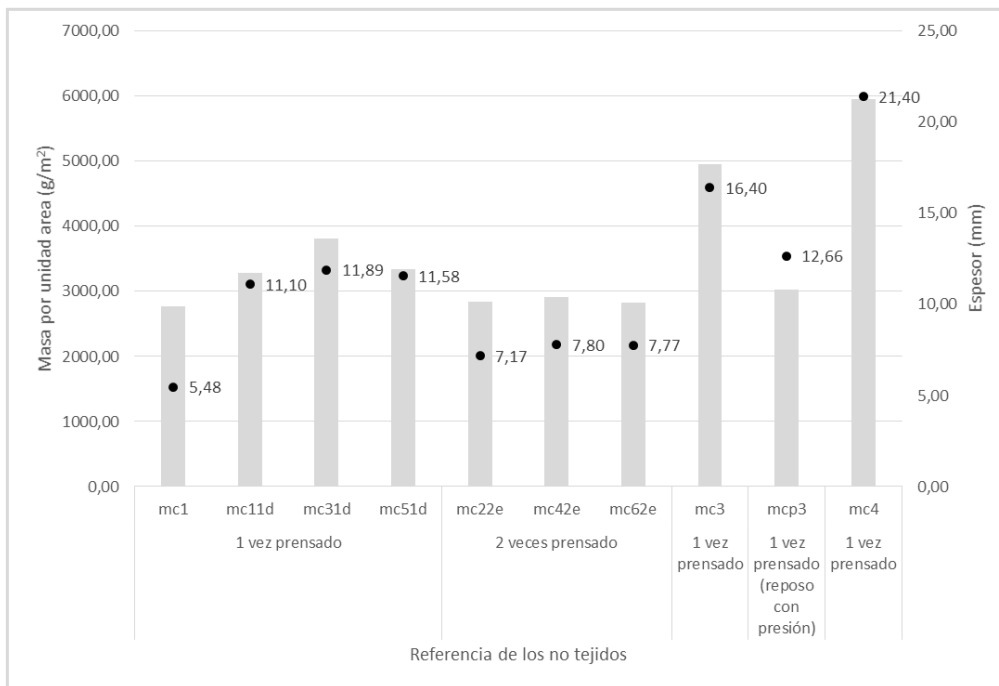


Figura 68. Relación entre la masa por unidad de área y espesor de los no tejidos compuestos 100 % capoc formados por 2, 3 y 4 capas

#### 4.2.1. Propiedades Mecánicas - Resistencia y Alargamiento máximo a la Rotura (Método *Grab*)

Como se indicó anteriormente los no tejidos simples no presentaron la resistencia necesaria para ser testados. De entre los no tejidos sándwich desarrollados sólo las muestras reforzadas por punzonado y prensado demostraron una estructura suficientemente consolidada para el test de resistencia. Todos los no tejidos compuestos presentaron una estructura consolidada, sujeto a la valoración del comportamiento mecánico. En las secciones siguientes se presentan y se discuten los resultados obtenidos.

##### 4.2.1.1. No tejidos sándwich 100 % capoc

Los valores medios de resistencia y extensión máxima a la rotura de los no tejidos sándwich prensados en una y en dos pasadas son presentados en la Tabla 21. Las curvas de fuerza-alargamiento están ilustradas en la Figura 69.

Tabla 21. Resistencia y extensión máxima a la rotura de los no tejidos sándwich una y dos veces prensados 100 % capoc

Referencia NT		Resistencia a la rotura (N)		Extensión a la rotura (%)	
		MD	CD	MD	CD
Prensado 1 vez	mw1p24	29,80	26,40	5,64	3,95
	mw1p36	23,60	11,50	5,78	6,18
Prensado 2 veces	mw2p25	40,50	37,63	6,05	8,21
	mw2p37	26,16	34,87	7,76	6,13

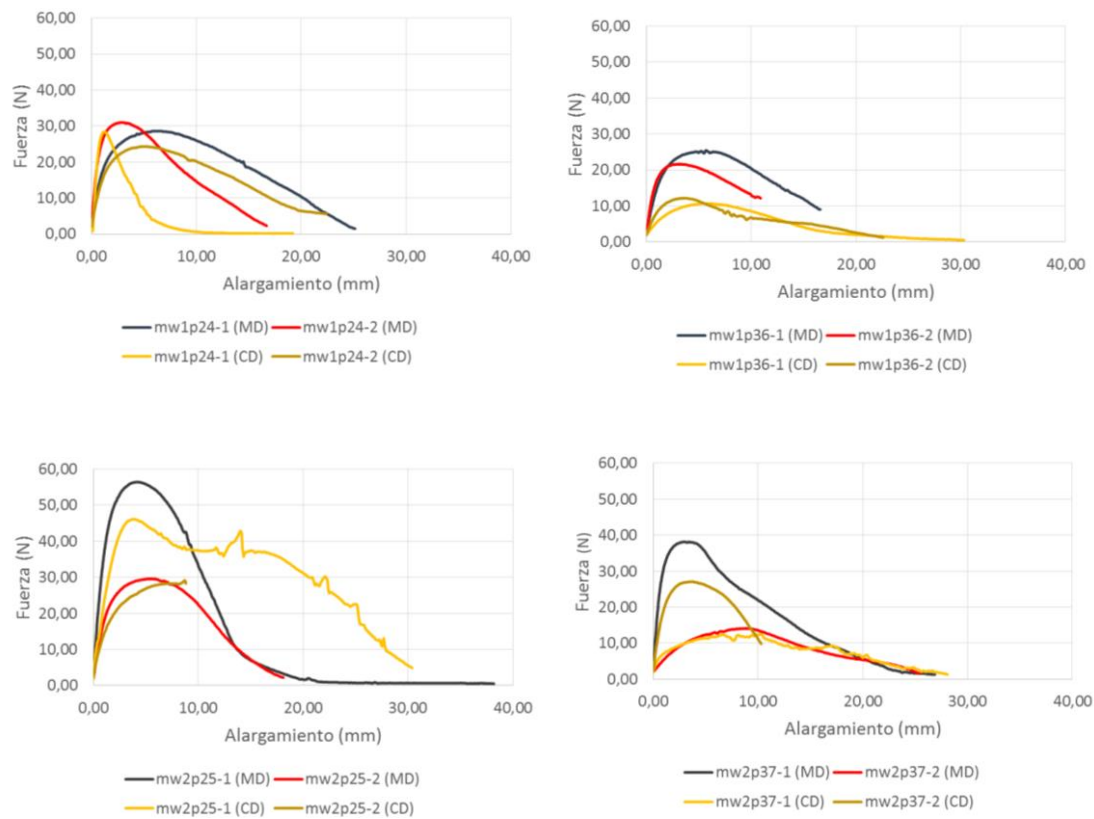


Figura 69. Curva de fuerza-alargamiento de los no tejidos sándwich punzonados una vez prensados (encima) y dos veces prensados 100 % capoc (abajo)

De forma general, es posible verificar una tendencia semejante en la que se constató en los no tejidos de capoc, en la relación entre las características geométricas y estructurales (en particular, la masa por unidad área) y la resistencia mecánica. El gráfico de la Figura 70 ilustra este comportamiento. Como se puede constatar, la resistencia mecánica aumenta con la masa por unidad de área del no tejido. Comparando los no tejidos sándwich una vez prensados mw1p24 y mw1p36, cuya masa por unidad de área presenta una variación de cerca del 17 %, se verifica que la fuerza de rotura tiene una variación semejante (cerca 16 %), obteniéndose en el no tejido sándwich mw1p24 una resistencia a la rotura más elevada, siendo esto consecuencia de una mayor masa por unidad de área. Lo mismo sucede en los no tejidos sándwich dos veces prensados mw2p25 y mw2p37. Sin embargo, en este caso la resistencia a la rotura del no tejido mw2p25,

con una masa por unidad de área de cerca del 22 % superior a la del no tejido mw2p37, prácticamente se duplicó.

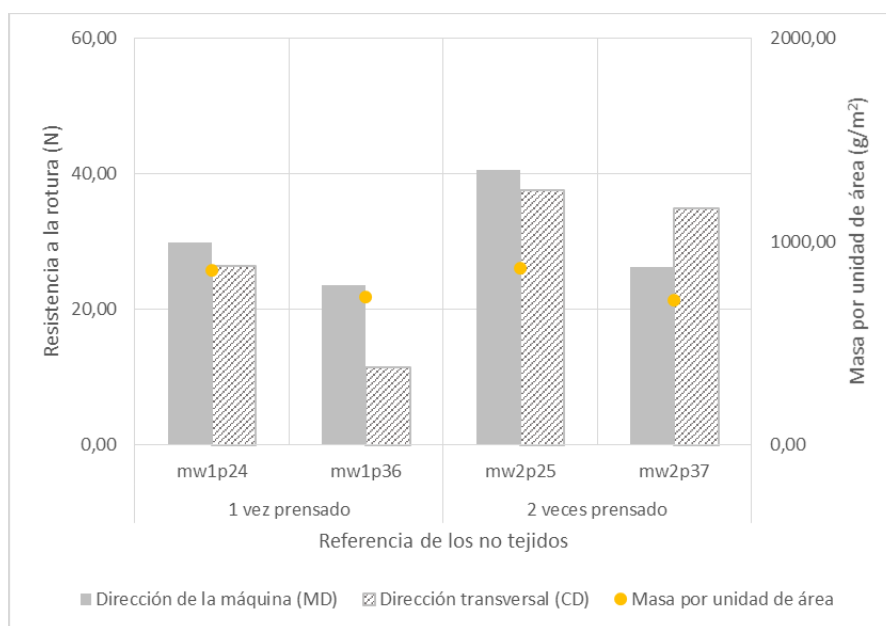


Figura 70. Resistencia a la rotura (N) en relación con la masa por unidad de área (g/m<sup>2</sup>) de los no tejidos sándwich una vez y dos veces prensados

Relativamente en el efecto de las variables del proceso de formación, se verifica que el aumento del número de pasadas en la prensa condujo a un aumento de la resistencia a la tracción.

#### 4.2.1.2. No tejidos compuestos 100 % capoc

Los valores medios de resistencia y extensión máxima a la rotura determinados en la dirección de la máquina (MD) y (CD) de los no tejidos compuestos de capoc, se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22. Resistencia y extensión máxima a la rotura de los no tejidos compuestos 100 % capoc formados por dos capas de no tejidos sándwich punzonados sobrepuestos longitudinalmente y cruzado

Nº capas (orientación de las capas)	Prensado	Tipo de no tejido	Resistencia a la rotura (N)		Extensión a la rotura (%)	
			MD	CD	MD	CD
Compuesto/2 ↓ ↓	1 pasada	mc1	475,50	-	6,97	-
		mc11d	990,00	-	1,10	-
		mc31d	-	476,50	-	0,76
	2 pasadas	mc22e	430,50	-	0,80	-
		mc42e	-	506,00	-	0,76
Compuesto/2 ↓ →	1 pasada	mc51d	903,00	-	0,97	-
	2 pasadas	mc62e	521,00	-	0,91	-
Compuesto/3 ↓ ↓	1 pasada	mc3	359,80	-	8,00	-
	1 pasada (reposo con presión)	mcp3	754,00	-	5,41	-
Compuesto/4 ↓ ↓	1 pasada	mc4	444,15	-	8,86	-

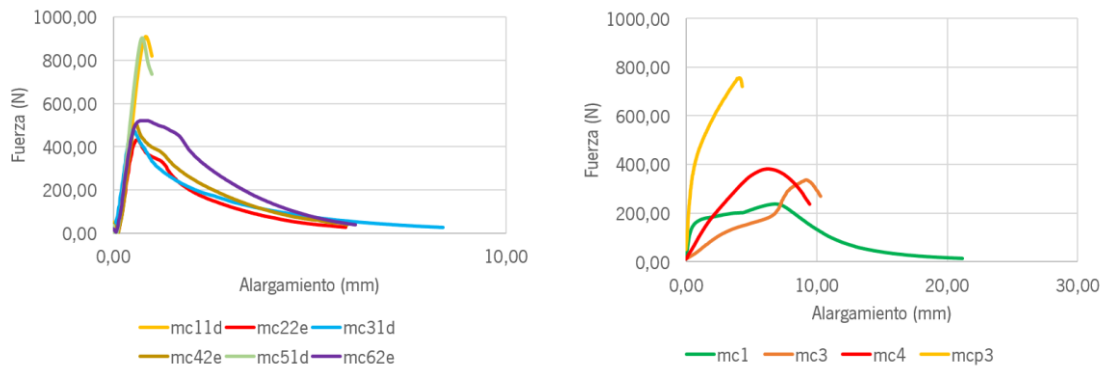


Figura 71. Curvas de fuerza-alargamiento de los no tejidos compuestos 100 % capoc desarrollados: no tejidos compuestos de dos capas prensados una vez (d) y dos veces (e) (izquierda). No tejidos compuestos de 3 y 4 capas con estabilización sin presión y con presión (p) (derecha)

De entre los no tejidos compuestos obtenidos por sobreposición longitudinal y cruzado (MD), las estructuras constituidas por 2 capas prensadas sólo una vez son las que presentan una resistencia media más elevada. La estabilización sobre presión en la muestra mcp3, condujo a un aumento significativo de la resistencia con respecto a la estabilización sin presión de la muestra mc3. En ambos casos, la rigidez de los no tejidos aumentó, como se puede constatar en las curvas de fuerza-alargamiento de la Figura 71. El gráfico de la Figura 72 ilustra el efecto del aumento del número de capas, número de pasadas en la prensa y de la estabilización sobre presión en el comportamiento a la tracción de los no tejidos compuestos 100 % capoc.

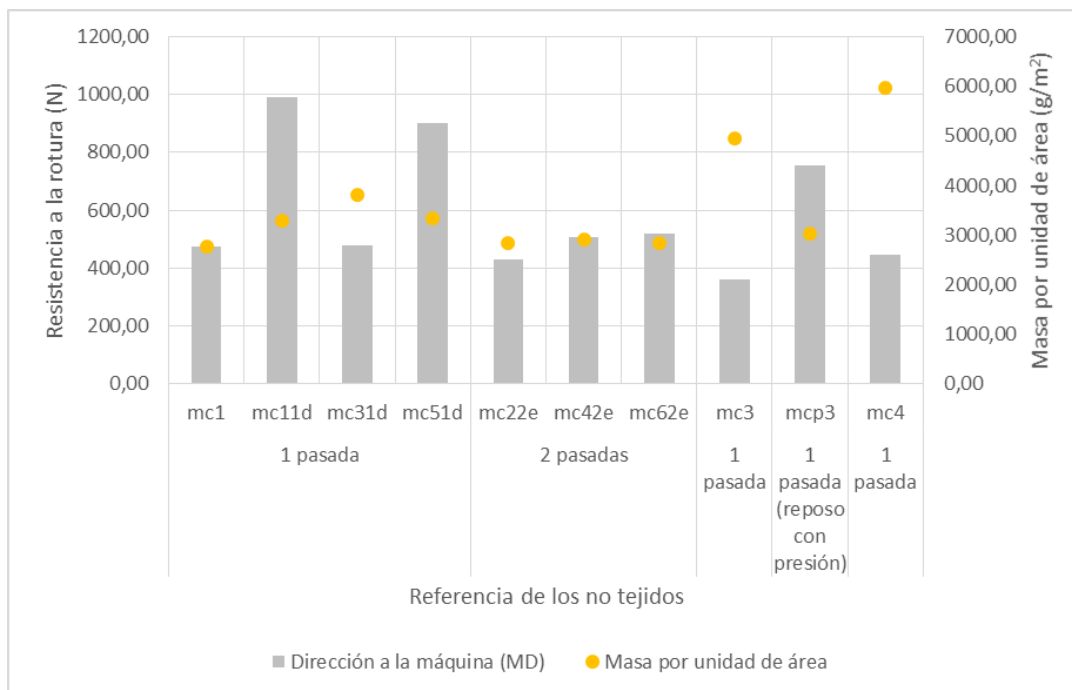


Figura 72. Resistencia a la rotura (N) en relación a la masa por unidad de área ( $g/m^2$ ) de los no tejidos compuestos 100 % capoc

El efecto de la dirección de la colocación (sobreposición) de las capas en la formación de los tejidos compuestos fue también analizado en las propiedades mecánicas. En este estudio se utilizaron muestras producidas con menor masa por unidad de área.

Tabla 23. Resistencia y extensión máxima a la rotura de los no tejidos compuestos 100 % capoc

N° capas (orientación de las capas)	Prensado	Tipo de no tejido	Resistencia a la rotura (N)		Extensión a la rotura (%)	
			MD	CD	MD	CD
Compuesto/2 ↓↓	1 pasada	mc1d	185,30	-	2,74	-
		mc3d	-	130,00	-	2,82
	2 pasadas	mc2e	180,20	-	2,67	-
		mc4e	-	84,40	-	2,79
Compuesto/2 ↓→	1 pasada	mc5d	115,05	-	2,16	-
		mc7d	-	58,30	-	3,13
	2 pasadas	mc6e	196,60	-	2,20	-
		mc8e	-	85,85	-	2,08

Los valores medios de resistencia y extensión máxima a la rotura, de los no tejidos compuestos de capoc se muestran en la Tabla 23. Las curvas de fuerza-alargamiento están ilustradas en la Figura 73. En el Anexo C (Tablas C1 y C2) se presentan las restantes medidas de dispersión.

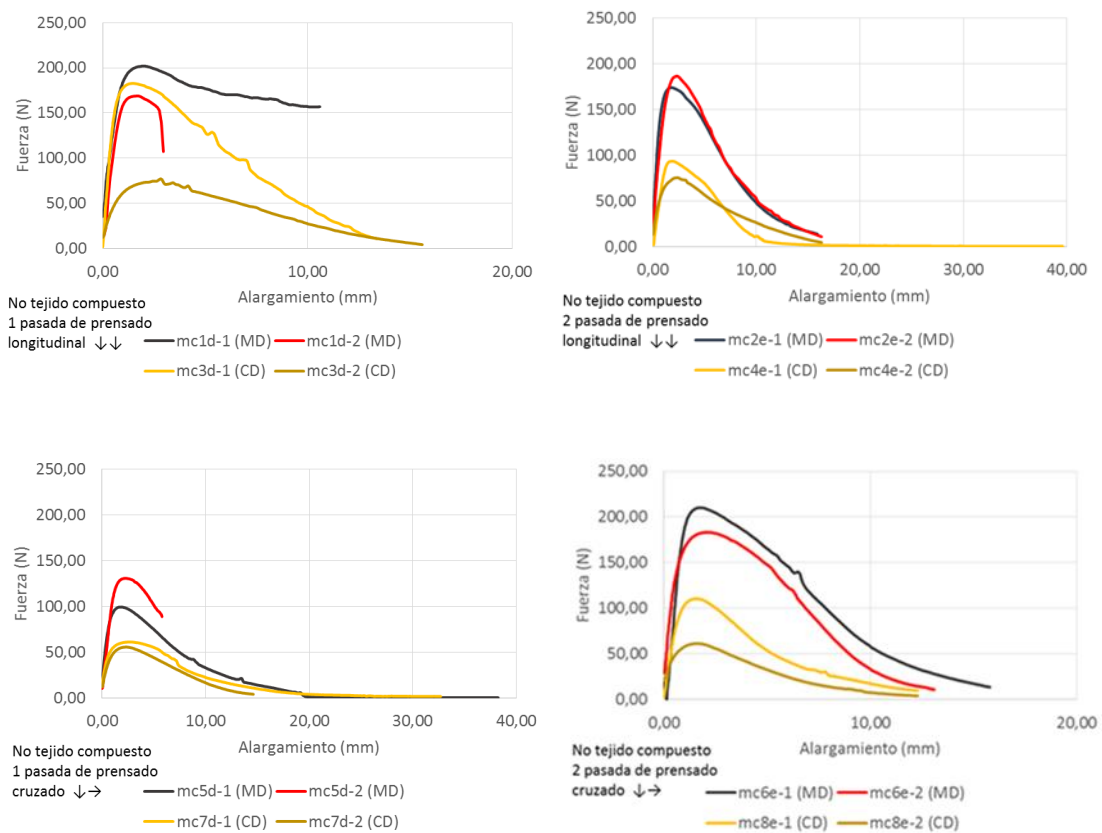


Figura 73. Curva de fuerza-alargamiento de los no tejidos compuestos (una y dos veces prensados) de dos superposiciones (diferentes orientaciones) de los no tejidos sándwich de fibras de capoc en la dirección de la máquina (MD) y dirección transversal a la máquina (CD)

Los no tejidos compuestos mc1d y mc2e fueron realizados con la misma orientación con la superposición de dos no tejidos sándwich prensados por una cara (derecho (d)) y dos caras (envés (e)) no existiendo grandes diferencias en la masa por unidad de área con un 11,78 % (1604,44-1793,50 g/m<sup>2</sup>) y con una resistencia a la rotura de un 2,8 % en MD (185,30-180,20 N).

Los no tejidos mc3d y mc4e fueron realizados con la misma orientación en la superposición de dos no tejidos sándwich prensados por una cara (derecho (d)) y dos caras (envés (e)) no existiendo grandes diferencias en la masa por unidad de área 0,31 % (1659,47-1654,41 g/m<sup>2</sup>), en la resistencia a la rotura se obtuvo una diferencia del 54,02 % en CD (130-84,40 N).

Los no tejidos mc5d y mc6e fueron realizados con la misma orientación en la superposición de dos no tejidos sándwich prensados por una cara (derecho (d)) y dos caras (envés (e)) con una variación muy baja en su masa por unidad de área siendo este de un 6,1 % (1616,44-1523,34 g/m<sup>2</sup>) y existiendo una gran diferencia en su resistencia a la rotura con un 70,88 % en MD (115,05-196,60 N).

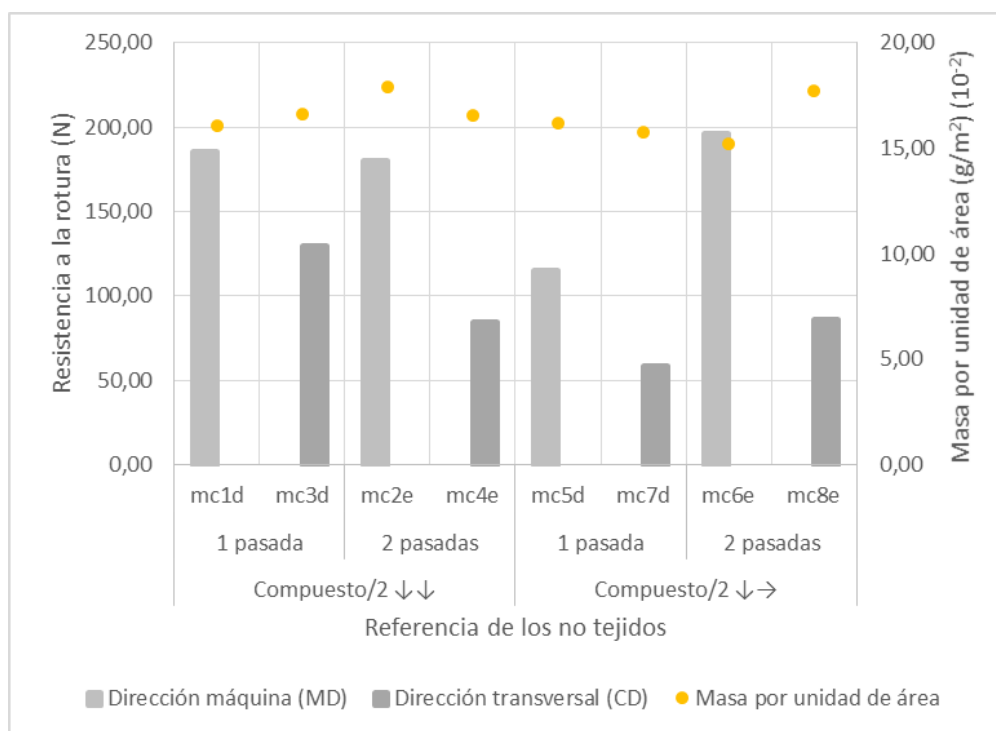


Figura 74. Resistencia a la rotura (N) en relación con la masa por unidad de área (g/m<sup>2</sup>) de los no tejidos compuestos de fibras de capoc de dos superposiciones (diferentes orientaciones) de los no tejidos sándwich de fibras de capoc

Los no tejidos compuestos mc7d y mc8e fueron realizados con la misma orientación en la superposición de dos no tejidos sándwich prensados por una cara (derecho (d)) y dos caras (envés

(e) con una variación en su masa por unidad de área de un 12,53 % (1575,12-1772,54 g/m<sup>2</sup>) y con una variación en la resistencia a la rotura de un 32,09 % en CD (58,30-85,85 N).

#### 4.2.2. Resistencia a la punción

Los ensayos de la resistencia a la perforación estática y extensión fueron realizados sólo sobre los no tejidos compuestos 100 % capoc de 2, 3 y 4 capas, utilizando el método indicado en el capítulo 3. En la Tabla 24 se presentan los valores medios de la resistencia máxima a la perforación y alargamiento. En la Figura 75 se muestran las curvas de fuerza-alargamiento obtenidos en los ensayos de las cuatro probetas por cada muestra del no tejido.

Tabla 24. Resistencia a la perforación en relación con el alargamiento de los no tejidos compuestos 100 % capoc de dos, tres y cuatro capas

Nº capas (orientación de las capas)	Prensado	Tipo de no tejido	Ensayos del no tejido	Resistencia a la perforación (N)	Alargamiento (mm)
Compuesto/2 ↓↓	1 pasada	mc1d	mc1da	152,20	27,74
			mc1db	146,99	26,60
Compuesto/3 ↓↓	1 pasada	mc3	mc3a	248,50	22,91
			mc3b	208,55	27,87
Compuesto/4 ↓↓	1 pasada	mc4	mc4a	202,15	23,25
			mc4b	200,70	19,52

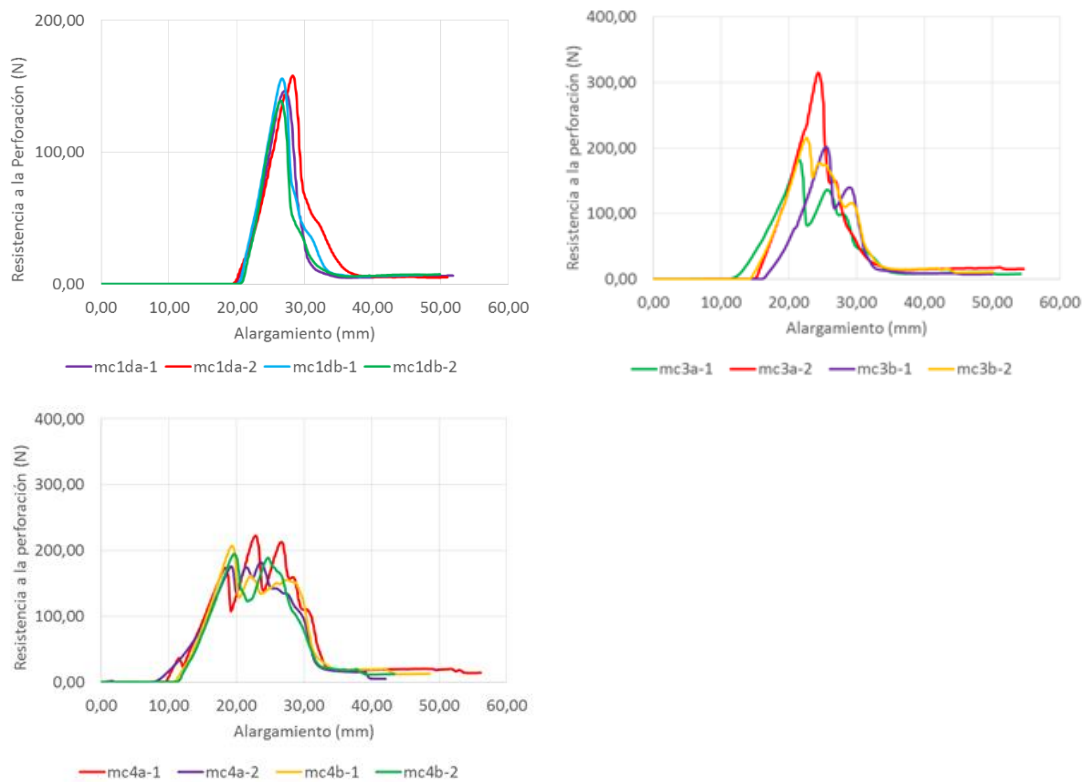


Figura 75. Curvas de penetración-alargamiento de los no tejidos compuestos de dos (arriba a la izquierda), tres (arriba a la derecha) y cuatro (debajo a la izquierda) capas de no tejidos sándwich 100 % capoc



En esta estructura de superposición de 2 capas, las cuatro curvas de perforación presentan un comportamiento muy uniforme (Figura 75), indicativo de una posible mayor homogeneidad de la distribución de fibras en la estructura. Analizando los resultados, se verifica que la resistencia máxima a la penetración más elevada es conseguida con la estructura del no tejido compuesto constituido por 3 capas, siendo la resistencia más baja en el no tejido compuesto por 2 capas.

#### **4.2.3. Propiedades térmicas y transferencia de aire**

Se analizaron las propiedades térmicas y de transferencia al aire de los no tejidos simples sándwich y compuestos 100 % capoc.

##### **4.2.3.1. Propiedades térmicas de los no tejidos simples**

Dada la variabilidad de las propiedades geométricas y estructurales de los no tejidos simples se determinó para un nivel de confianza de 99 % los límites superior e inferior de los diferentes parámetros térmicos. El valor medio de la conductividad térmica se sitúa en el intervalo de 52,79-55,00 ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) y el valor medio de la resistencia térmica varía entre 158,70-165,25 ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ ) (Figura 76). La media de la absortividad térmica se sitúa en el intervalo de 44,38-51,12 ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}\text{S}^{1/2}$ ) y el flujo térmico varía entre 284,58-337,75 ( $\times 10^{-3}$ ) [ $\text{W m}^{-2}$ ] (Figura 77).

En la Tabla 25 se muestran las propiedades térmicas de los no tejidos simples de fibras de capoc.

