



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

**Máster Universitario en Ingeniería Textil**

**DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE “NO  
TEJIDOS” A PARTIR DE RESIDUOS DE FIBRAS  
TEXTILES**

**TRABAJO FINAL DE MÁSTER**

**Presentado por:**  
Francisco Sempere Jaén

**Dirigido por:**  
Pablo Díaz García

**Convocatoria de defensa:** Julio de 2019

## **Resumen y Palabras Clave**

### **Resumen/Summary**

Con la ejecución de este proyecto se pretende obtener “no tejidos” a partir de residuos textiles.

Para ello, primero se ha realizado una investigación sobre las técnicas de obtención de los “no tejidos” y posteriormente se ha utilizado un equipo de Airlaid para el desarrollo de las muestras.

Finalmente, los “no tejidos” obtenidos se han caracterizado en laboratorio para determinar el nivel de aislamiento acústico, aislamiento térmico y su comportamiento frente al fuego.

With the execution of this project, the objective has been to obtain “nonwovens” from textile residues.

Firstable, I have carried out an investigation of the techniques of obtaining the “nonwovens” and after this, I have used the Airlaid equipment for the development of the samples.

Finally, It has been characterized the “nonwovens” obtained in the laboratory to determine the level of sound insulation, thermal insulation and fire behavior, and the results obtained will be analyzed.

### **Palabras clave/ Keywords**

No tejido, aramida, residuos, airlaid, aislamiento.

Nonwoven, aramid, residue, airlaid, isolation.

Agradecimientos,

A Pablo Díaz, por la gran ayuda que me ha prestado, por su paciencia e implicación.

A los “Master and Comander”, ya que sin ellos esto se habría hecho muy cuesta arriba.

A mi mujer, Paloma, la persona que más ha sufrido este Máster, con muchas cenas a las 11 de la noche y poco tiempo libre durante los fines de semana.

# Contenido

0. Antecedentes.....	4
1. Introducción.....	6
1.1. La importancia de la economía circular en la industria textil .....	6
1.2. Introducción a los “no tejidos” .....	8
1.2.1. Procesos de elaboración de “no tejidos” .....	11
2. Estado del arte.....	14
2.1. Análisis bibliográfico.....	14
3. Hipótesis y objetivos .....	22
4. Metodología .....	23
4.1. Preparación de la materia prima.....	23
4.2. Fabricación de “no tejidos” en las plantas experimentales .....	24
4.3. Caracterización de las teas “no tejidas” .....	27
4.3.1. Absorción acústica .....	27
4.3.2. Aislamiento térmico.....	30
4.3.3. Comportamiento frente al fuego.....	32
5. Resultados .....	35
5.1. Selección de los velos “no tejidos” .....	36
5.2. Absorción acústica .....	37
5.2. Aislamiento térmico .....	44
5.3. Comportamiento frente al fuego .....	53
6. Conclusiones .....	59
7. Líneas futuras .....	62
8. Bibliografía.....	63
9. Índice de ilustraciones y tablas .....	66

## 0. Antecedentes

Por todos es conocida la importancia que está adquiriendo en cualquier sector la revalorización de residuos (economía circular), en la que se tiene muy presente la fabricación de productos que puedan ser reaprovechados una vez su función llegue a su fin.

AITEX cuenta con un departamento de I+D que se dedica al desarrollo de “Nuevos materiales sostenibles, aprovechando la revalorización de residuos, “no tejidos” y composites. Actualmente se trabaja en el desarrollo nuevos productos basados en materiales compuestos. Los composites, o materiales compuestos, son utilizados en una gran variedad de sectores industriales, tales como automoción, aeronáutica, construcción, náutica y recreación deportiva, como alternativa a los materiales tradicionales como el hierro, acero, aluminio o madera. Fabricar soluciones tecnológicas con materiales compuestos está cada vez más al alcance de las empresas y existiendo una demanda latente de productos fabricados con este tipo de materiales. Además, AITEX participa en proyectos de investigación de carácter estratégico, de gran dimensión y largo alcance, actuaciones que cuentan con el apoyo de convocatorias nacionales de ayudas públicas. [1]

Actualmente AITEX dispone de una planta experimental para la elaboración de “no tejidos” mediante vía húmeda (wet laid), pero el imparable crecimiento de la fabricación de “no tejidos” sumado a la cantidad de métodos existentes para la elaboración del velo, hacen que dichas convocatorias nos permitan establecer colaboraciones con otras instituciones y empresas, con el objetivo de conocer nueva maquinaria, analizar resultados obtenidos con tecnologías no disponibles en el Instituto, y según esos resultados, establecer las futuras líneas estratégicas de investigación.

El proyecto en cuestión se centrará en reaprovechar residuos textiles junto con restos de aramida procedentes de EPI's, para conseguir un nuevo producto con propiedades óptimas para su utilización en la industria de la construcción. El proceso seleccionado por el área de I+D para la elaboración del velo, es mediante vía seca, más concretamente mediante tecnología airlaid. Para ello, se han cerrado acuerdos con una empresa que dispone de la tecnología AIRLAID, en la que se realizarán las pruebas sobre las que sacaremos las conclusiones pertinentes.

Esta tecnología parte de la floca y permitirá la formación del velo mediante proceso neumático, obteniendo una disposición de fibras desorientadas y productos con gran variedad de gramajes. En comparación con los velos cardados, los velos colocados al aire son mucho más finos, menos densos, más suaves y carecen de una estructura en capas, y el proceso tiene la ventaja añadida de la versatilidad de las fibras que puede manejar, ya sea de tipo mixto o sencillo.

Para verificar que los residuos y la tecnología son válidas, se realizarán ensayos de resistencia acústica, térmica y de comportamiento al fuego sobre diferentes “no tejidos” fabricados.

Con todo ello, indicar que el desarrollo del proyecto tendrá como premisa lo indicado anteriormente: Un aprovechamiento del desperdicio de materias textiles , en este caso

ARAMIDAS, y la utilización de una instalación que dispone del sistema de elaboración de velos AIRLAID, con unas limitaciones concretas de su proceso productivo, con la finalidad de obtener un producto destinado al sector construcción, pero que aporte mejores propiedades de aislamiento acústico, aislamiento térmico y comportamiento frente al fuego, que los productos existentes en la actualidad.

## **1. Introducción**

### **1.1. La importancia de la economía circular en la industria textil**

La industria textil es la segunda más contaminante de planeta, ya que cada año se venden más de 80.000 millones de prendas. Desde que empresas como Zara y H&M impusieron el pronto-moda, el consumo y la producción de prendas se ha disparado, mientras toneladas de ropa vieja se acumula sin que nadie sepa bien qué hacer con ellas.

Las ropas viejas no se pueden compostar, incluso si han sido manufacturadas con materiales naturales, pues se blanquean con lejía, se tiñen, se estampan... Estos compuestos químicos pueden desprenderse e ir a parar a las aguas subterráneas si el vertedero no está aislado. Y la incineración de las ropas puede liberar toxinas en el aire. Greenpeace enumera hasta once sustancias químicas peligrosas que pueden persistir en el medioambiente, acumularse en los tejidos corporales y afectar a nuestro sistema inmune o a nuestra fertilidad; entre ellas, colorantes y compuestos de estaño que se usan en calcetines y ropa deportiva para prevenir el mal olor causado por el sudor, disolventes clorados... por lo tanto esta ropa debería tratarse con un cuidado similar al de las baterías. Además, las fibras sintéticas no son biodegradables.

Por si fuera poco, contribuyen al calentamiento global. Hacen falta unos 70 millones de barriles de petróleo para fabricarlas. Y en cuanto al algodón, que es la fibra natural más usada, sepa que su cultivo concentra el 18 por ciento de los pesticidas que se usan en el mundo y el 25 por ciento de los insecticidas.

El concepto de economía circular hace hincapié en la importancia de mantener el valor de los productos el mayor tiempo posible y evitar los residuos. Funciona manteniendo los recursos en la economía cuando un producto ha llegado al final de su vida útil, de modo que puedan continuar utilizándose con provecho una y otra vez para crear más valor. No hace falta decir que, por definición, la economía circular se opone a la «economía lineal», caracterizada por la simple cadena de «extracción – producción – consumo – eliminación». [2]

La economía circular es la intersección de los aspectos ambientales, económicos y sociales. El sistema lineal de nuestra economía (extracción, fabricación, utilización y eliminación) ha alcanzado sus límites. Se empieza a vislumbrar, en efecto, el agotamiento de una serie de recursos naturales y de los combustibles fósiles. Por lo tanto, la economía circular propone un nuevo modelo de sociedad que utiliza y optimiza los stocks y los flujos de materiales, energía y residuos y su objetivo es la eficiencia del uso de los recursos.

Además, la economía circular es generadora de empleo. El sector de la gestión de los residuos representa en España miles de puestos de trabajo. [3]

En un contexto de escasez y fluctuación de los costes de las materias primas, la economía circular contribuye a la seguridad del suministro y a la reindustrialización del territorio nacional.

Todo eso implica un cambio sistémico completo, así como innovar no sólo en las tecnologías, sino también en la organización, la sociedad, los métodos de financiación y las políticas. [4]

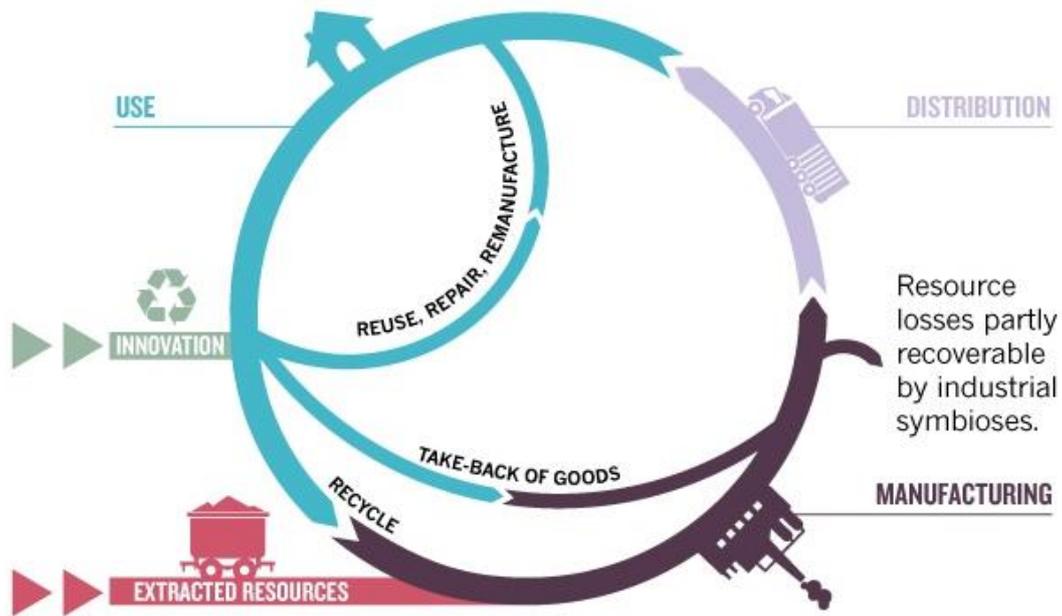


Ilustración 1- Explicación sobre el flujo de materiales en un proceso de economía circular.

Fuente: <https://www.nature.com/news/the-circular-economy-1.19594>

Fecha búsqueda: 05/2019

Dentro de las políticas sobre economía circular, el textil es uno de los flujos materiales donde se requiere actuar de forma prioritaria. En primer lugar, porque su industria es muy contaminante y consumidora de recursos. Efectivamente, la fabricación de la ropa requiere de materias primas (naturales o sintéticas) así como elevado consumo de agua, y su transporte tiene consecuencias para el cambio climático, así como el tratamiento posterior que se realice al finalizar su vida útil.

Además, tal se concluyó en un estudio realizado en la Fundación para la Economía Circular, en España, la cantidad promedio de residuos textiles (entendiendo como tales toda la ropa de vestir, calzado, textil del hogar y otros productos textiles que se desechan tras cierto periodo de tiempo) que se reutilizan o reciclan no llega al 15%; más del 85% restante termina en plantas de incineración o vertido.

La prevención de residuos textiles es una cuestión que no debe obviarse en la consecución de los objetivos marcados por la Unión Europea para todos los Estados miembros. La reducción de la cantidad de residuos generados incluye, entre otros, la prolongación del ciclo de vida de la ropa, así como su preparación para la reutilización.

Asimismo, el ecodiseño y la refabricación son elementos claves para poder cerrar el ciclo. Un diseño que permita su reparación o bien su separación en partes, por ejemplo, para el caso del calzado, facilitaría y fomentaría una mejor preparación para la reutilización.

Por otro lado, y en cuanto a los residuos textiles, hace falta en España una regulación clara y unas estadísticas fiables sobre su gestión. Uno de los problemas de que estos residuos no cuenten con una clara regulación, es que las entidades no cuentan con autorizaciones que tampoco exigían las entidades locales. Si bien esto está cambiando mediante la incorporación de convenios o mediante licitaciones donde quedan

especificadas las normas a seguir (entre ellas, la obligación de facilitar los datos de recogida a la administración competente).

El problema de la trazabilidad del residuo es que puede acabar en almacenes de clasificadores no autorizados que venden la ropa en estado original (al peso tal cual se recoge), difuminándose la condición de residuo y perdiéndose información en el camino.

Es importante poder tener una adecuada trazabilidad de los residuos textiles para su contribución a los objetivos de reciclaje 2020 y 2030 marcados por la Unión Europea. El reto es, precisamente, encontrar un punto adecuado donde, permitiéndose su trazabilidad, no se pongan trabas a la recuperación que ya está en funcionamiento. [4]

La tecnología que se describe a continuación, disponible para realizar “no tejidos”, es una tecnología muy potente y que ofrece mucha versatilidad. Es por ello por lo que se pretende realizar un estudio en el que se potencie la economía circular, reaprovechando residuos de la industria textil y la aramida extraída de Equipos de Protección Individual (EPI’s), así como otros residuos que ayuden a generar nuevos materiales aislantes para construcción, y de este modo cerrar el círculo.

## **1.2. Introducción a los “no tejidos”**

Los “no tejidos” son tejidos exclusivos, de alta tecnología, diseñados a partir de fibras y que se utilizan en una amplia gama de aplicaciones y productos. Los “no tejidos” son innovadores, versátiles e indispensables. La vida moderna sería literalmente imposible sin ellos.

La idea de los “no tejidos” nace a finales del siglo XIX en Gran Bretaña y Estados Unidos. Consistía en consolidar velos fibrosos mediante aplicación de cola. Los artículos fabricados ya en este siglo a partir de los años 20 eran destinados a productos sustitutorios de los de calada/malla y artículos percederos. [5]

Según Norma UNE EN ISO 9092, los “no tejidos” son estructuras de material textil, como fibras, filamentos continuos o hilos cortados de cualquier origen o naturaleza, que, mediante cualquier medio, forman redes y se han unido, exceptuando el entrelazado de los hilos como en las telas tejidas, las telas tricotadas, encajes, telas trenzadas o tejidos afelpados (Las películas y estructuras de papel no se consideran “no tejidos”). Por lo tanto, será indispensable que se trate de una estructura laminar, que no se utilice para su fabricación elementos habituales de tisaje y que no se utilicen hilos.

Por el contrario, la *European Disposable and Nonwovens Association (EDANA)* que junto con su homónima americana *Association of the Nonwoven Fabrics Industry (INDA)* agrupan a la mayor parte de industrias del sector de todo el mundo, considera que los “no tejidos” “son láminas manufacturadas, velos o napas de fibras orientadas o no, producidas y unidas por medios mecánicos, químicos o físicos (excluyendo el tisaje de calada y de malla, tufting, cosido-tricotado y el fieltro tradicional). Las fibras pueden ser naturales o manufacturadas y en este último caso pueden ser fibras cortados o filamentos continuos o ser formadas in situ”. Esta definición se completa con las condiciones químico-físicas que distinguen una tela no tejida de un papel.

Aceptando las líneas generales de ambas definiciones, denominaremos textiles laminares no convencionales a los obtenidos por procedimientos diferentes a los

clásicos de tisaje, y distinguiendo entre “no tejidos”, designados indistintamente telas no tejidas, y otros procedimientos de producción de láminas textiles no convencionales.