Tala 25. ((1) y (2)) Propiedades térmicas de los no tejidos simples de fibras de capoc

(1) Propiedades térmicas de los no tejidos simples de fibras de capoc					
Ref. NT ms	Referencia no tejidos	Conductividad Térmica ( $\lambda$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )	Resistencia Térmica [R] ( $\times 10^3$ ) ( $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ )	Absortividad Térmica (b) ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}\text{S}^{1/2}$ )	Flujo Térmico ( $q_{\text{máx}}$ ) ( $10^{-3}$ ) [ $\text{W m}^{-2}$ ]
ms10	ms10-1	51,28	156,20	39,66	251,80
	ms10-2	53,96	151,40	43,40	286,00
	ms10-3	51,64	145,60	39,88	280,60
	ms10-4	50,64	143,80	38,22	246,80
ms11	ms11-1	55,90	160,60	43,80	290,00
	ms11-2	50,50	142,20	38,18	277,40
	ms11-3	54,18	157,20	44,38	286,60
	ms11-4	52,74	141,80	41,90	289,00
ms12	ms12-1	51,32	147,20	37,58	258,80
	ms12-2	54,42	144,40	39,56	305,40
	ms12-3	60,88	162,00	45,78	290,80
	ms12-4	55,62	152,60	42,36	272,00
ms15	ms15-1	58,70	159,80	38,58	261,80
	ms15-2	62,04	173,20	35,82	251,80
	ms15-3	61,24	164,40	45,78	303,00
	ms15-4	60,48	171,20	43,10	261,60
ms16	ms16-1	60,40	187,60	40,98	291,00
	ms16-2	58,36	172,80	42,30	284,80
	ms16-3	58,92	175,20	36,18	251,00
	ms16-4	60,74	179,60	41,34	260,60
ms17	ms17-1	52,26	164,00	34,50	216,80
	ms17-2	55,14	165,40	35,52	230,60
	ms17-3	56,16	164,20	41,98	251,60
	ms17-4	57,58	173,20	42,72	249,00
ms18	ms18-1	53,48	165,20	41,82	298,00
	ms18-2	54,70	167,60	44,18	264,60
	ms18-3	55,06	166,60	36,90	212,40
	ms18-4	57,72	166,60	41,14	250,40
ms19	ms19-1	55,08	161,80	44,50	254,40
	ms19-2	58,02	162,80	46,62	251,60
	ms19-3	54,90	157,20	45,74	255,20
	ms19-4	58,20	163,80	47,18	266,00

(2) Propiedades térmicas de los no tejidos simples de fibras de capoc					
Ref. NT ms	Referencia no tejidos	Conductividad Térmica ( $\lambda$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )	Resistencia Térmica [R] ( $\times 10^3$ ) ( $m^2KW^{-1}$ )	Absortividad Térmica (b) ( $W m^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ )	Flujo Térmico ( $q_{m\acute{a}x}$ ) ( $10^{-3}$ ) [ $W m^{-2}$ ]
ms20	ms20-1	51,52	151,20	39,02	253,20
	ms20-2	52,16	153,00	40,92	272,80
	ms20-3	53,04	151,20	42,06	289,80
	ms20-4	49,40	152,20	38,56	259,60
ms21	ms21-1	53,70	158,40	45,64	253,20
	ms21-2	52,80	152,40	47,02	288,80
	ms21-3	51,06	153,60	43,04	255,00
	ms21-4	55,40	160,20	47,20	276,20
ms22	ms22-1	51,60	160,00	62,12	471,00
	ms22-2	51,24	156,40	65,78	486,20
	ms22-3	50,14	162,00	60,30	454,00
	ms22-4	54,26	166,20	74,60	524,60
ms23	ms23-1	51,02	157,20	66,38	472,80
	ms23-2	48,40	150,80	69,18	481,60
	ms23-3	50,46	160,60	67,56	481,40
	ms23-4	50,02	153,00	62,04	444,00
ms24	ms24-1	55,96	178,60	39,34	262,00
	ms24-2	54,62	174,40	39,46	234,60
	ms24-3	51,86	171,20	41,20	262,40
	ms24-4	52,96	174,20	46,06	273,80
ms25	ms25-1	53,84	170,60	57,58	373,60
	ms25-2	53,20	181,00	49,94	283,80
	ms25-3	51,46	173,80	47,08	280,00
	ms25-4	51,20	179,20	48,76	260,00
ms36	ms36-1	51,78	162,20	59,94	378,20
	ms36-2	51,26	171,60	58,22	352,80
	ms36-3	49,96	160,80	58,06	358,40
	ms36-4	49,48	164,20	52,42	364,80
ms37	ms37-1	50,22	162,80	59,74	386,80
	ms37-2	52,56	162,80	71,50	492,80
	ms37-3	50,62	154,40	66,62	430,60
	ms37-4	50,00	158,80	67,02	454,20

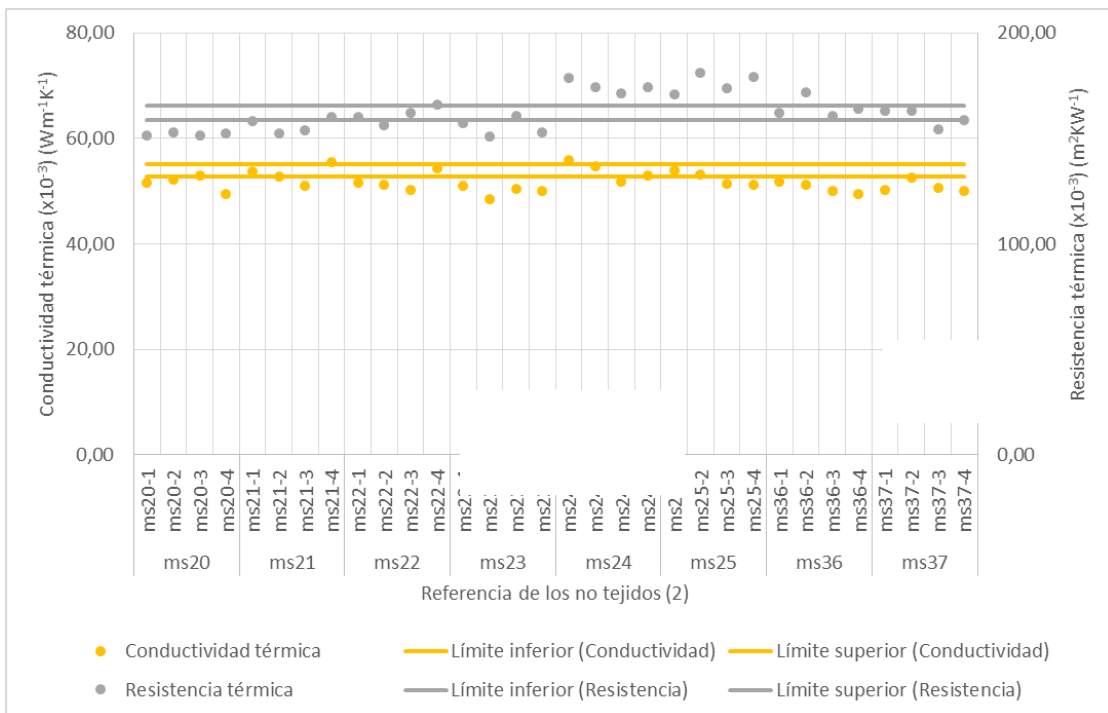
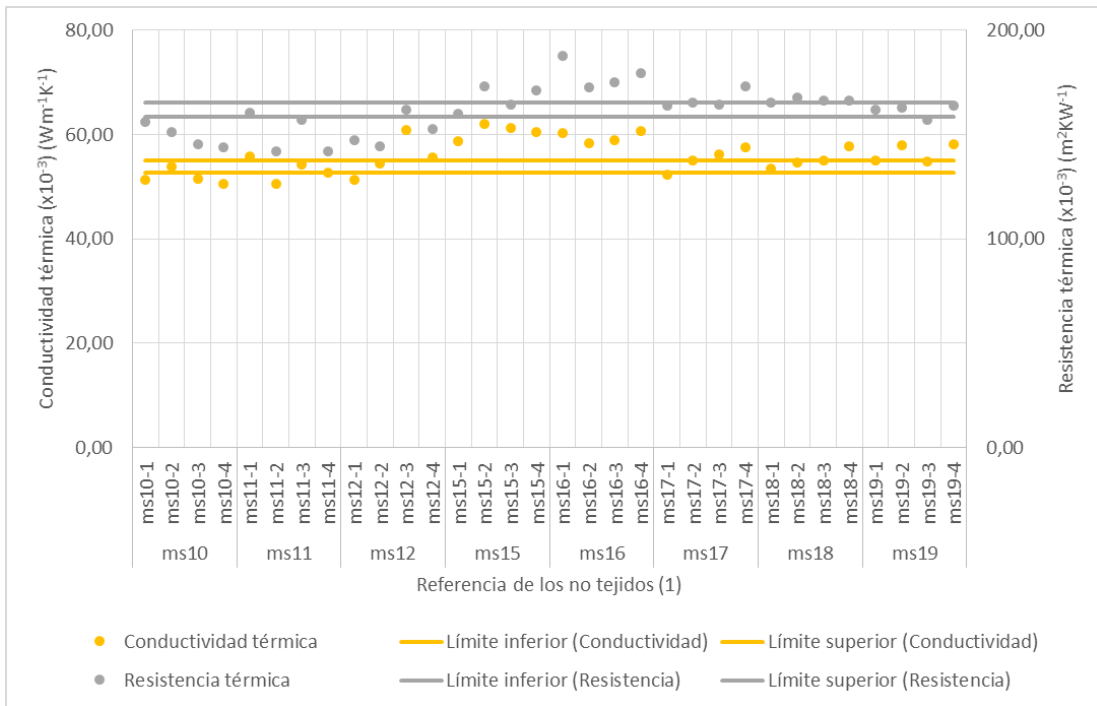


Figura 76. ((1) y (2)) Intervalo de confianza entre la conductividad térmica y resistencia térmica de los no tejidos simples de fibras de capoc

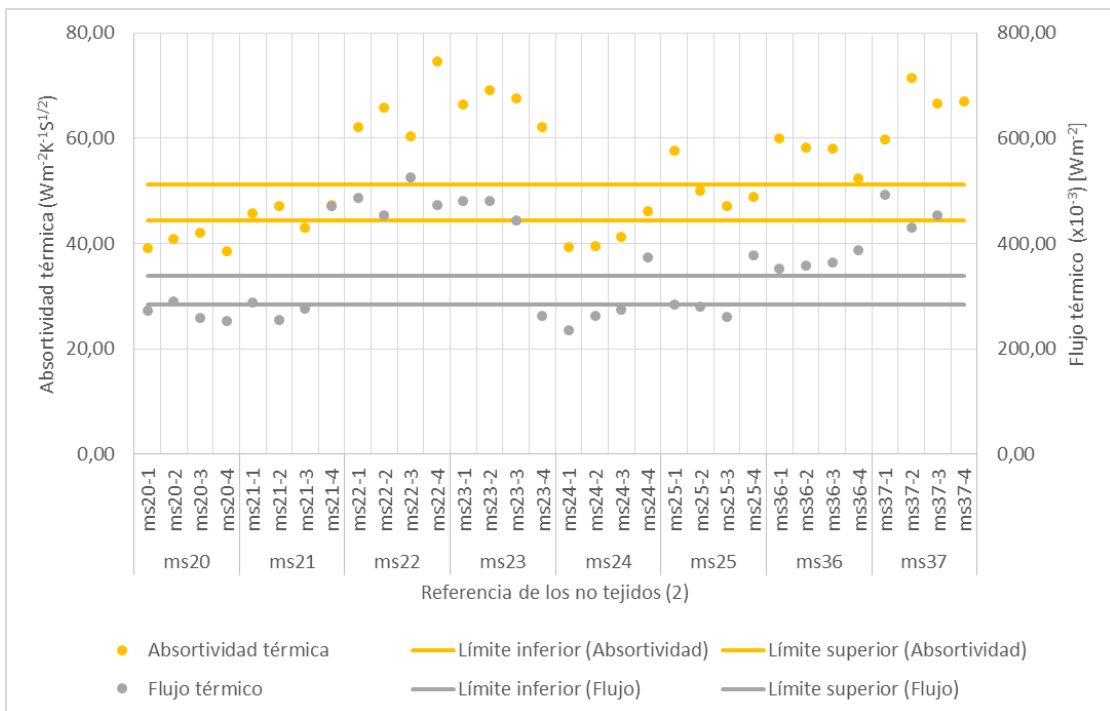
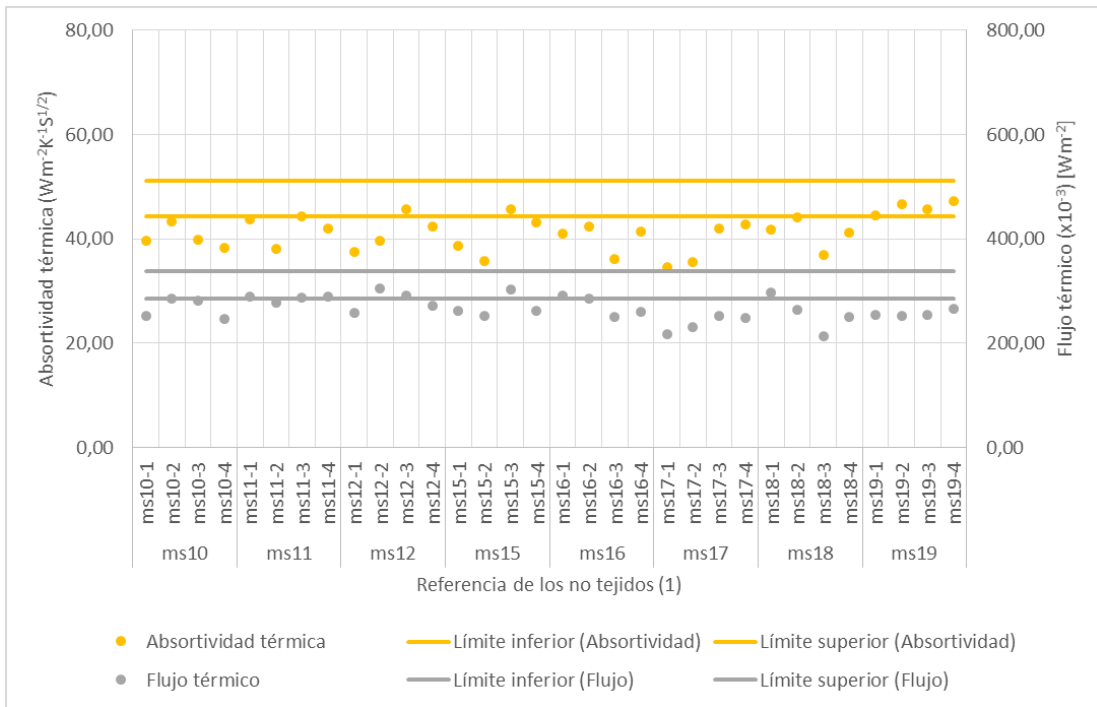


Figura 77. ((1) y (2)) Intervalo de confianza entre la absorptividad térmica y flujo térmico de los no tejidos simples de fibras de capoc

Las Figuras 78 y 79 ilustran la relación entre las propiedades geométricas y estructurales y el comportamiento térmico de los no tejidos simples desarrollados, considerando el valor medio de los diferentes parámetros.

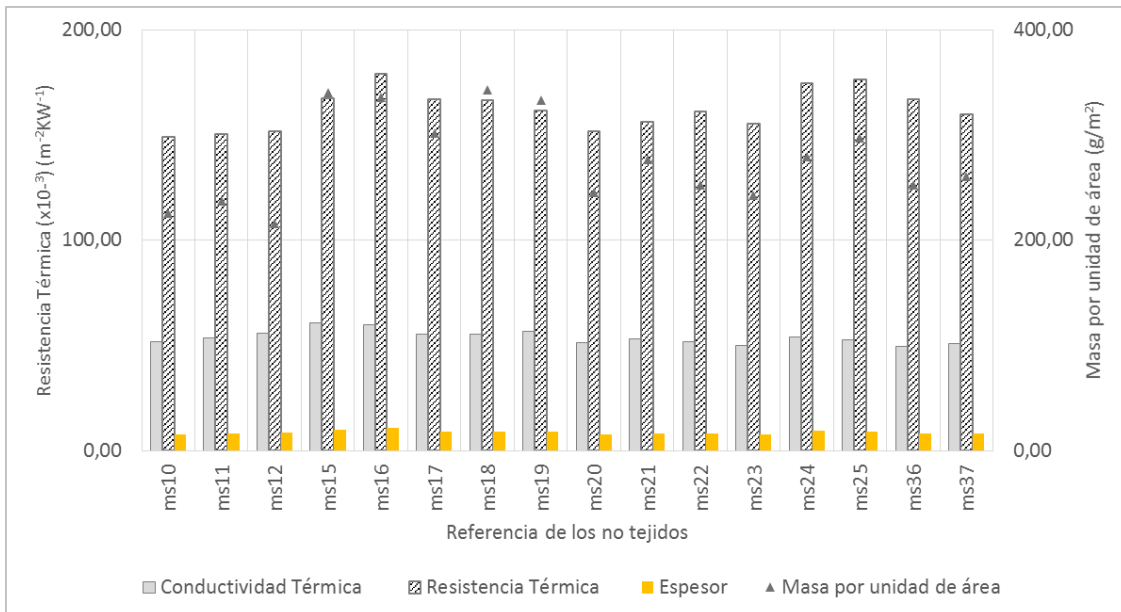


Figura 78. Media de la conductividad térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ ) y resistencia térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ ) en relación con la masa por unidad de área ( $g/m^2$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos simples de fibras de capoc

Considerando los valores de las medias de las muestras que presentaron la mayor (ms18) y menor (ms12) masa por unidad de área y espesor, es posible constatar que para una variación de 37,17 % en la masa por unidad de área y 8,74 % en el espesor, se obtuvo una diferencia en la resistencia térmica de un 9,86 % ( $166,50-151,55 (\times 10^{-3}) (m^2KW^{-1})$ ) y una conductividad térmica que tan sólo varía en un 0,579 % ( $55,24-55,56 (\times 10^{-3}) (Wm^{-1}K^{-1})$ ) (Figura 78).

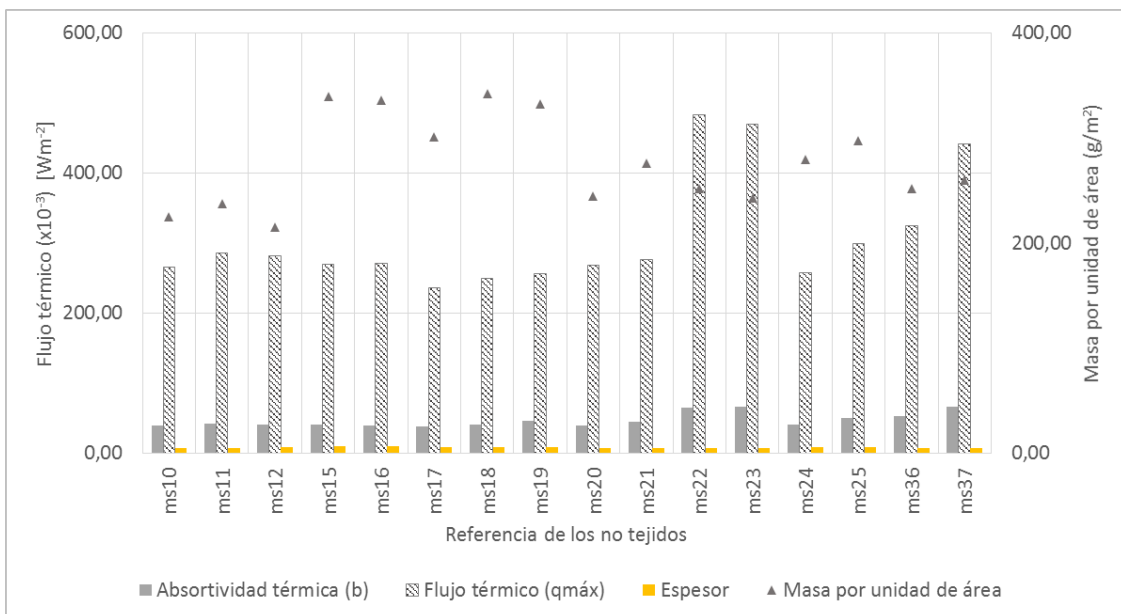


Figura 79. Absortividad térmica (b) ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ ) y flujo térmico ( $q_{max}$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ] en relación con la masa por unidad de área ( $g/m^2$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos simples de fibras de capoc

Relativamente, en la absorptividad térmica y el flujo térmico (Figura 79) se puede verificar que el no tejido con mayor masa por unidad de área y mayor espesor (ms18) resultó tener menor flujo térmico (12,63 % ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ]) y una reducción no significativa en la absorptividad térmica ( $0,756 Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ )).

#### 4.2.3.2. Propiedades térmicas de los no tejidos sándwich

La Tabla 26 presenta los valores medios de los parámetros térmicos relativos a los no tejidos sándwich punzonados 100 % capoc.

Tabla 26. Propiedades térmicas de los no tejidos sándwich de fibras de capoc

Tipo de no tejido /N° capas	Ref. No tejido	Conductividad Térmica ( $\lambda$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )	Resistencia Térmica [R] ( $\times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ )	Absorptividad Térmica (b) ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ )	Flujo Térmico ( $q_{m\acute{a}x}$ ) ( $10^{-3}$ ) [ $W m^{-2}$ ]	
Sándwich punzonado/4	mw10	71,88	213,60	33,04	274,00	
	mw11	69,78	194,80	50,66	242,20	
	mw12	71,18	214,40	39,02	246,80	
	mw15	94,08	244,40	19,40	212,80	
	mw16	103,18	237,80	13,26	204,00	
	mw17	79,60	249,20	31,04	287,80	
	mw18	71,50	248,00	28,68	179,00	
	mw19	94,04	218,40	29,18	247,60	
	mw20	70,12	231,00	33,18	223,20	
	mw21	75,70	216,60	32,68	242,60	
	mw22	82,32	224,40	33,06	262,80	
	mw23	73,46	223,60	35,48	220,00	
	mw24	85,24	226,20	38,80	279,40	
	mw25	83,84	232,40	50,76	361,40	
	mw36	72,30	218,60	50,38	283,40	
mw37	68,08	215,80	58,34	286,00		
Sándwich punzonado-prensado/4	1 vez prensado	mw1p24	57,54	118,20	131,20	781,80
		mw1p36	53,04	98,08	132,40	877,20
	2 veces prensado	mw2p25	61,82	101,06	159,40	1186,00
		mw2p37	55,28	92,56	163,60	1252,00
Sándwich punzonado-prensado-punzonado/ 4	m2w10	53,66	153,60	49,46	272,40	
	m2w15	57,58	191,60	38,60	282,80	

Analizando la Figura 80 es posible verificar que la resistencia térmica de los no tejidos punzonados es significativamente superior (del orden de 120-130 %) en los no tejidos prensados con una o dos pasadas. La reducción del espesor es la principal causa para este efecto.

Por otro lado, la doble pasada en la prensa no alteró significativamente la resistencia térmica de los no tejidos. La resistencia térmica de los no tejidos sándwich punzonados, prensados y punzonados (m2w10 y m2w15) es inferior a la de los dos no tejidos punzonados (con una media de cerca del 25 %), pero superior a los dos no tejidos punzonados y prensados, a pesar de tener

espesores semejantes. El punzonado posterior al prensado debe ser la causa del aumento de la resistencia, ya que ha aumentado los espacios de aire entre las fibras.

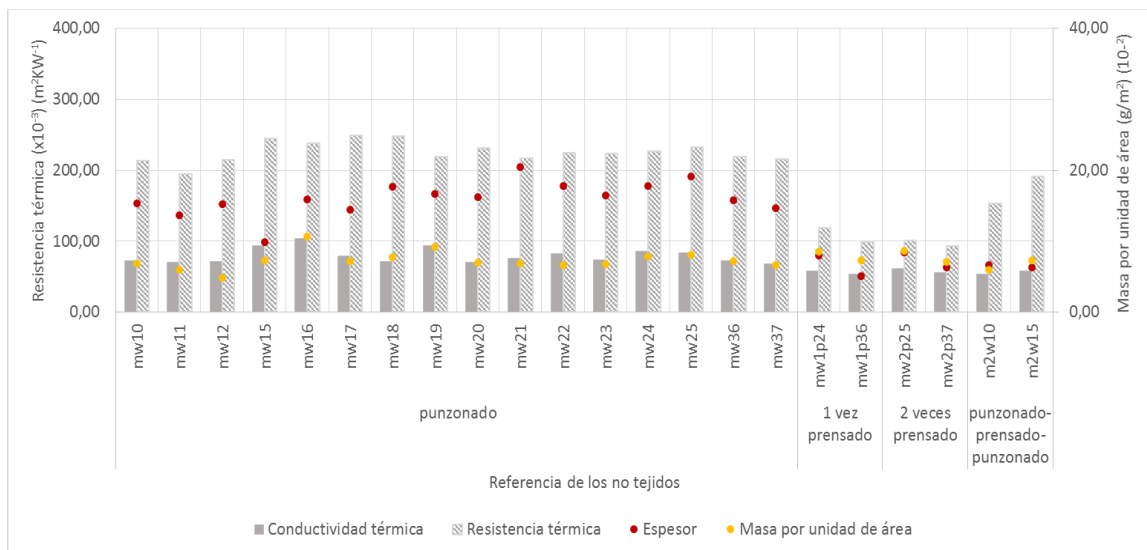


Figura 80. Conductividad ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) y resistencia térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ ) en relación con la masa por unidad de área ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos sándwich de fibras de capoc

Relativamente en el flujo térmico (Figura 81) se verifica que los no tejidos prensados (una o dos veces) son los que presentan mayores valores en este parámetro. El prensado es el factor determinante para este comportamiento, encontrándose lo esperado, ya que una vez prensados aumenta la compactación de la estructura.

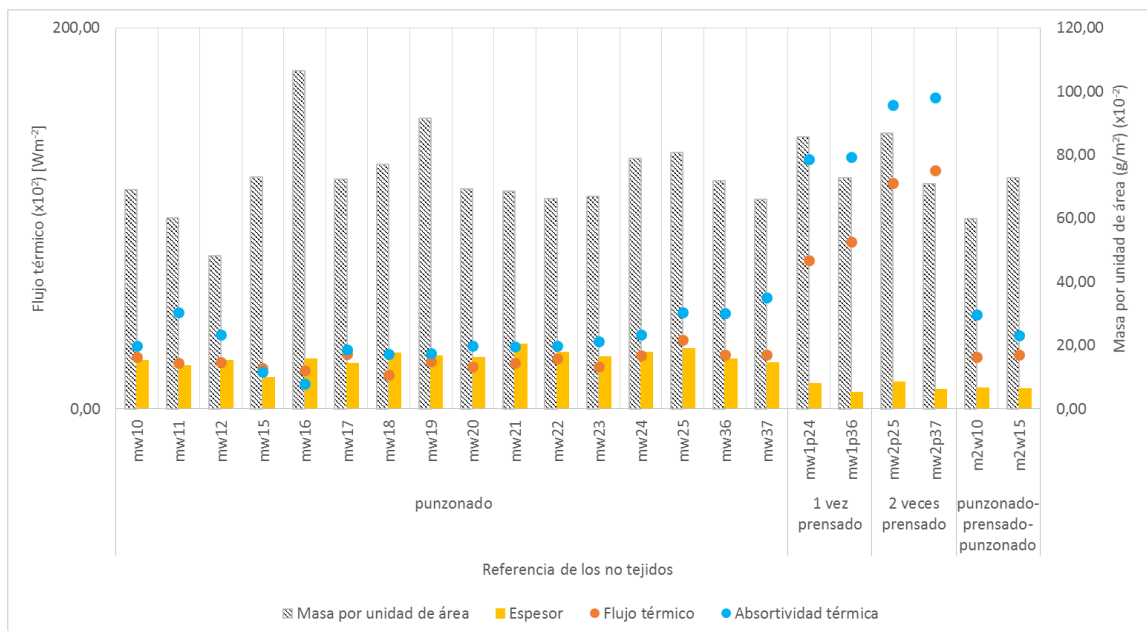


Figura 81. Absortividad térmica [ $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}\text{S}^{1/2}$ ] y flujo térmico ( $\times 10^{-3}$ ) [ $\text{Wm}^{-2}$ ] en relación con la masa por unidad de área ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos simples de fibras capoc



#### 4.2.3.3. Propiedades térmicas de los no tejidos compuestos

Las propiedades térmicas de los no tejidos compuestos de fibras de capoc son presentadas en la Tabla 27. Como se puede constatar en la Figura 82, la resistencia térmica de los no tejidos compuestos se reduce con el aumento del número de pasadas en la prensa.

Tabla 27. Propiedades térmicas y permeabilidad al aire de los no tejidos compuestos de fibras de capoc

Nº capas (orientación de las capas)	Prensado	Ref. No tejido mc	Conductividad Térmica ( $\lambda$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )	Resistencia Térmica [R] ( $\times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ )	Absortividad Térmica (b) ( $Wm^2K^{-1}S^{1/2}$ )	Flujo Térmico ( $q_{m\acute{a}x}$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ]
Compuesto/2 ↓ ↓	1 pasada	mc1d	74,26	186,30	100,54	209,90
		mc3d	64,41	176,40	181,60	328,70
	2 pasadas	mc2e	59,86	148,40	179,60	241,50
		mc4e	66,87	135,10	162,80	791,10
Compuesto/2 ↓ →	1 pasada	mc5d	79,72	173,20	309,50	505,00
		mc7d	74,04	173,60	86,38	595,80
	2 pasadas	mc6e	59,54	152,60	127,90	263,80
		mc8e	71,02	143,20	167,40	656,10

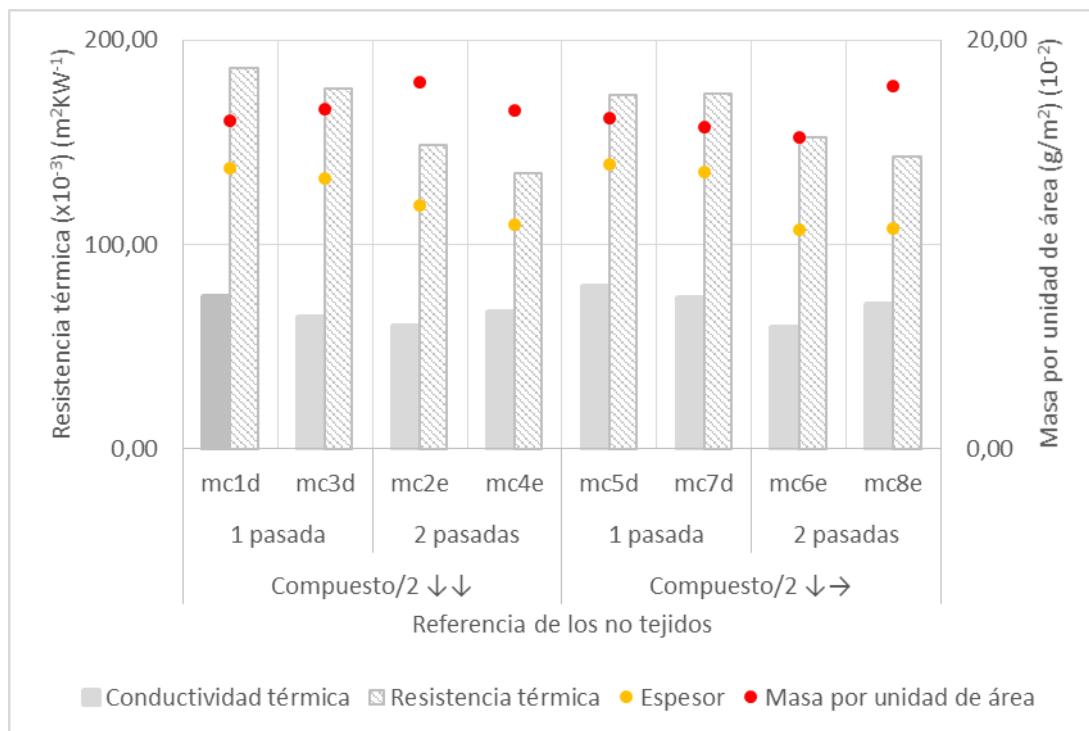


Figura 82. Conductividad térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ ) y resistencia térmica ( $\times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ ) en relación con la masa por unidad de área ( $g/m^2$ ) ( $\times 10^{-2}$ ) y el espesor (mm) de los no tejidos compuestos (diferentes orientaciones) de fibras de capoc

En la media, los no tejidos compuestos de orientación longitudinal y cruzado, prensados en una pasada, resultaron tener una resistencia térmica superior al 25 %. El modo de prensado y la orientación de las fibras influyeron relativamente en la absorptividad térmica y el flujo térmico.

La media de los resultados de los no tejidos compuestos con una pasada en la prensa y con orientación longitudinal resultaron tener una menor absorptividad térmica 21,36 % (141,07-171,20 [Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>S<sup>1/2</sup>]) y menor flujo térmico 91,72 % (269,30-516,30 (x10<sup>-3</sup>) [Wm<sup>-2</sup>]) que los no tejidos compuestos de dos pasadas de orientación longitudinal.

La media de los resultados de los no tejidos compuestos de una pasada en la prensa y con orientación cruzado, resultaron tener mayor absorptividad térmica 34,06 % (197,94-147,65 [Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>S<sup>1/2</sup>]) y mayor flujo térmico 66 % (550,40-459,95 (x10<sup>-3</sup>) [Wm<sup>-2</sup>]) que los no tejidos compuestos de dos pasadas en la prensa y con orientación cruzado.