Una característica común a todos los procedimientos de fabricación de “no tejidos” es la elevada producción horaria en comparación con la de los métodos convencionales del sector de fabricación de tejidos; así, la de una máquina, de consolidación de velos por el método de punzonado de napas es casi 500 veces superior a la de un telar de lanzadera, mientras que una tela no tejida de vía húmeda es 2500 veces más rápida de producir que un tejido de malla en telar circular de gran diámetro.

Pero la verdadera eclosión se inicia tras la 2ª guerra Mundial, y fundamentalmente desde los años 60. El crecimiento a diferencia de los tejidos convencionales, plástico o papel presenta un crecimiento que puede cifrarse en un 10 % anual.

Actualmente, la producción de telas no tejidas en la Gran Europa aumentó en volumen un 3,3% para alcanzar las 2,395,098 toneladas en 2016. Esto se compara con las tasas de crecimiento en los dos crecimientos anteriores de 3.7% en 2015 y 5.2% en 2014.

La facturación total estimada de la industria europea de productos de rollo “no tejido” en 2016 es de alrededor de 7.583 millones de euros. [6]



Ilustración 2- Producción de “No tejidos” en Europa (en miles de toneladas)

Fuente: <https://www.edana.org/discover-nonwovens/facts-and-figures>

Fecha búsqueda: 06/2019

En 2016, los principales segmentos de mercado en términos de volumen para productos en rollo de productos “no tejidos”, fueron:

- higiene (30,9%)
- Toallitas para el cuidado personal (12,4%).
- construcción (9,5%)
- ingeniería civil (6,3%)
- automoción (5,9%)
- Tapicería / hogar (3,7%).
- filtración (3,6%)

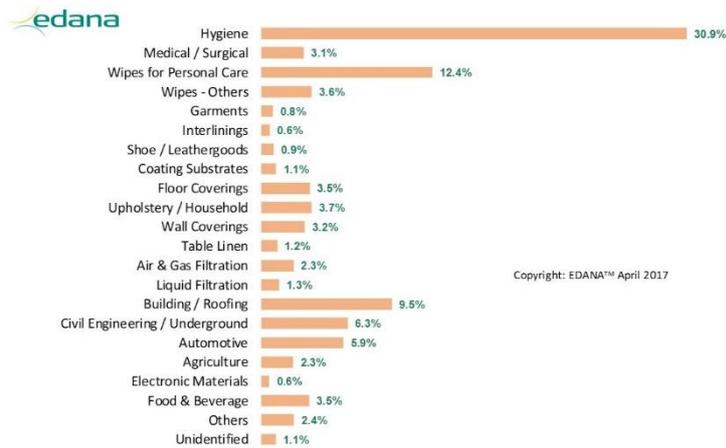


Ilustración 3- Clasificación de “No tejidos” en Europa según su aplicación final (en miles de toneladas)  
 Fuente: <https://www.edana.org/discover-nonwovens/facts-and-figures>  
 Fecha búsqueda: 06/2019

Además, las exportaciones totales de productos “no tejidos” de la UE al resto del mundo ascendieron a 372,037 toneladas en 2016 (en comparación con 371,108 toneladas en 2015). Esto representó un valor de casi 1,748 millones de euros (un aumento del + 1.8% en el valor).

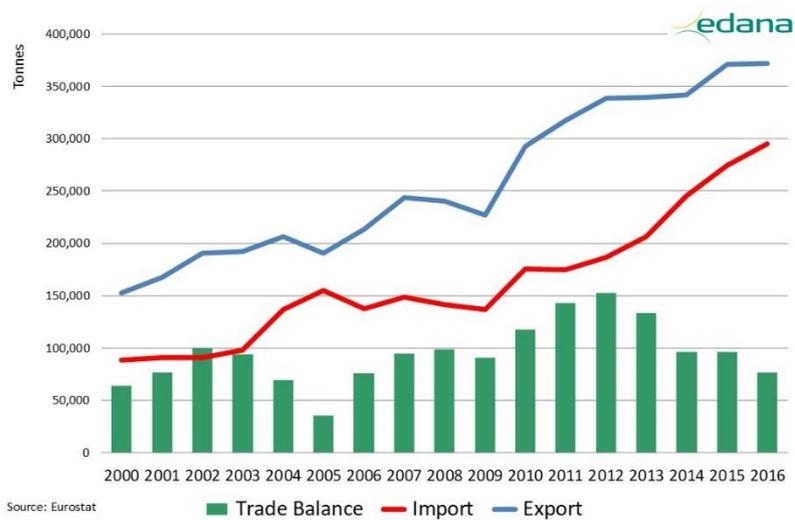


Ilustración 4- Flujos comerciales totales con países no pertenecientes a la UE.  
 Fuente: <https://www.edana.org/discover-nonwovens/facts-and-figures>  
 Fecha búsqueda: 06/2019

[6]

### **1.2.1. Procesos de elaboración de “no tejidos”**

La elaboración de un “no tejido” se compone de las siguientes fases:

- 1) Elaboración del velo, que puede realizarse mediante:
  - Vía seca (Cardado o Airlaid)
  - Vía Húmeda (Wetlaid)
  - Vía Fusión (Spunlaid/spunbounbed o Meltblown)
  - Otros (Flash Spinning)
- 2) Plegado de velos (opcional)
- 3) Consolidación de velos
  - Mecánico (Punzonado, Hidro-enmarañado o Unión mediante cosido)
  - Químico
  - Térmico
- 4) Tratamientos finales

#### **Elaboración del velo**

En este proyecto, vamos a centrarnos en los procesos de elaboración del velo mediante vía seca, más concretamente mediante tecnología Airlaid. Esta tecnología permite la utilización de fibras cortas y largas, y tras su proceso, se consolida con un proceso mecánico, químico o térmico.

Las principales características de esta tecnología son las siguientes:

- Materias primas: fibras de origen natural o químico
- Formación del velo: cardado o neumático
- Disposición de fibras: al azar u orientadas
- Productos: 10 a 10.000 g/m<sup>2</sup> y 1 a 10 m. de ancho

Vamos a trabajar con el sistema aerodinámico (sistema neumático). El sistema airlaid parte de la floca abierta, que es manipulada por un disgregador y transferida por fuerzas centrífugas a la superficie que forma el velo. Las fibras son colocadas con una disposición desorientada. [7]

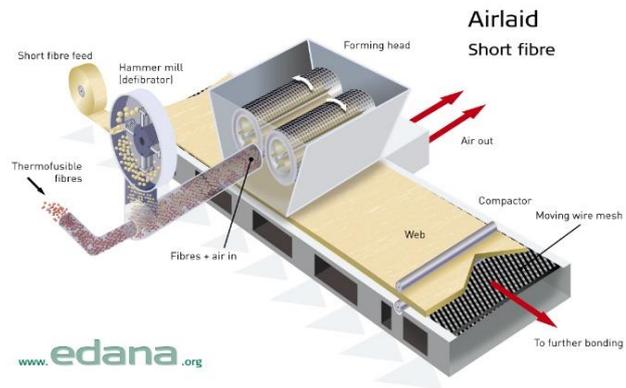


Ilustración 5- Formación de “no tejidos” mediante sistema Airlaid.  
 Fuente: <https://www.edana.org/discover-nonwovens/how-they're-made/formation>  
 Fecha búsqueda: 06/2019

En comparación con los velos cardados, los velos colocados mediante airlaid son mucho más finos, menos densos, más suaves y carecen de una estructura en capas, y el proceso tiene la ventaja añadida de la versatilidad de las fibras que puede manejar, ya sea de tipo mixto o sencillo.

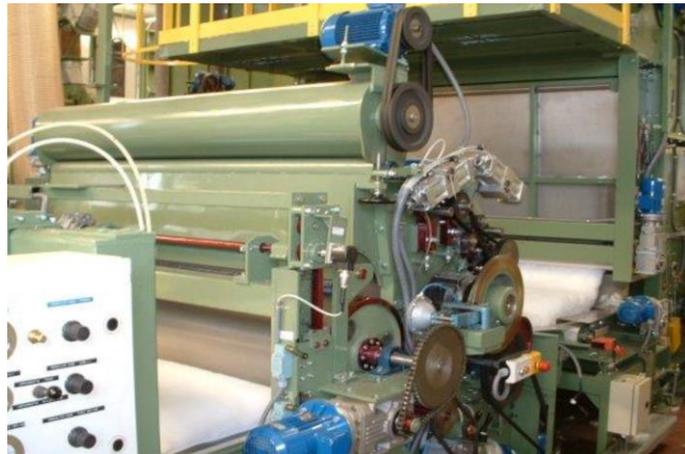
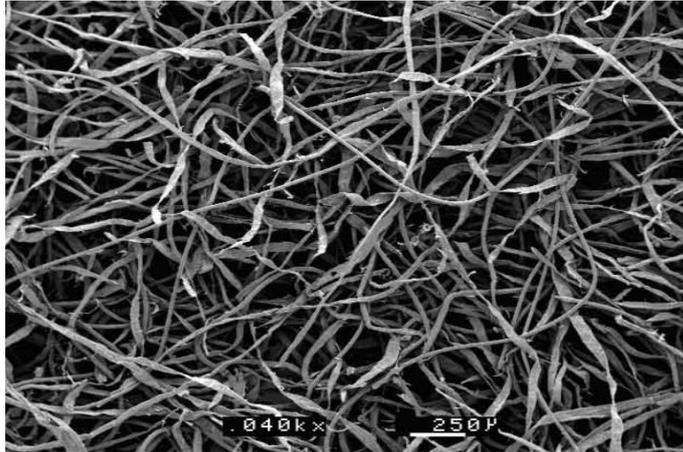


Ilustración 6- Ejemplo de maquinaria Airlaid.  
 Fuente: Apuntes de Máster en Ingeniería Textil. Asignatura: Estructuras laminares.  
 Fecha búsqueda: 04/2019



*Ilustración 7- Obtención de “no tejido” airlaid de celulosa y poliolefina.  
Fuente: Apuntes de Máster en Ingeniería Textil. Asignatura: Estructuras laminares.  
Fecha búsqueda: 04/2019*

### **Consolidado del velo**

La consolidación de los velos obtenidas por cualquiera de los procedimientos comentados con anterioridad se puede conseguir mediante varios procedimientos:

- Consolidado físico
- Consolidado térmico
- Consolidación química

En este proyecto, trabajaremos con el consolidado térmico, el cual requiere de la presencia de un componente termoplástico en forma de fibra, polvo, película, velo, fusión caliente o en una corteza como parte de una fibra bicomponente.

En la práctica, el calor se aplica hasta que el componente termoplástico se vuelve viscoso o funde. El polímero fluye por tensión superficial y la acción de la capilaridad a los puntos de cruce de las fibras donde se forman las regiones de unión. Estas regiones de unión quedan fijadas mediante el subsiguiente enfriamiento.

En este caso, no tiene lugar ninguna reacción química entre el ligante y la fibra base en los lugares de unión. Cuando los ligantes funden y fluyen dentro y alrededor de los puntos de cruzamiento de las fibras, y dentro de las grietas superficiales de las fibras de los alrededores, se forma una unión adhesiva o mecánica por el subsiguiente enfriamiento. Tal unión adhesiva es una unión fisicoquímica en la interfase de dos materiales diferentes. [7]

Las materias termofusibles pueden adicionarse en forma de fibra (mezclado con las fibras en la formación del velo) o directamente al velo (espolvoreado posteriormente).

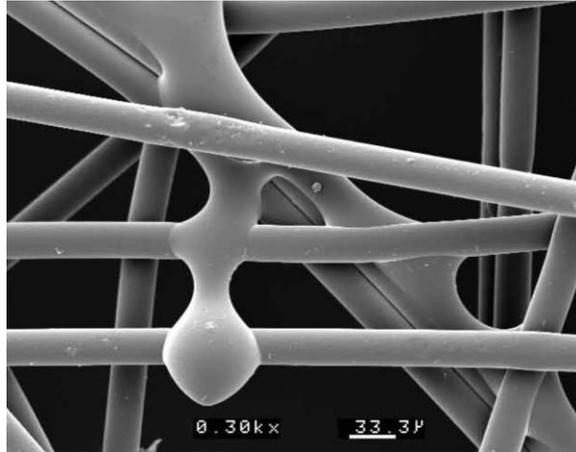


Ilustración 8- Haz de un “no tejido” consolidado por termofusión.  
 Fuente: Apuntes de Máster en Ingeniería Textil. Asignatura: Estructuras laminares.  
 Fecha búsqueda: 04/2019

## 2. Estado del arte

### 2.1. Análisis bibliográfico

A continuación, pasamos a analizar los artículos publicados sobre la creación de “no tejidos”, “no tejidos” a partir de residuos, utilización de aramida, tecnologías utilizadas, etc.

Se ha realizado una búsqueda de información, a través de la base de datos de la Web Of Science (WOS), para conocer los últimos avances tanto en la fabricación de “no tejidos” como en la utilización de aramida en los mismos.

Cuando realizamos una búsqueda de “**no tejido**”, nos aparecen 32.948 resultados. En los últimos 10 años, el nº de publicaciones es claramente ascendente, pasando de 359 en 2010 a 577 en 2018.

NO TEJIDO									
AÑO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
PUBLICACIONES	359	391	401	485	488	443	509	517	577

Tabla 1 - Búsqueda de publicaciones relacionadas con “no tejidos”, en los últimos 9 años.

Fuente: <https://apps.webofknowledge.com>

Fecha búsqueda: 04/2019



Ilustración 9 - Evolución de publicaciones relacionadas con "no tejidos", en los últimos 9 años.  
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se ha realizado una búsqueda por tecnologías de fabricación de "no tejidos", obteniendo los siguientes resultados:

TECNOLOGÍA	RESULTADOS OBTENIDOS
No tejido + Carda	692
No tejido + Airlaid	48
No tejido + Wetlaid	17
No tejido + Spunlaid	18
No tejido + Meltblown	285

Tabla 2- Búsqueda de publicaciones relacionadas con las distintas tecnologías de fabricación de "no tejidos".

Fuente: <https://apps.webofknowledge.com>

Fecha búsqueda: 04/2019

La distribución de publicaciones en los últimos años es la siguiente:

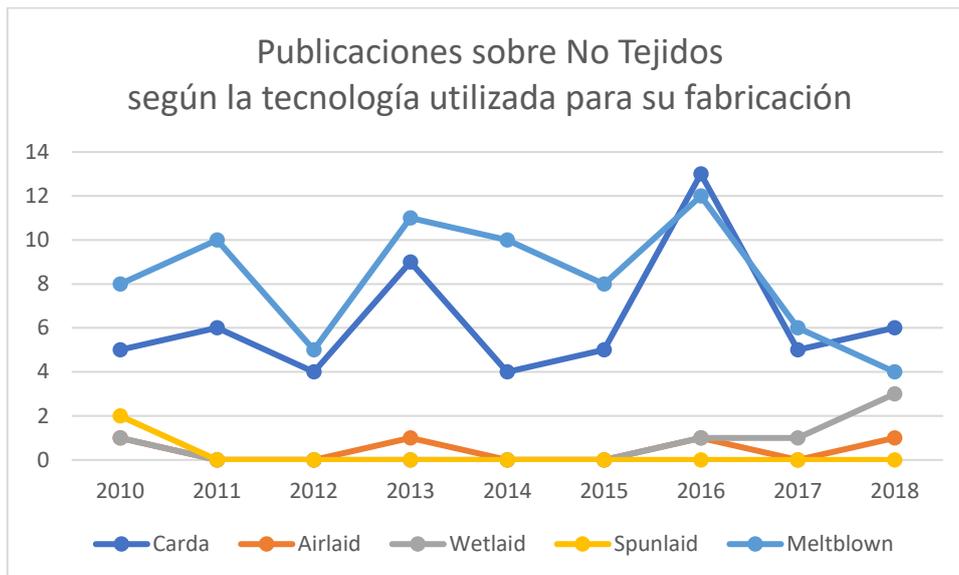


Ilustración 10 - Evolución de las publicaciones sobre las distintas tecnologías de fabricación de "no tejidos".  
Fuente: Elaboración propia

También se ha analizado la situación sobre la fabricación de "no tejidos" mediante airlaid, para conocer el estado de la técnica y saber si se ha investigado alguna línea en relación con lo que se va a desarrollar en este proyecto.