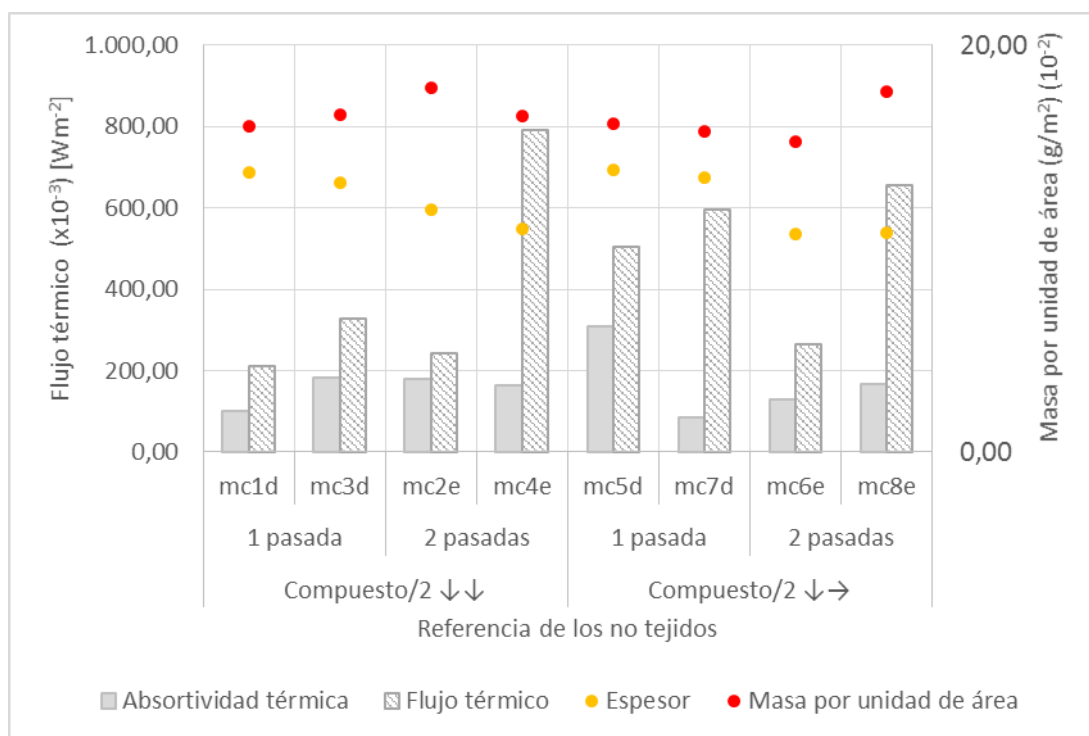


Figura 83. Absorptividad térmica (Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>S<sup>1/2</sup>) y flujo térmico (q<sub>máx</sub>) (x10<sup>-3</sup>) [Wm<sup>-2</sup>] en relación con la masa por unidad de área (g/m<sup>2</sup>) (x10<sup>-2</sup>) y el espesor (mm) de los no tejidos compuestos (diferentes orientaciones) de fibras de capoc

#### 4.2.3.4. Propiedades de transferencia de aire de los no tejidos simples, sándwich y compuestos

Las propiedades de la permeabilidad al aire de lo no tejidos simples se presentan en la Tabla 28.

Tabla 28. Propiedades de permeabilidad al aire de los no tejidos simples, sándwich y compuestos

Ref. NT ms	Referencia No tejidos	Permeabilidad al aire (l/m <sup>2</sup> /s)	Ref. NT ms	Referencia No tejidos	Permeabilidad al aire (l/m <sup>2</sup> /s)
ms10	ms10-1	51,37	ms20	ms20-1	51,30
	ms10-2	51,30		ms20-2	51,30
	ms10-3	48,57		ms20-3	51,27
	ms10-4	51,33		ms20-4	48,70
ms11	ms11-1	51,33	ms21	ms21-1	50,73
	ms11-2	51,37		ms21-2	51,37
	ms11-3	47,47		ms21-3	50,37
	ms11-4	51,27		ms21-4	42,70
ms12	ms12-1	49,67	ms22	ms22-1	51,30
	ms12-2	51,37		ms22-2	51,27
	ms12-3	41,40		ms22-3	51,23
	ms12-4	46,03		ms22-4	51,43
ms15	ms15-1	48,20	ms23	ms23-1	49,97
	ms15-2	51,30		ms23-2	47,30
	ms15-3	51,27		ms23-3	49,53
	ms15-4	35,67		ms23-4	48,63
ms16	ms16-1	45,73	ms24	ms24-1	51,37
	ms16-2	51,30		ms24-2	51,37
	ms16-3	51,37		ms24-3	51,07
	ms16-4	30,60		ms24-4	47,03
ms17	ms17-1	51,33	ms25	ms25-1	50,43
	ms17-2	51,30		ms25-2	51,27
	ms17-3	51,37		ms25-3	44,63
	ms17-4	50,50		ms25-4	51,27
ms18	ms18-1	51,30	ms36	ms36-1	49,70
	ms18-2	47,90		ms36-2	49,13
	ms18-3	42,73		ms36-3	51,30
	ms18-4	47,57		ms36-4	49,83
ms19	ms19-1	51,33	ms37	ms37-1	49,67
	ms19-2	45,90		ms37-2	51,37
	ms19-3	47,73		ms37-3	51,33
	ms19-4	42,40		ms37-4	47,67

Dada la variabilidad de las propiedades de la permeabilidad al aire de los no tejidos simples se determinó para un nivel de confianza del 99 % los límites superior e inferior. El intervalo de confianza de la variación media de la permeabilidad al aire está entre 46,42-50,25 (l/m<sup>2</sup>/s) (Figura 84).

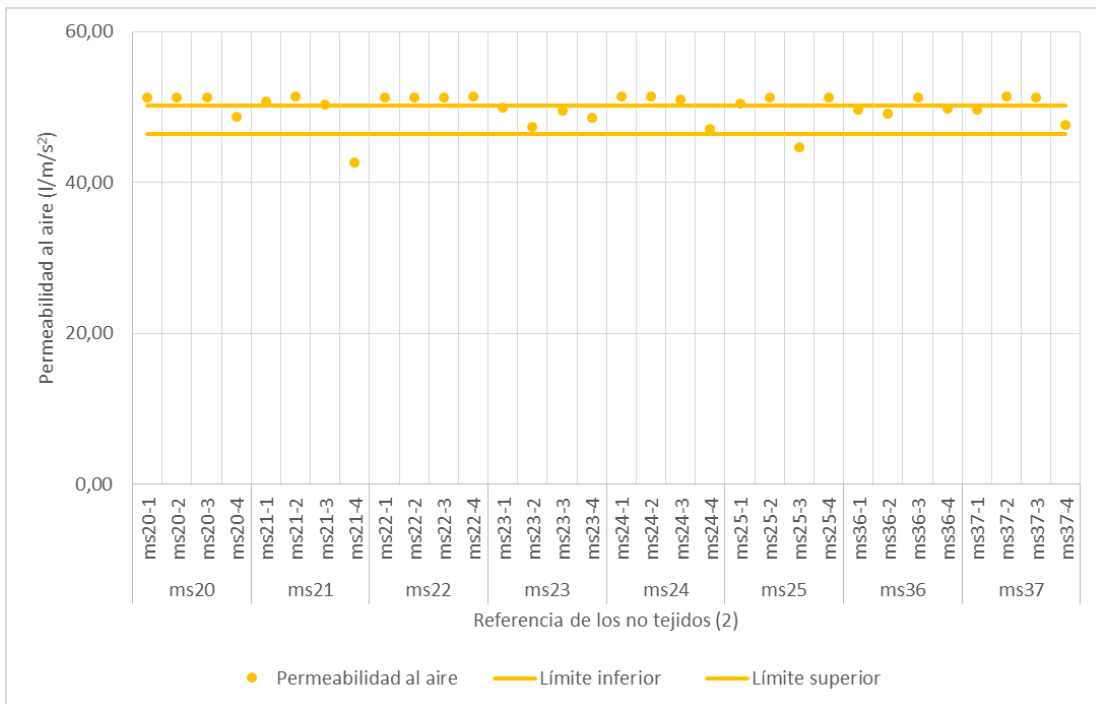
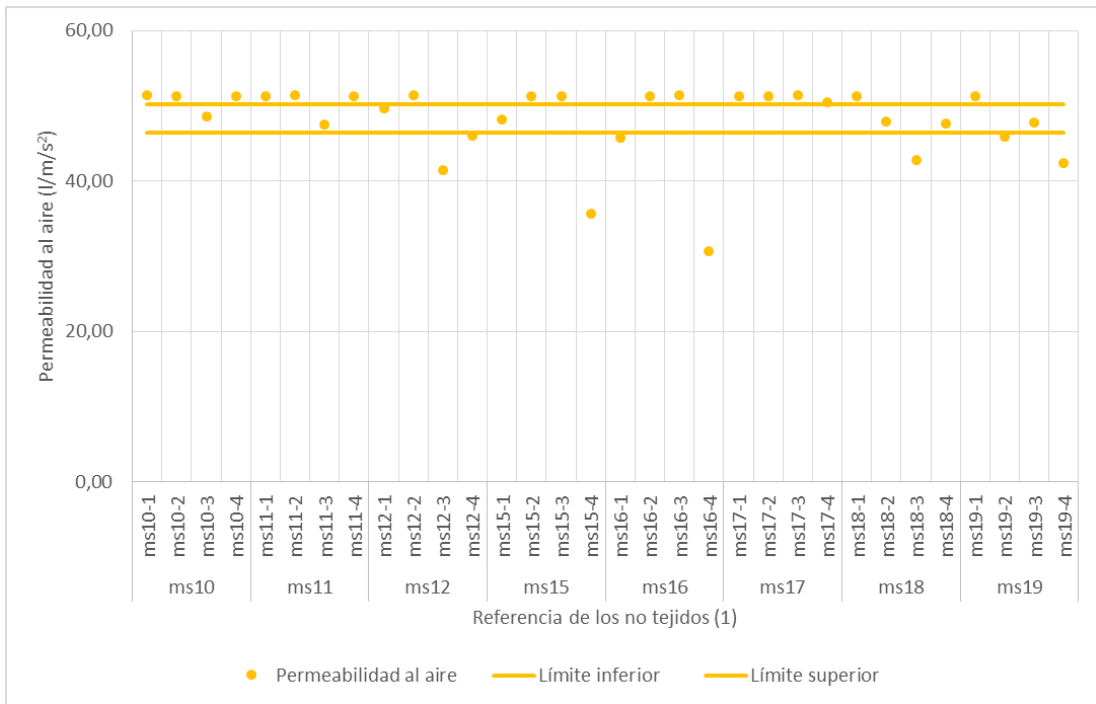


Figura 84. ((1) y (2)) Intervalo de confianza del 99 % entre la permeabilidad al aire y porosidad de los no tejidos simples de fibras de capoc

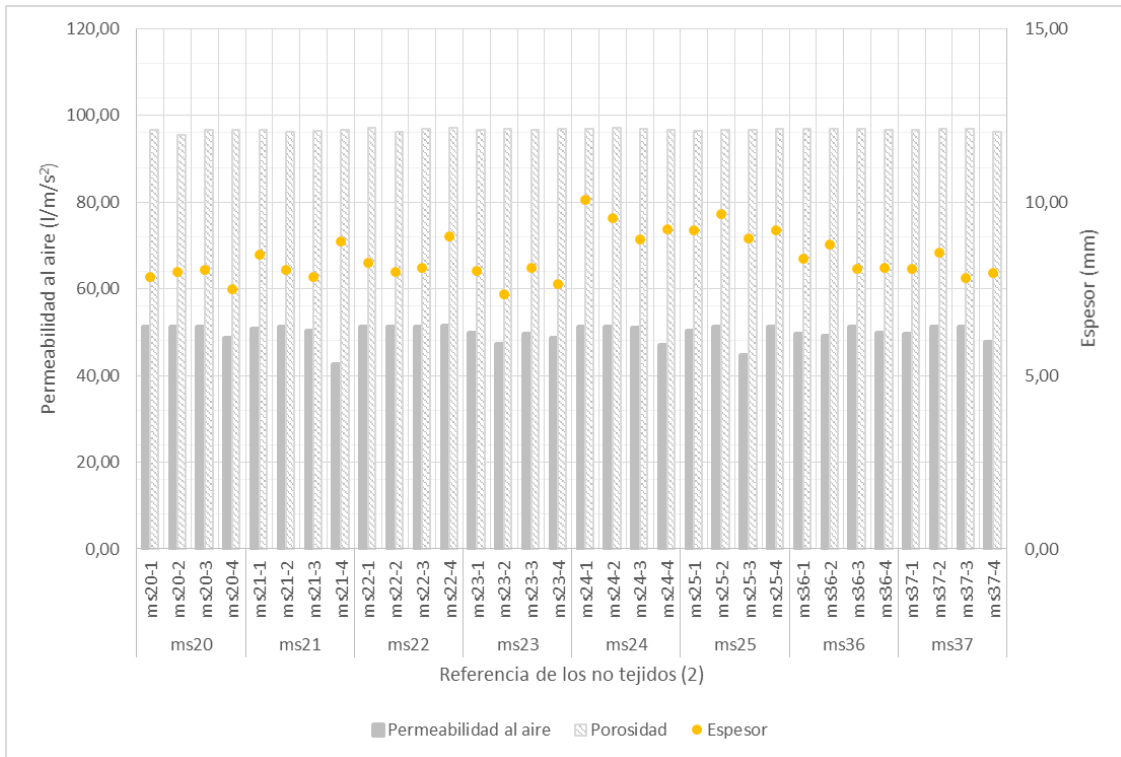
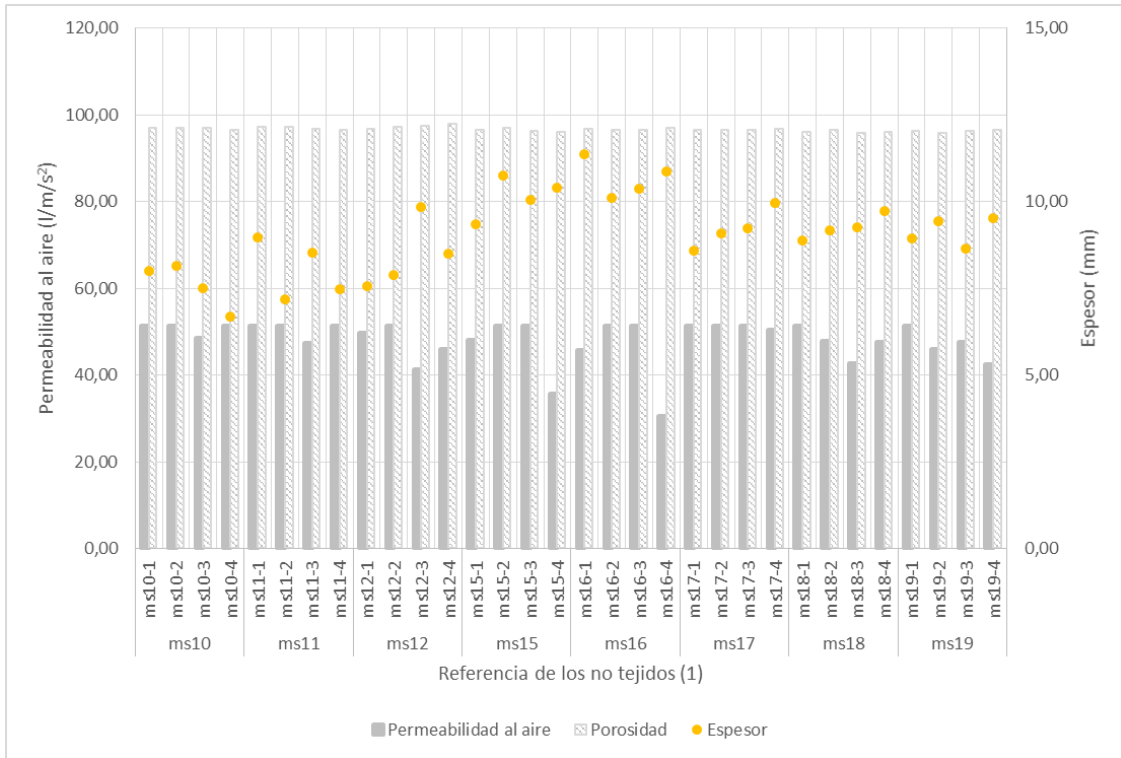


Figura 85. ((1) y (2)) Permeabilidad al aire (l/m<sup>2</sup>/s) en relación con la porosidad (%) y el esesor (mm) de los no tejidos simples de fibras de capoc

Las propiedades de la permeabilidad al aire de lo no tejidos sándwich se presentan en la Tabla 29.

Tabla 29. Propiedades de permeabilidad al aire de los no tejidos sándwich

Tipo de no tejido /N° capas		Ref. No tejido	Permeabilidad al aire (l/m <sup>2</sup> /s)
Sándwich punzonado/4		mw10	28,97
		mw11	29,00
		mw12	26,13
		mw15	34,50
		mw16	15,73
		mw17	22,60
		mw18	24,03
		mw19	17,37
		mw20	25,57
		mw21	26,03
		mw22	25,87
		mw23	34,43
		mw24	18,43
		mw25	20,70
		mw36	29,27
mw37	28,97		
Sándwich punzonado-prensado/4	1 vez prensado	mw1p24	6,58
		mw1p36	2,28
	2 veces prensado	mw2p25	4,84
		mw2p37	4,07
Sándwich punzonado-prensado-punzonado/ 4		m2w10	32,70
		m2w15	12,34

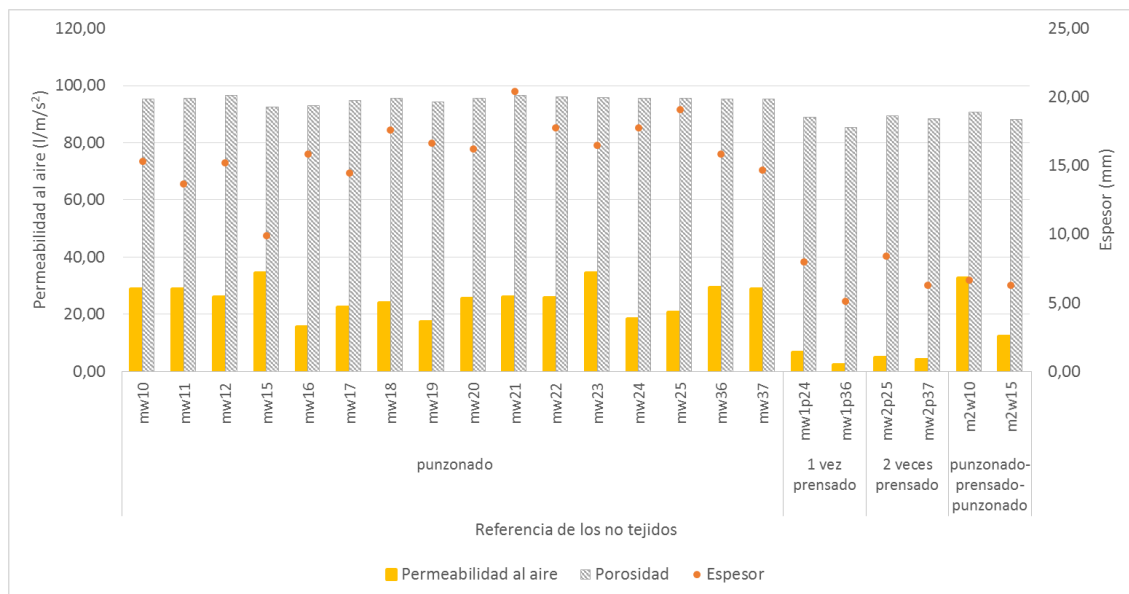


Figura 86. Permeabilidad al aire (l/m<sup>2</sup>/s) en relación con la porosidad (%) y el espesor (mm) de los no tejidos sándwich de fibras de capoc

Los no tejidos una vez punzonados mw24 y mw36 resultaron tener una mayor permeabilidad al aire con un 64,45 % y un 88,98 % que los no tejidos sándwich una vez prensados mw1p24 y mwp36.

El no tejido una vez punzonado mw24 resultó tener una mayor permeabilidad al aire (64,45 % (l/m<sup>2</sup>/s)) que el no tejido sándwich una vez prensado mw1p24. El no tejido una vez punzonado

mw36 obtuvo una mayor permeabilidad al aire (88,98 % (l/m<sup>2</sup>/s)) que el no tejido sándwich una vez prensado mw1p36.

El no tejido una vez punzonado mw25 obtuvo una mayor permeabilidad al aire (83,46 % (l/m<sup>2</sup>/s)) que el no tejido sándwich dos veces prensado mw2p25. El no tejido una vez punzonado mw37 obtuvo una mayor permeabilidad al aire (86,42 % (l/m<sup>2</sup>/s)) que el no tejido sándwich dos veces prensado mw2p37.

El no tejido dos veces punzonado m2w10 resultó tener mayor permeabilidad al aire 62,57 % (32,70-12,34 (l/m<sup>2</sup>/s)) que el no tejido sándwich dos veces punzonado m2w15.

La permeabilidad al aire de los no tejidos compuestos se presenta en la Tabla 30.

Tabla 30. Propiedades de permeabilidad al aire de los no tejidos compuestos

Nº capas (orientación de las capas)	Prensado	Ref. No tejido mw	Permeabilidad al aire (l/m <sup>2</sup> /s)
Compuesto/2 ↓↓	1 pasada	mc1d	0,00
		mc3d	0,00
	2 pasadas	mc2e	0,00
		mc4e	0,00
Compuesto/2 ↓→	1 pasada	mc5d	0,00
		mc7d	0,00
	2 pasadas	mc6e	0,00
		mc9e	0,00

Los no tejidos compuestos de uno y dos prensados de diferentes orientaciones no resultaron tener permeabilidad al aire.

#### 4.2.3.5. Dispersión y mojado de los no tejidos sándwich de fibras 100 % capoc

En los ensayos de dispersión y mojado realizados, se verificó que los no tejidos sándwich de fibras 100 % capoc no presentaban capacidad de dispersión de líquidos, destacándose su completa flotabilidad en el agua. En la prueba de la gota (Figura 27), estas rodaban sobre los no tejidos sin perder la forma esférica. En la prueba de la lluvia, el agua se deslizaba sobre la superficie del no tejido. A través de estas pruebas, estos no tejidos sándwich demostraron no tener absorción de agua. Este ensayo no se amplió a los demás no tejidos elaborados con fibras 100 % capoc, porque se daba por hecho que las pruebas de la absorción del agua serían nulas.

#### 4.3. Estudio de la degradación de los no tejidos compuestos 100 % capoc

Después de analizar el comportamiento mecánico de las estructuras de los no tejidos de fibras de capoc, las que demostraron mayor resistencia a la tracción (*Grab*), se seleccionaron para el estudio

del envejecimiento provocado por factores ambientales (simulados), siendo estos compatibles con la aplicación pretendida. Se utilizaron así las estructuras de no tejidos compuestos a partir dos superposiciones de dos no tejidos sándwich, orientados en el sentido longitudinal y prensados por una cara. En este estudio, los ensayos de envejecimiento acelerado se llevaron a cabo simulando entre uno y seis meses de exposición a una fuente de luz fluorescente VB-A (ensayo QUV), según el método y condiciones descritas en el capítulo 3. La Tabla 31 presenta las características geométricas y estructurales de los no tejidos compuestos utilizados.

Tabla 31. Características geométricas y estructurales de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes de la degradación (blanco o control)

Tipo de no tejido /N° capas	Ref.* NT	Espesor (mm)	Masa por unidad área (g/m <sup>2</sup> )	Densidad $\rho_{ap}$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Porosidad (%)
Compuesto/2 ↓↓	mc1-4AB	8,54	2002,35	234,47	75,82
	mc2-4AB	8,15	2124,48	260,67	73,13
	mc3-4AB	8,73	1777,78	203,64	79,01
	mc4-4AB	6,96	1560,14	224,16	76,89
	mc5-4AB	8,28	1846,07	222,95	77,01
	mc6-4AB	7,69	1710,31	222,41	77,07

\* Codificación de los no tejidos con un dígito correspondiente a la duración de la exposición en meses (mc1 a mc6)

Tanto la resistencia a la tracción (MD), la resistencia a la punción, las propiedades térmicas y el ángulo de contacto fueron consideradas como propiedades relevantes al ser evaluadas en el efecto del proceso de envejecimiento. Las alteraciones provocadas en las estructuras debido a la exposición fueron analizadas por la Espectroscopia Infrarroja de Transformada de Fourier (ATR-FTIR) y por la Colorimetría de Barrido Diferencial (DSC).

#### 4.3.1. Análisis de las propiedades mecánicas

Una retención de por lo menos el 50 % de la resistencia a la tracción después de 672 horas de exposición a los factores ambientales es considerado aceptable en aplicaciones en agrotexiles/geotexiles [100]. Por otro lado, una pérdida de entre 50-66 % en la resistencia a la punción es considerado el límite para asegurar la durabilidad de las estructuras geotexiles, en particular cuando su función es de separación.

##### 4.3.1.1. Resistencia y Alargamiento a la Rotura (Método *Grab*)

La Tabla 32 presenta los valores medios de la resistencia y extensión a la rotura de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes y después de la degradación.



Tabla 32. Resistencia y extensión máxima a la rotura de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes (control) y después del envejecimiento acelerado en el QUV

Tipo de no tejido /N° capas	Ref. NT	Resistencia a la rotura (N)		Variación (%) AB-A/AB	Extensión a la rotura (%)		Variación (%) AB-A/AB
		Antes AB	Después A		Antes AB	Después A	
Compuesto/2 ↓↓	mc1-4	136,80	151,15	+ 9,5	6,80	2,70	- 60,3
	mc2-4	166,30	92,45	- 44,4	4,45	1,68	- 62,2
	mc3-4	74,55	127,15	+41,4	7,70	7,09	- 7,9
	mc4-4	103,45	146,35	+29,3	3,57	2,97	- 16,8
	mc5-4	120,35	141,60	+15,0	3,96	3,86	- 2,5
	mc6-4	160,40	147,10	- 8,3	7,53	6,42	- 14,7

Como se puede verificar, la extensión a la rotura de los no tejidos compuestos se reduce después de la exposición, sea cual sea su duración (dos a seis meses), y la resistencia a la rotura tendencialmente, aumenta. Este aumento es particularmente elevado después de 3 meses de exposición. Se exceptúan los casos con tiempos de exposición correspondientes a dos y seis meses. La tendencia para el aumento de la resistencia puede ser explicada por la formación de enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua (provenientes de la humedad del ciclo de condensación del proceso de envejecimiento acelerado) y de los grupos hidroxilo de los anillos celulósicos de las fibras de capoc. Sin embargo, el carácter altamente higroscópico de las fibras de capoc hace que las fibras absorban humedad hinchándose. Esta hinchazón provoca alteraciones en las dimensiones que podrán influenciar negativamente en las propiedades mecánicas [101][102][103]. Para comprender mejor este fenómeno, se compararán las características geométricas y estructurales de los no tejidos antes (Tabla 31) y después de la degradación (Tabla 33).

Tabla 33. Características geométricas y estructurales de los no tejidos compuestos 100 % capoc después de la degradación

Tipo de no tejido /N° capas	Ref.* NT	Espesor (mm)	Masa por unidad área (g/m <sup>2</sup> )	Densidad $\rho_{ap}$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Porosidad (%)
Compuesto/2 ↓↓	mc1-4A	19,16	2021,43	105,50	89,12
	mc2-4A	19,51	2271,43	116,42	87,99
	mc3-4A	20,58	2328,57	113,15	88,33
	mc4-4A	18,88	1912,10	101,28	89,56
	mc5-4A	25,66	2184,67	85,14	91,22
	mc6-4A	23,31	2013,94	86,40	91,09

\* Codificación de los no tejidos con un dígito correspondiente a la duración de la exposición en meses (mc1 a mc6)

Comparando la masa por unidad de área y el espesor de los no tejidos antes y después de la exposición en el QUV, es posible verificar que después de la exposición, los no tejidos ganaron peso y espesor, lo que podrá justificar el aumento de la resistencia a la rotura como ya se ha comprobado.

La Figura 87 ilustra el comportamiento ya comprobado.

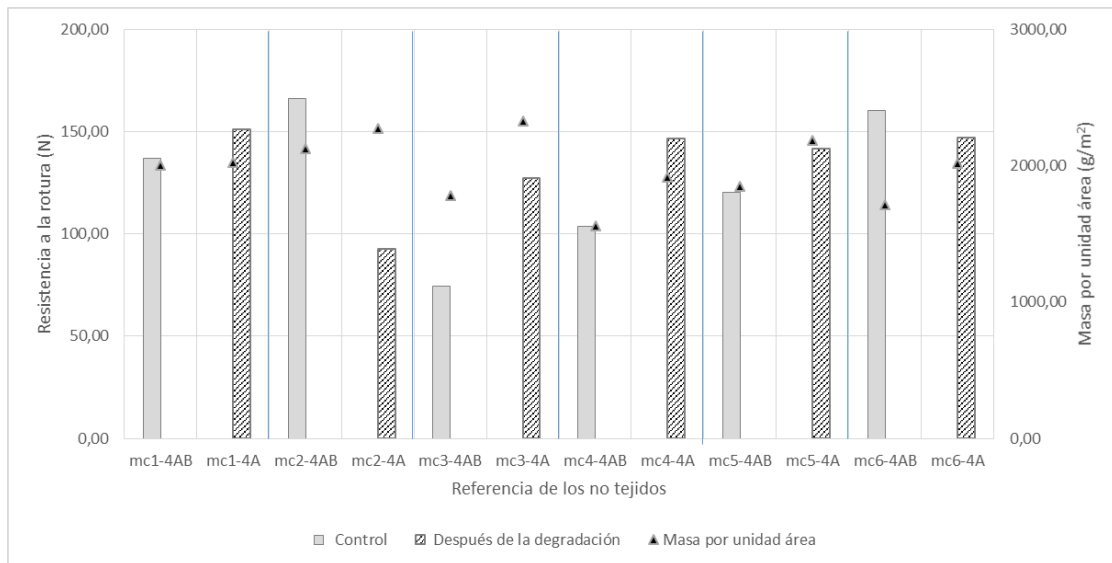
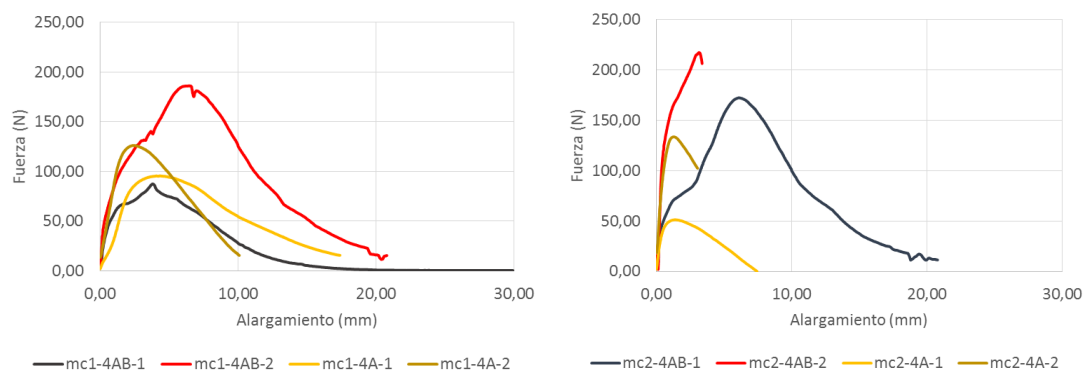


Figura 87. Resistencia a la rotura (N) en relación con la masa por unidad de área (g/m<sup>2</sup>) de los no tejidos 100 % capoc con el proceso de envejecimiento

La variación mínima de masa por unidad de área (0,95 %) fue obtenida después de un mes de degradación (mc1-4AB y mc1-4A), la cual corresponde a un aumento de la resistencia a la rotura en cerca de 11 % (136,80-151,15 N) y del alargamiento en un 45,3 % (0,75-1,09 mm). La variación máxima de cerca de 31 % de la masa por unidad de área (1777,78-2328,57 g/m<sup>2</sup>) ocurrió después de tres meses (mc3-4AB y mc3-4A) conduciendo a un aumento de la resistencia a la rotura en un 70,6 % (74,55-127,15 N).

Tanto la capacidad de los no tejidos compuestos de fibras de capoc control como los no tejidos compuestos de fibras de capoc después de la degradación fueron evaluados al ser sometidos bajo tensión y soportando variaciones en sus dimensiones.

Las curvas de fuerza-alargamiento de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes (control) y después de la degradación están ilustradas en la Figura 88.



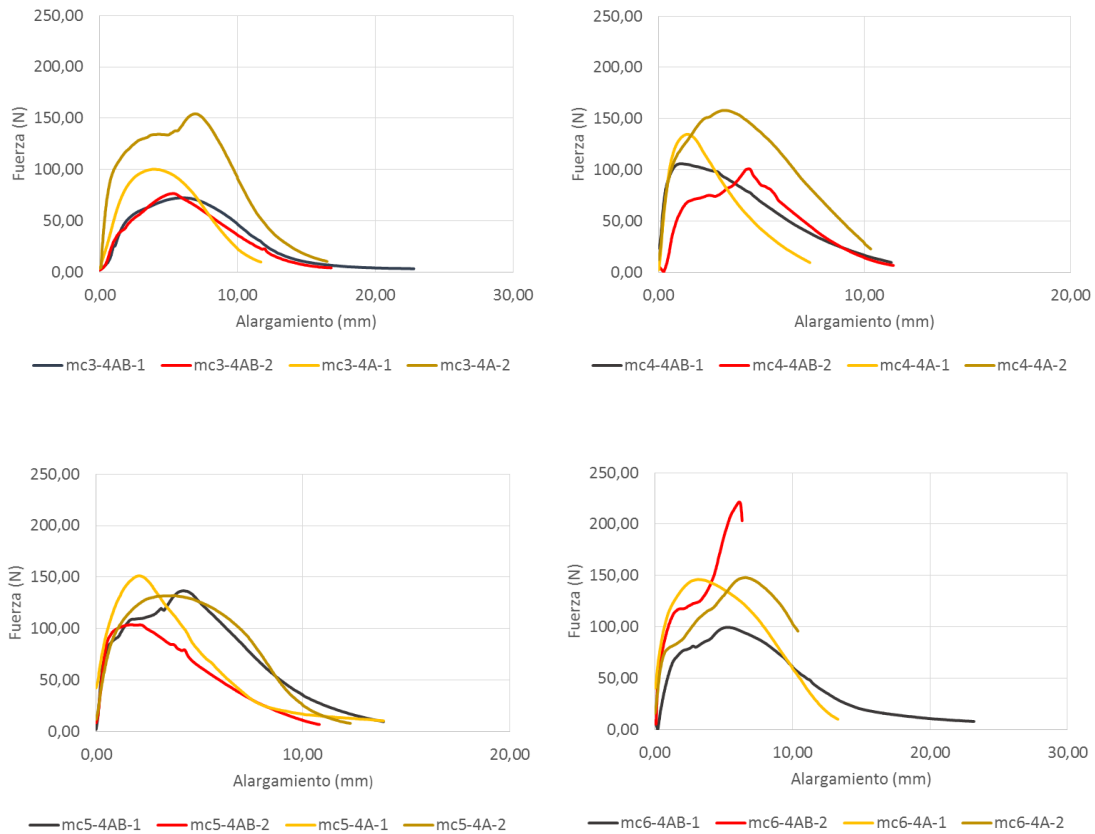


Figura 88. Curvas fuerza -alargamiento a la rotura de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes (control) y después del envejecimiento (1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses)

#### 4.3.1.2. Resistencia a la punción

Los ensayos de la resistencia a la perforación estática y extensión sobre los no tejidos compuestos 100 % capoc antes (control) y después de la degradación, fueron realizados utilizando el método indicado en la Tabla 8 del capítulo 3. No obstante, se consideró que, para evaluar y comprender mejor el daño causado a las estructuras de los no tejidos, sería necesario determinar la extensión del daño, razón por la cual se calcularon dos parámetros representativos, designados:

- *through-thickness damage*, relación entre la altura del pico de perforación ( $h_{op}$ ) y el espesor real de las muestras bajo prueba ( $T_{@t}$ ), y
- *lateral damage*, relación entre el diámetro de la perforación ( $d$ ) y el diámetro del émbolo.

La distancia entre las caras externas de los dos anillos de sujeción después del posicionamiento de la muestra y el grosor de la base de las abrazaderas se usó para calcular el espesor real de las muestras no tejidas. El espesor real medio de las muestras en condiciones de la prueba ( $T_{@t}$ ) y el diámetro medio de las perforaciones resultantes ( $d$ ) se presentan en la Figura 89. En la Figura 90 se ilustra el método utilizado para medir la altura del pico de perforación ( $h_{op}$ ) y se presentan los valores medios obtenidos. Todas las mediciones se realizaron con un paquímetro digital.




						
<b>Control</b>	mc1-4AB	mc2-4AB	mc3-4AB	mc4-4AB	mc5-4AB	mc6-4AB
(T@t) (mm)	8,55	8,15	8,74	6,96	6,96	7,69
d Diámetro de perforación (mm)	2,83	3,19	3,71	2,01	4,33	3,19
<b>Después de la degradación</b>	mc1-4A	mc2-4A	mc3-4A	mc4-4A	mc5-4A	mc6-4A
(T@t) (mm)	19,16	19,51	20,58	18,88	25,66	23,31
d Diámetro de perforación (mm)	2,95	4,23	4,15	4,94	5,36	3,67

Figura 89. Espesor medio de los no tejidos compuestos 100 % capoc control y después de la degradación (en condiciones de la prueba) y diámetro medio de las perforaciones resultantes


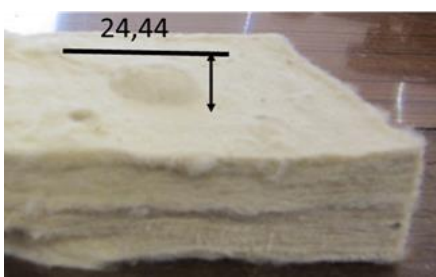
Media de la altura del pico (mm) ( $h_{op}$ )						
	Ejemplo Control	Ejemplo Después de la degradación				
<b>Control</b>	mc1-4AB	mc2-4AB	mc3-4AB	mc4-4AB	mc5-4AB	mc6-4AB
Medias altura del pico (mm)	19,70	19,92	17,87	17,14	16,92	13,28
<b>Después de la degradación</b>	mc1-4A	mc2-4A	mc3-4A	mc4-4A	mc5-4A	mc6-4A
Medias altura del pico (mm)	26,87	21,50	18,05	19,21	24,40	24,12

Figura 90. Altura media del pico de perforación ( $h_{op}$ ) de los no tejidos compuestos 100 % capoc (control y después de la degradación)

El no tejido compuesto control mc1-4AB se comparó con el no tejido compuesto después de la degradación mc1-4A. El no tejido mc1-4A con mayor espesor, demostró tener mayor resistencia a la perforación (Figura 91), siendo esta propiedad el principal factor de los resultados obtenidos. Como se puede ver en la Figura 90, la media de perforación de mayor pico ( $h_{op}$ ) es de la muestra mc1-4A que es significativamente mayor que la mc1-4B. Esto se explica principalmente por su baja densidad aparente. Por tanto, el daño a través del espesor (*through-thickness damage* y diámetro del émbolo (*lateral damage*) de la estructura mc1-4A es mucho más bajo que la del mc1-4AB (Tabla 34), lo que probablemente se deba a la diferencia por la degradación del no tejido mc1-4A.

El no tejido compuesto control mc2-4AB se comparó con el no tejido compuesto después de la degradación mc2-4A. El no tejido mc2-4A resultó tener mayor espesor, mostrando mayor resistencia a la perforación (Figura 91), siendo esta propiedad el principal factor de los resultados

obtenidos. Como se puede ver en la Figura 90, la media de perforación de mayor pico ( $h_{op}$ ) es del no tejido mc2-4A. Esto se explica principalmente por su baja densidad aparente. Por tanto, el daño a través del espesor (*through-thickness damage*) del no tejido mc2-4A es menor que la del no tejido mc2-4AB. El diámetro del émbolo (*lateral damage*) del no tejido mc2-4A es mayor que el del no tejido mc2-4AB (Tabla 34), lo que probablemente se deba a la diferencia por la degradación del no tejido mc2-4A.

En la Tabla 34 se presentan los valores medios de la resistencia y alargamiento a la perforación obtenidos en el ensayo y los parámetros de perforación calculados.

Tabla 34. Valores medios de la resistencia y alargamiento a la perforación obtenidos en el ensayo y los parámetros de perforación calculados de los no tejidos compuestos control y después de la degradación

Tipo de no tejido /N° capas	Ref. NT	Resistencia a la perforación (N)		Variación (%) AB-A/AB	Alargamiento (mm)		Variación (%) AB-A/AB
		Control AB	Después A		Control AB	Después A	
Compuesto/2 ↓	mc1-4	153,80	158,72	-3,20	40,04	37,47	6,44
	mc2-4	145,90	155,80	-6,75	40,69	36,02	11,49
	mc3-4	188,32	143,80	23,64	40,55	35,64	12,11
	mc4-4	185,10	140,95	23,85	39,61	37,10	6,32
	mc5-4	118,00	141,02	-19,50	40,60	36,20	10,76
	mc6-4	146,55	150,30	-2,56	40,84	35,11	14,04
Tipo de no tejido /N° capas	Ref. NT	<i>Through thickness damage</i> (%)		Variación (%) AB-A/AB	<i>Lateral damage</i> (%)		Variación (%) AB-A/AB
		Control AB	Después A		Control AB	Después A	
Compuesto/2 ↓	mc1-4	230,49	140,24	39,16	62,50	65,15	-4,24
	mc2-4	244,36	110,15	54,92	70,58	93,58	-32,59
	mc3-4	204,58	87,68	57,14	81,97	91,70	-11,87
	mc4-4	246,26	101,75	58,68	44,47	109,18	-145,51
	mc5-4	204,35	95,09	53,47	95,80	118,58	-23,78
	mc6-4	172,63	103,43	40,09	70,58	81,19	-15,03

El no tejido compuesto control mc3-4AB se comparó con el no tejido compuesto después de la degradación mc3-4A. El no tejido mc3-4A resultó tener mayor espesor, mostrando la menor resistencia a la perforación (Figura 91), siendo esta propiedad el principal factor de los resultados obtenidos. Como se puede ver en la Figura 90, la media de perforación de mayor pico ( $h_{op}$ ) es del no tejido mc3-4A. Esto se explica principalmente por su baja densidad aparente. Por tanto, el daño a través del espesor (*through-thickness damage*) del no tejido mc3-4A es menor que el del no tejido mc3-4AB. El diámetro del émbolo (*lateral damage*) del no tejido mc3-4A es mayor que el del no tejido mc3-4AB (Tabla 34), lo que probablemente se deba a la diferencia por la degradación del no tejido mc3-4A.

El no tejido compuesto control mc4-4AB se comparó con el no tejido compuesto después de la degradación mc4-4A. El no tejido mc4-4A resultó tener mayor espesor, mostrando la menor resistencia a la perforación (Figura 91), siendo esta propiedad el principal factor de los resultados obtenidos. Como se puede ver en la Figura 90, la media de perforación de mayor pico ( $h_{op}$ ) es el del no tejido mc4-4A. Esto se explica principalmente por su baja densidad aparente. Por tanto, el daño a través del espesor (*through-thickness damage*) del no tejido mc4-4A es menor que el del no tejido mc4-4AB. El diámetro del émbolo (*lateral damage*) del no tejido mc4-4A es mayor que el del no tejido mc4-4AB (Tabla 34), lo que probablemente se deba a la diferencia por la degradación del no tejido mc4-4A.

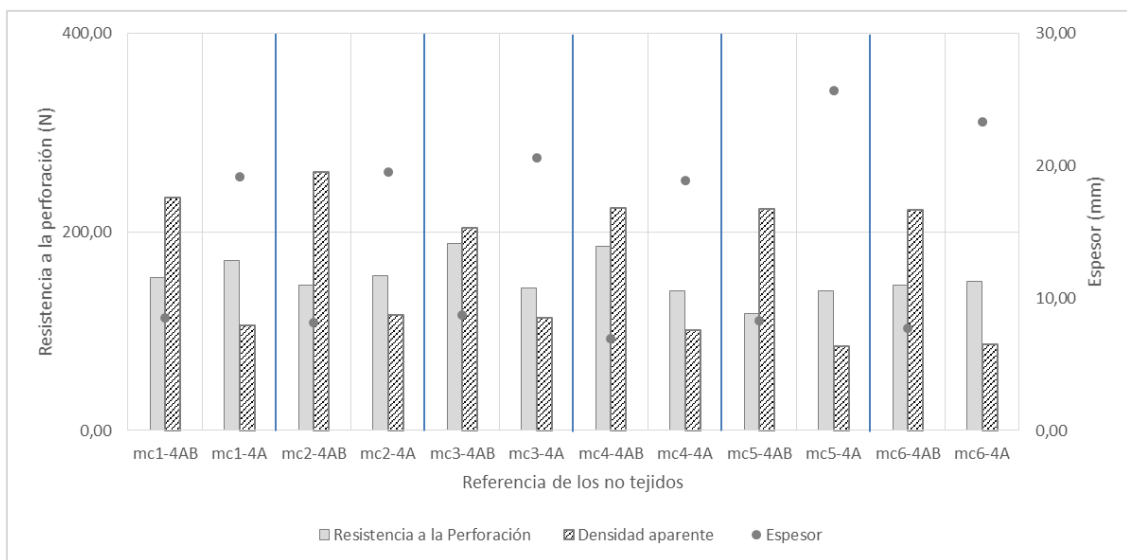
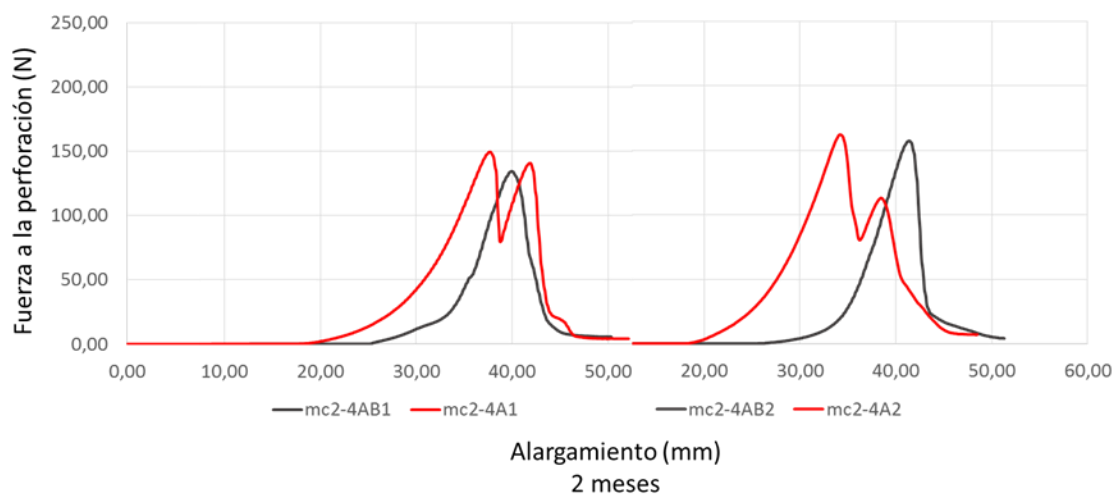
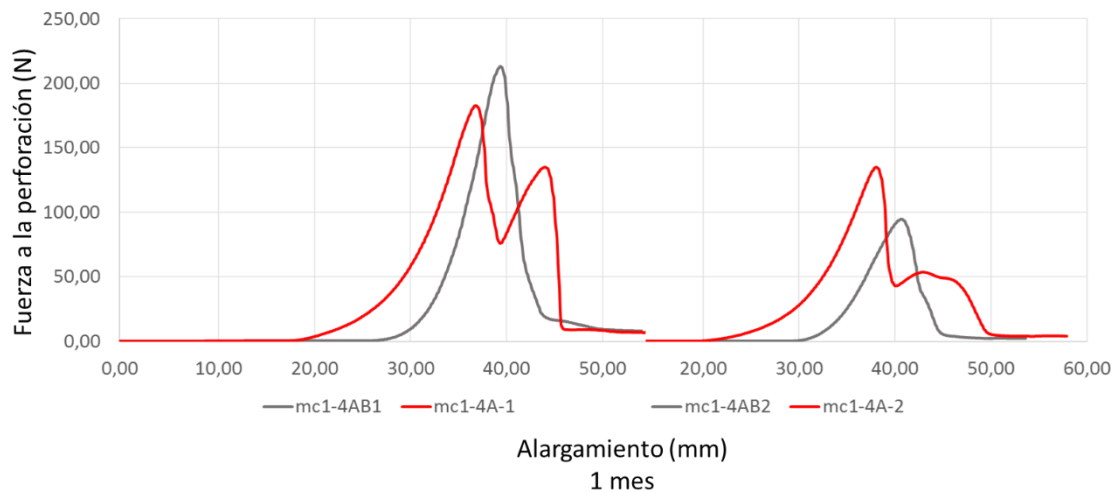


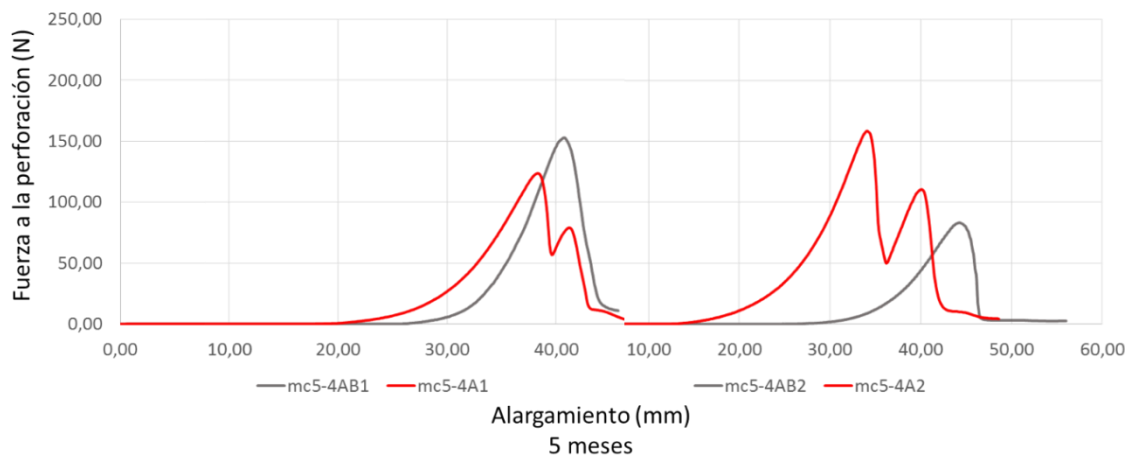
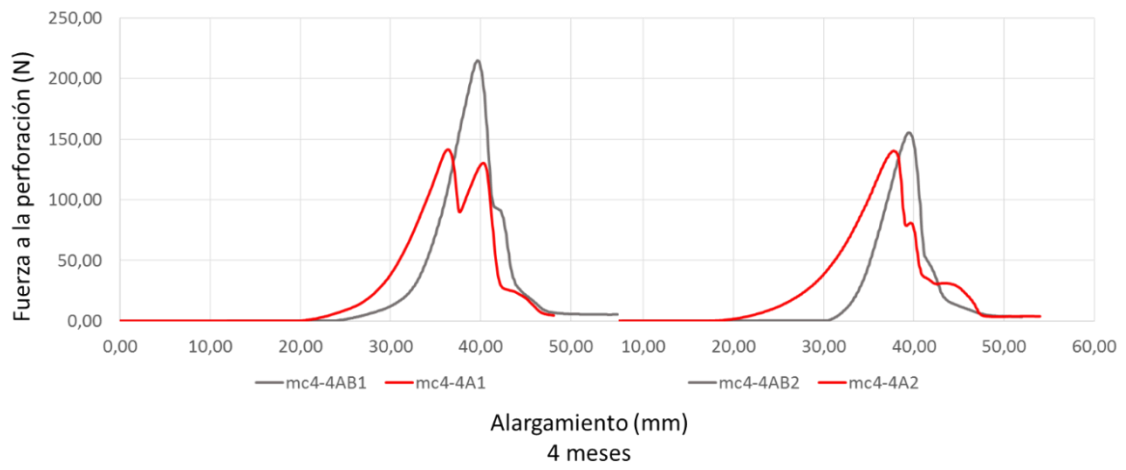
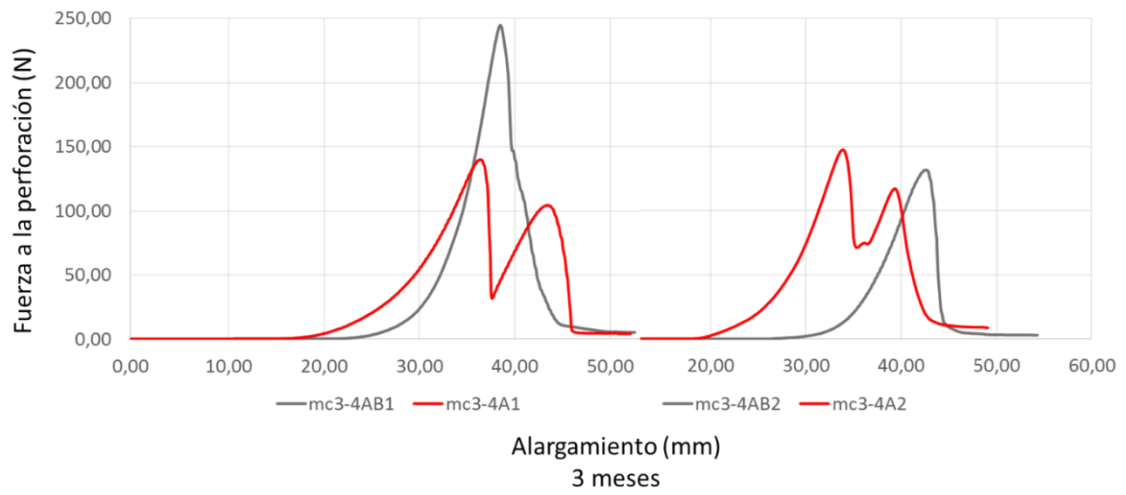
Figura 91. Resistencia a la perforación (N) en relación con la densidad aparente  $\rho_{ap}$  (Kg/m<sup>3</sup>) y espesor (mm) de los no tejidos compuestos de fibras de capoc control y los no tejidos compuestos de fibras de capoc después de la degradación

El no tejido compuesto control mc5-4-AB se comparó con el no tejido compuesto después de la degradación mc5-4A. El no tejido mc5-4A resultó tener mayor espesor, mostrando la mayor resistencia a la perforación (Figura 91), siendo esta propiedad el principal factor de los resultados obtenidos. Como se puede ver en la Figura 90, la media de perforación de mayor pico ( $h_{op}$ ) es del no tejido mc5-4A. Esto se explica principalmente por su baja densidad aparente. Por tanto, el daño a través del espesor (*through-thickness damage*) del no tejido mc5-4A es menor que el del no tejido mc5-4AB. El diámetro del émbolo (*lateral damage*) del no tejido mc5-4A es mayor que la del no tejido mc5-4AB (Tabla 34), lo que probablemente se deba a la diferencia por la degradación del no tejido mc5-4A.

El no tejido compuesto control mc6-4AB se comparó con el no tejido compuesto después de la degradación mc6-4A. El no tejido mc6-4A resultó tener mayor espesor, mostrando la mayor resistencia a la perforación (Figura 91), siendo esta propiedad el principal factor de los resultados obtenidos. Como se puede ver en la Figura 90, la media de perforación de mayor pico ( $h_{op}$ ) es del no tejido mc6-4A. Esto se explica principalmente por su baja densidad aparente. Por tanto, el daño a través del espesor (*through-thickness damage*) del no tejido mc6-4A es menor que el del no tejido mc6-4AB. El diámetro del émbolo (*lateral damage*) del no tejido mc6-4A es mayor que la del no tejido mc6-4AB (Tabla 34), lo que probablemente se deba a la diferencia por la degradación del no tejido mc6-4A.

Las curvas de perforación-alargamiento de los no tejidos compuestos de fibras de capoc control y después de la degradación de 1 a 6 meses, se ilustran en la Figura 92.







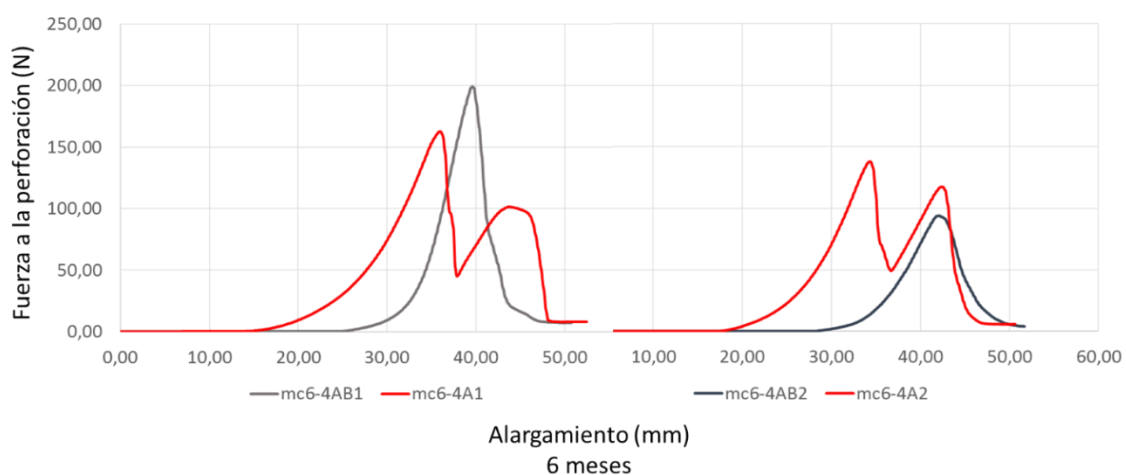


Figura 92. Curvas de perforación-alargamiento de los no tejidos compuestos de fibras de capoc control y después de la degradación (1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses)

#### 4.3.2. Análisis de las propiedades térmicas

La evaluación del efecto del envejecimiento en las propiedades térmicas de los no tejidos compuestos 100 % capoc se le realizó después de tres y seis meses de exposición en el QUV. La Tabla 35 presenta los resultados obtenidos antes (control) y después de la degradación.

Tabla 35. Propiedades térmicas de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes (control) y después de una degradación simulada de 3 y 6 meses

Tipo de no tejido /Nº capas	Ref. no tejido	Conductividad Térmica ( $\lambda$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )	Resistencia Térmica [R] ( $\times 10^3$ ) ( $m^2KW^{-1}$ )	Absortividad Térmica (b) ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ )	Flujo Térmico ( $q_{m\acute{a}x}$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ]
Compuesto/2 Control	mc3-4AB	68,05	174,40	56,76	370,10
	mc6-4AB	65,27	145,30	57,61	293,50
Compuesto/2 Después de la degradación	mc3-4A	126,80	183,80	43,69	254,30
	mc6-4A	132,30	183,20	63,25	396,50

Como se puede comprobar, después de tres y seis meses de exposición, las propiedades térmicas de los no tejidos compuestos 100 % capoc se alteran significativamente, en particular, la conductividad y la resistencia térmicas que aumentan, lo que refleja el aumento del espesor y la masa por unidad de área ya comprobado. El gráfico de la Figura 93 demuestra esta relación.

Después de 3 meses de exposición, la conductividad térmica y la resistencia térmica de los no tejidos compuestos 100 % capoc aumentan en un 86 % y en un 5 % respectivamente ( $68,05-126,80$  ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )) y ( $174,40-183,80$  ( $\times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ )) relativamente a la muestra, después de la degradación, estos no tejidos presentaron un aumento de la masa por unidad de área de un 20 % y un espesor del 63 %, respectivamente.

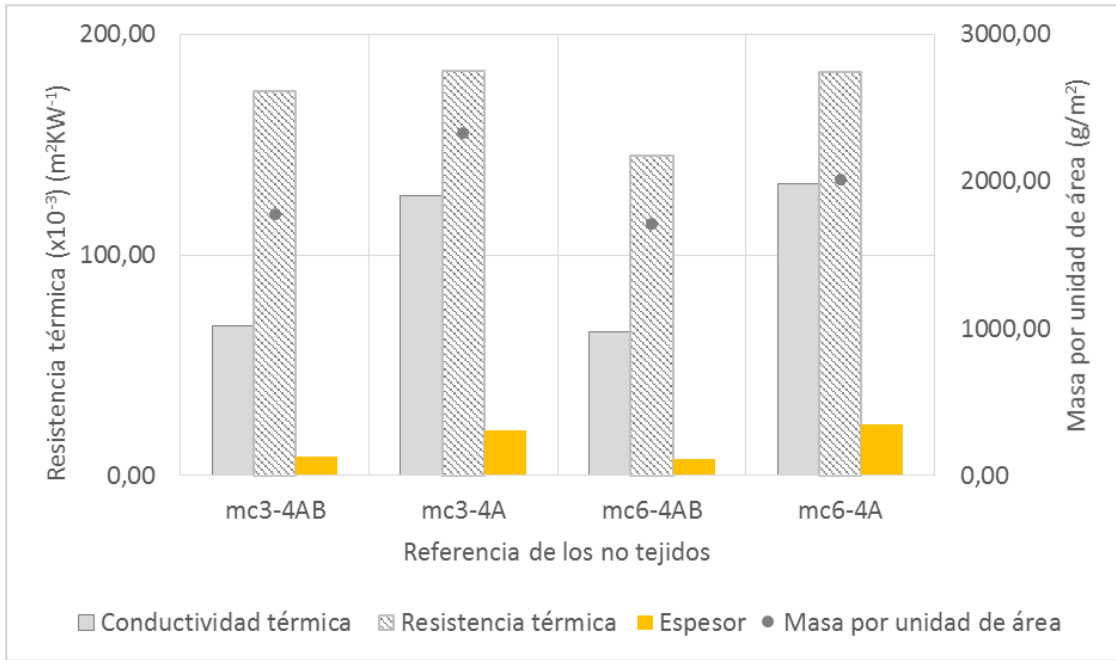


Figura 93. Conductividad térmica ( $\times 10^{-3} \text{ (Wm}^{-1}\text{K}^{-1}\text{)}$ ) y resistencia térmica ( $\times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{KW}^{-1}\text{)}$ ) en relación con la masa por unidad área ( $\text{g/m}^2$ ) y esesor (mm) de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes (control) y después de 3 y 6 meses de degradación simulada

Después de 6 meses de exposición se comprobó que se mantenían en esta tendencia, con un aumento de la resistencia térmica de un 26 % ( $145,30\text{-}183,20 \text{ (}\times 10^{-3}\text{) (m}^2\text{KW}^{-1}\text{)}$ ) y aproximadamente el doble en conductividad térmica ( $65,27\text{-}132,30 \text{ (}\times 10^{-3}\text{) (Wm}^{-1}\text{K}^{-1}\text{)}$ ) relativamente en la muestra control.