Nos encontramos con los siguientes artículos y patentes:

- 1) Este artículo nos habla sobre la fabricación de telas "no tejidas" por airlaid, con aglomerante térmico (fibra de vidrio y fibras de poliéster bicomponente). Posteriormente se han formado telas multicapa en paneles compuestos utilizando una técnica de moldeo por compresión. El proceso de consolidación se optimizó y se estudió el efecto de la densidad aparente en las permeabilidades del aire, las propiedades mecánicas y la resistencia térmica. Comenta que el aumento de la cantidad de aglomerante y la densidad aparente mejoraron la resistencia a la flexión y la tracción. Se encontró que la resistencia térmica de los paneles era muy dependiente de la densidad aparente, de modo que la resistencia aumentó exponencialmente con un aumento inicial en la densidad, luego se niveló y disminuyó linealmente con un incremento adicional en la densidad. Los hallazgos revelaron que los paneles "no tejidos" depositados por aire pueden diseñarse para usarse como materiales de aislamiento térmico estructural en construcciones.

*Airlaid nonwoven panels for use as structural thermal insulation.* [8]

- 2) En este artículo se hace un examen a las diferentes tecnologías de fabricación de "no tejidos". La industria de los "no tejidos" se ha basado en las prácticas y el conocimiento de muchos otros campos de la fabricación de materiales. Hoy en día, Las tecnologías "no tejidas" originadas en la industria textil manipulan las

fibras en estado seco, manipulan fibras cortas suspendidas en fluidos y crean telas “no tejidas”, con aberturas y las múltiples combinaciones que ofrecen.

*The formation of dry, wet, spunlaid and other types of nonwovens.* [9]

- 3) El material “no tejido” se utiliza para la fabricación de paneles acústicos, acolchados para automóviles, como revestimientos o tapetes de paneles de tablero, etc. Tiene características de aislamiento acústico y térmico elevadas. Es un buen absorbente de sonido por su peso, como lo demuestra el rendimiento de la muestra en las pruebas de transmisión de sonido de laboratorio (LSTT) únicas. Puede producirse económicamente a escala comercial utilizando una máquina convencional de airlaid. Tiene una reducción de la transmisión de sonido mayor o igual a 5 decibelios en LSTT, un coeficiente de absorción de sonido determinado por ASTM E1050-98 a 1000 Hz de mayor o igual a 0.5, y SAMI mayor o igual a 3 deltaB / kgsm. La estructura no tejida tiene una resistencia al flujo de aire de 500-10000 Rayls (NS / m3). El material es resistente al moho y es ignífugo o incluso autoextinguible. También es resistente al agua o impermeable mediante la aplicación de un agente resistente al agua.

*Composite nonwoven material used as airfelt in structures such as buildings, appliances, and interior passenger compartments and exterior components of automotive vehicles, comprises a core having matrix fibers and core binder.* [10]

- 4) En la siguiente patente se explica que el espesor y el peso del material “no tejido” se pueden variar para producir un material con aislamiento acústico personalizado. Comenta que la tecnología airlaid es muy versátil para adaptar el resultado a las expectativas acústicas o térmicas específicas. Además, el material “no tejido” tiene capacidades ignífugas o resistentes al calor superiores como lo demuestra una prueba de barrera contra incendios.

*Fire-retardant nonwoven material used for sound attenuating laminate, and mattress, futon or other bedding product, furniture cushion or covering has Burn Through Time in fire barrier screening test of about predetermined time.* [11]

Como resumen de estos documentos, podemos decir:

- El primer artículo explica una metodología de fabricación de paneles acústicos, mediante airlaid. Este proceso de fabricación no utiliza fibras de aramida, pero refuerza la teoría de este trabajo.
- El segundo artículo analiza las tecnologías existentes para la fabricación de “no tejidos”, apostando considerablemente por las tecnologías dry, entre ellas la de airlaid.
- Por último, las dos patentes expuestas confirman que la utilización de “no tejidos” en el sector construcción es una realidad, además de sus buenas características acústicas/térmicas, ofrece excelentes capacidades ignífugas.

También se ha realizado una búsqueda de las publicaciones relacionadas con la aramida, según las distintas propiedades a estudiar (aislamiento acústico, térmico y comportamiento al fuego).

Al realizar la búsqueda de “aramida + aislamiento térmico”, encontramos 1.271 publicaciones. En todas ellas se valora muy positivamente la utilización de aramida, ya que mejora considerablemente estas propiedades. Podemos encontrar publicaciones en las que se habla sobre la mejora en el confort termo-fisiológico que aporta la aramida [12] [13], la mejora de las propiedades térmicas y mecánicas gracias a la incorporación de aramida [14], estabilidad térmica de la aramida [15], etc.

Al realizar una búsqueda de “aramida + comportamiento frente al fuego”, aparecen 511 publicaciones. En todas ellas también se valora muy positivamente la utilización de aramida, ya que mejora considerablemente estas propiedades. Hemos encontrado todo tipo de artículos, entre los que se explica la mejora del comportamiento al fuego que ofrecen las aramidas [16], el efecto del núcleo de panal de aramida sobre el retardo de la llama [17], la mejora en el comportamiento a la degradación térmica y propiedades ignífugas [18], etc.

Por último, al realizar la búsqueda de “aramida + aislamiento acústico”, no encontramos con un total de 113 artículos relacionados. Se trata de una cifra muy inferior si la comparamos con las otras dos búsquedas efectuadas (Aislamiento térmico y comportamiento frente al fuego). De todos modos, los resultados son igual de contundentes que los anteriores, tal y como se demuestra en los siguientes artículos: se ha mejorado el coeficiente de absorción de sonido en paneles absorbentes gracias a la utilización de aramidas [19], los excelentes resultados de la utilización de aramidas en los materiales de construcción, con el fin de mejorar el comportamiento termoacústico [20], la utilización de aramidas para la fabricación de paneles de absorción acústica destinados a aviones de alta gama [21], etc.

Todos los artículos tienen algo en común, y es que la utilización de aramida mejora las propiedades térmicas, acústicas y de comportamiento contra el fuego. Este punto es importante para reforzar el trabajo a realizar, buscando el reaprovechamiento de aramida proveniente de EPI's, para construir materiales de construcción que mejoren todas estas propiedades.

A continuación, se ha buscado la relación entre **no tejido + aramida**, encontrando un total de 322 publicaciones, de las cuales solo 34 son posteriores al 2010.

En la siguiente tabla se pueden ver las publicaciones en los últimos años:

<b>NO TEJIDO</b>									
<b>AÑO</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>PUBLICACIONES</b>	1	6	2	3	3	4	4	6	5

*Tabla 3- Búsqueda de publicaciones relacionadas con "no tejidos" y aramida, en los últimos 9 años.*

*Fuente: <https://apps.webofknowledge.com>*

*Fecha búsqueda: 04/2019*

Claramente las tecnologías de carda y meltblown son las más investigadas en los últimos años, seguidas por Wetlaid y por último de airlaid y spunlaid. Estos resultados hacen que sea todavía más interesante el estudio con airlaid, tal y como se ha detallado en los antecedentes.

Analizando con más detalle las 322 publicaciones relacionadas con los “no tejidos” y aramida, se ha podido observar que existe un gran avance y elevado nº de publicaciones en relación a la utilización de aramida para la mejora de la filtración con “no tejidos” y a la utilización de aramida para mejora de las propiedades mecánicas.

A continuación, se ha buscado la relación entre las distintas **tecnologías y la aramida**. Los resultados que se han obtenido son los siguientes:

TECNOLOGÍA	RESULTADOS OBTENIDOS
Aramida + Carda	47
Aramida + Airlaid	3
Aramida + Wetlaid	37
Aramida + Spunlaid	0
Aramida + Meltblown	2

Tabla 4 - Resultados obtenidos de la búsqueda de artículos sobre tecnologías de “no tejidos” y aramida  
 Fuente: <https://apps.webofknowledge.com>  
 Fecha búsqueda: 04/2019

Comentar que los 3 resultados obtenidos en los que se habla de aramida y airlaid, son anteriores a 2010.

Por último, se ha realizado una búsqueda exhaustiva en búsqueda de artículos que relacionen la aramida, cualquier tecnología de fabricación de “no tejidos” y algunas de las propiedades que ensayaremos, como son el aislamiento acústico, térmico y comportamiento al fuego. Decir que solo se han encontrado 6 publicaciones que hacen referencia a alguna de las propiedades que se pretenden analizar en este trabajo, se muestran a continuación:

1. Investigación de las características de respuesta térmica de más de 50 materiales relativamente delgados (0,15-3,7 mm) de cuatro grupos de fibras diferentes (aramida, fibra de vidrio, sílice amorfa y carbono preoxidado) y sus compuestos. Para ello se utilizó un quemador Meker y un calentador de cono, respectivamente.

*Thermal response characteristics of fire blanket materials.* [22]

2. Fabricación de una membrana de aramida con buena capacidad de humectación por electrolitos, alta conductividad iónica, excelente propiedad de retardo de la inflamación y resistencia térmica superior, para mejorar la seguridad característica de la batería de iones de litio.

*A highly safe and inflame retarding aramid lithium ion battery separator by a papermaking process.* [23]

3. Este artículo describe un estudio sobre “no tejidos” resistentes al calor utilizados como componentes en la construcción de sistemas de revestimientos térmicos en trajes de protección contra incendios. Examina las relaciones entre la composición de la fibra y la construcción de las guarniciones no tejidas hidro ligadas y las propiedades que pueden afectar su rendimiento cuando se utilizan en esta aplicación.

*Factors Affecting the Thermal Insulation and Abrasion Resistance of Heat Resistant Hydro-Entangled Nonwoven Batting Materials for Use in Firefighter Turnout Suit Thermal Liner Systems.* [24]

4. En este artículo se explica que se fabricaron telas no tejidas punzonadas con varias estructuras y se examinaron sus propiedades físicas, estructura, aislamiento térmico y absorción acústica. Los resultados muestran que las telas no tejidas punzonadas con fibra de aramida poseen un buen rendimiento en el aislamiento térmico y acústico, además de la masa ligera y la resistencia inherente a las llamas.

*Research on Properties of Aramid Fiber Needle-Punched Nonwoven Fabrics.* [25]

5. Se investigó una tela no tejida ignífuga para la absorción del sonido, que utiliza fibra de para-aramida y fibra de poliéster como sustituto de los materiales convencionales (como lana de vidrio, espuma retardante de llama y fibra de poliéster retardante de llama). Se estudió una combinación de tela no tejida y papel, y se compararon las cualidades de absorción de sonido y la pérdida de permeación de sonido resultantes. Al unir para-aramida al tejido “no tejido”, el rendimiento de absorción de sonido a más de 2000 Hz fue mejor que el de la lana de vidrio.

*Recyclable flame retardant nonwoven for sound absorption.* [26]

6. En este artículo se comenta que la ropa de protección es la ropa que se usa para proteger a las personas de diversos peligros y / o reducir este riesgo perjudicial. Protección contra el calor y la radiación para la ropa de bomberos, contra los metales fundidos para los soldadores, para las chaquetas a prueba de balas, etc., todo esto se piensa mediante el uso de textiles técnicos con fibras de alto rendimiento.

*Protective nonwoven technical textiles.* [27]

Tras evaluar a fondo estos artículos, podemos concluir diciendo que:

- En ningún artículo se utiliza el reciclaje y la economía circular, ni de reaprovechar residuos de aramida para crear nuevos productos.

- En el artículo 4 se ha realizado un estudio sobre propiedades térmicas y acústicas en “no tejidos”, pero dichos “no tejidos” no se han desarrollado mediante la tecnología airlaid, tampoco utilizan residuos textiles ni de aramida.
- En el artículo 5 se han estudiado las propiedades acústicas de la para-aramida, indicando que los resultados han sido satisfactorios.
  - No especifica el resto de los ensayos que son necesarios para que un producto cumpla con los requisitos como material de construcción.
  - En ningún caso especifica que dicha para-aramida sea de origen reciclado.
  - Solo se utiliza para-aramida, en nuestro caso, queremos aprovechar restos de EPI's que incorporarán para-aramida y meta-aramida.

Una vez realizada la búsqueda de información sobre el objeto de este estudio, podemos concluir diciendo que vamos a realizar un trabajo totalmente novedoso y que, si los resultados son satisfactorios, abrirá una nueva línea para desarrollar productos de alto valor añadido, dirigidos al sector construcción, reaprovechando residuos de la industria textil.

### **3. Hipótesis y objetivos**

A continuación, se detallan las hipótesis que se plantean para este trabajo:

#### **Hipótesis 1**

Si conseguimos que con restos de aramida se generen “no tejidos” con una cohesión aceptable, podríamos darle una salida a este residuo con alta resistencia térmica y altas prestaciones mecánicas. El objetivo es crear un material aislante, mejor que los existentes, para su uso en el sector construcción.

#### **Hipótesis 2**

Si con la utilización de aramida se consiguen mejorar los parámetros en los ensayos de resistencia acústica, térmica y comportamiento al fuego, nos abriría la posibilidad de utilizar este residuo para crear nuevos materiales que mejoren las propiedades de los materiales existentes, para su uso en el sector construcción.

#### **Hipótesis 3**

Si se consiguen buenos resultados, podemos decir que, con la utilización de residuos de aramida para crear nuevos materiales, se conseguiría reaprovechar un residuo que tiene difícil procesabilidad, debido a sus características mecánicas, consiguiendo un proceso de economía circular.

A partir de estas hipótesis, podemos decir que los objetivos de este proyecto es aprovechar una de las tecnologías existentes (Airlaid) para la fabricación de “no tejidos”, para reaprovechar los desperdicios de aramida provenientes de Equipos de Protección Individual, que, por caducidad, uso o por envejecimiento no pueden utilizarse.

Dichos residuos textiles de aramida provenientes de EPI's se mezclarán con otras fibras ligantes, con el objetivo de generar nuevos productos de alto valor añadido que se reincorporen al mercado.

Para verificar las diferentes hipótesis, se realizarán ensayos de resistencia acústica, térmica y de comportamiento al fuego sobre diferentes “no tejidos” fabricados mediante tecnología airlaid. Los velos de “no tejido” se fabricarán con diferentes gramajes y porcentajes de aramida. Todo este proceso se explica con más detalle en la metodología.

## 4. Metodología

Mediante la tecnología de airlaid, se desarrollarán diferentes “no tejidos” con distintas composiciones y gramajes. El objetivo es determinar de entre todas las muestras, que porcentajes y gramajes son óptimos para obtener “no tejidos” fundamentalmente aprovechando las fibras de aramida.

Se pretende dar una segunda vida útil a las fibras de aramida, esta vez con aplicación a la edificación. Por este motivo, las muestras con mejores resultados de fabricación se han sometido a los siguientes ensayos:

- Resistencia acústica
- Resistencia térmica
- Comportamiento al fuego

Tal y como se ha comentado en el apartado “0. Antecedentes”, el estudio se basa en unas premisas de entre las que se destaca:

- La búsqueda de una solución útil y viable con la que se consiga reducir los miles de toneladas de residuos que produce el sector textil cada año.
- Mediante el reaprovechamiento de residuos provenientes de la industria textil, junto con residuos de aramida provenientes de Equipos de Protección Individual y un Bicomponente (PES/PE) que actúa como ligante.
- La utilización de la tecnología airlaid, por una decisión estratégica del propio Instituto Tecnológico.
- Conseguir un nuevo producto con propiedades óptimas para su utilización en la industria de la construcción, con unas condiciones óptimas de aislamiento acústico, térmico y comportamiento al fuego.

Los pasos realizados para la obtención de las muestras de “no tejido” son:

1. Preparación del material prima.
2. Fabricación del “no tejido”, mediante la tecnología airlaid.
3. Selección de los velos “no tejidos” mejor fabricados (correcta densidad, uniformidad por todo el tejido, buen ligado y resistencia, etc).
4. Caracterización de dichos “no tejidos”, para analizar su posible aplicación al sector de la construcción.

### 4.1. Preparación de la materia prima

Las muestras estarán compuestas por diferentes porcentajes, de los siguientes materiales:

- Residuos textiles.

La siguiente tabla muestra las principales características de la fibra.

Residuo Textil	
Longitud (mm)	≈ 12

Tabla 5 - Características del residuo textil  
Fuente: Elaboración propia.

- Desechos de fibra de aramida.

La siguiente tabla muestra las principales características de la fibra.

<b>Residuos de fibra de aramida</b>	
Length (mm)	≈ 50

Tabla 6 - Características del residuo de la fibra de aramida.

Fuente: Elaboración propia.

- Bicomponente fibra (PES/PE).

La siguiente tabla muestra las principales características de la fibra.

<b>Bicomponente (PES/PE)</b>	
Melting point(°C)	127/260
Degradation point(°C)	---
Length (mm)	50
Title	2.2 dtex

Tabla 7 - Características de la fibra bicomponente (PES/PE).

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2. Fabricación de “no tejidos” en las plantas experimentales

Una vez la materia prima sea debidamente preparada para su procesado, se procederá a la obtención de “no tejidos” mediante el proceso de airlaid, con los que posteriormente se analizarán sus características. Los “no tejidos” producidos presentarán las composiciones y porcentajes que se muestran en las siguientes tablas.

Se fabricarán 3 gramajes acordes a la tecnología a desarrollar (200, 500 y 800 gr/m<sup>2</sup>) y con diferentes porcentajes de residuo de fibra de aramida (30, 50 y 70%).

Referencia	Proceso	Materiales	%	Gramaje (gr/m <sup>2</sup> )
AIRLAID 1	Airlaid	Residuo Borra Textil	10	200
		Residuo Fibra Aramida	70	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 2	Airlaid	Residuo Borra Textil	30	200
		Residuo Fibra Aramida	50	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 3	Airlaid	Residuo Borra Textil	50	200
		Residuo Fibra Aramida	30	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 4	Airlaid	Residuo Borra Textil	10	500
		Residuo Fibra Aramida	70	
		Bicomponente (PES/PE)	20	

AIRLAID 5	Airlaid	Residuo Borra Textil	30	500
		Residuo Fibra Aramida	50	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 6	Airlaid	Residuo Borra Textil	50	500
		Residuo Fibra Aramida	30	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 7	Airlaid	Residuo Borra Textil	10	800
		Residuo Fibra Aramida	70	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 8	Airlaid	Residuo Borra Textil	30	800
		Residuo Fibra Aramida	50	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 9	Airlaid	Residuo Borra Textil	50	800
		Residuo Fibra Aramida	30	
		Bicomponente (PES/PE)	20	

*Tabla 8 - Referencias a realizar mediante proceso Airlaid.  
Fuente: Elaboración propia.*

### **Proceso de producción de “no tejidos” mediante airlaid**

A continuación, se describe el proceso seguido para la obtención de cada una de las muestras realizadas por el sistema airlaid.

Datos a considerar:

- Planta experimental: SPIKE
- Temperatura de consolidación en secado: 170°C.
- Apertura de horno GAP: 25 mm.

Cabe recordar, que antes de procesar la fibra, debe abrirse y mezclarse con las otras fibras de dos componentes. Este proceso se ha llevado a cabo con la propia tecnología de la máquina, pero en esta primera formación, la mezcla no se ha pasado al sistema de consolidación térmica. En este proceso inicial, un agente antiestático también se aplica en forma de un aerosol.



*Ilustración 11 - Triturado de fibras.  
Fuente: Elaboración propia.*

Con los componentes completamente mezclados, la siguiente etapa es la formación del velo. Posteriormente, el velo se consolida en un horno que trabaja por encima del punto de fusión de la fibra bicomponente.



*Ilustración 12 - Formación de la muestra no tejida airlaid 1.  
Fuente: Elaboración propia.*

Las siguientes imágenes muestran el proceso con más detalle:



*Ilustración 13 - Formación de una muestra no tejida mediante airlaid.  
Fuente: Elaboración propia.*

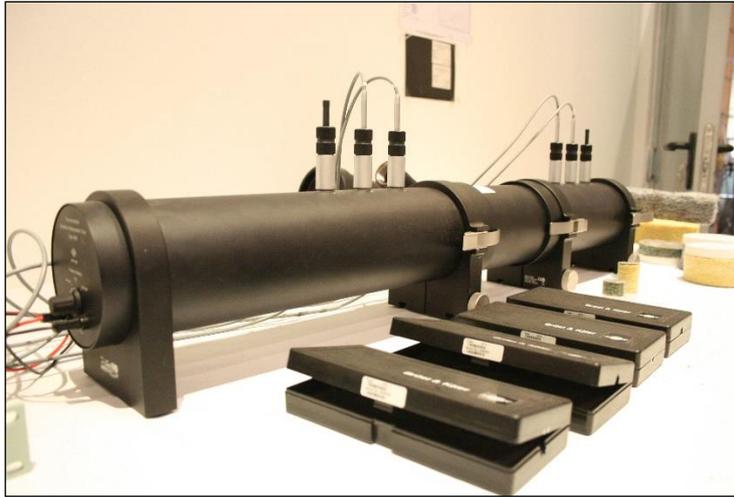
### **4.3. Caracterización de las teas “no tejidas”**

Una vez se hayan seleccionado los velos, pasaremos a realizar la caracterización de los mismos, realizando ensayos de absorción acústica, aislamiento térmico y comportamiento frente al fuego.

#### **4.3.1. Absorción acústica**

Para conocer la medida del coeficiente de absorción y la impedancia acústica específica de un material, se ha utilizado un equipo denominado, TUBO DE IMPEDANCIA, también conocido como TUBO DE KUNDT.

Una vez se hayan seleccionado los velos, pasaremos a realizar la caracterización de estos, realizando ensayos de absorción acústica, aislamiento térmico y comportamiento frente al fuego.



*Ilustración 14 - Fotografía del equipo denominado "Tubo de impedancia"  
Fuente: Informe interno AITEX*

El coeficiente de absorción acústica es el cociente entre la energía acústica absorbida por la superficie de la muestra de ensayo (sin retorno) y la energía acústica incidente, para una onda plana con incidencia normal.

Para conocer y comparar los resultados, se ha trabajado siguiendo la norma UNE - EN ISO 10534-2:2002 (Determinación del coeficiente de absorción acústico y la impedancia con ayuda de tubos de impedancia).

Este método de ensayo se aplica en la determinación del coeficiente de absorción acústica para incidencia normal de absorbentes acústicos mediante un tubo de impedancia, dos posiciones de micrófono y un sistema digital de análisis de señal. Puede aplicarse también para la determinación de la impedancia acústica superficial o de la admitancia acústica superficial de los materiales. Puesto que los cocientes de impedancia de un material absorbente acústico se relacionan con sus propiedades físicas, tales como resistencia al flujo de aire, porosidad, elasticidad y densidad, las mediciones descritas en este método de ensayo son útiles en investigación básica y en el desarrollo de productos.

En la ilustración 15 se observa una fotografía del equipo, que consta de varios componentes:

- Micrófonos de cuarto de pulgada
- Equipo de medida de frecuencia (Symphonie), que trabaja en un rango de entre 50Hz y 6000 Hz para las medidas.

[28]

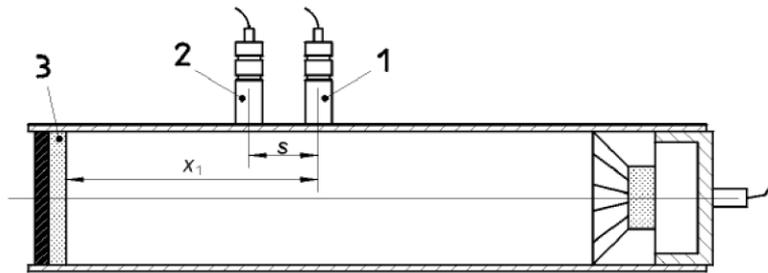


Ilustración 15 - Esquema de funcionamiento de un "Tubo de impedancia"  
Fuente: UNE-EN ISO 10534-2

En este equipo, la muestra de ensayo se monta en uno de los extremos del tubo de impedancia, y se generan ondas planas en el tubo mediante una fuente sonora aleatoria y se miden las presiones acústicas en dos posiciones cercanas a la muestra. Se determina la función de transferencia acústica compleja de las señales en los dos micrófonos, que se usa para calcular el coeficiente de reflexión complejo para incidencia normal, el coeficiente de absorción para incidencia normal y la impedancia normalizada del material en ensayo.

Las magnitudes se determinan como funciones de la frecuencia, con una resolución en frecuencia condicionada por la frecuencia de muestreo y la longitud de la señal del sistema digital de análisis de frecuencia usado para las mediciones.

El rango de frecuencia útil dependerá del ancho del tubo y de la distancia entre las dos posiciones microfónicas. Se ha realizado el ensayo de medida del coeficiente de absorción en incidencia normal en función de la frecuencia (Hz).

Se pueden realizar las mediciones usando dos técnicas, nosotros utilizaremos el método de los dos micrófonos en posiciones fijas.

Equipos:

- Analizador Symphonie de doble canal con análisis FFT.
- Micrófonos de un cuarto de pulgada de respuesta plana.
- Tubos de impedancia construidos según la normativa referenciada
  - Tubo pequeño de 29 mm de diámetro (500 a 6300 Hz)
  - Tubo grande de 100 mm de diámetro (50 a 1600 Hz)

Los valores de coeficiente de absorción por incidencia normal próximo a 1 indican que el material presenta una buena absorción acústica. [28]

### 4.3.2. Aislamiento térmico

Cuando se ensayan productos con resistencia térmica alta y media, la transferencia de calor real en ellos puede incluir una combinación compleja de diferentes contribuciones de:

- Radiación
- Conducción en ambas fases (sólida y gaseosa)
- Convección (en algunas condiciones de funcionamiento)

Además de sus interacciones junto con la transferencia de masa, especialmente en los materiales con humedad. Para estos materiales la propiedad de transferencia de calor, a menudo, es denominada, impropriadamente, “conductividad térmica”, calculada para una muestra aplicando una fórmula definida para medir la relación de flujo de calor, la diferencia de temperatura y las dimensiones, puede no ser una propiedad intrínseca de un material por sí mismo, y dependerá de las condiciones de ensayo. Esta propiedad se deberá denominar “factor de transferencia” (el factor de transferencia es, frecuentemente, referenciado como “aparente” o “conductividad térmica efectiva”). El factor de transferencia tiene una significativa dependencia del espesor de la muestra y/o de la diferencia de temperatura para la misma temperatura de consigna del ensayo y en las características de radiación de las superficies cercanas a la muestra.

Por todas las razones anteriores, la resistencia térmica, así como el factor de transferencia, es una propiedad que describe adecuadamente el comportamiento térmico de la muestra en sus condiciones específicas de ensayo. Si existe la posibilidad de una actuación del fenómeno de convección dentro del ensayo de la muestra (por ejemplo, en lana mineral ligera), la orientación de los equipos, el espesor y la diferencia de temperatura pueden influir tanto en el factor de transferencia como en la resistencia térmica.

Si se mide una propiedad de transferencia de calor de varias muestras del mismo material, esta propiedad deberá:

- cambiar debido a la variabilidad de composición del material o muestras del mismo.
- ser afectado por la humedad u otros factores.
- cambio con el tiempo.
- cambio con la temperatura indicada.
- dependencia sobre el histórico térmico principal.

Será reconocido, por lo tanto, que la selección de un valor típico de las propiedades de la transferencia de calor representativas de un material en una aplicación particular debe de estar basada en unos esquemas de muestreo apropiados, condiciones de ensayo y reglas de conversión.

Para obtener los valores de aislamiento térmico de cada una de las muestras, nos basaremos en la Norma UNE-EN 12667.

En esta especifica los principios y procedimientos de ensayo para la determinación, mediante los datos de los métodos, del medidor del flujo de calor, de la resistencia térmica de las muestras de ensayo que tengan un valor no menor de  $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ . [29]



Ilustración 16 - Equipo Netzsch modelo HFM 436 Lambda  
Fuente: Elaboración propia

El equipo utilizado para este ensayo es el Netzsch modelo HFM 436 Lambda, y consta de las siguientes partes:

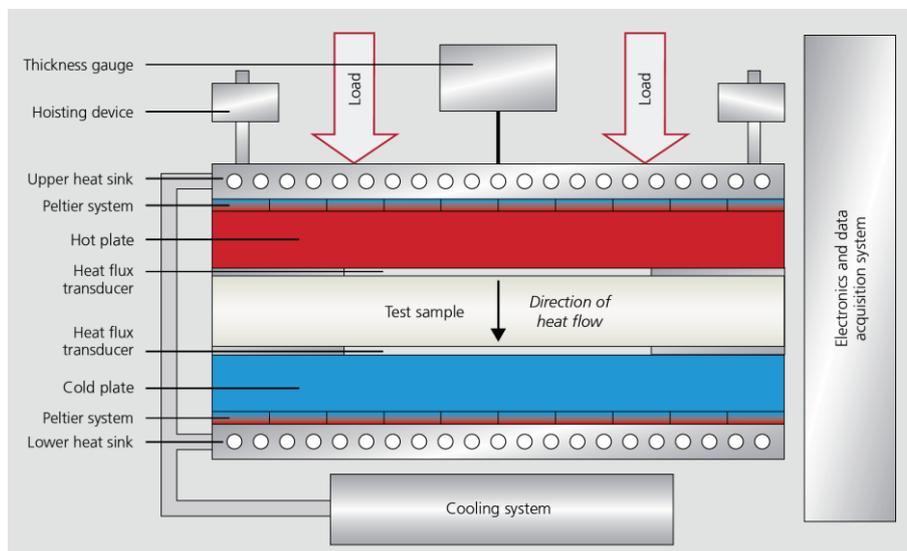


Ilustración 17 - Partes de un equipo medidor de flujo de calor.  
<https://www.netzsch.com/n25823/>

El equipo medidor del flujo de calor es un dispositivo que mide la densidad de la relación del flujo de calor a través de la diferencia de temperatura generado por esta densidad de la relación del flujo de calor a través de las muestras y el mismo flujo de calor del medidor por sí mismo.

La densidad de la relación del flujo de calor,  $q$ , a partir del área de medición de los resultados del dispositivo, en una salida de datos  $e_h$  es:

$$q = f e_h$$

El factor de calibración  $f$ , que correlaciona  $e_h$  y  $q$ , no es constante en todos los casos, pero podrá depender de la temperatura y, en un contexto más limitado, de la densidad de la relación del flujo de calor.

Antes de proceder al ensayo, deberemos asegurarnos de que todas las muestras deberán ser acondicionadas para mantener una masa constante de acuerdo con las normas de producto. [29]

### 4.3.3. Comportamiento frente al fuego

Para conocer el comportamiento frente al fuego de un material, según la norma ISO 5660-1, uno de los ensayos que debe realizarse para los asientos tapizados es el ensayo de Cono Calorimétrico.

Específicamente, indica que el ensayo debe realizarse a  $25\text{kW/m}^2$ , los datos se deben recoger cada 2s durante 20 min. Además, el parámetro que clasificará el material será el MARHE expresado en  $\text{kW/m}^2$ . El MARHE se describe como el máximo ratio de calor emitido.