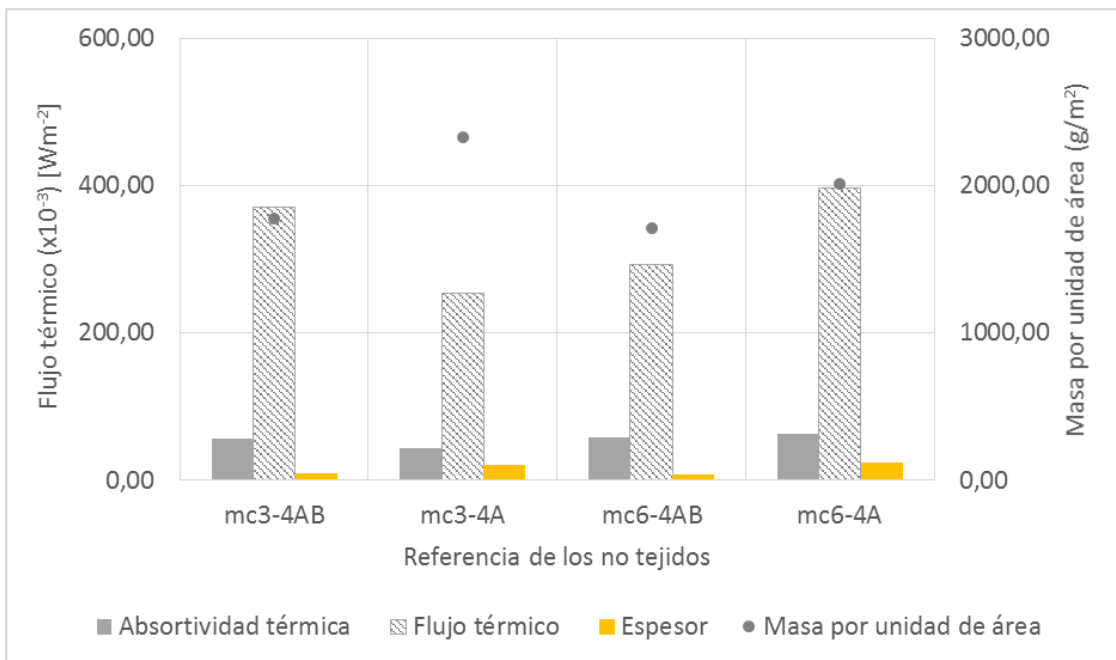


Figura 94. Absortividad térmica ( $10^{-3} \text{ (Wm}^{-2}\text{K}^{-1}\text{S}^{1/2}\text{)}$ ) y flujo térmico ( $\times 10^{-3} \text{ [Wm}^{-2}\text{]}$ ) con relación con la masa por unidad área ( $\text{g/m}^2$ ) y esesor (mm) de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes (control) y después de 3 y 6 meses de degradación simulada

En cuanto a la absorptividad térmica y el flujo térmico, no hay una tendencia definida. Después de 3 meses de exposición en el QUV, la absorptividad térmica se redujo cerca del 30 % (56,76-43,69  $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ ) y el flujo térmico en un 46 % (370,10-254,30 ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ]) cuando se compararon con la muestra control. Además, después de 6 meses se comprobó que la absorptividad térmica y el flujo térmico aumentaron cerca de un 10 % (57,61-63,25 ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ )) y un 35 % (293,50-396,50 ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ]) respectivamente.

#### 4.3.3. Análisis del ángulo de contacto

La medición de los ángulos de contacto ha sido efectuada según el método descrito en el capítulo 3 y Figura 29. Los resultados obtenidos sobre los no tejidos compuestos 100 % capoc antes (control) y después de la degradación se muestran en la Tabla 36. La Figura 95 presenta un ejemplo de las imágenes recogidas.

Tabla 36. Ángulo de contacto de los no tejidos compuestos 100 % capoc antes (control) y después de la degradación

Tipo de no tejido /N° capas	Ref. NT	Ángulo de contacto (°)	Tipo de no tejido /N° capas	Ref. NT (mc)	Ángulo de contacto (°)
Compuesto/2 ↓↓ Control	mc1-4AB	177,68	Compuesto/2 ↓↓ Después de la degradación	mc1-4A	177,68
	mc2-4AB	177,72		mc2-4A	177,64
	mc3-4AB	179,78		mc3-4A	179,68
	mc4-4AB	177,54		mc4-4A	179,38
	mc5-4AB	176,84		mc5-4A	176,12
	mc6-4AB	179,72		mc6-4A	176,24

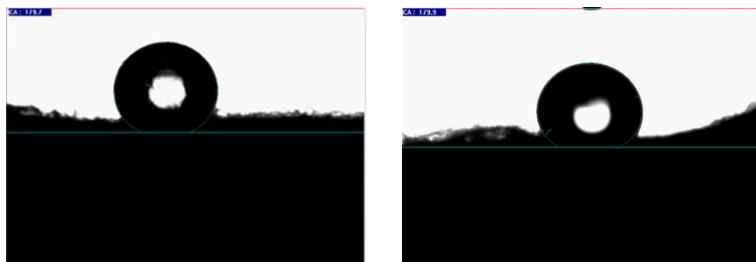


Figura 95. Ejemplos de algunos ángulos de contacto sobre los no tejidos compuestos 100 % capoc: control (izquierda) y después de la degradación (derecha)

Como se puede observar, el valor medio de los ángulos de contacto de los no tejidos compuestos 100 % capoc, antes y después de la degradación, han resultado ser todos mayores a  $160^\circ$  llegando a los  $180^\circ$ , indicando que estas estructuras son superhidrofóbicas según lo indicado en la literatura.

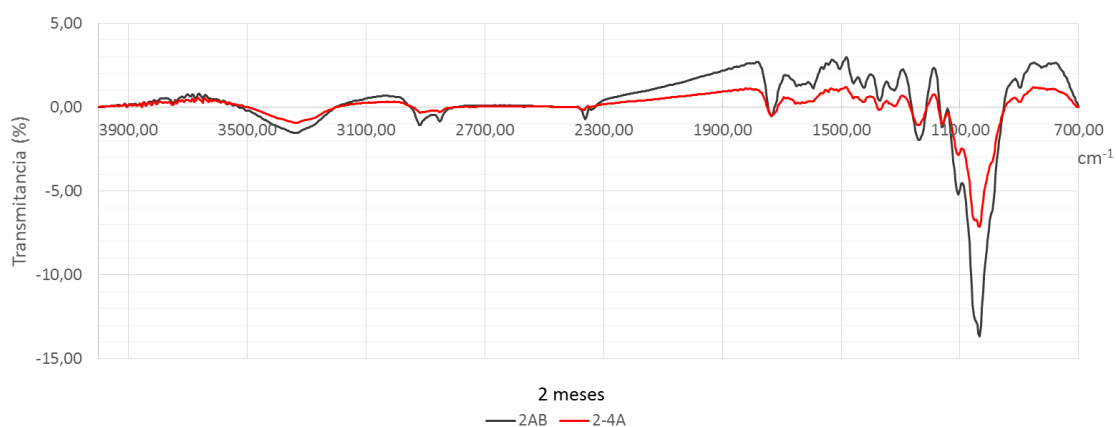
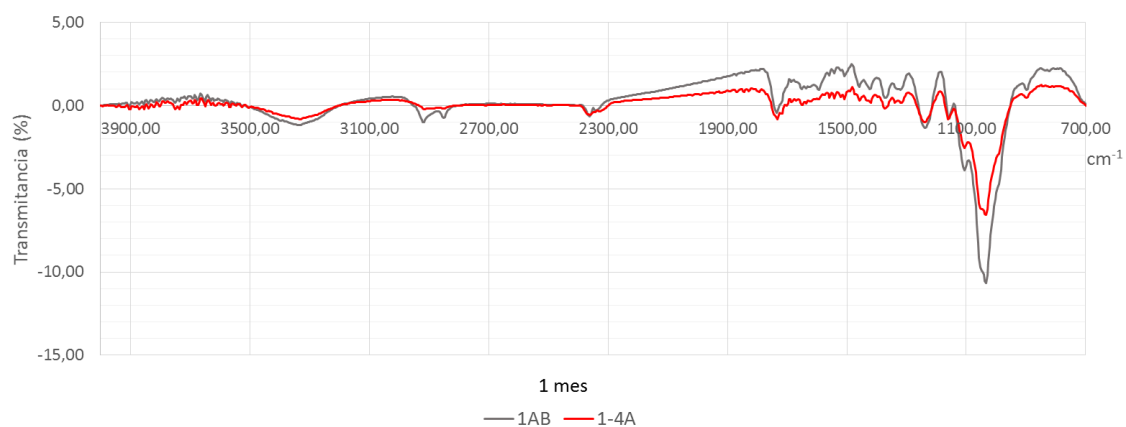
#### 4.3.4. Análisis químico y estructural

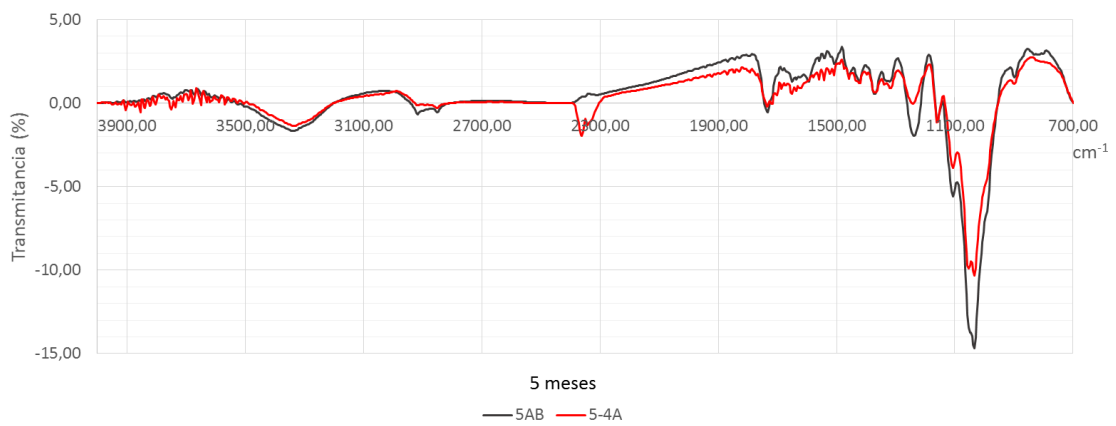
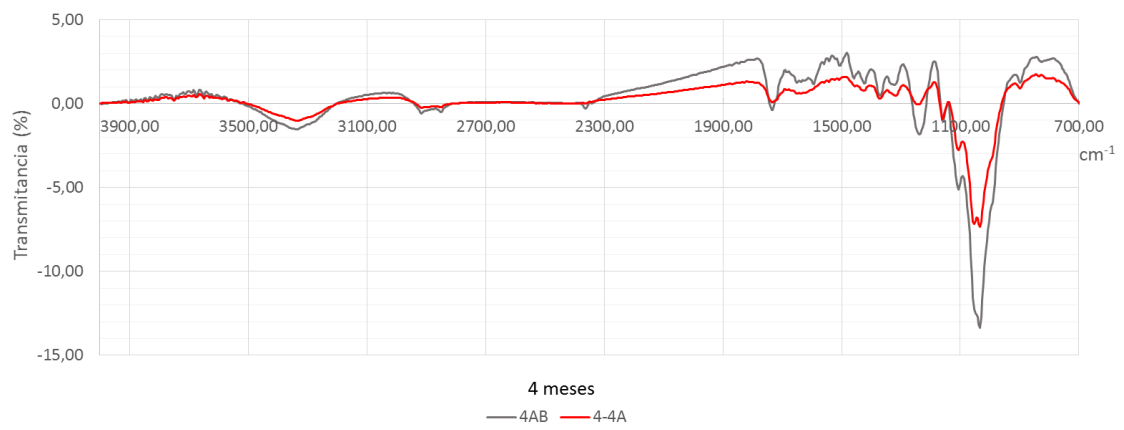
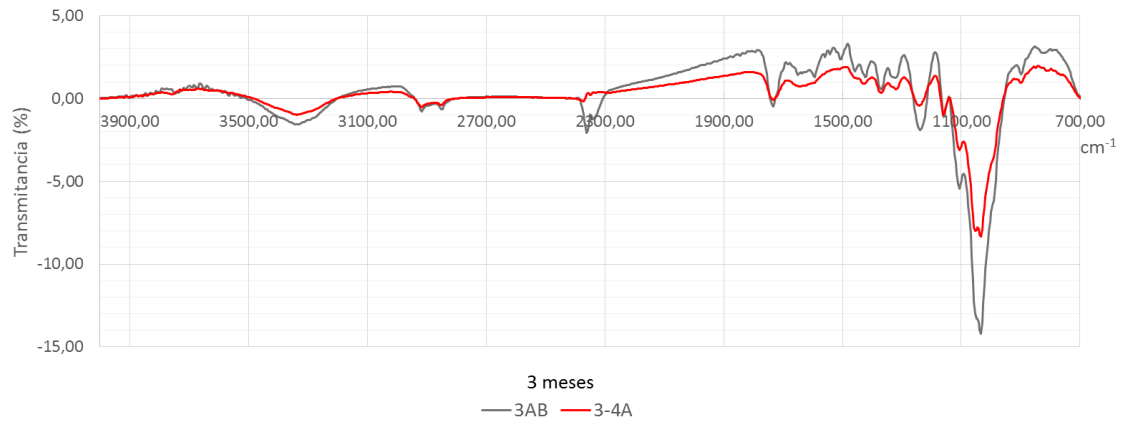
Para una mejor comprensión del comportamiento de los no tejidos compuestos 100 % capoc bajo la influencia de factores ambientales, se efectuó un análisis de las estructuras antes y después de la degradación (de uno a seis meses) por Espectroscopia en Infrarrojos por Transformada de Fourier (ATR-FTIR) y por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

##### 4.3.4.1. Espectroscopia en Infrarrojos

Los espectros FTIR de los no tejidos antes y después, sometidos al envejecimiento acelerado son presentados en la Figura 96.

Los espectros evidencian picos situados en bandas típicas de materiales de base celulósica. Comparando los espectros antes y después de la exposición es posible comprobar que las estructuras no tejidas compuestas, después de la exposición al QUV, presentan ligeras alteraciones en la intensidad de los picos, en particular en la región entre 1900-700  $\text{cm}^{-1}$ , más evidente en la longitud de onda cercana a los 1000  $\text{cm}^{-1}$ .





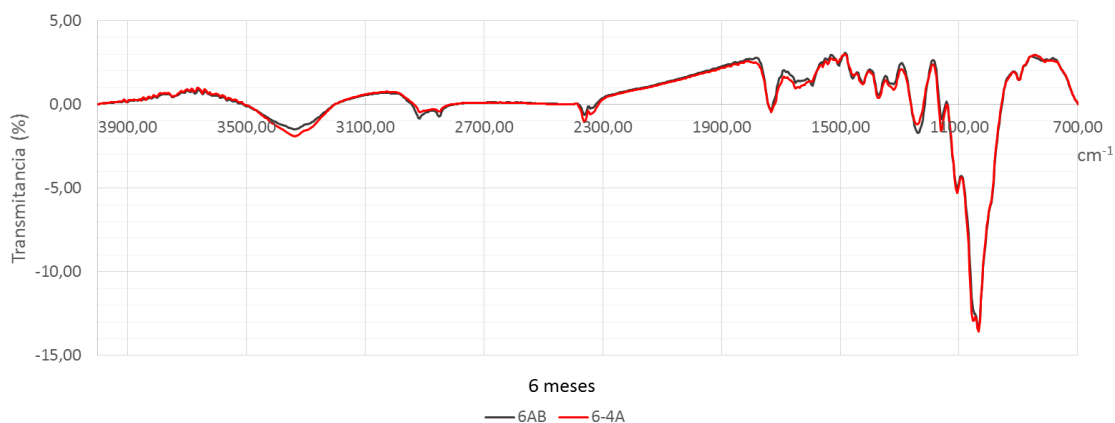


Figura 96. Espectros ATR-FTIR: relación entre transmitancia (%) y longitud de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ) de los no tejidos compuesto de fibras de capoc control (gris oscuro) y expuestos en el UV durante 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses (rojo)

Esta alteración es más visible después de 3 meses de exposición. Después de 6 meses, las intensidades de los picos de la muestra control y la muestra sometida a la exposición son bastante semejantes, probablemente debido a la exposición del nuevo polímero lignocelulósico situado bajo el cual está degradado [104]. Además, después de la exposición de 6 meses, desaparecen dos picos ubicados en las regiones 1500 y 1590  $\text{cm}^{-1}$ . Estos picos se atribuyen a los enlaces aromáticos C-H y C-C en la lignina, respectivamente [105]. Su desaparición demuestra la fotodegradación de la lignina.

#### 4.3.4.2. Calorimetría de barrido diferencial (DSC)

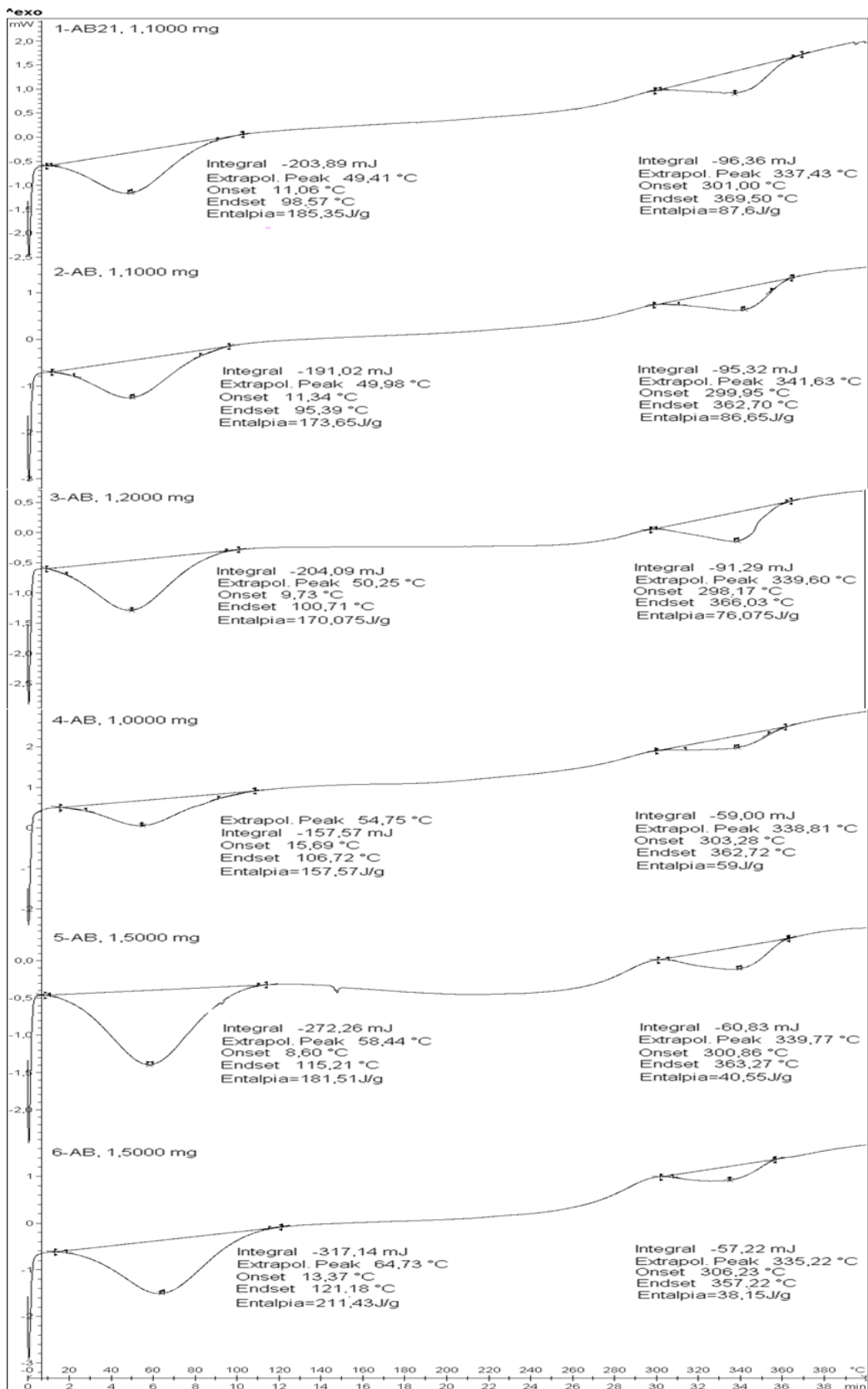
Este análisis fue realizado para evaluar alteraciones (térmicas y morfológicas) en las estructuras no tejidas 100 % capoc debido al envejecimiento acelerado. Las condiciones del ensayo se encuentran descritas en el capítulo 3. Se analizaron dos picos: el primer pico endotérmico, denominado como la “entalpía de relajación” o “entalpía de recuperación” cuya magnitud es una medida de la extensión del envejecimiento y el segundo pico endotérmico, correspondiente a la fusión de la parte cristalina. Se calculó el cambio porcentual en el calor latente de fusión ( $\Delta H_f$ ) usando la siguiente ecuación [106]:

$$\% \Delta H_f = [(\Delta H_{D, QUV} - \Delta H_{A, QUV}) / (\Delta H_{A, QUV})] \times 100 \quad (9)$$

Donde:

$\Delta H_{A, QUV}$  y  $\Delta H_{D, QUV}$ , son el calor latente de fusión de las muestras de antes y después del QUV, respectivamente.

La Figura 97 presenta los termogramas obtenidos antes y después de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses de exposición a la radiación.



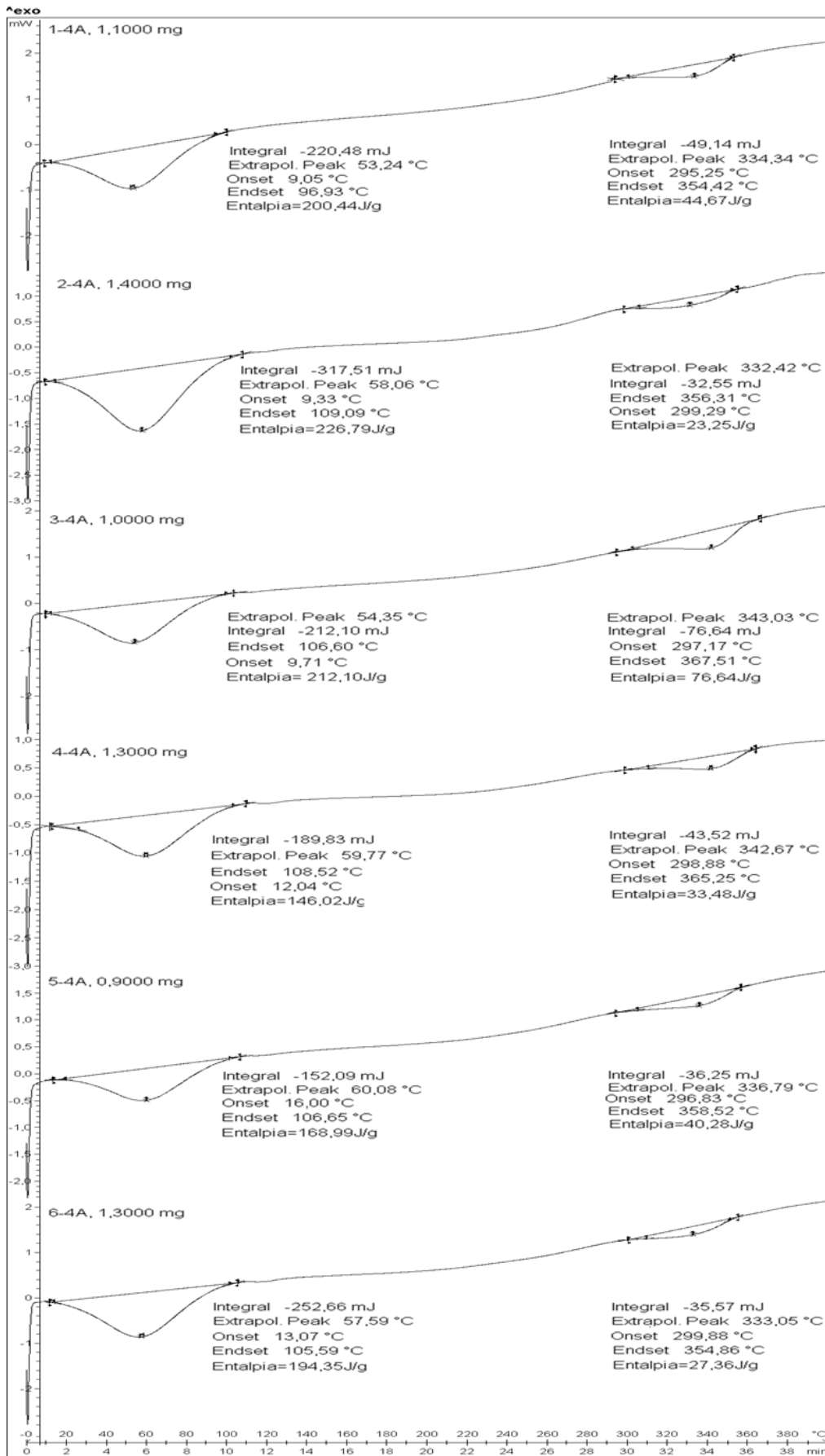


Figura 97. Termogramas obtenidos antes y después de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses de exposición a la radiación.



Los primeros picos endotérmicos de los no tejidos compuestos varían entre 53,34°C (no tejido compuesto del primer mes) y 60,08°C (no tejido compuesto del quinto mes). Ha habido un aumento de temperatura en °C desde el primer mes hasta el quinto mes con una ligera disminución, en el sexto mes de 57,59°C. En los segundos picos endotérmicos, el primer mes de exposición es de 334,34°C, con respecto a esta temperatura, en el segundo mes disminuye, llegando al pico máximo en el tercer mes con 356,83°C y disminuyendo en el sexto mes en 333,05°C.

El calor latente de fusión antes y después del QUV y el cambio obtenido se presentan en la Tabla 37.

Tabla 37. Calor latente de fusión antes y después del QUV (1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses)

	1 <sup>er</sup> pico endotérmico			2 <sup>o</sup> pico endotérmico			
	$\Delta H_{D,QUV}$ (J/g)	$\Delta H_{A,QUV}$ (J/g)	VE (%)	$\Delta H_{D,QUV}$ (J/g)	$\Delta H_{A,QUV}$ (J/g)	VE (%)	
1-1A	203,89	185,35	-10,00	1-1A2	43,71	87,65	50,13
1-2A	133,94	185,35	27,74	1-2A2	40,72	87,65	53,34
1-3A	183,02	185,35	1,26	1-3A	49,98	87,65	42,98
<b>1-4A</b>	<b>200,44</b>	<b>185,35</b>	<b>- 8,14</b>	<b>1-4A</b>	<b>44,67</b>	<b>87,65</b>	<b>49,04</b>
2-1A	127,01	137,65	7,73	2-1A	47,67	86,65	44,99
2-2A	192,07	137,65	-39,53	2-2A	46,59	86,65	46,23
2-3A	154,75	137,65	-12,42	2-3A	32,11	86,65	62,94
<b>2-4A</b>	<b>226,79</b>	<b>137,65</b>	<b>-64,76</b>	<b>2-4A</b>	<b>23,25</b>	<b>86,65</b>	<b>73,17</b>
3-1A	213,75	170,07	-25,68	3-1A	29,1	76,08	61,75
3-2A	155,66	170,07	8,47	3-2A	57,25	76,08	24,75
3-3A	155,50	170,07	8,57	3-3A	11,22	76,08	85,25
<b>3-4A</b>	<b>212,11</b>	<b>170,07</b>	<b>-24,72</b>	<b>3-4A</b>	<b>76,64</b>	<b>76,08</b>	<b>-0,74</b>
4-1A	181,51	146,02	-24,30	4-1A	68,08	59,06	-15,27
4-2A	132,02	146,02	9,59	4-2A	62,83	59,06	-6,38
4-3A	92,27	146,02	36,81	4-3A	13,39	59,06	77,33
<b>4-4A</b>	<b>159,81</b>	<b>146,02</b>	<b>-9,44</b>	<b>4-4A</b>	<b>33,48</b>	<b>59,06</b>	<b>43,31</b>
5-1A	126,04	181,51	30,56	5-1A	31,03	40,55	23,48
5-2A	92,27	181,51	49,16	5-2A	34,35	40,55	15,29
5-3A	159,81	181,51	11,96	5-3A	31,42	40,55	22,52
<b>5-4A</b>	<b>168,99</b>	<b>181,51</b>	<b>6,90</b>	<b>5-4A</b>	<b>40,28</b>	<b>40,55</b>	<b>0,67</b>
6-1A	174,43	211,43	17,50	6-1A	52,87	38,15	-38,58
6-2A	95,99	211,43	54,60	6-2A	46,43	38,15	-21,70
6-3A	173,41	211,43	17,98	6-3A	45,76	38,15	-19,95
<b>6-4A</b>	<b>194,35</b>	<b>211,43</b>	<b>8,08</b>	<b>6-4A</b>	<b>27,36</b>	<b>38,15</b>	<b>28,28</b>

En los picos de fusión, las entalpías antes del QUV (control) llegaron a ser menor en el tercer mes con 76,08 J/g, esta aumentó después del QUV llegando hasta los 76,64 J/g. Este resultado sugirió una disminución del -0,74 % en la variación entalpía de fusión de la estructura no tejida antes del QUV en comparación con la de después del QUV. Ocurrió lo contrario en las estructuras del primero, segundo, cuarto, quinto y sexto mes, teniendo un tanto por ciento mayor en la estructura del cuarto mes con 59,06 J/g de entalpía antes del QUV, esta llegó a disminuir en la entalpía después del

QUV con 33,48 J/g. Este resultado sugirió un aumento del 43,31 % de entalpía de fusión de las estructuras no tejidas antes del QUV en comparación con las de después del QUV.

#### 4.3.5. Análisis del aumento del espesor y captación de agua después del envejecimiento acelerado (QUV)

Con las condiciones de la degradación simulada que se realizaron a los no tejidos en la cámara de envejecimiento acelerado (QUV) (Figura 30 y tabla 8), estas ganaron en espesores. Para comprender si el motivo fue debido al UV o a la condensación se realizaron unos test, cuyos resultados se presentan en los subcapítulos siguientes.

##### 4.3.5.1. Efecto del UV

En las imágenes de la Figura 98, se muestra el primer no tejido compuesto 100 % capoc (mc13), expuesto al QUV durante 12 horas, con unos parámetros de 50°C (UV), radiación 76 W/m<sup>2</sup> y UB-340 nm.

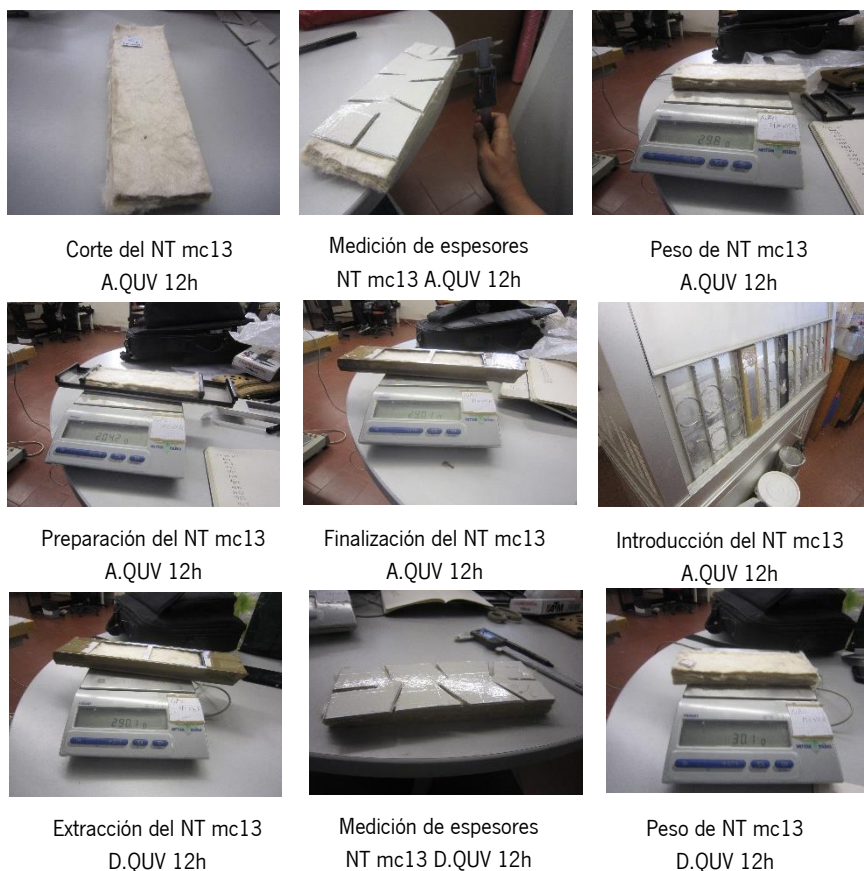


Figura 98. No tejido compuesto 100 % capoc expuesto 12 horas en la cámara de envejecimiento acelerado, con unos parámetros de 50 °C (UV), radiación 76 W/m<sup>2</sup> y UB- 340 nm

Las imágenes de la Figura 98 muestran a una estructura de no tejido compuesto de 7,5 x 18,5 cm la cual se pesó y midió el espesor antes y después de la degradación. La muestra fue introducida en la cámara de envejecimiento acelerado (QUV) durante 12 horas, con unos parámetros de 50 °C, radiación 76 W/m<sup>2</sup> y UB-340 nm. La Tabla 38 presenta los valores obtenidos.