El aparato empleado para las pruebas fue adquirido a FIRE Ltd., modelo 82121, que consta de las siguientes partes:

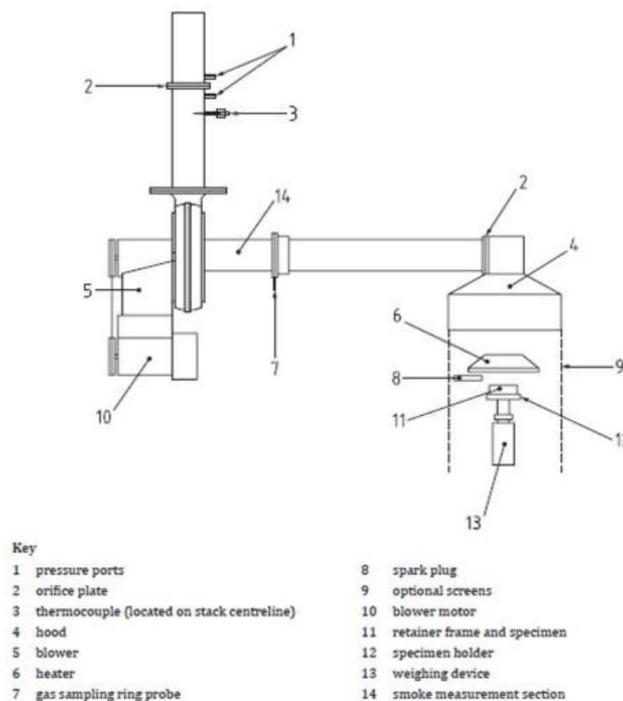


Ilustración 18 - Esquema del Cono Calorimétrico

Fuente: ISO 5660-1

## Partes del equipo

- **Calentador en forma de cono eléctrico radiante.** Consiste en una resistencia capaz producir una radiación en la superficie de la probeta de más de 50 kW/m<sup>2</sup>, enrollada con la forma de un cono truncado. El calentador está insertado en una doble pared de acero inoxidable rellena de fibra blanca refractaria.
- **Protector de la radiación.** está provisto de un protector de radiación cuya misión es proteger la probeta de la radiación desprendida antes de empezar el ensayo. El protector está realizado con materiales no combustibles, con un espesor de 10mm (barrera no refrigerada de metal con una superficie específica para minimizar la radiación transmitida).
- **Sistema de control de la radiación.** El equipo está provisto de un sistema de control de la irradiación, para conseguir mantener la temperatura media de los termopares del cono calorímetro al valor prefijado, con un error de  $\pm 10\%$ .
- **Báscula.** El equipo tiene una báscula o célula de carga con una resolución de  $\pm 0.1$  g y una precisión de  $\pm 0.3$ g. La báscula es capaz de medir probetas de hasta 500 gramos. Tiene un tiempo de respuesta determinado y una deriva no superior a 1 gramo cada 30 minutos. Está equipada con una pantalla digital que muestra la masa, además, está totalmente integrada con el control del PLC y el sistema de adquisición de datos.
- **Porta-probetas y marco de retención.** El porta-probetas tiene forma cuadrada, con una abertura de 106 mm x 106 mm y una profundidad de 25 mm. Está fabricada en acero inoxidable con un grosor de 2.4 mm y está provista de un mango para facilitar la inserción y la extracción
- **Sistema de extracción de gases con dispositivo para medición del flujo.** Se trata de un extractor de gases que está compuesto por una campana extractora, conductos de entrada y salida para el ventilador y una sonda de control de caudal.
- **Termopar del conducto de muestreo.** La temperatura de la corriente de muestreo se mide mediante un termopar con un diámetro externo de 1,5 mm cubierto de acero inoxidable con juntas calientes no expuestas.
- **Aparato de muestreo de gas.** El sistema de muestreo lo constituyen una bomba, un filtro para prevenir la entrada de hollín, una trampa fría para eliminar la humedad, un sistema de bypass para desviar el flujo (excepto el requerido para los analizadores de gas), una segunda trampa de humedad y un filtro para eliminar el CO<sub>2</sub>.
- **Circuito de ignición.** Está formado por un electrodo alimentado por un transformador de 10 kV. Tiene un dispositivo de seguridad que solo permite que se encienda cuando todas las puertas de seguridad están bien cerradas.
- **Analizador de oxígeno.** El analizador de oxígeno es un Ultramat /Oximat 6 de Siemens. Tiene una deriva de 50 ppm de oxígeno en un periodo de 30 minutos, y un ruido de menos de 50 ppm de oxígeno durante estos 30 minutos. El analizador de oxígeno tiene un tiempo de respuesta como máximo de 12 segundos.

- **Medidor de flujo de calor.** El equipo cuenta con un medidor de flujo de calor de tipo Schmidt-Boelter con un rango de diseño de  $100 \text{ kW/m}^2 \pm 10 \text{ kW/m}^2$ . Es circular de 12,5 mm de diámetro recubierto de un material con un acabado negro mate y una superficie con una emisividad de  $0.95 \pm 0.05$ . Está refrigerado, se debe evitar establecer temperaturas de refrigeración que causen condensación de agua. El instrumento tiene una exactitud dentro de  $\pm 3\%$  y una repetitividad dentro del  $\pm 5\%$ .
- **Mechero de calibración.** El mechero de calibración tiene un orificio cuadrado con un área de  $500 \text{ mm}^2 \pm 100 \text{ mm}^2$ , cubierto de una tela metálica a través de la cual se dispersa el metano. El tubo que forma el mechero está recubierto de fibra refractaria para asegurar la uniformidad del flujo. El mechero se conecta a un medidor de metano que suministra un metano de una pureza de al menos el 99.5 %. La exactitud de la lectura de salida del medidor de flujo es de  $\pm 3\%$ , correspondiente a una tasa de liberación de calor de 5 kW.
- **Sistema de medición de oscurecimiento de humos.** El sistema tiene un láser de helio-neón (entre 0.5 mW y 2mW, polarizado), fotodiodos de silicio como principales detectores de haz y de referencia, y la electrónica apropiada para derivar el coeficiente de extinción y para ajustar la lectura cero. El medidor está a  $111 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  a partir del anillo de muestreo de gas, fijado a dos tubos de pequeño diámetro soldados a cada lado del conducto de salida como se muestra en la imagen siguiente:
- **Filtros ópticos.** El juego de filtros se emplea para calibrar el sistema de medición de oscurecimiento de humo. Dos vidrios con una densidad óptica neutra de 0.3 y 0.8, calibrados con precisión en la longitud de onda del láser de 632.8 nm. El coeficiente de extinción,  $k$ , necesario para la calibración se obtiene como:
- **Sistema de recolección de datos y análisis.** El sistema de recolección de datos, integrado en el software, está conectado al analizador de oxígeno, el medidor de orificio, los termopares y la báscula. El equipo es capaz de almacenar registrar datos cada segundo, y es capaz de almacenar 720 datos por parámetro.

[30]

## 5. Resultados

En el punto “4.2 – Fabricación de “no tejidos” en las plantas experimentales”, se ha comentado que se procedería a la la obtención de “no tejidos” mediante el proceso de airlaid, con los que posteriormente se analizarán sus características. Se detallan los resultados obtenidos durante el proceso de fabricación de los “no tejidos”, para cada porcentaje y gramaje. Se ha preparado un cuadro resumen que se muestra a continuación:

Referencia	Proceso	Materiales	%	Gramaje (gr/m2)	Observaciones
AIRLAID 1	Airlaid	Residuo Borra Textil Fibra Larga	10	200	El velo ha podido fabricarse correctamente, con una distribución homogénea a lo largo del velo y presentando la mayor resistencia de entre todos los prototipos realizados.
		Residuo Fibra Aramida	70		
		Bicomponente (PES/PE)	20		
AIRLAID 2	Airlaid	Residuo Borra Textil Fibra Larga	30	200	Al igual que el prototipo anterior, el no tejido ha sido capaz de fabricar correctamente sin ningún problema. La resistencia de la tela no tejida es bastante buena, y se puede verificar que las fibras que componen la tela no tejida están distribuidas homogéneamente a lo largo del velo.
		Residuo Fibra Aramida	50		
		Bicomponente (PES/PE)	20		
AIRLAID 3	Airlaid	Residuo Borra Textil Fibra Larga	50	200	El "no tejido" no ha conseguido tener la cohesión y consistencia requerida, además, se ha detectado una distribución no homogénea de las fibras a lo largo de todo el velo.
		Residuo Fibra Aramida	30		
		Bicomponente (PES/PE)	20		
AIRLAID 4	Airlaid	Residuo Borra Textil Fibra Larga	10	500	Cabe señalar que en el proceso de fabricación se han encontrado problemas para alcanzar un gramaje de 500 g / m2, debido a que la aglomeración de fibras en el interior del SPIKE era muy alta y se podría llegar a romper el equipo. El material no tejido mostaba una resistencia y rigidez muy superior a lo previsto, debido a su elevada concentración de residuos de fibra de aramida en su composición.
		Residuo Fibra Aramida	70		
		Bicomponente (PES/PE)	20		
AIRLAID 5	Airlaid	Residuo Borra Textil Fibra Larga	30	500	El velo ha podido fabricarse correctamente, presentando una mayor resistencia que el primer prototipo realizado (200 g/m2). La fibra Bicomponente (PES / PE) proporciona resistencia adicional a los no tejidos, por lo que este no tejido tiene las características de resistencia requeridas. Cabe señalar que en el proceso de fabricación se han encontrado problemas para alcanzar un gramaje de 500 g / m2, debido a que la aglomeración de fibras en el interior del SPIKE era muy alta y se podría llegar a romper el equipo.
		Residuo Fibra Aramida	50		
		Bicomponente (PES/PE)	20		
AIRLAID 6	Airlaid	Residuo Borra Textil Fibra Larga	50	500	El velo ha podido fabricarse correctamente, presentando una mayor resistencia que el primer prototipo realizado (200 g/m2). La fibra Bicomponente (PES / PE) proporciona resistencia adicional a los no tejidos, por lo que este no tejido tiene las características de resistencia requeridas. Cabe señalar que en el proceso de fabricación se han encontrado problemas para alcanzar un gramaje de 500 g / m2, debido a que la aglomeración de fibras en el interior del SPIKE era muy alta y se podría llegar a romper el equipo.
		Residuo Fibra Aramida	30		
		Bicomponente (PES/PE)	20		
AIRLAID 7	Airlaid	Residuo Borra Textil Fibra Larga	10	800	No se ha podido realizar el no tejido, debido a que la planta experimental no permitía un gramaje tan elevado.
		Residuo Fibra Aramida	70		
		Bicomponente (PES/PE)	20		
AIRLAID 8	Airlaid	Residuo Borra Textil Fibra Larga	30	800	No se ha podido realizar el no tejido, debido a que la planta experimental no permitía un gramaje tan elevado.
		Residuo Fibra Aramida	50		
		Bicomponente (PES/PE)	20		
AIRLAID 9	Airlaid	Residuo Borra Textil Fibra Larga	50	800	No se ha podido realizar el no tejido, debido a que la planta experimental no permitía un gramaje tan elevado.
		Residuo Fibra Aramida	30		
		Bicomponente (PES/PE)	20		

Tabla 9 - Resultados obtenidos de la fabricación de los diferentes "no tejidos"  
Fuente: Elaboración propia

## 5.1. Selección de los velos “no tejidos”

Tras el análisis de los resultados obtenidos, se muestran las referencias seleccionadas para su posterior caracterización:

Referencia	Proceso	Materiales	%	Gramaje (gr/m <sup>2</sup> )
AIRLAID 1	Airlaid	Residuo Borra Textil	10	200
		Residuo Fibra Aramida	70	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 2	Airlaid	Residuo Borra Textil	30	200
		Residuo Fibra Aramida	50	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 5	Airlaid	Residuo Borra Textil	30	500
		Residuo Fibra Aramida	50	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 6	Airlaid	Residuo Borra Textil	50	500
		Residuo Fibra Aramida	30	
		Bicomponente (PES/PE)	20	

*Tabla 10 - Selección de " no tejidos" para su posterior caracterización.*

*Fuente: Elaboración Propia*

Hemos sido capaces de fabricar 4 de los prototipos correctamente. La resistencia de la tela no tejida es buena, y se puede verificar que las fibras que componen las telas no tejida están distribuidas homogéneamente a lo largo del velo.

Teóricamente, el velo debería fabricarse correctamente, sin embargo, el material “no tejido” ha tenido una resistencia ligeramente superior a lo previsto, probablemente porque tiene residuos de fibra de aramida en su composición. Con la fibra bicomponente (PES/PE) se ha conseguido la cohesión requerida, para los “no tejidos”.

Cabe señalar que en el proceso de fabricación se han encontrado problemas para alcanzar un gramaje de 500 g / m<sup>2</sup> o superior, debido a que la aglomeración de fibras en el interior del SPIKE era muy alta y se podría llegar a romper el equipo. Destacar que la empresa sí que suele trabajar con estos gramajes, pero que, en esta ocasión, posiblemente por la participación de la fibra de aramida, no ha sido posible.

Los “no tejidos” han tenido un gramaje final de:

- Airlaid 1: 201 gr/m<sup>2</sup>
- Airlaid 2: 198 gr/m<sup>2</sup>
- Airlaid 5: 514 gr/m<sup>2</sup>
- Airlaid 6: 523 gr/m<sup>2</sup>

## 5.2. Absorción acústica

En este apartado se muestran los resultados de absorción acústica obtenidos en los 4 “no tejidos” seleccionados:

Referencia	Proceso	Materiales	%	Gramaje (gr/m2)
AIRLAID 1	Airlaid	Residuo Borra Textil	10	200
		Residuo Fibra Aramida	70	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 2	Airlaid	Residuo Borra Textil	30	200
		Residuo Fibra Aramida	50	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 5	Airlaid	Residuo Borra Textil	30	500
		Residuo Fibra Aramida	50	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 6	Airlaid	Residuo Borra Textil	50	500
		Residuo Fibra Aramida	30	
		Bicomponente (PES/PE)	20	

Tabla 11 - Selección de "no tejidos" a analizar acústicamente.

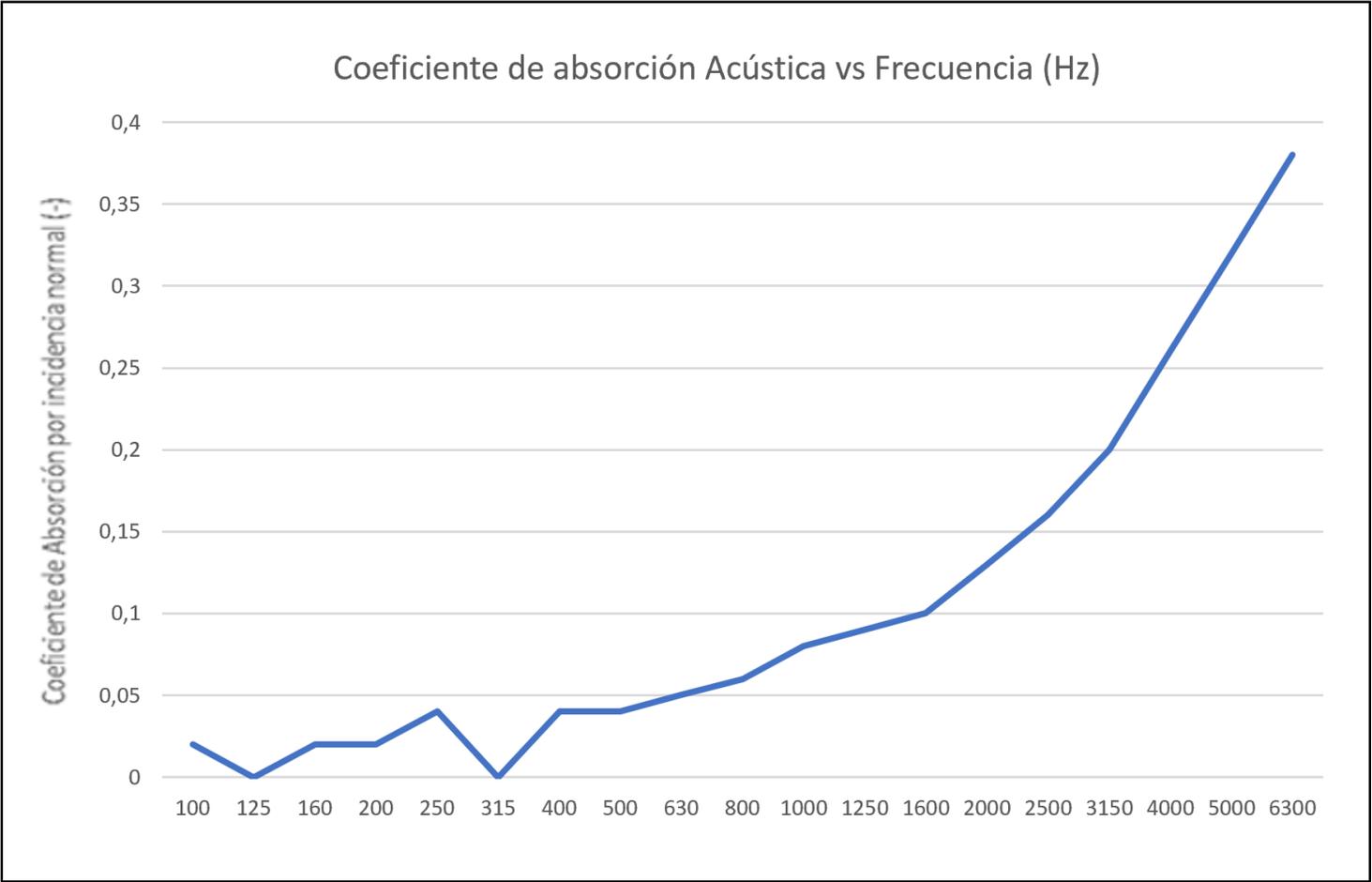
Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de ensayo se obtienen en forma de gráfica, donde se puede comparar el coeficiente de absorción (Eje Y) del material estudiado en función de la frecuencia (eje X). En las gráficas de resultados se podrá observar como la curva característica siempre aumenta a medida que aumenta la frecuencia.

Deberemos tener en cuenta:

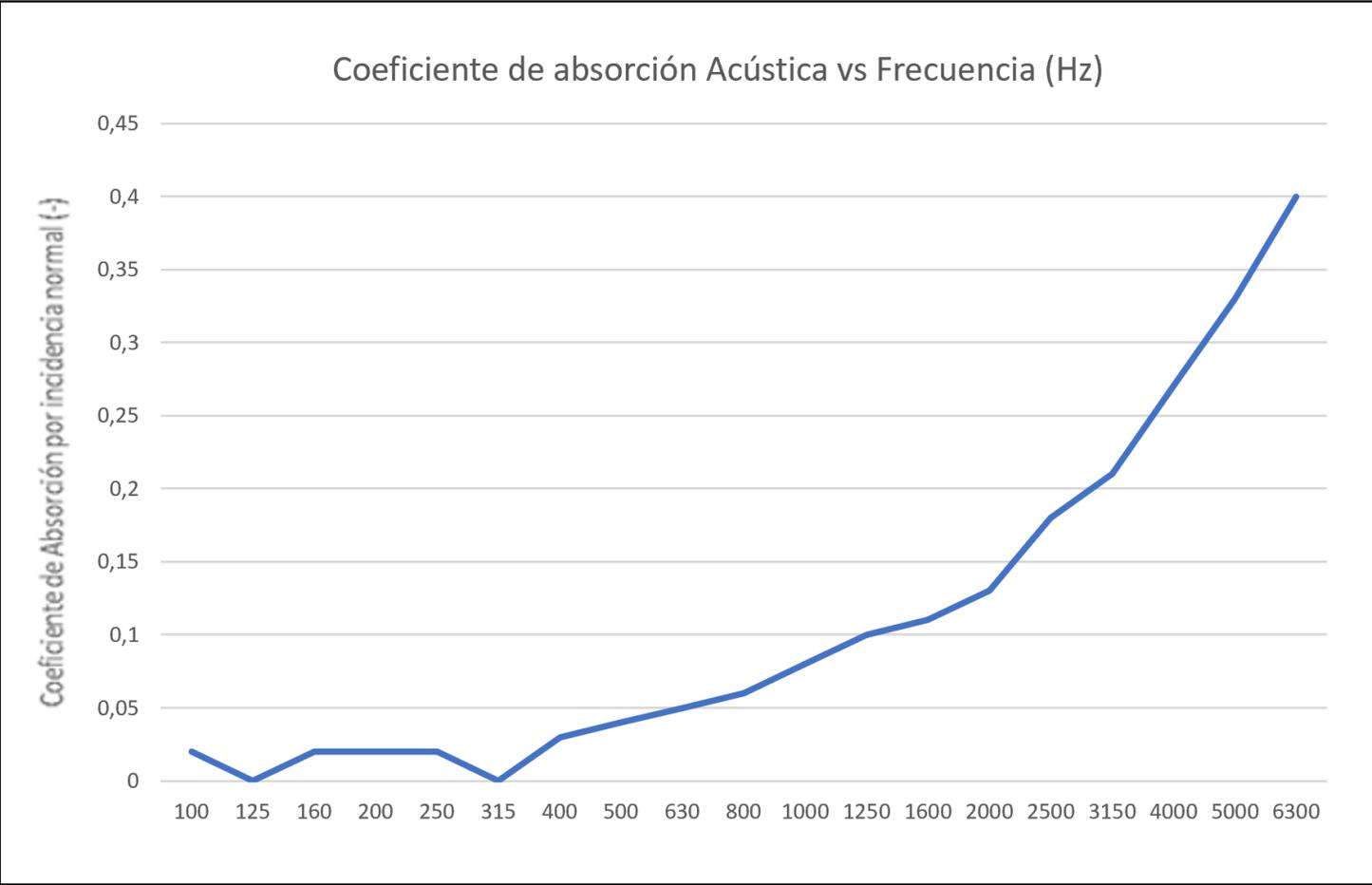
- Valores de intensidad cercanos a 0: el material refleja todo el sonido, no absorbe nada.
- Valores de intensidad cercanos a 1: el material absorbe toda la energía del sonido
- Valores de intensidad que no superan 0,2: absorción acústica baja, el material no es buen absorbente acústico.
- Valores de intensidad entre 0,2 y 0,6: absorción acústica media.
- Valores de intensidad que superan 0,6-0,7: absorción acústica elevada, el material es buen absorbente acústico.

**Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento acústico - Airlaid 1**



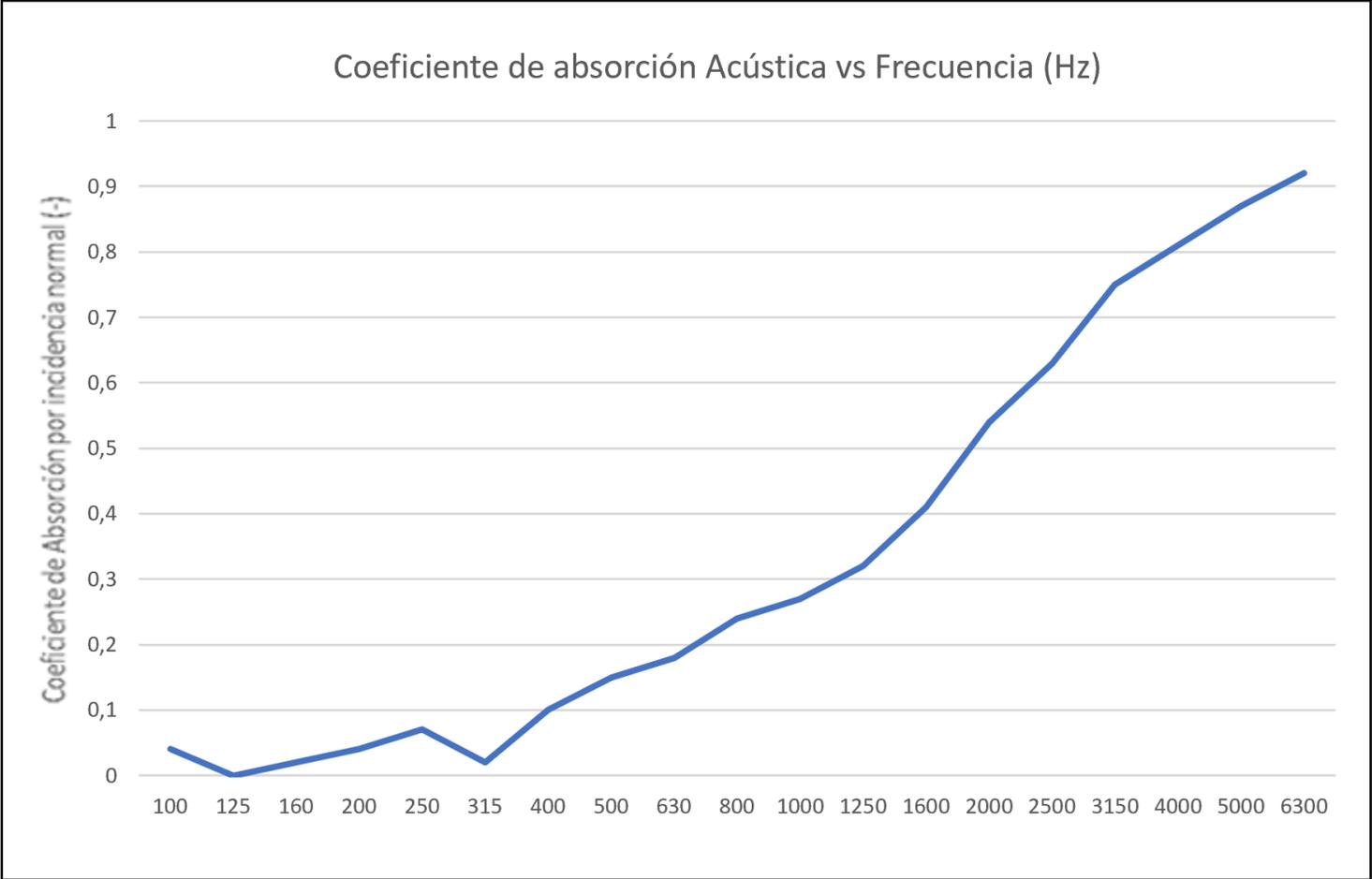
*Ilustración 19 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento acústico - Airlaid 1.  
Fuente: Elaboración propia.*

**Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento acústico - Airlaid 2**



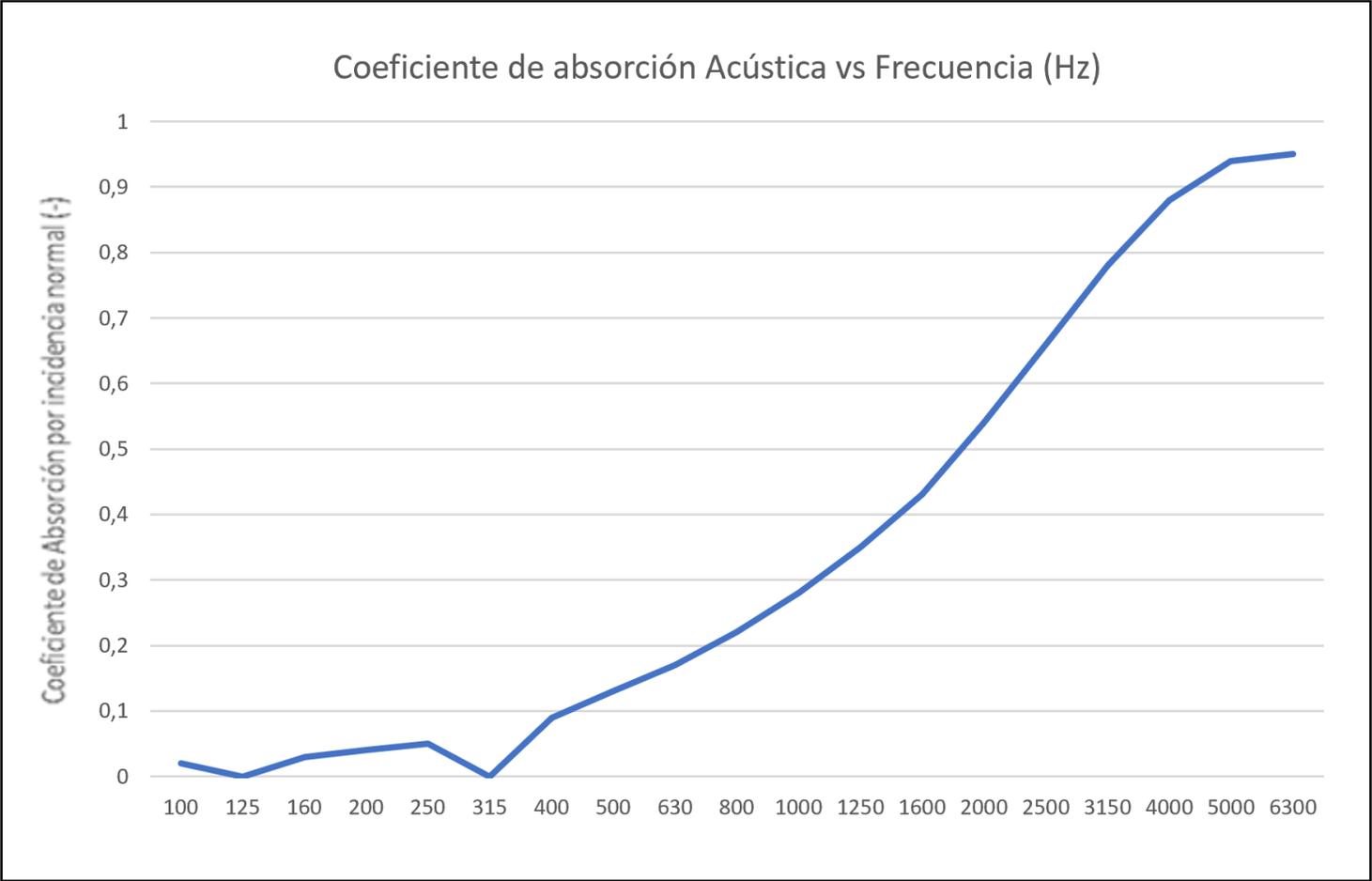
*Ilustración 20 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento acústico - Airlaid 2.  
Fuente: Elaboración propia.*

**Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento acústico - Airlaid 5**



*Ilustración 21 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento acústico - Airlaid 5.  
Fuente: Elaboración propia.*

**Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento acústico - Airlaid 6**



*Ilustración 22 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento acústico - Airlaid 6.  
Fuente: Elaboración propia.*

En la siguiente tabla puede verse un resumen de los resultados obtenidos en cada una de las tablas:

	Frecuencia (Hz)						
Referencia	630	1250	2000	3150	4000	5000	6300
Airlaid 1	0,05	0,09	0,13	0,2	0,26	0,32	0,38
Airlaid 2	0,05	0,1	0,13	0,21	0,27	0,33	0,4
Airlaid 5	0,18	0,32	0,54	0,75	0,81	0,87	0,92
Airlaid 6	0,17	0,35	0,54	0,78	0,88	0,94	0,95

Tabla 12 - Resumen de los resultados acústicos obtenidos.  
Fuente: Elaboración propia.

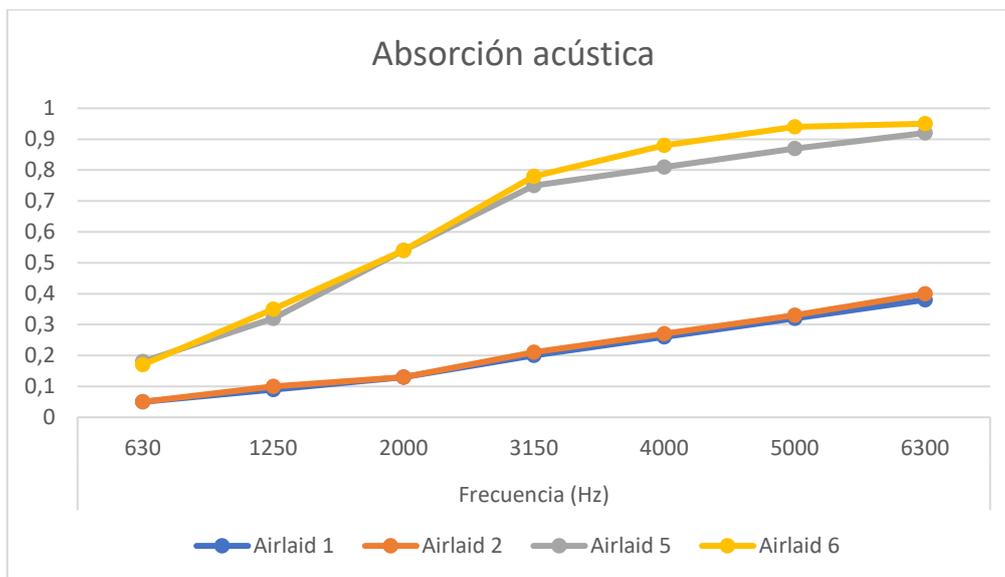


Ilustración 23 - Resumen de los resultados acústicos obtenidos.  
Fuente: Elaboración propia.

### **Conclusiones parciales aislamiento acústico**

A partir de estos valores, en los que se analiza el aislamiento acústico de los “no tejidos” desarrollados mediante la tecnología Airlaid, se puede concluir que:

- Las referencias Airlaid 1 y Airlaid 2, presentan una absorción acústica media, ya que los picos más altos de la curva apenas superan los valores de 0,4.
- Por el contrario, los “no tejidos” con referencias Airlaid 5 y Airlaid 6, presentan una absorción acústica alta, ya que los picos más altos de la curva superan los valores de 0,7.

Esta diferencia tan grande entre referencias es debida al gramaje de las muestras. Los “no tejidos” 1 y 2 tienen 200 gr/m<sup>2</sup>, mientras que las otras dos muestras alcanzan los 500 gr/m<sup>2</sup>.

Es importante señalar, que, en ocasiones, si un material no es buen absorbente acústico, una forma de mejorar su comportamiento para que absorba ruido es colocar varias capas del mismo, y de este modo aumentar el espesor o la densidad de la muestra.