Tabla 38. No tejido compuesto 100 % capoc expuesto 12 horas en la cámara de envejecimiento acelerado, con unos parámetros de 50 °C (UV), radiación 76 W/m<sup>2</sup> y UB- 340 nm

NT mc	No tejido compuesto 100 % capoc expuesto 12 horas en la cámara de envejecimiento acelerado de 50 °C (UV)		
mc13	Peso del no tejido (g)		Variación (%)
	Antes <sub>QUV</sub>	Después <sub>QUV</sub>	Antes <sub>QUV</sub> -Después <sub>QUV</sub>
	29,8	30,01	-1,00
	Espesor del no tejido (mm)		Variación (%)
	Antes <sub>QUV</sub>	Después <sub>QUV</sub>	Antes <sub>QUV</sub> -Después <sub>QUV</sub>
	11,36	10,72	5,63

Como se puede verificar, después de la degradación (después del QUV), el no tejido compuesto mc13 ha sufrido una variación en el peso con un aumento del -1 % y una disminución en el espesor del 5,63 %. Después de este proceso, se observó que el exterior de la probeta estaba seca y que el no tejido compuesto estaba seco y caliente. Se concluyó que este no tejido compuesto, no ha ganado ni en peso ni en espesor, ya que el peso y el espesor antes del QUV es prácticamente similar a su peso y espesor después del QUV.

#### 4.3.5.2. Efecto de la condensación

En las imágenes de la Figura 99 se muestra el segundo no tejido compuesto 100 % capoc (mc14) expuesto en la cámara de envejecimiento acelerado (QUV) durante 12 horas, con unos parámetros de 40 °C (condensación), radiación 76 W/m<sup>2</sup> y UB- 340 nm.

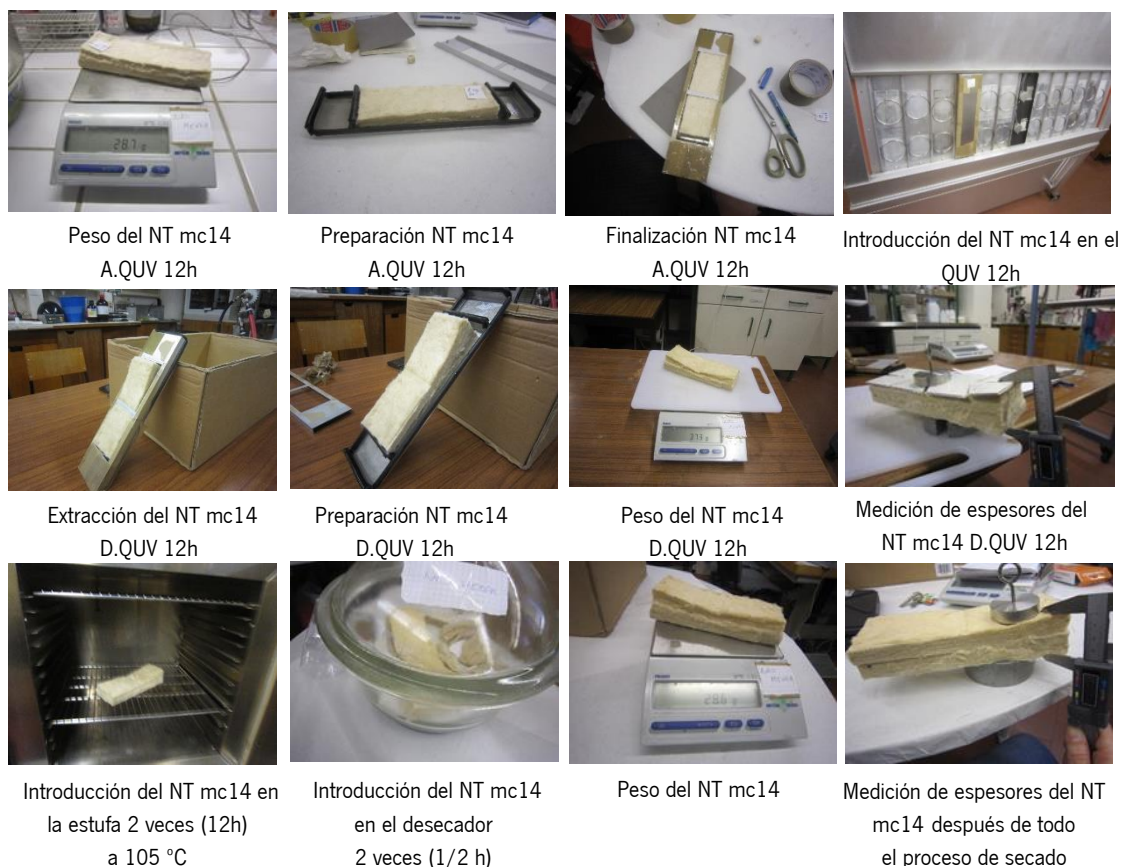


Figura 99. No tejido compuesto 100 % capoc expuesto 12 horas en la cámara de envejecimiento acelerado, con unos parámetros de 40 °C (condensación), radiación 76 W/m<sup>2</sup> y UB- 340 nm

Las imágenes de la Figura 99 muestran una estructura de no tejido compuesto de 7,5 x 19,5 cm, este se pesó y se midió el espesor antes y después del QUV y después de la estufa. La Tabla 39 presenta los resultados del ensayo.

Tabla 39. No tejido compuesto 100 % capoc expuesto 12 horas en la cámara de envejecimiento acelerado, con unos parámetros de 40 °C (condensación) radiación 76 W/m<sup>2</sup> y UB- 340 nm

NT mc	No tejido compuesto 100 % capoc expuesto 12 horas en la cámara de envejecimiento acelerado a 40 °C (condensación)				
mc14	Peso del no tejido (g)			Variación peso (%)	Variación peso (%)
	Antes <sub>QUV</sub>	Después <sub>QUV</sub>	Después <sub>estufa</sub>	Antes <sub>QUV</sub> - Después <sub>QUV</sub>	Después <sub>QUV</sub> - Después <sub>estufa</sub>
	28,3	32,9	28,7	-16,25	13,48
	Espesor del no tejido (mm)			Variación espesor (%)	Variación espesor (%)
	Antes <sub>QUV</sub>	Después <sub>QUV</sub>	Después <sub>estufa</sub>	Antes <sub>QUV</sub> - Después <sub>QUV</sub>	Después <sub>QUV</sub> - Después <sub>estufa</sub>
	9,65	24,40	18,24	-152,84	25,04

Antes de ser introducido el no tejido compuesto (mc14) en el QUV este se pesó y se midieron los espesores. Se introdujo en el QUV durante 12 horas, con unos parámetros de 40°C

(condensación), radiación 76 W/m<sup>2</sup> y UB- 340 nm. Después del QUV se pesó y se midieron los espesores. El peso (-16,25 %) y el espesor (-152,84 %) del no tejido aumentó después del QUV. Después del QUV, se observó que en el interior de la probeta quedaba agua. A través del tacto, no se notó ninguna humedad en la superficie del no tejido compuesto. Se depositó encima de un papel de seda y el no tejido no dejó ningún resto de humedad, a pesar de que en el corte del no tejido se podían ver suspendidas unas minúsculas gotitas de agua sobre las fibras de capoc (Figura 100).

Este no tejido compuesto se introdujo en una estufa a 105 °C durante 12 horas, se sacó de la estufa y se introdujo en el desecador durante ½ hora. Se sacó del desecador se pesó y se volvió a introducir en la estufa a 105 °C durante 4 horas y se volvió a sacar de la estufa, introduciéndose en el desecador durante ½ hora. Se volvió a pesar y a medir los espesores.

Este no tejido compuesto mc14, disminuyó en peso (13,48 %) y en espesor (25,04 %) después de secado en la estufa e introducido en un desecador (Figura 99 y Tabla 39).



Gotitas de agua en el corte del no tejido

Figura 100. Gotitas de agua en el corte del no tejido después de la degradación en el QUV (12h de condensación)

El no tejido compuesto de fibras 100 % capoc, después de la condensación, resultó tener un mayor espesor y aproximadamente 5 gramos de agua (H<sub>2</sub>O) equivalente a -16,25 %, esta conclusión se obtuvo a partir de las diferencias de pesos. Este no tejido, después de expuesto en la cámara de envejecimiento acelerado (QUV), se cogió con los dedos y se comprobó por el tacto que estaba completamente seco, se colocó sobre un papel de seda y este no se humedeció en ningún momento, de lo que sí se tuvo constancia fue de que en la zona del no tejido, donde se había realizado el corte se veían gotitas de agua en suspensión (Figura 100). A estas estructuras se les

había realizado la prueba de capilaridad vertical, horizontal, prueba de la gota y prueba de la lluvia. Se comprobó que en estas pruebas el no tejido no absorbía agua, pasando esta sobre la estructura casi sin tocarla. El no tejido se depositó en un recipiente de agua a temperatura ambiente y se quedaba flotando en su totalidad sobre la superficie del agua. A estas estructuras se le realizó la permeabilidad al aire con un resultado de 0 (l/m<sup>2</sup>/s) y la prueba del ángulo de contacto con un resultado de 180° aproximadamente. Este no tejido a temperatura ambiente dio el resultado de súperhidrofóbico.

## Capítulo 5. Conclusiones y Perspectivas futuras

Conclusiones y perspectivas futuras del potencial y adecuabilidad de los no tejidos de fibras naturales de miraguano (identificadas en esta tesis como fibras de capoc) y mezclas de fibras de capoc y lino.

### 5.1. Conclusiones

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo final el desarrollo de estructuras no tejidas a base de miraguano (identificadas en este trabajo como fibras de capoc) para aplicaciones técnicas, principalmente agrot textiles. Se exploraron dos métodos de producción basados en el proceso *dry-laid* de formación y consolidación de no tejidos. El método tradicional de punzonado, utilizando la “Línea Automatex”, donde se desarrollaron diferentes estructuras de no tejidos a partir de mezclas de fibras de capoc y fibras de lino en diferentes proporciones, y un nuevo método de producción, desarrollado por la estudiante de doctorado y pedido de patente nacional (PT 109924 A) donde se produjeron estructuras no tejidas 100 % capoc y de mezclas de capoc y lino utilizando fibras de capoc en rama no tratadas.

Por el método tradicional en la “Línea Automatex” se crearon no tejidos punzonados denominados como no tejidos simples, sándwich y compuestos de fibras de capoc y fibras de lino. Estos no tejidos fueron creados con diferentes disposiciones de fibras, número de superposiciones (capas) y número de pasadas por la punzonadora.

Se constató que en los no tejidos simples de mezclas de fibras de capoc y lino, de manera general, la forma en que las fibras son mezcladas influye en el comportamiento del no tejido, siendo el más destacable, el no tejido simple ms8-M creado a partir de velos de mezclas de capoc-lino (CP-CL) que obtuvo mayores resistencias a la rotura en ambas direcciones (MD-231 N y CD-209 N) a pesar de tener menor cantidad de fibra en su producción (1691 g/m<sup>2</sup>). Sin embargo, en el no tejido simple ms12-M de velos de capoc y velos de lino (CP+CL) a pesar de tener una mayor masa por unidad de área con 3103 g/m<sup>2</sup> la resistencia a la rotura en ambas direcciones fue menor (MD-150 N y CD-164 N). Estos no tejidos simples constituyen el módulo base de las estructuras sándwich desarrolladas.

En los no tejidos sándwich se observó que, cuanto mayor es la masa por unidad de área, mayor resistencia a la rotura, no teniéndose en cuenta la composición de las fibras en la que estaban formados. El no tejido sándwich que más destacó entre todos los creados por este método tradicional, fue el no tejido sándwich mw11-M formado por fibras abiertas de capoc-lino, fibras

abiertas de capoc y velos de lino (CP-CL+CP fibras abiertas+ CL), presentando la mayor masa por unidad de área (4518 g/m<sup>2</sup>) y las mayores resistencias a la rotura en ambas direcciones (MD-410 N y CD-668 N). La resistencia a la perforación de este no tejido sándwich fue la máxima obtenida (1151 N), con la altura del pico  $h_{op}$  más pequeña (5 mm), quedando la marca después de la prueba. Los resultados en los parámetros definidos para evaluar el daño en la estructura, denominados  $T_{@t}$  “*Through-Thickness damage*” y “*Lateral damage*” demostraron su compatibilidad con la aplicación pretendida. Este no tejido se diferencia de los otros por estar creado con más cantidad de fibras sueltas de capoc-lino mezcladas y fibras sueltas 100 % capoc, retiradas directamente de la abridora y sobrepuestas durante la producción del no tejido. Relativamente a las propiedades térmicas, este no tejido sándwich presentó una de las mayores resistencias térmicas (118 (x10<sup>-3</sup>) (m<sup>2</sup>KW<sup>-1</sup>)), un bajo flujo térmico (275 (x10<sup>-3</sup>) [Wm<sup>-2</sup>]), y el menor valor en absorptividad térmica 79 (Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>S<sup>1/2</sup>)).

El único no tejido compuesto, formado por dos no tejidos sándwich con 9 capas, a partir de velos de mezclas de capoc-lino + velos de lino + velos de capoc (CP-CL+CP+CL), posteriormente punzonado por el método tradicional (mc32-M), obtuvo una de las mayores masas por unidad de área con 3375 g/m<sup>2</sup> y también una de las mayores resistencias a la rotura en ambas direcciones (MD-616 N y CD-305 N). La resistencia a la perforación presentó un valor aceptable (791 N), con una altura del pico  $h_{op}$  entre los valores más bajos (9 mm). Las medidas de los parámetros definidos para evaluar el daño en la estructura, en particular  $T_{@t}$  “*Through-Thickness damage*” superó el valor considerado aceptable (69 %). La resistencia térmica de este no tejido fue la más elevada (142 (x10<sup>-3</sup>) (m<sup>2</sup>KW<sup>-1</sup>)), con valores de absorptividad térmica y flujo térmico semejantes al de la estructura no tejida sándwich mw11-M.

Todos los no tejidos simples, sándwich y compuestos de mezclas de fibras de capoc y fibras de lino no presentaron capacidad de dispersión de líquidos, llegando a flotar en el agua. En la prueba de la gota y de la lluvia, las gotas rodaban o deslizaban sobre la superficie de los no tejidos sin perder la forma esférica, demostrando su hidrofobicidad.

A pesar de que este método ha sido desarrollado específicamente para conseguir producir no tejidos íntegramente con fibras de capoc en rama, no tratadas, con resistencia mecánica suficiente para aplicaciones en agrotexiles, se realizó un estudio para evaluar su potencial y adecuabilidad en la producción de no tejidos de mezclas de fibras naturales. Desarrollándose de esta manera no tejidos de mezcla de capoc-lino producidos por este nuevo método de producción. Se verificó que cuanto más elevada era la masa por unidad de área en los no tejidos, mayor era la resistencia a



la rotura, excepto en el no tejido compuesto prensado bajo estabilización con presión (mcp8), en que la resistencia a la rotura en la dirección de la máquina alcanzó los 609 N, con una masa por unidad de área de 7404 g/m<sup>2</sup>. Los no tejidos simples y los no tejidos sándwich 100 % capoc, desarrollados según las diferentes enfoques (una vez y dos veces prensados y punzonado-prensado-punzonado) no presentaron resistencia mecánica suficiente para aplicaciones agrotexiles, esto es, resistencias a la rotura por encima de 100 N.

Los no tejidos compuestos formados por estructuras sándwich 100 % capoc, fueron los únicos en alcanzar un mínimo de 100 N de fuerza máxima de rotura hasta 990 N (mc11d). Este valor depende del proceso de formación. De entre las estructuras no tejidas compuestas, formadas por dos superposiciones de no tejidos sándwich, el no tejido compuesto mc6e, dos veces prensado en sentido cruzado, fue el que obtuvo el valor máximo en resistencia a la rotura en dirección a la máquina (197 N) con una masa por unidad de área de 1523 g/m<sup>2</sup>. Relativamente a las propiedades térmicas, en general, los no tejidos compuestos a partir de dos superposiciones de no tejidos sándwich con diferentes orientaciones (longitudinal y cruzado), una vez prensado y dos veces prensado han resultado tener unos valores de conductividad térmica de entre 60-80 (x10<sup>-3</sup>) (Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>), resistencias térmicas de entre 148-186 (x10<sup>-3</sup>) (m<sup>2</sup>KW<sup>-1</sup>), absorptividad térmica de entre 86-310 (Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>S<sup>1/2</sup>) y flujo térmico de entre 210-791(x10<sup>-3</sup>) [W m<sup>-2</sup>]. De entre los no tejidos compuestos constituidos por más de dos superposiciones de no tejidos sándwich, el no tejido compuesto de tres superposiciones, estabilizado con presión (mcp3) fue el que obtuvo mayor resistencia a la rotura en dirección a la máquina (754 N) con una masa por unidad de área de 3029 g/m<sup>2</sup>.

Para evaluar la durabilidad de las estructuras bajo condiciones ambientales, se realizaron test de envejecimiento acelerado (1 a 6 meses) a los no tejidos compuestos de fibras 100 % capoc con propiedades mecánicas compatibles con la aplicación pretendida. Se verificó que la resistencia a la rotura aumentó a partir de los 3 meses de exposición en un 41 %, la resistencia a la perforación se redujo y la altura del pico h<sub>op</sub> aumentó (antes de la degradación 18 mm y después de la degradación 19 mm). Relativamente, en las propiedades térmicas se verificó un aumento del valor de la resistencia y la conductividad térmica, reduciendo la absorptividad térmica y el flujo térmico. El ángulo de contacto de los no tejidos compuestos 100 % capoc, antes y después de la degradación, han obtenido valores por encima de los 160° llegando a los 180°, indicando que estas estructuras son superhidrofóbicas.

## **5.2. Perspectivas futuras**

Las estructuras presentadas en este trabajo, están recién creadas y tienen un amplio campo de investigación por delante en todas las áreas de posibles aplicaciones y su uso puede ser muy amplio, pudiendo llegar su utilización más allá de los agrotexiles, geotexiles e ingeniería civil. En cada aplicación se puede abrir un amplio abanico de usos. En agricultura puede ser usado para retener humedad en el suelo, proteger raíces de heladas, para la captación y la dispersión de agua. En esta investigación, para evaluar la degradación de las estructuras de los no tejidos compuestos 100 % capoc, se realizó la simulación en el QUV de 1 a 6 meses, siendo el mínimo que se le puede realizar para validar una estructura. Después del QUV, donde se ganó en espesor y se verificó una ligera degradación en la estructura, se debería de hacer un estudio más exhaustivo para entender mejor el mecanismo de degradación. Además, para saber cuánto tiempo útil tiene la estructura, se debería de hacer un estudio de la degradación al aire libre y expuestas a diferentes condiciones climáticas y diferentes posiciones.

## Bibliografia

- [1] «The Future of Global Nonwovens Markets to 2020, Market report, 31 May 2015. <http://www.smitherspira.com/resources/2015/d>».
- [2] C. W. Dick, E. Bermingham, M. R. Lemes, and R. Gribel, «Extreme long-distance dispersal of the lowland tropical rainforest tree *Ceiba pentandra* L. (Malvaceae) in Africa and the Neotropics: LONG-DISTANCE DISPERSAL OF RAINFOREST TREES», *Molecular Ecology*, vol. 16, n.º 14, pp. 3039-3049, jun. 2007, doi: 10.1111/j.1365-294X.2007.03341.x.
- [3] J. D. Chinea-Rivera, «*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. Manual of Tropical Species, USDA Forest Service», *General technical report IITF*, vol. 15, p. 135, 2000.
- [4] Y. Y. Tye, K. T. Lee, W. N. Wan Abdullah, and C. P. Leh, «Potential of *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. (kapok fiber) as a resource for second generation bioethanol: Effect of various simple pretreatment methods on sugar production», *Bioresource Technology*, vol. 116, pp. 536-539, jul. 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2012.04.025.
- [5] Y. Liu, J. Wang, Y. Zheng, and A. Wang, «Adsorption of methylene blue by kapok fiber treated by sodium chlorite optimized with response surface methodology», *Chemical Engineering Journal*, vol. 184, pp. 248-255, mar. 2012, doi: 10.1016/j.cej.2012.01.049.
- [6] T. Nilsson and C. Björdal, «The use of kapok fibres for enrichment cultures of lignocellulose-degrading bacteria», *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 61, n.º 1, pp. 11-16, ene. 2008, doi: 10.1016/j.ibiod.2007.06.009.
- [7] J. Prachayawarakorn, S. Chaiwatyothin, S. Mueangta, and A. Hanchana, «Effect of jute and kapok fibers on properties of thermoplastic cassava starch composites», *Materials & Design*, vol. 47, pp. 309-315, may 2013, doi: 10.1016/j.matdes.2012.12.012.
- [8] X. Zhang *et al.*, «Superhydrophobicity determines the buoyancy performance of kapok fiber aggregates», *Applied Surface Science*, vol. 266, pp. 225-229, feb. 2013, doi: 10.1016/j.apsusc.2012.11.153.
- [9] T.-T. Lim and X. Huang, «Evaluation of kapok (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) as a natural hollow hydrophobic–oleophilic fibrous sorbent for oil spill cleanup», *Chemosphere*, vol. 66, n.º 5, pp. 955-963, ene. 2007, doi: 10.1016/j.chemosphere.2006.05.062.
- [10] B. Y. Chung *et al.*, «Flame-resistant kapok fiber manufactured using gamma ray», *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 78, n.º 7-8, pp. 513-515, jul. 2009, doi: 10.1016/j.radphyschem.2009.03.036.

- [11] M. Sfiligoj, S. Hribernik, K. Stana, and T. Kree, «Plant Fibres for Textile and Technical Applications», en *Advances in Agrophysical Research*, S. Grundas, Ed. InTech, 2013.
- [12] R. Malkapuram, V. Kumar, and Yuvraj Singh Negi, «Recent Development in Natural Fiber Reinforced Polypropylene Composites», *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 28, n.º 10, pp. 1169-1189, may 2009, doi: 10.1177/0731684407087759.
- [13] J. Prachayawarakorn, S. Chaiwatyothin, S. Mueangta, and A. Hanchana, «Effect of jute and kapok fibers on properties of thermoplastic cassava starch composites», *Materials & Design*, vol. 47, pp. 309-315, may 2013, doi: 10.1016/j.matdes.2012.12.012.
- [14] J. Wang, Y. Zheng, and A. Wang, «Effect of kapok fiber treated with various solvents on oil absorbency», *Industrial Crops and Products*, vol. 40, pp. 178-184, nov. 2012, doi: 10.1016/j.indcrop.2012.03.002.
- [15] X. Zhang, C. Wang, W. Chai, X. Liu, Y. Xu, and S. Zhou, «Kapok fiber as a natural source for fabrication of oil absorbent: Oil absorbent fabricated from kapok fiber», *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 92, n.º 7, pp. 1613-1619, jul. 2017, doi: 10.1002/jctb.5155.
- [16] Y. Zheng, J. Wang, Y. Zhu, y A. Wang, «Research and application of kapok fiber as an absorbing material: A mini review», *Journal of Environmental Sciences*, vol. 27, pp. 21-32, ene. 2015, doi: 10.1016/j.jes.2014.09.026.
- [17] J. Wang, Y. Zheng, Y. Kang, and A. Wang, «Investigation of oil sorption capability of PBMA/SiO<sub>2</sub> coated kapok fiber», *Chemical Engineering Journal*, vol. 223, pp. 632-637, may 2013, doi: 10.1016/j.cej.2013.03.007.
- [18] M. A. Fuqua, S. Huo, and C. A. Ulven, «Natural Fiber Reinforced Composites», *Polymer Reviews*, vol. 52, n.º 3, pp. 259-320, jul. 2012, doi: 10.1080/15583724.2012.705409.
- [19] B. D. Lazić *et al.*, «Influence of hemicelluloses and lignin content on structure and sorption properties of flax fibers (*Linum usitatissimum* L.)», *Cellulose*, vol. 25, n.º 1, pp. 697-709, ene. 2018, doi: 10.1007/s10570-017-1575-4.
- [20] R.M. Rowel, «Natural fibres: types and properties», *Properties and performance of natural-fibre composites*, p. 1, 2008.
- [21] R. S. Olivito, O. A. Cevallos, and A. Carrozzini, «Development of durable cementitious composites using sisal and flax fabrics for reinforcement of masonry structures», *Materials & Design*, vol. 57, pp. 258-268, may 2014, doi: 10.1016/j.matdes.2013.11.023.

- [22] S. Maity, D. P. Gon, and P. Paul, «A Review of Flax Nonwovens: Manufacturing, Properties, and Applications», *Journal of Natural Fibers*, vol. 11, n.º 4, pp. 365-390, oct. 2014, doi: 10.1080/15440478.2013.861781.
- [23] K. Charlet, J.-P. Jernot, J. Breard, and M. Gomina, «Scattering of morphological and mechanical properties of flax fibres», *Industrial Crops and Products*, vol. 32, n.º 3, pp. 220-224, nov. 2010, doi: 10.1016/j.indcrop.2010.04.015.
- [24] O. Faruk, A. K. Bledzki, H.-P. Fink, and M. Sain, «Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010», *Progress in Polymer Science*, vol. 37, n.º 11, pp. 1552-1596, nov. 2012, doi: 10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003.
- [25] K. BHAVANI, N. MALLIKARJUN, and N. M. SUNILKUMAR, «Agro textiles - Their applications in agriculture and scope for utilizing natural fibers in agro tech sector», p. 10, 2017.
- [26] T. Sanyal, *Jute Geotextiles and their Applications in Civil Engineering*. Singapore: Springer Singapore, 2017.
- [27] E. M. Palmeira and M. G. Gardoni, «Drainage and filtration properties of non-woven geotextiles under confinement using different experimental techniques», *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 20, n.º 2, pp. 97-115, abr. 2002, doi: 10.1016/S0266-1144(02)00004-3.
- [28] T. Iryo and R. K. Rowe, «On the hydraulic behavior of unsaturated nonwoven geotextiles», *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 21, n.º 6, pp. 381-404, dic. 2003, doi: 10.1016/S0266-1144(03)00046-3.
- [29] J. P. Giroud, «Geotextiles and Geomembranes», p. 36.
- [30] Russell, S.J., *Handbook of nonwovens*. Boca Raton; Cambridge, England: CRC Press ; Woodhead Pub., 2006.
- [31] A. Patanaik and R. Anandjiwala, «Some Studies on Water Permeability of Nonwoven Fabrics», *Textile Research Journal*, vol. 79, n.º 2, pp. 147-153, feb. 2009, doi: 10.1177/0040517508091313.
- [32] A. K. Sen, *Coated textiles: principles and applications*. Lancaster: Technomic Pub. Co, 2001.
- [33] W. Albrecht, H. Fuchs, W. Kittelmann, and J. Lünenschloss, *Nonwoven fabrics*. Weinheim: Wiley-VCH, 2003.
- [34] X. Hou, M. Acar, and V. V. Silberschmidt, «Finite element simulation of low-density thermally bonded nonwoven materials: Effects of orientation distribution function and arrangement of bond points», *Computational Materials Science*, vol. 50, n.º 4, pp. 1292-1298, feb. 2011, doi: 10.1016/j.commatsci.2010.03.009.

- [35] J. Detrell Casellas, *Introducción a las telas no tejidas*. Terrassa (Barcelona): Cátedra de Técnica Textil (Tecnitex), 1997.
- [36] J. Koike, K. Okubo, and T. Fujii, «Effect of needle punching on strength of stampable sandwich sheet fabricated with bamboo fiber and recycled carbon fiber mat», en *Proceedings of The 18th International Conference on Composite Materials (ICCM18)*, pp. W5-5, 2011.
- [37] I. G. Lupu, O. Cramariuc, H. I. Hogas, and L. Hristian, «Parameters optimization for the production of needle-punched nonwoven agrotexiles», *Journal of the Textile Institute*, vol. 104, n.º 10, pp. 1125-1131, oct. 2013, doi: 10.1080/00405000.2013.777581.
- [38] A. Watanabe, M. Miwa, T. Yokoi, and A. A. Merati, «Predicting the Penetrating Force and Number of Fibers Caught by a Needle Barb in Needle Punching», *Textile Research Journal*, vol. 74, n.º 5, pp. 417-425, may 2004, doi: 10.1177/004051750407400508.
- [39] W.-H. Hsing, J.-H. Lin, and K.-T. Kao, «The investigation of fiber carding performance with the application of static electricity to carded nonwoven fabric process», *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 192-193, pp. 543-548, oct. 2007, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.04.090.
- [40] Chung-Feng Jeffrey Kuo, Te-Li Su, and Cheng-Ping Tsai, «Optimization of the Needle Punching Process for the Nonwoven Fabrics with Multiple Quality Characteristics by Grey-Based Taguchi Method», *Fibers and Polymers*, vol. 8, n.º 6, pp. 654-664, 2007.
- [41] I.-J. Tsai, C.-H. Lei, C.-H. Lee, Y.-C. Lee, C.-W. Lou, and J.-H. Lin, «Manufacturing process and property analysis of industrial flame retarded PET fiber and polyurethane composite», *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 192-193, pp. 415-421, oct. 2007, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.04.084.
- [42] R. Saghafi, M. Zarrebini, and M. Moezzi, «Mechanical Properties of Needle-Punched Fabrics in Relation to Fiber Orientation», vol. 5, n.º 1, p. 8.
- [43] B. C. Goswami, T. Beck, and F. L. Scardino, «Influence of Fiber Geometry on the Punching-Force Characteristics of Webs During Needle Felting», *Textile Research Journal*, vol. 42, n.º 10, pp. 605-612, oct. 1972, doi: 10.1177/004051757204201013.
- [44] R. D. Anandjiwala and L. Boguslavsky, «Development of Needle-punched Nonwoven Fabrics from Flax Fibers for Air Filtration Applications», *Textile Research Journal*, vol. 78, n.º 7, pp. 614-624, jul. 2008, doi: 10.1177/0040517507081837.
- [45] V. K. Midha, «Bulk and physical properties of needle-punched nonwoven fabrics», *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, vol. 30, pp. 218-229, jun. 2005.

- [46] I. Gnaba *et al.*, «Mechanical behavior of flax/polypropylene commingled nonwoven at dry scale: Influence of process parameters», *Textile Research Journal*, p. 004051751875578, ene. 2018, doi: 10.1177/0040517518755789.
- [47] E. Engle, «EDITORIAL ADVISORY BOARD Cosmo Camelio INDA Roy Broughton Auburn University Robin Dent Albany International», p. 61.
- [48] A. Rawal, S. Anand, and T. Shah, «Optimization of Parameters for the Production of Needle-punched Nonwoven Geotextiles», *Journal of Industrial Textiles*, vol. 37, n.º 4, pp. 341-356, abr. 2008, doi: 10.1177/1528083707081594.
- [49] S. Maity and K. Singha, «Structure-Property Relationships of Needle-Punched Nonwoven Fabric», *Frontiers in Science*, vol. 2, n.º 6, pp. 226-234, ene. 2013, doi: 10.5923/j.fs.20120206.16.
- [50] S. PALAMUTCU and N. DEVRENT, «Technical Textiles for Agricultural Applications», vol. 3, n.º 1, p. 8, 2017.
- [51] A. R. Horrocks and Textile Institute, Eds., *Handbook of technical textiles*. Cambridge: Woodhead Pub, 2000.
- [52] A. Rawal, T. Shah, and S. Anand, «Geotextiles: production, properties and performance», *Textile Progress*, vol. 42, n.º 3, pp. 181-226, sep. 2010, doi: 10.1080/00405160903509803.
- [53] D. B. J. Agrawal, «GEOTEXTILE: IT'S APPLICATION TO CIVIL ENGINEERING – OVERVIEW», p. 6, 2011.
- [54] S. Palamutcu and N. Devrent, «Technical Textiles for Agricultural Applications», vol. 3, n.º 1, p. 8, 2017.
- [55] C. Gimenez, R. F. Otto, and N. Castilla, «Productivity of leaf and root vegetable crops under direct cover», *Scientia Horticulturae*, vol. 94, n.º 1, pp. 1-11, may 2002, doi: 10.1016/S0304-4238(01)00356-9.
- [56] E. Kosterna, «The effect of covering and mulching on the soil temperature, growth and yield of tomato», *Folia Horticulturae*, vol. 26, n.º 2, ene. 2014, doi: 10.2478/fhort-2014-0009.
- [57] A. Kalisz, S. Cebula, P. Siwek, A. Sękara, A. Grabowska, and J. Gil, «Effects of Row Covers Using Non-woven Fleece on the Yields, Rate of Bolting, and Quality of Heading Chinese Cabbage in Early Spring Cultivation», *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, vol. 83, n.º 2, pp. 133-141, 2014, doi: 10.2503/jjshs1.CH-064.

- [58] İ. Özen, G. Okyay, and A. Ulaş, «Coating of nonwovens with potassium nitrate containing carboxymethyl cellulose for efficient water and fertilizer management», *Cellulose*, vol. 25, n.º 2, pp. 1527-1538, feb. 2018, doi: 10.1007/s10570-018-1655-0.
- [59] E. O. Gogo, M. Saidi, A. M. Opiyo, T. Martin, and M. Ngouajio, «Effects of Alpha-Cypermethrin Impregnated Agricultural Net Covers on the Crop Environment, Insect Pest Population and Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* mill)», *Afr. J. Hort. Sci.*, vol. 11, p. 59, mar. 2017.
- [60] S. Sengupta and S. Debnath, «Study on needle-punched jute nonwoven as an artificial medium for germination of seed: Effect of bulk density», *Journal of Natural Fibers*, pp. 1-9, ene. 2018, doi: 10.1080/15440478.2018.1426078.
- [61] A. H. Alhaddad and R. L. Naji, «Evaluation of Textile Filter in Field Drains», *Journal of Engineering*, vol. 23, n.º 1, p. 16, 2017.
- [62] N.-E. Sabiri, A. Caylet, A. Montillet, L. Le Coq, and Y. Durkheim, «Performance of nonwoven geotextiles on soil drainage and filtration», *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, pp. 1-19, dic. 2017, doi: 10.1080/19648189.2017.1415982.
- [63] K. Lekha and V. Kavitha, «Coir geotextile reinforced clay dykes for drainage of low-lying areas», *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 24, n.º 1, pp. 38-51, feb. 2006, doi: 10.1016/j.geotextmem.2005.05.001.
- [64] B. Abbar, A. Alem, A. Pantet, S. Marcotte, N.-D. Ahfir, and D. Duriatti, «Experimental investigation on removal of suspended particles from water using flax fibre geotextiles», *Environmental Technology*, vol. 38, n.º 23, pp. 2964-2978, dic. 2017, doi: 10.1080/09593330.2017.1284270.
- [65] B. C. Chattopadhyay y S. Chakravarty, «Application of jute geotextiles as facilitator in drainage», *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 27, n.º 2, pp. 156-161, abr. 2009, doi: 10.1016/j.geotextmem.2008.09.002.
- [66] W. N. Donald, W. C. Zech, M. A. Perez, and X. Fang, «Evaluation and Modification of Wire-Backed Nonwoven Geotextile Silt Fence for Use As a Ditch Check», *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 142, n.º 2, p. 04015050, feb. 2016, doi: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000959.
- [67] J. Broda *et al.*, «Application of innovative meandrically arranged geotextiles for the protection of drainage ditches in the clay ground», *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 45, n.º 1, pp. 45-53, feb. 2017, doi: 10.1016/j.geotextmem.2016.07.003.



- [68] M. Datta, N. P. Singh, P.K. choudhury, S. Mitra, and R. Sen, «JUTE AGROTEXTILE - ITS USES IN AGRICULTURE», *Icar Research Complex for NEH Region Tripura Centre, Lembucherra-799 210 Tripura (West ) TRIPURA*, vol. No. 21, 2005.
- [69] S. Sengupta and S. Debnath, «Study on needle-punched jute nonwoven as an artificial medium for germination of seed: Effect of bulk density», *Journal of Natural Fibers*, pp. 1-9, ene. 2018, doi: 10.1080/15440478.2018.1426078.
- [70] S. Sengupta and S. Debnath, «Production and Application of Engineered Waste Jute Entangled Sheet for Soil Cover: A Green System», vol. 77, p. 6, abr. 2018.
- [71] K. Manna, C. K. Manik, S. Biplab, and K. G. Goutam, «Effect of nonwoven jute agrotexile mulch on soil health and productivity of broccoli (*Brassica oleracea* L.) in lateritic soil», *Springer International Publishing AG*, 2018, doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6452-y>.
- [72] A. Rawal and R. Anandjiwala, «Comparative study between needlepunched nonwoven geotextile structures made from flax and polyester fibres», *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 25, n.º 1, pp. 61-65, feb. 2007, doi: 10.1016/j.geotexmem.2006.08.001.
- [73] F. Omrani, P. Wang, D. Soulat, M. Ferreira, and P. Ouagne, «Analysis of the deformability of flax-fibre nonwoven fabrics during manufacturing», *Composites Part B: Engineering*, vol. 116, pp. 471-485, may 2017, doi: 10.1016/j.compositesb.2016.11.003.
- [74] Š. Hýsek, R. Wimmer, and M. Böhm, «Optimal Processing of Flax and Hemp Fibre Nonwovens», *BioResources*, vol. 11, n.º 4, ago. 2016, doi: 10.15376/biores.11.4.8522-8534.
- [75] N. Kumar and D. Das, «Nonwoven geotextiles from nettle and poly(lactic acid) fibers for slope stabilization using bioengineering approach», *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 46, n.º 2, pp. 206-213, abr. 2018, doi: 10.1016/j.geotexmem.2017.11.007.
- [76] Y.-H. Lee *et al.*, «Effect of blend ratio of PP/kapok blend nonwoven fabrics on oil sorption capacity», *Environmental Technology*, vol. 34, n.º 24, pp. 3169-3175, dic. 2013, doi: 10.1080/09593330.2013.808242.
- [77] P. Ganesan and T. Karthik, «Development of acoustic nonwoven materials from kapok and milkweed fibres», *The Journal of The Textile Institute*, pp. 1-6, may 2015, doi: 10.1080/00405000.2015.1045251.
- [78] X. Liu, X. Yan, L. Li, and H. Zhang, «Sound-Absorption Properties of Kapok Fiber Nonwoven Fabrics at Low Frequency», *Journal of Natural Fibers*, vol. 12, n.º 4, pp. 311-322, jul. 2015, doi: 10.1080/15440478.2014.919891.

- [79] T. J. Kang, K. H. Jung, J. K. Park, J. R. Youn, and S. G. Lee, «Effect of Punching Density on the Mechanical and Thermal Properties of Needle-punched Nonwoven Carbon/Phenolic Composites», *Polymer Composites*, vol. 10, n.º 7, p. 10, 2002.
- [80] P. D. Dubrovski and M. Brezocnik, «Porosity and nonwoven fabric vertical wicking rate», *Fibers and Polymers*, vol. 17, n.º 5, pp. 801-808, may 2016, doi: 10.1007/s12221-016-6347-5.
- [81] E. Cincik and E. Koc, «An analysis on air permeability of polyester/viscose blended needle-punched nonwovens», *Textile Research Journal*, vol. 82, n.º 5, pp. 430-442, mar. 2012, doi: 10.1177/0040517511414977.
- [82] Joaquim Detrell i casellas, *Ensayos de comportamiento a los fluidos delas estructuras textiles laminares*, Primera Edición. Terrassa (Barcelona), 1983.
- [83] M. Mohammadi and P. Banks-Lee, «Air Permeability of Multilayered Nonwoven Fabrics: Comparison of Experimental and Theoretical Results», *Textile Research Journal*, vol. 72, n.º 7, pp. 613-617, jul. 2002, doi: 10.1177/004051750207200708.
- [84] B. P. Saville, *Physical testing of textiles*. Elsevier, 1999.
- [85] S. Debnath and M. Madhusoothanan, «Thermal resistance and air permeability of jute-polypropylene blended needle-punched nonwoven», *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, vol. 36, n.º 2, p. 122, 2011.
- [86] W. E. Morton and J. W. S. Hearle, *Physical properties of textile fibres*, 4. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press [u.a.], 2008.
- [87] A. Mitra, A. Majumdar, P. K. Majumdar, and D. Bannerjee, «Predicting thermal resistance of cotton fabrics by artificial neural network model», *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 50, pp. 172-177, oct. 2013, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2013.06.006.
- [88] R. K. Varshney, V. K. Kothari, and S. Dhamija, «A study on thermophysiological comfort properties of fabrics in relation to constituent fibre fineness and cross-sectional shapes», *Journal of the Textile Institute*, vol. 101, n.º 6, pp. 495-505, may 2010, doi: 10.1080/00405000802542184.
- [89] A. Patnaik, R. S. Rengasamy, V. K. Kothari, and A. Ghosh, «Wetting and Wicking in Fibrous Materials», *Textile Progress*, vol. 38, n.º 1, pp. 1-105, ene. 2006, doi: 10.1533/jotp.2006.38.1.1.
- [90] J. Wang, A. Wang, and W. Wang, «Robustly superhydrophobic/superoleophilic kapok fiber with ZnO nanoneedles coating: Highly efficient separation of oil layer in water and capture of oil droplets in oil-in-water emulsions», *Industrial Crops and Products*, vol. 108, pp. 303-311, dic. 2017, doi: 10.1016/j.indcrop.2017.06.059.

- [91] N. A. Patankar, «On the modeling of hydrophobic contact angles on rough surfaces», *Langmuir*, vol. 19, n.º 4, pp. 1249–1253, 2003.
- [92] D. Briassoulis, A. Aristopoulou, M. Bonora, and I. Verlodt, «Degradation Characterisation of Agricultural Low-density Polyethylene Films», *Biosystems Engineering*, vol. 88, n.º 2, pp. 131-143, jun. 2004, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2004.02.010.
- [93] P. C. Lodi, B. de Souza, and J. G. Zornberg, «Degradação de Geomembranas Poliméricas após Exposição à Intempérie», 2007.
- [94] G. Scarascia-Mugnozza, E. Schettini, G. Vox, M. Malinconico, B. Immirzi, and S. Pagliara, «Mechanical properties decay and morphological behaviour of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment», *Polymer Degradation and Stability*, vol. 91, n.º 11, pp. 2801-2808, nov. 2006, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2006.02.017.
- [95] C. V. Vinicius, B. de Souza, P. C. Lodi, and J. G. Zornberg, «Investigação do Dano Mecânico e do Dano aos Raios Ultravioleta em Geotêxteis Expostos a Condições de Campo», 2007.
- [96] W. Dierickx and P. Van Den Berghe, «Natural weathering of textiles used in agricultural applications», *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 22, n.º 4, pp. 255-272, ago. 2004, doi: 10.1016/j.geotextmem.2004.03.001.
- [97] D. Briassoulis, «The effects of tensile stress and the agrochemical Vapam on the ageing of low density polyethylene (LDPE) agricultural films. Part I. Mechanical behaviour», *Polymer Degradation and Stability*, vol. 88, n.º 3, pp. 489-503, jun. 2005, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2004.11.021.
- [98] F. Saathoff, H. Oumeraci, and S. Restall, «Australian and German experiences on the use of geotextile containers», *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 25, n.º 4-5, pp. 251-263, ago. 2007, doi: 10.1016/j.geotextmem.2007.02.009.
- [99] P. Pividal y A. Rocha, «Development and Mechanical Characterization of Needlepunched Kapok-Flax Nonwovens for Technical Uses», *Journal of Natural Fibers*, 2019, doi: 10.1080/15440478.2019.1645790.
- [100] F. Saathoff, H. Oumeraci, and S. Restall, «Australian and German experiences on the use of geotextile containers», *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 25, n.º 4-5, pp. 251-263, ago. 2007, doi: 10.1016/j.geotextmem.2007.02.009.
- [101] H. Miyake, Y. GOTOH, Y. OHKOSHI, and M. NAGURA, «Tensile Properties of Wet Cellulose», *Polymer Journal*, vol. 32, n.º No. 1, p. pp 29–32, 2000.

- [102] R. M. Rowell, R. A. Young, and J. K. Rowell, Eds., *Paper and composites from agro-based resources*. Boca Raton: CRC/Lewis Publishers, 1997.
- [103] X. Yang, L. Huang, L. Cheng, and J. Yu, «Studies of Moisture Absorption and Release Behaviour of Akund Fiber», *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 4, p. 356548, ene. 2012, doi: 10.1155/2012/356548.
- [104] F. R. Oliveira, A. Zille, and A. P. Souto, «Dyeing mechanism and optimization of polyamide 6,6 functionalized with double barrier discharge (DBD) plasma in air», *Applied Surface Science*, vol. 293, pp. 177-186, feb. 2014, doi: 10.1016/j.apsusc.2013.12.126.
- [105] N. Sgriccia, M. C. Hawley, and M. Misra, «Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites», *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 39, n.º 10, pp. 1632-1637, oct. 2008, doi: 10.1016/j.compositesa.2008.07.007.
- [106] M. Kumar Trivedi, «Spectral and Thermal Properties of Biofield Energy Treated Cotton», *American Journal of Energy Engineering*, vol. 3, n.º 6, p. 86, 2015, doi: 10.11648/j.ajee.20150306.12.

## ANEXOS

### ANEXO A. Método Automatex de los no tejidos simples, sándwich y compuestos de mezclas de capoc-lino: propiedades de resistencia a la rotura método *Grab*, resistencia a la perforación y propiedades térmicas y transferencia al aire

**Tabla A1.** Resistencia y alargamiento máximo a rotura (método *Grab*) en dirección a la máquina (MD) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados

Resistencia máxima a la rotura (N) (MD)							
Ref. NT	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coefficiente variación (%)	Máximo	Mínimo
ms0-M	2	96,54	84,93	60,06	87,97	156,60	36,48
ms7-M	2	53,47	9,36	6,62	17,50	60,10	46,85
ms8-M	2	230,70	60,10	42,50	26,05	273,20	188,20
ms10-M	2	73,55	22,00	15,55	29,91	89,10	58,00
mw9-M	2	203,99	21,93	15,51	10,75	219,50	188,48
ms12-M	2	149,65	26,79	18,95	17,90	168,60	130,70
mw15-M	2	121,60	6,65	4,70	5,47	126,30	116,90
mw21-M	2	100,30	15,70	11,10	15,65	111,40	89,20
mw22-M	2	226,05	18,03	12,75	7,98	238,80	213,30
mw1-M	2	26,70	19,33	13,70	72,40	390,40	36,48
mw31-M	2	213,44	25,03	17,70	11,72	313,00	110,00
mc32-M	2	616,00	82,02	58,00	13,32	674,00	558,00
mw11-M	2	409,90	92,10	65,10	22,46	475,00	344,80
Extensión máxima a la rotura (%) (MD)							
Ref. NT	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coefficiente variación (%)	Máximo	Mínimo
ms0-M	2	9,40	0,90	0,63	9,57	10,04	8,77
ms7-M	2	49,87	10,37	7,34	20,80	57,20	42,53
ms8-M	2	33,10	19,60	13,90	59,30	46,93	19,20
ms10-M	2	39,25	0,30	0,21	0,77	39,47	39,04
mw9-M	2	45,27	3,30	2,34	7,30	47,60	42,93
ms12-M	2	26,98	11,62	8,21	43,07	35,20	18,77
mw15-M	2	28,42	5,13	3,62	18,05	32,05	24,80
mw21-M	2	32,65	3,18	2,25	9,75	34,90	30,40
mw22-M	2	32,53	4,21	2,98	12,94	35,51	29,55
mw1-M	2	25,13	9,33	6,60	37,14	31,73	18,53
mw31-M	2	14,65	8,31	5,88	56,72	20,53	8,77
mc32-M	2	23,57	1,28	0,90	5,43	24,48	22,67
mw11-M	2	23,84	2,26	1,60	9,49	25,44	22,24

**Tabla A2.** Resistencia y alargamiento máximo a la rotura (método *Grab*) en dirección transversal a la máquina (CD) de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados

Resistencia máxima a la rotura (N) (CD)							
Ref. NT	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coefficiente variación (%)	Máximo	Mínimo
ms0-M	2	131,25	12,37	8,75	9,43	140,00	122,50
ms7-M	2	55,25	19,59	13,85	35,46	69,10	41,40
ms8-M	2	208,95	34,44	24,40	16,48	233,30	184,60
ms10-M	2	98,40	21,50	15,20	21,85	113,60	83,20
mw9-M	2	133,90	52,20	36,90	38,97	170,80	97,00
ms12-M	2	164,05	103,59	73,25	63,14	237,30	90,50
mw15-M	2	120,25	25,81	18,25	21,46	138,50	102,00
mw21-M	2	131,75	33,73	23,85	25,60	155,60	107,90
mw22-M	2	351,60	88,90	62,85	25,28	414,50	288,80
mw1-M	2	18,93	5,66	4,00	29,89	22,83	14,93
mw31-M	2	174,35	78,42	55,45	44,98	229,80	118,90
mc32-M	2	305,20	108,05	76,40	35,40	381,60	288,80
mw11-M	2	667,50	149,20	105,50	22,35	773,00	562,00
Extensión máxima a la rotura (%) (CD)							
Ref. NT	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coefficiente variación (%)	Máximo	Mínimo
ms0-M	2	45,41	9,17	6,48	20,19	51,90	38,93
ms7-M	2	49,55	3,32	2,35	6,71	51,90	47,20
ms8-M	2	46,26	0,94	0,66	2,03	46,93	45,60
ms10-M	2	49,90	1,27	0,90	2,55	50,80	49,00
mw9-M	2	35,12	1,17	0,83	3,34	35,95	34,29
ms12-M	2	25,38	5,96	4,21	23,48	29,60	21,17
mw15-M	2	34,02	5,05	3,57	14,84	37,60	30,45
mw21-M	2	35,01	14,26	10,08	40,73	45,10	24,93
mw22-M	2	34,02	12,13	8,58	35,67	42,60	25,44
mw1-M	2	45,92	11,01	7,78	23,98	53,70	38,13
mw31-M	2	48,53	0,94	0,66	1,94	49,20	47,87
mc32-M	2	40,96	6,56	4,64	16,02	45,60	36,32
mw11-M	2	32,69	0,30	0,21	0,93	32,91	32,48

**Tabla A3.** Resistencia y alargamiento a la perforación de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados

Resistencia a la perforación (N)							
Ref. NT	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coefficiente variación (%)	Máximo	Mínimo
mw21-M	2	1368,50	82,73	58,50	6,04	1427,00	1310,00
mw22-M	2	886,00	16,97	12,00	1,91	898,00	874,00
mw1-M	2	108,90	36,34	25,70	33,37	134,60	83,20
mw31-M	2	340,70	310,14	219,30	91,03	560,00	121,40
mc32-M	2	790,50	40,30	28,50	5,09	819,00	762,00
mw11-M	2	1150,50	345,77	244,50	30,05	1395,00	906,00
Alargamiento (mm)							
Ref. NT	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coefficiente variación (%)	Máximo	Mínimo
mw21-M	2	55,01	11,72	8,28	21,30	63,30	46,73
mw22-M	2	46,11	2,21	1,56	4,79	47,68	44,55
mw1-M	2	48,45	0,95	0,67	1,96	49,13	47,78
mw31-M	2	66,60	0,70	0,50	1,05	67,10	66,10
mc32-M	2	60,70	0,42	0,30	0,69	61,00	60,40
mw11-M	2	58,15	4,75	1,95	3,35	60,10	56,20

**Tabla A4.** Propiedades de la conductividad térmica y resistencia térmica de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados

Conductividad térmica ( $\lambda$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )									
Ref. NT	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % Intervalo de confianza		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
ms0-M	5	61,90	8,51	3,80	13,75	51,41	72,55	75,40	53,50
ms7-M	5	58,44	2,74	1,22	4,69	55,04	61,84	62,20	55,70
ms8-M	5	66,22	1,96	0,88	2,96	63,78	68,66	68,80	63,70
ms10-M	5	67,06	4,50	2,01	6,71	61,47	72,65	72,70	61,50
mw9-M	5	59,42	7,66	3,42	12,89	49,90	68,94	65,90	50,50
ms12-M	5	72,78	9,10	4,07	12,50	61,48	84,08	83,80	60,00
mw15-M	5	80,02	9,61	4,30	12,00	68,08	91,95	90,00	69,20
mw21-M	5	144,00	20,58	9,20	14,29	118,45	169,55	163,00	111,00
mw22-M	5	89,38	17,21	7,69	19,25	68,00	110,75	117,00	74,10
mw1-M	5	67,40	2,79	1,25	4,14	63,93	70,87	70,30	64,20
mw31-M	5	68,52	4,54	2,03	6,62	62,88	74,16	72,70	63,40
mc32-M	5	106,08	30,75	13,75	28,99	67,89	144,26	150,00	77,40
mw11-M	5	132,56	28,22	12,62	21,29	97,51	167,61	159,00	87,80
Resistencia térmica [R] ( $\times 10^3$ ) ( $m^2KW^{-1}$ )									
Ref. NT	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % Intervalo de confianza		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
ms0-M	5	103,80	6,83	3,06	6,58	96,31	112,28	113,00	94,00
ms7-M	5	78,40	5,98	2,68	7,63	70,97	85,83	86,10	72,00
ms8-M	5	109,40	2,97	1,33	2,71	105,72	113,08	114,00	106,00
ms10-M	5	82,12	3,91	1,75	4,76	77,26	86,98	87,80	78,10
mw9-M	5	115,00	9,22	4,13	8,02	103,55	126,45	126,00	103,00
ms12-M	5	110,08	9,05	4,05	8,22	98,84	121,32	123,00	97,40
mw15-M	5	101,80	4,86	2,17	4,77	95,76	107,84	109,00	97,10
mw21-M	5	154,20	15,44	6,91	10,01	135,02	173,38	174,00	138,00
mw22-M	5	90,24	15,37	6,87	17,03	71,14	109,33	101,00	64,00
mw1-M	5	90,14	5,83	2,61	6,47	82,90	97,38	97,30	83,50
mw31-M	5	107,14	16,94	7,58	15,81	86,10	128,18	126,00	86,60
mc32-M	5	141,60	24,04	10,75	16,98	111,75	171,45	167,00	116,00
mw11-M	5	118,40	9,81	4,39	8,28	106,21	130,58	128,00	104,00



**Tabla A5.** Propiedades de la absortividad térmica y el flujo térmico de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados

Absortividad térmica (b) [Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> S <sup>1/2</sup> ]									
Ref. NT	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % Intervalo de confianza		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
ms0-M	5	92,50	16,25	7,27	17,57	7,27	112,68	116,00	75,80
ms7-M	5	96,96	6,09	2,72	6,28	2,72	104,52	103,00	90,00
ms8-M	5	93,14	12,50	5,59	13,42	5,59	108,66	114,00	82,30
ms10-M	5	96,06	27,75	12,41	28,89	12,41	130,51	125,00	53,60
mw9-M	5	98,02	10,14	4,53	10,34	4,53	110,60	109,00	83,00
ms12-M	5	94,88	36,27	16,22	38,22	49,84	139,91	158,00	70,70
mw15-M	5	111,46	14,03	6,28	12,59	94,03	128,88	134,00	99,30
mw21-M	5	94,84	40,14	17,95	42,32	17,95	144,69	136,00	39,10
mw22-M	5	144,00	32,56	14,56	22,26	14,56	184,42	197,00	111,00
mw1-M	5	98,76	18,22	8,15	18,45	8,15	121,39	125,00	74,30
mw31-M	5	98,32	20,14	9,00	20,48	9,00	123,32	124,00	77,40
mc32-M	5	78,86	43,28	19,36	54,88	19,36	132,60	129,00	28,40
mw11-M	5	80,00	12,33	5,51	15,41	5,51	95,30	94,50	64,30
Flujo térmico (q <sub>máx</sub> ) (10 <sup>-3</sup> ) [Wm <sup>-2</sup> ]									
Ref. NT	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % Intervalo de confianza		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
ms0-M	5	0,34	0,05	0,021	14,70	0,286	0,404	0,39	0,27
ms7-M	5	0,39	0,04	0,020	10,26	0,338	0,448	0,46	0,35
ms8-M	5	0,29	0,03	0,015	10,34	0,247	0,334	0,34	0,25
ms10-M	5	0,34	0,06	0,028	17,65	0,267	0,423	0,43	0,26
mw9-M	5	0,29	0,04	0,020	13,79	0,236	0,346	0,34	0,24
ms12-M	5	0,36	0,03	0,014	8,33	0,319	0,399	0,42	0,34
mw15-M	5	0,38	0,04	0,018	10,53	0,331	0,432	0,44	0,33
mw21-M	5	0,41	0,09	0,043	21,95	0,290	0,526	0,50	0,26
mw22-M	5	0,42	0,07	0,031	16,66	0,335	0,507	0,53	0,36
mw1-M	5	0,36	0,06	0,026	16,66	0,286	0,433	0,45	0,30
mw31-M	5	0,23	0,05	0,024	21,74	0,165	0,299	0,29	0,15
mc32-M	5	0,23	0,12	0,055	52,17	0,081	0,389	0,42	0,13
mw11-M	5	0,27	0,07	0,033	25,92	0,184	0,366	0,36	0,19

**Tabla A6.** Permeabilidad al aire de los no tejidos de mezclas de capoc-lino desarrollados

Permeabilidad al aire (P) (l/m <sup>2</sup> /s)									
Ref. NT	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % Intervalo de confianza		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
ms0-M	3	22,53	5,95	3,44	26,41	7,74	37,32	29,40	18,80
ms7-M	3	51,33	0,06	0,03	0,117	51,19	51,48	51,40	51,30
ms8-M	3	46,07	9,06	5,23	19,66	23,55	68,58	51,30	35,60
ms10-M	3	51,27	0,06	0,03	0,117	51,12	51,41	51,30	51,20
mw9-M	3	31,00	12,53	7,23	40,42	-0,12	62,12	45,40	22,60
ms12-M	3	13,98	7,13	4,12	51,00	-3,73	31,69	22,10	8,74
mw15-M	3	26,43	15,11	8,72	57,17	-11,11	63,98	42,80	13,00
mw21-M	3	18,90	2,31	1,33	12,22	13,17	24,63	20,70	16,30
mw22-M	3	14,20	2,68	1,55	18,87	7,53	20,87	17,10	11,80
mw1-M	3	34,20	6,42	3,70	18,77	18,25	50,15	40,00	27,30
mw31-M	3	28,53	6,56	3,78	22,99	12,24	44,82	34,30	21,40
mc32-M	3	9,78	4,48	2,59	45,76	-1,36	20,92	14,90	6,53
mw11-M	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**ANEXO B. No tejidos simples, sándwich y compuestos de mezclas de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción: propiedades térmicas**

**Tabla B1.** Conductividad térmica y resistencia térmica de los no tejidos de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción

Conductividad térmica ( $\lambda$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )									
						95 % Intervalo de confianza			
Ref. NT	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coficiente variación (%)	Límite inferior	Límite superior	Máximo	Mínimo
ms8	5	67,68	4,57	2,04	6,75	62,00	73,35	73,90	63,00
mw8	5	121,20	5,54	2,48	4,57	114,32	128,08	128,00	113,00
mwp8	2	118,57	23,23	16,42	19,59	-90,12	327,27	135,00	102,15
mc8	5	135,40	13,59	6,08	10,04	118,52	152,27	150,00	120,00
mcp8	5	149,00	3,53	1,58	2,37	144,61	153,39	155,00	146,00
Resistencia térmica [R] ( $\times 10^{-3}$ ) ( $m^2KW^{-1}$ )									
						95 % Intervalo de confianza			
Ref. NT	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coficiente variación (%)	Límite inferior	Límite superior	Máximo	Mínimo
ms8	5	184,00	16,08	7,19	8,74	164,04	203,96	205,00	166,00
mw8	5	190,00	9,25	4,13	4,86	178,52	201,48	199,00	178,00
mwp8	2	154,50	29,84	21,10	19,31	-113,60	422,60	175,60	133,40
mc8	5	133,40	13,94	6,23	10,45	116,09	150,71	152,00	120,00
mcp8	5	158,60	4,83	2,16	3,04	152,61	164,59	164,00	151,00

**Tabla B2.** Absortividad térmica y flujo térmico de los no tejidos de capoc-lino desarrollados por el nuevo método de producción

Absortividad térmica (b) ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ )									
						95 % Intervalo de confianza			
Ref. NT	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coficiente variación (%)	Límite inferior	Límite superior	Máximo	Mínimo
ms8	5	40,74	7,70	3,44	18,90	31,18	50,30	51,90	33,50
mw8	5	17,74	6,31	2,82	35,57	9,90	25,57	26,20	9,10
mwp8	2	24,10	8,77	6,20	36,90	-54,68	102,88	30,30	17,90
mc8	5	30,30	9,14	4,09	30,16	18,95	41,65	40,40	19,30
mcp8	5	22,70	14,25	6,37	62,27	5,00	40,39	47,00	12,00
Flujo térmico (qmáx) ( $\times 10^{-3}$ ) ( $Wm^{-2}$ )									
						95 % Intervalo de confianza			
Ref. NT	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coficiente variación (%)	Límite inferior	Límite superior	Máximo	Mínimo
ms8	5	299,20	62,56	27,98	20,91	221,52	376,88	378,00	227,00
mw8	5	194,40	64,09	28,66	32,97	114,82	273,98	288,00	126,00
mwp8	2	156,00	45,25	32,00	29,01	-250,60	562,60	188,00	124,00
mc8	5	188,80	25,90	11,58	13,72	156,64	220,96	217,00	157,00
mcp8	5	196,60	42,72	19,10	21,73	143,56	249,64	268,00	160,00

**ANEXO C. Método de obtención de estructuras de no tejidos simples, sándwich y compuestos a base de fibras de capoc: propiedades de resistencia a la rotura (método *Grab*), resistencia a la perforación y propiedades térmicas y transferencia al aire**

**Tabla C1.** Resistencia a la rotura y extensión máxima de los no tejidos compuestos de dos superposiciones de diferentes orientaciones en dirección a la máquina

Resistencia máxima a la rotura (N) (MD)									
Nº capas (orientación de las capas)	Prensado	Ref. NT	Ref. N°	Media	Error estándar	Desviación estándar	Coefficiente variación	Máximo	Mínimo
Compuesto/2 ↓↓	1 pasada	mc1d	2	185,30	16,50	23,33	12,59	201,80	168,80
		mc3d	-	-	-	-	-	-	-
	2 pasadas	mc2e	2	180,20	6,20	8,77	4,87	186,40	174,00
		mc4e	-	-	-	-	-	-	-
Compuesto/2 ↓→	1 pasada	mc5d	2	115,05	15,65	22,13	19,24	130,70	99,40
		mc7d	-	-	-	-	-	-	-
	2 pasadas	mc6e	2	196,60	13,40	18,95	9,64	210,00	183,20
		mc8e	-	-	-	-	-	-	-
Extensión máxima a la rotura (%) (MD)									
Nº capas (orientación de las capas)	Prensado	Ref. NT	Ref. N°	Media	Error estándar	Desviación estándar	Coefficiente variación	Máximo	Mínimo
Compuesto/2 ↓↓	1 pasada	mc1d	2	2,74	0,23	0,33	11,88	2,97	2,51
		mc3d	-	-	-	-	-	-	-
	2 pasadas	mc2e	2	2,67	0,30	0,42	15,73	2,97	2,37
		mc4e	-	-	-	-	-	-	-
Compuesto/2 ↓→	1 pasada	mc5d	2	2,63	0,17	0,24	8,94	2,80	2,47
		mc7d	-	-	-	-	-	-	-
	2 pasadas	mc6e	2	2,20	0,02	0,02	1,06	2,22	2,19
		mc8e	-	-	-	-	-	-	-

**Tabla C2.** Resistencia a la rotura y extensión máxima de los no tejidos compuestos de dos superposiciones de diferentes orientaciones en dirección transversal a la máquina