Si hacemos un análisis individualizado y diferenciado por gramajes, podemos obtener las siguientes conclusiones:

- En las muestras de 200 gr/m<sup>2</sup>, airlaid 1 contiene un 20% más de Aramida que airlaid 2 (70% frente a 50%), y este incremento en el porcentaje de aramida supone una disminución de hasta 4,05 puntos en el promedio de absorción acústica.

	630	1250	2000	3150	4000	5000	6300	
<b>Airlaid 1</b>	0,05	0,09	0,13	0,2	0,26	0,32	0,38	
<b>Airlaid 2</b>	0,05	0,1	0,13	0,21	0,27	0,33	0,4	
<b>Variación</b>	0,00%	-11,11%	0,00%	-5,00%	-3,85%	-3,13%	-5,26%	-4,05%

Tabla 13 - Resultados de absorción acústica tras la variación del % de aramida en muestras de 200 gr/m<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

- En las muestras de 500 gr/m<sup>2</sup>, airlaid 5 también contiene un 20% más de Aramida que airlaid 6 (50% frente a 30%), y este incremento en el porcentaje de aramida supone una disminución de hasta 4,14 puntos en el promedio de absorción acústica.

	630	1250	2000	3150	4000	5000	6300	
<b>Airlaid 5</b>	0,17	0,34	0,51	0,74	0,84	0,89	0,91	
<b>Airlaid 6</b>	0,17	0,35	0,54	0,78	0,88	0,94	0,95	
<b>Variación</b>	0,00%	-2,94%	-5,88%	-5,41%	-4,76%	-5,62%	-4,40%	-4,14%

Tabla 14 - Resultados de absorción acústica tras la variación del % de aramida en muestras de 500 gr/m<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, podemos concluir diciendo que un aumento del porcentaje de aramida en un “no tejido”, no favorece el aislamiento acústico.

Según la norma ISO 11654, se puede clasificar el material según unas letras, en función del valor del coeficiente de absorción acústica obtenido.

Clase de Absorción Acústica	$\alpha_w$
A	0'90 o mayor
B	entre 0'8 y 0'85
C	entre 0'6 y 0'75
D	entre 0'3 y 0'55
E	entre 0'15 y 0'25
sin clasificar	0'10 o menor

Tabla 15 - Clasificación de los materiales en función del valor del coeficiente de absorción acústica obtenido.

Fuente: ISO 11654

Podríamos concluir con que Airlaid 1 y Airlaid 2 obtendrían una clasificación A, mientras que Airlaid 5 y Airlaid 6 obtendrían una clasificación D. [31]

## 5.2. Aislamiento térmico

En este punto se recopila la información relacionada con el análisis de aislamiento térmico de los prototipos de “no tejidos” desarrollados a partir de residuos de aramida y borra textil.

Las 4 referencias analizadas son las siguientes:

Referencia	Proceso	Materiales	%	Gramaje (gr/m2)
AIRLAID 1	Airlaid	Residuo Borra Textil	10	200
		Residuo Fibra Aramida	70	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 2	Airlaid	Residuo Borra Textil	30	200
		Residuo Fibra Aramida	50	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 5	Airlaid	Residuo Borra Textil	30	500
		Residuo Fibra Aramida	50	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 6	Airlaid	Residuo Borra Textil	50	500
		Residuo Fibra Aramida	30	
		Bicomponente (PES/PE)	20	

*Tabla 16 - Selección de "no tejidos" a analizar térmicamente.*

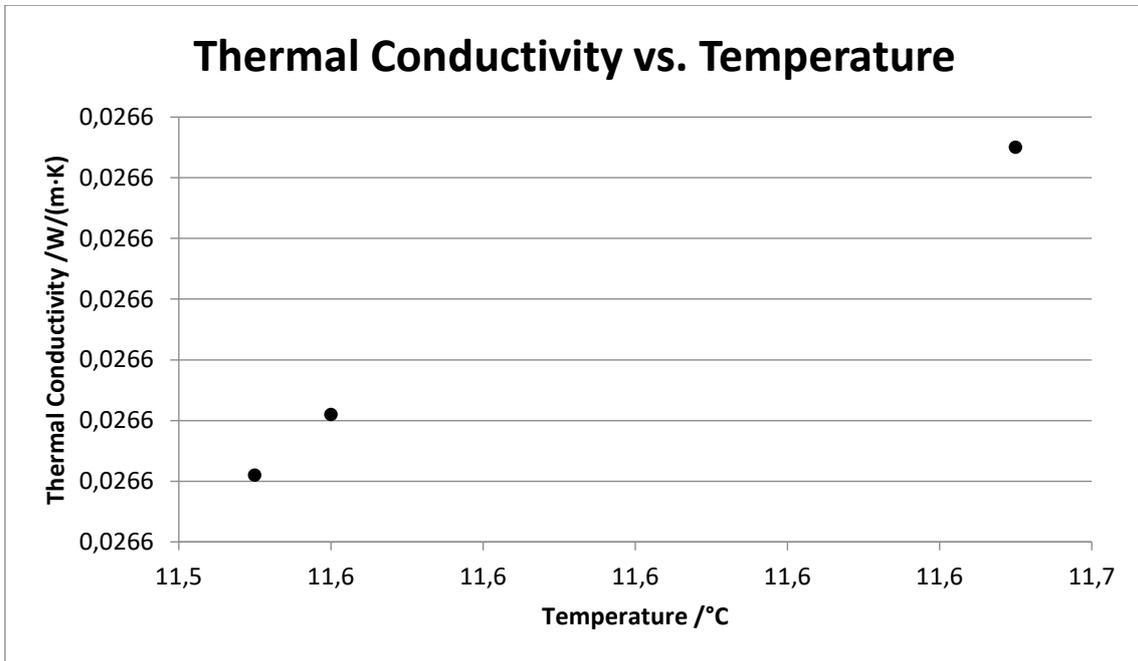
*Fuente: Elaboración Propia*

Se ha utilizado el medidor de flujo de calor para obtener los resultados de resistencia térmica, según la Norma UNE-EN 12667. Para cada material, el equipo realiza 3 mediciones, junto con una gráfica en la que se compara la conductividad térmica con la temperatura, y permite obtener la resistencia térmica. El resultado final se calcula realizando la media de las 3 mediciones realizadas para cada muestra.

**Aislamiento térmico - Airlaid 1**

Prueba	Temperatura Media °C	Delta Temperatura K	Conductividad Térmica W/(m·K)	Resistencia Térmica (m²·K)/W	Gradiente de Temperatura K/m
1	11,7	15,4	0,02663	0,13993	4129,8
2	11,6	15,4	0,02658	0,14004	4133,8
3	11,6	15,4	0,02657	0,14002	4136,3

*Tabla 17 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento térmico - Airlaid 1.  
Fuente: Elaboración propia.*

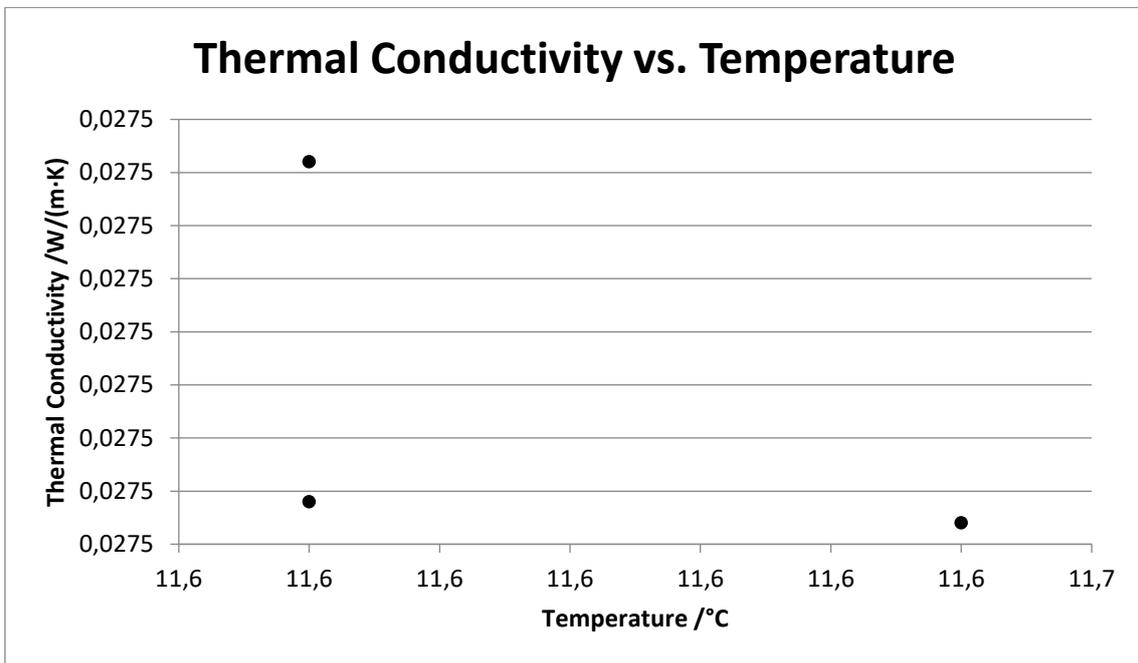


*Ilustración 24 - Relación entre conductividad térmica y temperatura en Airlaid 1  
Fuente – Elaboración propia*

**Aislamiento térmico - Airlaid 2**

Prueba	Temperatura Media °C	Delta Temperatura K	Conductividad Térmica W/(m·K)	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·K)/W	Gradiente de Temperatura K/m
1	11,6	15,4	0,02746	0,13716	4078,9
2	11,6	15,4	0,02746	0,13555	4124,4
3	11,6	15,3	0,02749	0,13513	4130,6

*Tabla 18 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento térmico - Airlaid 2.  
Fuente: Elaboración propia.*

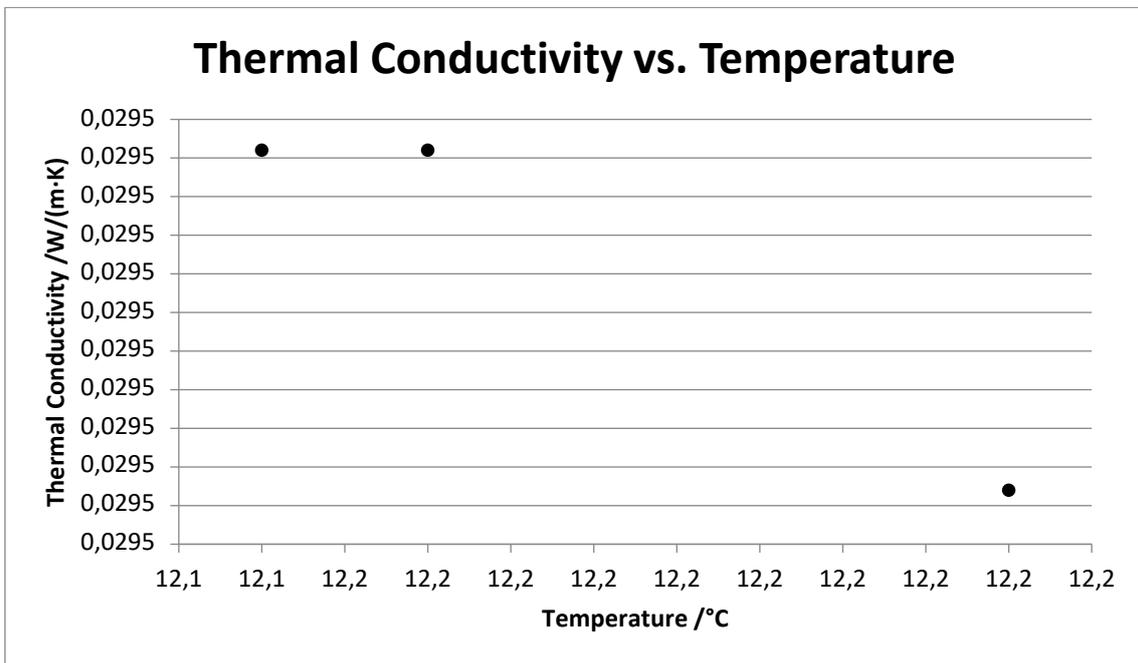


*Ilustración 25 - Relación entre conductividad térmica y temperatura en Airlaid 2  
Fuente – Elaboración propia*

**Aislamiento térmico - Airlaid 5**

Prueba	Temperatura Media °C	Delta Temperatura K	Conductividad Térmica W/(m·K)	Resistencia Térmica (m²·K)/W	Gradiente de Temperatura K/m
1	12,2	15,3	0,02947	0,39742	1560,3
2	12,2	15,3	0,02951	0,39688	1561,5
3	12,1	15,3	0,02951	0,39688	1561,9

*Tabla 19 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento térmico - Airlaid 5.  
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 26 - Relación entre conductividad térmica y temperatura en Airlaid 5.  
Fuente – Elaboración propia*

**Aislamiento térmico - Airlaid 6**

Prueba	Temperatura Media °C	Delta Temperatura K	Conductividad Térmica W/(m·K)	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·K)/W	Gradiente de Temperatura K/m
1	12,1	15,3	0,03062	0,38250	1309,4
2	12,1	15,4	0,03061	0,38265	1310,9
3	12,2	15,4	0,03058	0,38297	1313,8

Tabla 20 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento térmico - Airlaid 6.  
Fuente: Elaboración propia.

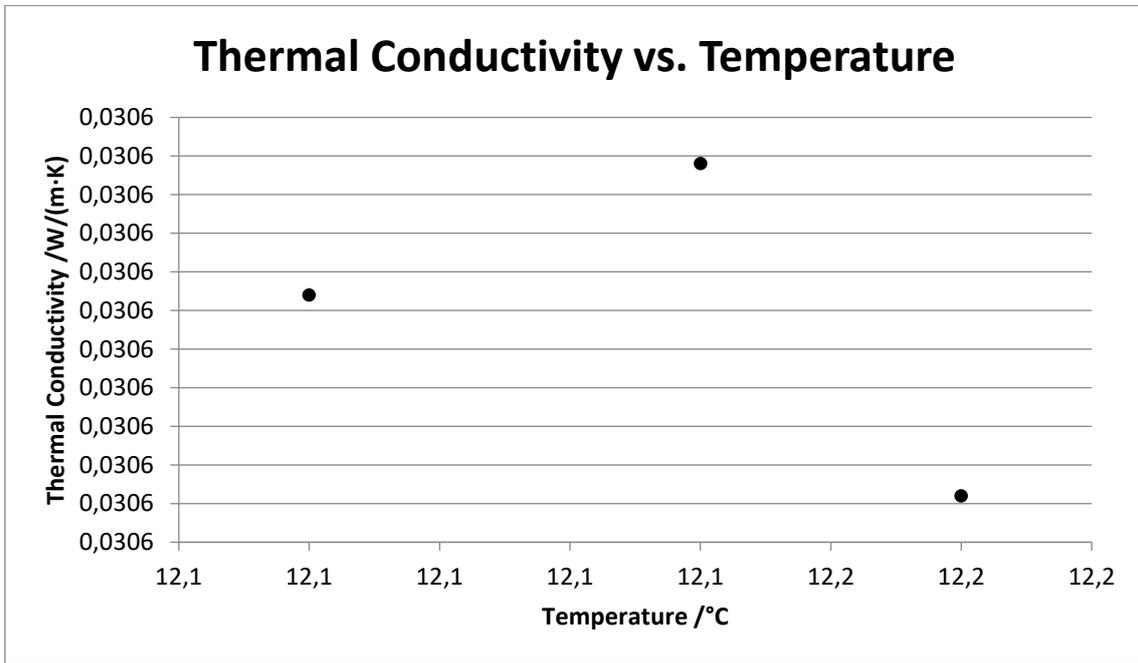


Ilustración 27 - Relación entre conductividad térmica y temperatura en Airlaid 6.  
Fuente – Elaboración propia

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos para la conductividad térmica, en cada una de las referencias.

Cabe recordar que la conductividad térmica es una propiedad de ciertos materiales capaces de transmitir calor, es decir, permitir el paso de la energía cinética de sus moléculas a otras sustancias adyacentes. Se trata de una magnitud intensiva, inversa a la resistividad térmica, (resistencia de ciertos materiales a la transmisión del calor por sus moléculas).