Resistencia máxima a la rotura (N) (CD)									
Nº capas (orientación de las capas)	Prensado	Ref. NT	Ref. Nº	Media	Error estándar	Desviación estándar	Coefficiente variación	Máximo	Mínimo
Compuesto/2 ↓↓	1 pasada	mc1d	-	-	-	-	-	-	-
		mc3d	2	130,00	52,80	74,67	57,44	182,80	77,20
	2 pasadas	mc2e	-	-	-	-	-	-	-
		mc4e	2	84,40	9,00	12,73	15,08	93,40	75,40
Compuesto/2 ↓→	1 pasada	mc5d	-	-	-	-	-	-	-
		mc7d	2	58,30	2,80	3,96	6,79	61,10	55,50
	2 pasadas	mc6e	-	-	-	-	-	-	-
		mc8e	2	85,85	24,55	34,72	40,44	110,40	61,30
Extensión máxima a la rotura (%) (CD)									
Nº capas (orientación de las capas)	Prensado	Ref. NT	Ref. Nº	Media	Error estándar	Desviación estándar	Coefficiente variación	Máximo	Mínimo
Compuesto/2 ↓↓	1 pasada	mc1d	-	-	-	-	-	-	-
		mc3d	2	2,82	0,94	1,33	47,14	3,76	1,88
	2 pasadas	mc2e	-	-	-	-	-	-	-
		mc4e	2	2,79	0,34	0,48	17,22	3,13	2,45
Compuesto/2 ↓→	1 pasada	mc5d	-	-	-	-	-	-	-
		mc7d	2	3,13	0,17	0,25	7,83	3,31	2,96
	2 pasadas	mc6e	-	-	-	-	-	-	-
		mc8e	2	2,08	0,03	0,04	1,94	2,11	2,05

**Tabla C3.** Conductividad térmica y resistencia térmica de los no tejidos simples de capoc

Conductividad térmica ( $\lambda$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )									
Ref. NT ms	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
ms10-1,2,3,4	5	51,88	1,45	0,72	2,79	49,58	54,18	53,96	50,64
ms11-1,2,3,4	5	53,33	2,29	1,14	4,29	49,69	56,97	55,90	50,50
ms12-1,2,3,4	5	55,56	3,98	1,99	7,16	49,22	61,90	60,88	51,32
ms15-1,2,3,4	5	60,62	1,43	0,71	2,36	58,34	62,89	62,04	58,70
ms16-1,2,3,4	5	59,61	1,15	0,57	1,93	57,78	61,43	60,74	58,36
ms17-1,2,3,4	5	55,29	2,25	1,13	4,07	51,70	58,87	57,58	52,26
ms18-1,2,3,4	5	55,24	1,79	0,89	3,24	52,40	58,08	57,72	53,48
ms19-1,2,3,4	5	56,55	1,80	0,90	3,18	53,68	59,42	58,20	54,90
ms20-1,2,3,4	5	51,53	1,55	0,78	3,01	49,06	54,00	53,04	49,40
ms21-1,2,3,4	5	53,24	1,81	0,90	3,40	50,36	56,12	55,40	51,06
ms22-1,2,3,4	5	51,81	1,75	0,87	3,38	49,03	54,59	54,26	50,14
ms23-1,2,3,4	5	49,98	1,13	0,56	2,26	48,18	51,77	51,02	48,40
ms24-1,2,3,4	5	53,85	1,81	0,90	3,36	50,97	56,73	55,96	51,86
ms25-1,2,3,4	5	52,43	1,30	0,65	2,48	50,36	54,49	53,84	51,20
ms36-1,2,3,4	5	49,52	1,60	0,80	3,23	46,97	52,08	51,26	47,40
ms37-1,2,3,4	5	50,85	1,17	0,58	2,30	48,99	52,71	52,56	50,00
Resistencia térmica [R] ( $\times 10^3$ ) ( $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ )									
Ref. NT ms	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
ms10-1,2,3,4	5	149,25	5,66	2,83	3,79	140,25	158,25	156,20	143,80
ms11-1,2,3,4	5	150,45	9,86	4,93	6,55	134,77	166,13	160,60	141,80
ms12-1,2,3,4	5	151,55	7,75	3,88	5,11	139,21	163,89	162,00	144,40
ms15-1,2,3,4	5	167,15	6,18	3,09	3,70	157,32	176,98	173,20	159,80
ms16-1,2,3,4	5	178,80	6,51	3,25	3,64	168,45	189,15	187,60	172,80
ms17-1,2,3,4	5	166,70	4,38	2,19	2,63	159,73	173,67	173,20	164,00
ms18-1,2,3,4	5	166,50	0,99	0,49	0,59	164,93	168,07	167,60	165,20
ms19-1,2,3,4	5	161,40	2,92	1,46	1,81	156,76	166,04	163,80	157,20
ms20-1,2,3,4	5	151,90	0,87	0,44	0,57	150,51	153,29	153,00	151,20
ms21-1,2,3,4	5	156,15	3,74	1,87	2,40	150,19	162,11	160,20	152,40
ms22-1,2,3,4	5	161,15	4,09	2,04	2,54	154,65	167,65	166,20	156,40
ms23-1,2,3,4	5	155,40	4,37	2,18	2,81	148,45	162,35	160,60	150,80
ms24-1,2,3,4	5	174,60	3,04	1,52	1,74	169,76	179,44	178,60	171,20
ms25-1,2,3,4	5	176,15	4,80	2,40	2,72	168,51	183,79	181,00	170,60
ms36-1,2,3,4	5	166,90	5,27	2,64	3,16	158,51	175,29	171,60	160,80
ms37-1,2,3,4	5	159,70	4,01	2,00	2,51	153,33	166,07	162,80	154,40

**Tabla C4.** Absortividad térmica y flujo térmico de los no tejidos simples de capoc

Absortividad térmica (b) ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ )									
Ref. NT ms	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
ms10-1,2,3,4	5	40,29	2,20	1,10	5.46	36,79	43,79	43,40	38,22
ms11-1,2,3,4	5	42,07	2,80	1,40	6.66	37,61	46,52	44,38	38,18
ms12-1,2,3,4	5	41,32	3,56	1,78	8.62	35,65	46,99	45,78	37,58
ms15-1,2,3,4	5	40,82	4,47	2,23	10.95	33,71	47,93	45,78	35,82
ms16-1,2,3,4	5	40,20	2,74	1,37	6.82	35,84	44,56	42,30	36,18
ms17-1,2,3,4	5	38,68	4,27	2,13	11.04	31,89	45,47	42,72	34,50
ms18-1,2,3,4	5	41,01	3,03	1,52	7.39	36,18	45,84	44,18	36,90
ms19-1,2,3,4	5	46,01	1,17	0,58	2.54	44,15	47,87	47,18	44,50
ms20-1,2,3,4	5	40,14	1,64	0,82	4.09	37,53	42,75	42,06	38,56
ms21-1,2,3,4	5	45,73	1,92	0,96	4.20	42,67	48,78	47,20	43,04
ms22-1,2,3,4	5	65,70	6,36	3,18	9.68	55,59	75,81	74,60	60,30
ms23-1,2,3,4	5	66,29	3,06	1,53	4.62	61,43	71,15	69,18	62,04
ms24-1,2,3,4	5	41,52	3,15	1,57	7.59	36,51	46,52	46,06	39,34
ms25-1,2,3,4	5	50,84	4,64	2,32	9.13	43,45	58,23	57,58	47,08
ms36-1,2,3,4	5	53,00	7,01	3,50	13,23	41,85	64,15	58,22	43,30
ms37-1,2,3,4	5	66,22	4,85	2,43	7.32	58,50	73,94	71,50	59,74
Flujo térmico ( $q_{máx}$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ]									
Ref. NT ms	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
ms10-1,2,3,4	5	266,30	19,86	9,93	7,46	234,70	297,90	286,00	246,80
ms11-1,2,3,4	5	285,75	5,75	2,87	2,01	276,61	294,89	290,00	277,40
ms12-1,2,3,4	5	281,75	20,52	10,26	7,28	249,10	314,40	305,40	258,80
ms15-1,2,3,4	5	269,55	22,78	11,39	8,45	233,30	305,80	303,00	251,80
ms16-1,2,3,4	5	271,85	19,11	9,56	7,03	241,44	302,26	291,00	251,00
ms17-1,2,3,4	5	237,00	16,39	8,20	6,91	210,92	263,08	251,60	216,80
ms18-1,2,3,4	5	250,15	26,87	13,43	10,74	207,40	292,90	273,20	212,40
ms19-1,2,3,4	5	256,80	6,32	3,16	2,46	246,74	266,86	266,00	251,60
ms20-1,2,3,4	5	268,85	16,18	8,09	6,02	243,11	294,59	289,80	253,20
ms21-1,2,3,4	5	276,45	15,28	7,64	5,53	252,14	300,76	288,80	255,00
ms22-1,2,3,4	5	483,95	30,12	15,06	6,22	436,02	531,88	524,60	454,00
ms23-1,2,3,4	5	469,95	17,78	8,89	3,78	441,66	498,24	481,60	444,00
ms24-1,2,3,4	5	258,20	16,66	8,33	6,45	231,69	284,71	273,80	234,60
ms25-1,2,3,4	5	299,35	50,59	25,29	16,89	218,85	379,85	373,60	260,00
ms36-1,2,3,4	5	325,00	67,51	33,76	20,77	217,57	432,43	364,80	224,00
ms37-1,2,3,4	5	441,10	44,36	22,18	10,06	370,51	511,69	492,80	386,80

**Tabla C5.** Permeabilidad al aire de los no tejidos simples de capoc.

Permeabilidad al aire (l/m <sup>2</sup> /s)									
Ref. NT ms	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
ms10-1,2,3,4	3	50,64	1,38	0,69	2,73	48,44	52,84	51,37	48,57
ms11-1,2,3,4	3	50,36	1,93	0,96	3,83	47,29	53,43	51,37	47,47
ms12-1,2,3,4	3	47,12	4,41	2,21	9,36	40,09	54,14	51,37	41,40
ms15-1,2,3,4	3	46,61	7,44	3,72	15,96	34,78	58,44	51,30	35,67
ms16-1,2,3,4	3	44,75	9,80	4,90	21,90	29,16	60,34	51,37	30,60
ms17-1,2,3,4	3	51,13	0,42	0,21	0,82	50,46	51,79	51,37	50,50
ms18-1,2,3,4	3	47,38	3,53	1,76	7,45	41,76	52,99	51,30	42,73
ms19-1,2,3,4	3	46,84	3,72	1,86	7,94	40,92	52,76	51,33	42,40
ms20-1,2,3,4	3	50,64	1,30	0,65	2,57	48,58	52,70	51,30	48,70
ms21-1,2,3,4	3	48,79	4,08	2,04	8,36	42,30	55,29	51,37	42,70
ms22-1,2,3,4	3	51,31	0,09	0,04	0,18	51,17	51,45	51,43	51,23
ms23-1,2,3,4	3	48,86	1,18	0,59	2,42	46,98	50,73	49,97	47,30
ms24-1,2,3,4	3	50,21	2,12	1,06	4,22	46,83	53,59	51,37	47,03
ms25-1,2,3,4	3	49,40	3,20	1,60	6,48	44,30	54,50	51,27	44,63
ms36-1,2,3,4	3	49,99	0,92	0,46	1,84	48,52	51,46	51,30	49,13
ms37-1,2,3,4	3	50,01	1,75	0,87	3,50	47,23	52,79	51,37	47,67



**Tabla C6. (1) y (2) Conductividad térmica y resistencia térmica de los no tejidos sándwich de capoc**

(1) Conductividad térmica ( $\lambda$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )									
Ref. No tejido	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
mw10	5	71,88	3,18	1,42	4,42	67,93	75,83	76,60	67,70
mw11	5	69,78	4,90	2,19	7,02	63,70	75,86	77,00	64,00
mw12	5	71,18	5,46	2,44	7,67	64,41	77,95	80,50	67,40
mw15	5	94,08	11,52	5,15	12,24	79,77	108,39	112,00	83,00
mw16	5	103,18	7,91	3,54	7,67	93,36	113,00	116,00	95,20
mw17	5	79,60	9,26	4,14	11,63	68,11	91,09	90,10	67,00
mw18	5	71,50	10,84	4,85	15,16	58,04	84,96	83,10	56,10
mw19	5	94,04	7,28	3,26	7,74	85,00	103,08	100,00	81,90
mw20	5	70,12	1,73	0,77	2,47	67,97	72,27	72,50	68,10
mw21	5	75,70	6,76	3,03	8,93	67,30	84,10	86,60	69,50
mw22	5	82,32	9,28	4,15	11,27	70,80	93,84	91,50	69,50
mw23	5	73,46	6,60	2,95	8,98	65,27	81,65	82,10	66,50
mw24	5	85,24	7,93	3,55	9,30	75,39	95,09	94,40	76,60
mw25	5	83,84	2,10	0,94	2,50	81,23	86,45	85,10	80,10
mw36	5	72,30	4,07	1,82	5,63	67,24	77,36	76,00	66,70
mw37	5	68,08	7,58	3,39	11,13	58,67	77,49	77,00	58,90
mw1p24	5	57,54	1,16	0,52	2,02	56,10	58,98	59,20	56,20
mw1p36	5	53,04	2,62	1,17	4,94	49,79	56,29	55,70	49,80
mw2p25	5	61,82	1,35	0,61	2,19	60,14	63,50	63,30	60,10
mw2p37	5	55,28	3,34	1,50	6,05	51,13	59,43	60,20	51,80
m2w10	5	53,66	2,65	1,18	4,93	50,38	56,94	57,20	50,30
m2w15	5	57,58	6,01	2,69	10,44	50,12	65,04	65,30	52,10

(2) Resistencia térmica [R] ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ )									
Ref. No tejido	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
mw10	5	213,60	16,62	7,43	7,78	192,96	234,24	240,00	194,00
mw11	5	194,80	14,97	6,70	7,68	176,21	213,39	215,00	178,00
mw12	5	214,40	18,96	8,48	8,84	190,86	237,94	236,00	188,00
mw15	5	244,40	23,16	10,36	9,48	215,65	273,15	265,00	206,00
mw16	5	237,80	19,93	8,91	8,38	213,05	262,55	267,00	216,00
mw17	5	249,20	28,07	12,55	11,26	214,35	284,05	279,00	212,00
mw18	5	248,00	20,35	9,10	8,21	222,74	273,26	280,00	226,00
mw19	5	218,40	14,22	6,36	6,51	200,74	236,06	242,00	205,00
mw20	5	231,00	16,51	7,38	7,15	210,50	251,50	249,00	215,00
mw21	5	216,60	5,18	2,32	2,39	210,17	223,03	221,00	208,00
mw22	5	224,40	16,33	7,30	7,28	204,12	244,68	237,00	199,00
mw23	5	223,60	17,10	7,65	7,65	202,37	244,83	240,00	197,00
mw24	5	226,20	10,03	4,49	4,43	213,74	238,66	236,00	215,00
mw25	5	232,40	7,50	3,36	3,23	223,08	241,72	245,00	226,00
mw36	5	218,60	19,65	8,79	8,99	194,20	243,00	249,00	200,00
mw37	5	215,80	18,55	8,30	8,60	192,76	238,84	234,00	188,00
mw1p24	5	118,20	4,49	2,01	3,80	112,62	123,78	124,00	112,00
mw1p36	5	98,08	7,47	3,34	7,62	88,80	107,36	107,00	89,10
mw2p25	5	101,06	4,69	2,10	4,64	95,24	106,88	106,00	94,30
mw2p37	5	92,56	6,16	2,76	6,66	84,91	100,21	99,10	84,90
m2w10	5	153,60	9,71	4,34	6,32	141,54	165,66	164,00	145,00
m2w15	5	191,60	12,92	5,78	6,74	175,56	207,64	204,00	174,00

**Tabla C7. (1) y (2) Absortividad térmica y flujo térmico de los no tejidos sándwich de capoc**

(1) Absortividad térmica (b) [Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> S <sup>1/2</sup> ]									
Ref. No tejido	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
mw10	5	33,04	9,29	4,16	28,12	21,50	44,58	44,50	23,40
mw11	5	50,66	8,39	3,75	16,56	40,24	61,08	60,30	37,60
mw12	5	39,02	3,59	1,61	9,20	34,56	43,48	43,70	33,60
mw15	5	19,40	4,65	2,08	23,97	13,62	25,18	26,80	13,90
mw16	5	13,26	1,59	0,71	11,99	11,28	15,24	15,50	12,10
mw17	5	31,04	5,12	2,29	16,49	24,68	37,40	36,60	23,40
mw18	5	28,68	11,08	4,96	38,63	14,92	42,44	38,30	11,10
mw19	5	29,18	10,12	4,52	34,68	16,62	41,74	39,70	15,60
mw20	5	33,18	3,64	1,63	10,97	28,66	37,70	37,50	29,50
mw21	5	32,68	9,53	4,26	29,16	20,84	44,52	40,50	16,10
mw22	5	33,06	11,04	4,94	33,39	19,36	46,76	46,00	15,40
mw23	5	35,48	4,00	1,79	11,27	30,51	40,45	39,50	30,10
mw24	5	38,80	3,36	1,50	8,66	34,62	42,98	43,30	35,60
mw25	5	50,76	13,23	5,92	26,06	34,33	67,19	72,10	37,90
mw36	5	50,38	22,36	10,00	44,38	22,61	78,15	70,40	14,00
mw37	5	58,34	13,33	5,96	22,85	41,79	74,89	80,40	44,90
mw1p24	5	131,20	15,71	7,02	11,97	111,70	150,70	153,00	116,00
mw1p36	5	132,40	16,26	7,27	12,28	112,21	152,59	156,00	111,00
mw2p25	5	159,40	21,41	9,57	13,43	132,82	185,98	187,00	134,00
mw2p37	5	163,60	19,53	8,73	11,94	139,35	187,85	182,00	133,00
m2w10	5	49,46	7,64	3,42	15,44	39,98	58,94	59,60	38,80
m2w15	5	38,60	9,64	4,31	24,98	26,63	50,57	47,40	22,30

(2) Flujo térmico (q <sub>máx</sub> ) (x10 <sup>-3</sup> ) [Wm <sup>-2</sup> ]									
Ref. No tejido	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
mw10	5	274,00	85,50	38,23	31,20	167,84	380,16	366,00	171,00
mw11	5	242,20	50,03	22,37	20,66	180,08	304,32	305,00	173,00
mw12	5	246,80	36,63	16,38	14,84	201,32	292,28	296,00	201,00
mw15	5	212,80	64,65	28,91	30,38	132,52	293,08	283,00	125,00
mw16	5	204,00	22,00	9,84	10,78	176,68	231,32	230,00	175,00
mw17	5	287,80	25,04	11,20	8,70	256,70	318,90	319,00	267,00
mw18	5	179,00	54,56	24,40	30,48	111,26	246,74	274,00	143,00
mw19	5	247,60	97,01	43,39	39,18	127,14	368,06	364,00	127,00
mw20	5	223,20	30,43	13,61	13,63	185,42	260,98	262,00	190,00
mw21	5	242,60	36,45	16,30	15,02	197,35	287,85	295,00	193,00
mw22	5	262,80	49,17	21,99	18,71	201,75	323,85	335,00	210,00
mw23	5	220,00	18,45	8,25	8,39	197,09	242,91	245,00	194,00
mw24	5	279,40	71,29	31,88	25,52	190,89	367,91	393,00	200,00
mw25	5	361,40	55,83	24,97	15,45	292,07	430,73	455,00	306,00
mw36	5	283,40	110,89	49,59	39,13	145,71	421,09	414,00	159,00
mw37	5	286,00	121,36	54,27	42,43	135,32	436,68	454,00	163,00
mw1p24	5	781,80	108,98	48,74	13,94	646,49	917,11	926,00	626,00
mw1p36	5	877,20	75,56	33,79	8,61	783,38	971,02	957,00	758,00
mw2p25	5	1186,00	64,65	28,91	5,45	1105,72	1266,28	1260,00	1120,00
mw2p37	5	1252,00	136,09	60,86	10,87	1083,02	1420,98	1490,00	1170,00
m2w10	5	272,40	68,78	30,76	25,25	187,00	357,80	365,00	173,00
m2w15	5	282,80	51,09	22,85	18,07	219,36	346,24	335,00	215,00

**Tabla C8.** Permeabilidad al aire de los no tejidos sándwich de capoc

Permeabilidad al aire (l/m <sup>2</sup> /s)									
Ref. No tejido	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
mw10	3	28,97	10,46	6,04	36,11	2,99	54,95	40,90	21,40
mw11	3	29,00	12,97	7,49	44,72	-3,21	61,21	43,00	17,40
mw12	3	26,13	12,97	7,49	49,64	-6,08	58,35	40,90	16,60
mw15	3	34,50	11,69	6,75	33,88	5,47	63,53	47,20	24,20
mw16	3	15,73	3,35	1,94	21,30	7,40	24,06	19,00	12,30
mw17	3	22,60	3,12	1,80	13,81	14,84	30,36	26,20	20,60
mw18	3	24,03	2,46	1,42	10,24	17,93	30,14	26,60	21,70
mw19	3	17,37	3,10	1,79	17,85	9,66	25,07	20,90	15,10
mw20	3	25,57	5,36	3,09	20,96	12,26	38,88	31,70	21,80
mw21	3	26,03	11,36	6,56	43,64	-2,19	54,26	38,20	15,70
mw22	3	25,87	11,13	6,43	43,02	-1,79	53,52	37,70	15,60
mw23	3	34,43	6,86	3,96	19,92	17,40	51,47	41,10	27,40
mw24	3	18,43	3,84	2,22	20,84	8,90	27,97	22,80	15,60
mw25	3	20,70	5,32	3,07	25,70	7,48	33,92	24,40	14,60
mw36	3	29,27	12,25	7,07	41,85	-1,17	59,71	42,60	18,50
mw37	3	28,97	2,55	1,47	8,80	22,63	35,30	31,50	26,40
mw1p24	3	6,58	6,28	3,62	95,34	-9,01	22,17	13,80	2,40
mw1p36	3	2,28	2,29	1,32	100,37	-3,40	7,95	4,57	0,00
mw2p25	3	4,84	0,74	0,43	15,23	3,01	6,67	5,60	4,13
mw2p37	3	4,07	1,83	1,06	44,95	-0,48	8,62	6,17	2,82
m2w10	3	32,70	18,45	10,65	56,43	-13,14	78,54	51,30	14,40
m2w15	3	12,34	8,86	5,12	71,80	-9,67	34,36	22,50	6,18

**Tabla C9.** Conductividad térmica y resistencia térmica de los no tejidos compuestos de capoc de dos superposiciones, de una y dos caras termofijadas y diferentes orientaciones

Conductividad térmica ( $\lambda$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )									
Ref. No tejido	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
mc1d	10	74,26	4,67	1,48	6,28	70,92	77,60	81,50	68,20
mc3d	10	64,41	8,64	2,73	13,41	58,23	70,59	81,60	54,30
mc2e	10	59,86	5,33	1,69	8,90	56,05	63,67	69,90	53,10
mc4e	10	66,87	3,08	0,97	4,60	64,67	69,07	70,70	61,70
mc5d	10	79,72	6,42	2,03	8,05	75,13	84,31	92,70	70,70
mc7d	10	74,04	4,18	1,32	5,64	71,05	77,03	78,20	66,40
mc6e	10	59,54	3,43	1,09	5,76	57,08	62,00	64,20	52,80
mc8e	10	71,02	4,34	1,37	6,11	67,92	74,12	77,90	63,80
Resistencia térmica [R] ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ )									
Ref. No tejido	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
mc1d	10	186,30	12,81	4,05	6,88	177,14	195,46	208,00	169,00
mc3d	10	176,40	8,91	2,82	5,05	170,03	182,77	190,00	164,00
mc2e	10	148,40	20,40	6,45	13,75	133,81	162,99	199,00	127,00
mc4e	10	136,00	26,29	8,31	19,33	117,19	154,81	164,00	101,00
mc5d	10	173,20	18,99	6,01	10,96	159,62	186,78	197,00	143,00
mc7d	10	173,60	8,02	2,54	4,62	167,87	179,33	188,00	160,00
mc6e	10	152,60	21,88	6,92	14,34	136,94	168,26	184,00	123,00
mc8e	10	143,20	10,55	3,34	7,37	135,65	150,75	157,00	123,00

**Tabla C10.** Absortividad térmica y flujo térmico de los no tejidos compuestos de capoc de dos superposiciones, de una y dos caras prensadas y diferentes orientaciones

Absortividad térmica (b) ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ )									
Ref. No tejido	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
mc1d	10	100,54	26,97	8,53	27,82	81,25	119,83	160,00	78,80
mc3d	10	181,60	85,96	27,18	47,33	120,11	243,09	371,00	117,00
mc2e	10	179,60	59,26	18,74	32,99	137,20	222,00	284,00	105,00
mc4e	10	162,80	34,44	10,89	21,14	138,16	187,44	245,00	123,00
mc5d	10	309,50	160,53	50,76	51,87	194,66	424,34	592,00	177,00
mc7d	10	86,38	12,51	3,96	14,48	77,43	95,33	110,00	72,30
mc6e	10	127,90	19,13	6,05	14,96	114,22	141,58	173,00	108,00
mc8e	10	167,40	14,90	4,71	8,90	156,74	178,06	189,00	150,00
Flujo térmico ( $q_{m\acute{a}x}$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ]									
Ref. No tejido	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
mc1d	10	209,90	42,13	13,32	20,55	179,76	240,04	271,00	154,00
mc3d	10	328,70	123,54	39,07	37,58	240,32	417,08	490,00	147,00
mc2e	10	241,50	32,28	10,21	13,37	218,41	264,59	296,00	204,00
mc4e	10	791,10	400,88	126,77	50,67	504,33	1077,87	1800,00	428,00
mc5d	10	505,00	165,87	52,45	32,84	386,34	623,66	795,00	291,00
mc7d	10	595,80	48,99	15,49	8,22	560,76	630,84	681,00	511,00
mc6e	10	263,80	95,62	30,24	36,25	195,40	332,20	480,00	172,00
mc8e	10	656,10	181,98	57,55	27,74	525,92	786,28	896,00	400,00

**ANEXO D. Estudio de la degradación de los no tejidos compuestos 100 % capoc: propiedades de resistencia a la rotura (método *Grab*), resistencia a la perforación y propiedades térmicas y transferencia al aire**

**Tabla D1.** Resistencia y extensión máxima a la rotura de los no tejidos compuestos de fibras de capoc control.

Resistencia máxima a la rotura (N) (MD) Control						
Ref. N° mc	Media	Error estándar	Desviación estándar	Coficiente variación (%)	Máximo	Mínimo
1-4AB	136,80	49,40	69,86	51,07	186,20	87,40
2-4AB	166,30	51,20	72,41	43,54	217,50	115,10
3-4AB	74,55	2,05	2,89	3,88	76,60	72,50
4-4AB	103,45	2,45	3,46	3,34	105,90	101,00
5-4AB	120,35	16,45	23,26	19,32	136,80	103,90
6-4AB	160,40	60,90	86,12	53,69	221,30	99,50
Extensión máxima a la rotura (%) (MD) Control						
Ref. N° mc	Media	Error estándar	Desviación estándar	Coficiente variación (%)	Máximo	Mínimo
1-4AB	6,80	1,73	2,45	36,03	8,53	5,07
2-4AB	4,45	0,25	0,35	7,86	4,40	4,20
3-4AB	7,70	0,06	0,09	1,17	7,77	7,64
4-4AB	3,57	2,24	3,17	88,79	5,82	1,33
5-4AB	3,96	1,66	2,35	59,34	5,62	2,30
6-4AB	7,53	0,63	0,89	11,82	8,16	6,90

**Tabla D2.** Resistencia y extensión máxima a la rotura de los no tejidos compuestos de fibras de capoc después de la degradación.

Resistencia máxima a la rotura (N) (MD) después de la degradación						
Ref. N° mc	Media	Error estándar	Desviación estándar	Coficiente variación (%)	Máximo	Mínimo
1-4A	151,15	9,85	13,93	9,22	161,00	141,30
2-4A	92,45	41,25	58,34	63,10	133,70	51,20
3-4A	127,15	27,05	38,25	30,08	154,20	100,10
4-4A	146,35	11,65	16,47	11,25	158,00	134,70
5-4A	141,60	9,60	13,58	9,59	151,20	132,00
6-4A	147,10	1,00	1,41	0,96	148,10	146,10
Extensión máxima a la rotura (N) (MD) después de la degradación						
Ref. N° mc	Media	Error estándar	Desviación estándar	Coficiente variación (%)	Máximo	Mínimo
1-4A	2,70	1,10	1,55	57,40	3,80	1,60
2-4A	1,68	0,07	0,09	5,36	1,75	1,61
3-4A	7,09	2,06	2,91	41,04	9,15	5,03
4-4A	2,97	11,4	1,62	54,54	4,12	1,83
5-4A	3,86	1,14	1,62	41,97	5,01	2,72
6-4A	6,42	2,32	3,29	51,25	8,75	4,10

**Tabla D3.** Resistencia y extensión a la perforación de los no tejidos de fibras de capoc control

Resistencia a la perforación (N) Control						
Ref. N° mc	Media	Error estándar	Desviación estándar	Coefficiente variación (%)	Máximo	Mínimo
1-4AB	153,80	59,20	83,72	54,43	213,00	94,60
2-4AB	145,90	11,50	16,26	11,14	157,40	134,40
3-4AB	188,35	56,45	79,83	42,38	244,80	131,90
4-4AB	185,10	29,70	42,00	22,69	214,80	155,40
5-4AB	118,00	34,80	49,21	41,70	152,80	83,20
6-4AB	146,55	52,65	74,46	50,81	199,20	93,90
Extensión a la perforación (%) Control						
Ref. N° mc	Media	Error estándar	Desviación estándar	Coefficiente variación (%)	Máximo	Mínimo
1-4AB	200,05	3,15	4,45	2,22	203,20	196,90
2-4AB	203,25	3,75	5,30	2,61	207,00	199,50
3-4AB	202,75	10,25	14,49	7,15	213,00	192,50
4-4AB	197,45	0,55	0,78	0,39	198,00	196,90
5-4AB	212,40	8,90	12,59	5,93	221,30	203,50
6-4AB	204,00	6,00	8,48	4,16	210,00	198,00

**Tabla D4.** Conductividad térmica y resistencia térmica de los no tejidos compuestos de fibras de capoc control y de los no tejidos compuestos de fibras de capoc después de la degradación de 3 a 6 meses.

Conductividad térmica ( $\lambda$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )									
Ref. NT mc	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coefficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
mc3-4AB	5	68,05	2,04	0,91	2,99	65,51	70,59	71,25	65,90
mc3-4A	5	126,80	4,98	2,23	3,92	120,61	132,99	131,50	121,00
mc6-4AB	5	65,27	2,10	0,94	3,22	62,66	67,88	67,30	62,05
mc6-4A	5	132,30	7,65	3,42	5,78	122,80	141,80	144,50	123,50
Resistencia térmica [R] ( $\times 10^3$ ) ( $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ )									
Ref. NT mc	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coefficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
mc3-4AB	5	174,40	6,89	3,08	3,95	165,84	182,96	181,50	163,50
mc3-4A	5	183,80	6,84	3,06	3,71	175,30	192,30	191,50	177,00
mc6-4AB	5	145,30	7,05	3,15	4,85	136,55	154,05	155,50	136,50
mc6-4A	5	183,20	9,17	4,10	5,05	171,81	194,58	195,50	170,00

**Tabla D5.** Absortividad térmica y flujo térmico de los no tejidos compuestos de fibras de capoc control y de los no tejidos compuestos de fibras de capoc después de la degradación de 3 a 6 meses

Absortividad térmica (b) ( $Wm^{-2}K^{-1}S^{1/2}$ )									
Ref. NT mc	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
mc3-4AB	5	56,76	10,60	4,74	18,67	43,60	69,92	74,15	46,75
mc3-4A	5	43,69	5,65	2,52	12,93	36,68	50,70	49,95	37,75
mc6-4AB	5	57,61	5,23	2,34	9,08	51,11	64,11	64,45	50,15
mc6-4A	5	63,25	4,75	2,12	7,51	57,35	69,15	69,75	58,40
Flujo térmico ( $q_{máx}$ ) ( $\times 10^{-3}$ ) [ $Wm^{-2}$ ]									
Ref. NT mc	Ref. N°	Media	Desviación estándar	Error estándar	Coeficiente variación (%)	95 % IC		Máximo	Mínimo
						Límite inferior	Límite superior		
mc3-4AB	5	370,10	57,83	25,86	15,67	298,30	441,90	473,00	335,50
mc3-4A	5	254,30	10,42	4,66	4,10	241,36	267,24	271,50	246,00
mc6-4AB	5	293,50	13,97	6,25	4,76	276,16	310,84	311,50	274,00
mc6-4A	5	396,50	30,93	13,83	7,80	358,09	434,91	425,00	347,00