Por lo tanto, cuanto menor sea el valor de la conductividad térmica, mejor comportamiento térmico tendrá el material de forma general. [32]

Una vez realizada esta aclaración, pasamos a analizar los resultados obtenidos:

	Conductividad térmica (W/(m·K))			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
<b>Airlaid 1</b>	0,02663	0,02658	0,02657	0,02661
<b>Airlaid 2</b>	0,02746	0,02746	0,02749	0,02746
<b>Airlaid 5</b>	0,02947	0,02951	0,02951	0,02949
<b>Airlaid 6</b>	0,03062	0,03061	0,03058	0,03062

Tabla 21 - Resumen de los resultados de conductividad térmica.  
Fuente: Elaboración propia.

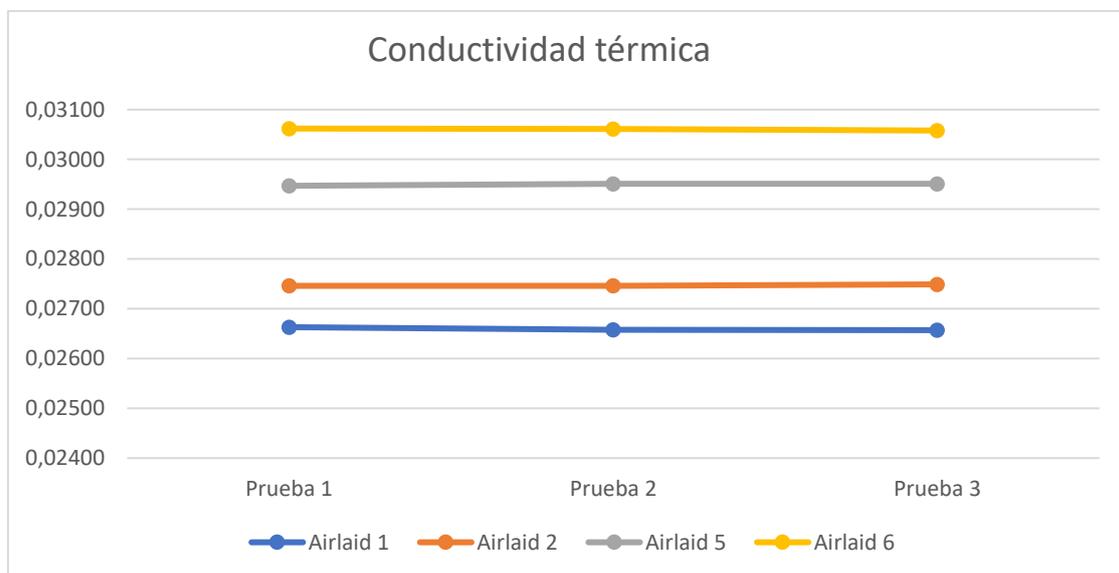


Ilustración 28 - Representación de los resultados térmicos obtenidos.  
Fuente – Elaboración propia

### Conclusiones parciales aislamiento térmico

A partir de estos valores, en los que se analiza el aislamiento térmico los “no tejidos” desarrollados mediante la tecnología Airlaid, se puede concluir que:

- Las referencias Airlaid 1 y Airlaid 2, presentan una conductividad térmica mejor (ligeramente inferior) que las otras dos referencias, obteniendo promedios de 0,02659 y 0,02747 W/(m·K).
- Por el contrario, los “no tejidos” con referencias Airlaid 5 y Airlaid 6, presentan una conductividad térmica mayor, ya que las medias son 0,02949 y 0,03062 W/(m·K).

Si hacemos un análisis individualizado y diferenciado por gramajes, podemos obtener los siguientes resultados:

- En las muestras de 200 gr/m<sup>2</sup>, Airlaid 1 contiene un 20% más de Aramida que Airlaid 2 (70% frente a 50%), y esto supone una mejora (reducción) del 3,19% en el coeficiente de conductividad térmica.

Conductividad térmica (W/(m·K))				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Airlaid 1	0,02663	0,02658	0,02657	0,02659
Airlaid 2	0,02746	0,02746	0,02749	0,02747
Variación	3,02%	3,20%	3,35%	3,19%

Tabla 22 - Resultados de conductividad térmica tras la variación del % de aramida en muestras de 200 gr/m<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

- En las muestras de 500 gr/m<sup>2</sup>, Airlaid 5 también contiene un 20% más de Aramida que Airlaid 6 (50% frente a 30%), y este incremento en el porcentaje de aramida supone un aumento de hasta 3,62 puntos en el coeficiente de conductividad térmica.

Conductividad térmica (W/(m·K))				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Airlaid 5	0,02947	0,02951	0,02951	0,02950
Airlaid 6	0,03062	0,03061	0,03058	0,03060
Variación	3,76%	3,59%	3,50%	3,62%

Tabla 23 - Resultados de conductividad térmica tras la variación del % de aramida en muestras de 500 gr/m<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

Realizando una valoración global, teniendo en cuenta el aprovechamiento de la cantidad de materia a utilizar, los costes de la fibra de aramida y su reprocesado y los resultados de conductividad obtenidos, podemos decir que los mejores resultados se han obtenido con la referencia “airlaid 2”. Los principales motivos por los que se ha seleccionado esta referencia, son los siguientes:

- Un aumento del 20% más de Aramida, producen tan solo una mejora cercana al 4% en el promedio de la conductividad.

- El coste de reprocesar ese 20% es mucho más elevado que el beneficio en conductividad obtenido.
- El residuo de borra textil es mucho más económico y sencillo de procesar.

Una vez analizada la conductividad térmica, ahora tenemos que analizar también otro valor importante, la resistencia térmica. Este parámetro representa la capacidad del material de oponerse al flujo del calor. En el caso de materiales homogéneos es la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material. Por este motivo, cuanto mayor sea este valor, mejores propiedades tendrá el material.

Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·K)/W				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
<b>Airlaid 1</b>	0,13993	0,14004	0,14002	0,14000
<b>Airlaid 2</b>	0,13716	0,13555	0,13513	0,13595
<b>Airlaid 5</b>	0,39742	0,39688	0,39688	0,39706
<b>Airlaid 6</b>	0,38250	0,38265	0,38297	0,38271

Tabla 24 - Resumen de los resultados de resistencia térmica.

Fuente: Elaboración propia.

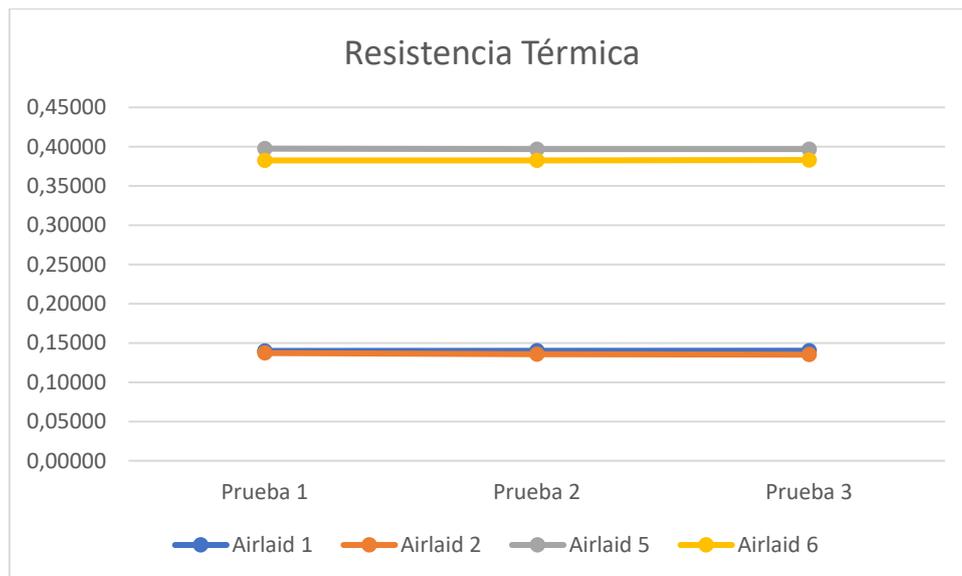


Ilustración 29 - Representación de los resultados de resistencia térmica.

Fuente – Elaboración propia

Analizando la resistencia térmica, se puede observar que:

- Las referencias Airlaid 1 y Airlaid 2, presentan una resistencia térmica inferior (más desfavorable) que las otras dos referencias, obteniendo promedios de 0,14000 y 0,13595 ((m<sup>2</sup>·K)/W).
- Por el contrario, los “no tejidos” con referencias Airlaid 5 y Airlaid 6, presentan una conductividad térmica mayor, ya que los resultados son 0,39706 y 0,38271 ((m<sup>2</sup>·K)/W) respectivamente.

De manera individualizada y diferenciado por gramajes, podemos observar que:

- En las muestras de 200 gr/m<sup>2</sup>, Airlaid 1 contiene un 20% más de Aramida que Airlaid 2 (70% frente a 50%), y esto supone una mejora del 2,89% en el coeficiente de resistencia térmica.

	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> ·K)/W			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
<b>Airlaid 1</b>	0,13993	0,14004	0,14002	0,14000
<b>Airlaid 2</b>	0,13716	0,13555	0,13513	0,13595
<b>Variación</b>	1,98%	3,21%	3,49%	2,89%

Tabla 25 - Resultados de resistencia térmica tras la variación del % de aramida en muestras de 200 gr/m<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

Ambas muestras son aptas para su uso como aislante térmico. Buscando un símil a otros materiales, Podemos decir que su resistencia térmica equivaldría a la utilización de una plancha de poliuretano proyectado de 6 cm de espesor (por interpolación).

- En las muestras de 500 gr/m<sup>2</sup>, Airlaid 5 también contiene un 20% más de Aramida que Airlaid 6 (50% frente a 30%), y este incremento en el porcentaje de aramida supone un aumento de hasta 3,61 puntos en el coeficiente de resistencia térmica.

	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> ·K)/W			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
<b>Airlaid 5</b>	0,39742	0,39688	0,39688	0,39706
<b>Airlaid 6</b>	0,38250	0,38265	0,38297	0,38271
<b>Variación</b>	3,75%	3,59%	3,50%	3,61%

Tabla 26 - Resultados de resistencia térmica tras la variación del % de aramida en muestras de 500 gr/m<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

Tanto airlaid 5 como 6 son muestras son aptas para su uso como aislante térmico. Buscando un símil a otros materiales, Podemos decir que su resistencia térmica equivaldría a la utilización de una plancha de poliuretano proyectado de 12 cm de espesor (por interpolación) o el equivalente a: plancha 5 cm de lana mineral + LHS de otros 5 cm. Si los “no tejidos” se utilizan para el aislamiento de techos suspendidos, equivaldría a la colocación de: (cámara de 10 cm + plancha de 5 cm de lana mineral).

[33]

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las características más importantes:

	Prueba	Temperatura Media °C	Delta Temperatura K	Conductividad Térmica W/(m·K)	Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·K)/W	Gradiente de Temperatura K/m
AIRLAID 1	1	11,7	15,4	0,02663	0,13993	4129,8
	2	11,6	15,4	0,02658	0,14004	4133,8
	3	11,6	15,4	0,02657	0,14002	4136,3
AIRLAID 2	1	11,6	15,4	0,02746	0,13716	4078,9
	2	11,6	15,4	0,02746	0,13555	4124,4
	3	11,6	15,3	0,02749	0,13513	4130,6
AIRLAID 5	1	12,2	15,3	0,02947	0,39742	1560,3
	2	12,2	15,3	0,02951	0,39688	1561,5
	3	12,1	15,3	0,02951	0,39688	1561,9
AIRLAID 6	1	12,1	15,3	0,03062	0,38250	1309,4
	2	12,1	15,4	0,03061	0,38265	1310,9
	3	12,2	15,4	0,03058	0,38297	1313,8

Tabla 27 – Resumen de resultados térmicos significativos.

Fuente: Elaboración propia.

Podemos concluir este apartado de resistencia térmica, diciendo que la utilización de aramidas mejora las propiedades térmicas de los materiales, en ambos gramajes (200 y 500 gr/m<sup>2</sup>), para ser más exactos, un 20% adicional de aramida supone una mejora de hasta 3,61% de la resistencia térmica.

Pero realizando una valoración global (conductividad térmica y resistencia térmica) y teniendo en cuenta el aprovechamiento de la cantidad de materia a utilizar, los costes de la fibra de aramida y su reprocesado y los resultados de conductividad obtenidos, podemos decir que los mejores resultados se han obtenido con la referencia “airlaid 6”.

Los principales motivos por los que se ha seleccionado esta referencia, son los siguientes:

- Un aumento del 20% más de Aramida, producen tan solo una mejora cercana al 4% en el promedio de la conductividad y resistencia.
- El coste de reprocesar ese 20% es mucho más elevado que el beneficio en conductividad obtenido.
- El residuo de borra textil es mucho más económico y sencillo de procesar.

### 5.3. Comportamiento frente al fuego

En este punto se recopila la información relacionada con el análisis de reacción al fuego mediante ensayo de cono calorimétrico de los prototipos de “no tejidos” desarrollado a partir de residuos y utilizando varias tecnologías de desarrollo de “no tejidos”.

Las 4 referencias analizadas son las siguientes:

Referencia	Proceso	Materiales	%	Gramaje (gr/m <sup>2</sup> )
AIRLAID 1	Airlaid	Residuo Borra Textil	10	200
		Residuo Fibra Aramida	70	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 2	Airlaid	Residuo Borra Textil	30	200
		Residuo Fibra Aramida	50	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 5	Airlaid	Residuo Borra Textil	30	500
		Residuo Fibra Aramida	50	
		Bicomponente (PES/PE)	20	
AIRLAID 6	Airlaid	Residuo Borra Textil	50	500
		Residuo Fibra Aramida	30	
		Bicomponente (PES/PE)	20	

Tabla 28 - Selección de "no tejidos" en los que se debe analizar su comportamiento frente al fuego.

Fuente: Elaboración Propia

Para cada material, se han obtenido los siguientes resultados:

<b>Comportamiento frente al fuego</b>				
Condiciones antes del ensayo	Airlaid 1	Airlaid 2	Airlaid 5	Airlaid 6
Presión ambiental (Pa)	96.000	96.000	96.000	96.000
Humedad relativa ambiental (%H <sub>2</sub> O) Entre 20-80%HR	44.0	43.0	38.5	37.5
Tª ambiente (°C) entre 15-30°C	21.8	21.8	21.3	23.8
Constante del orificio equipo (C)	0.0365	0.0365	0.0365	0.0365
<b>Quemador</b>				
Inflamación < 1 s (llamas intermitentes)	NO	NO	NO	NO
Inflamación entre 1 s y 10 s (llama transitoria)	NO	NO	NO	NO
La inflamación se mantiene > 10 s	NO	NO	NO	NO
La probeta se extingue al retirar los electrodos	NO	NO	NO	NO
Si la muestra se apaga y se vuelve a encender con el electrodo	NO	NO	NO	NO
Tiempo de inflamación sostenida (s)	10	9	12	10
Tiempo de extinción de la probeta (s)	71	243	198	235
La muestra se extingue por 2ª vez	NO	NO	NO	NO
Tiempo de la segunda inflamación sostenida (s)	NO	NO	NO	NO
<b>Sucesos registrados</b>				
Fusión	NO	NO	NO	NO

Funde y desborda	NO	NO	NO	NO
Intumescencia	NO	NO	NO	NO
Se hincha (intumescencia) y toca el electrodo	NO	NO	NO	NO
Se cuartea	NO	NO	NO	NO
Se escama	NO	NO	NO	NO
Delaminación	NO	NO	NO	NO
Contracción	NO	NO	NO	NO
Formación de ampollas	NO	NO	NO	NO
Vibración	NO	NO	NO	NO
Colapso	NO	NO	NO	NO
Carbonización	SI	SI	SI	SI
Explosión	NO	NO	NO	NO
<b>Resultados finales</b>				
Emisión de calor máxima (kW/m <sup>2</sup> )	33.23	14.30	46.52	49.52
Emisión de calor media a los 180s (kW/m <sup>2</sup> )	13.52	18.44	45.18	55.93
Emisión de calor media a los 300s (kW/m <sup>2</sup> )	9.78	11.17	28.42	37.24
Emisión total de calor (MJ/m <sup>2</sup> )	3.19	3.36	9.77	11.86
Masa durante la inflamación (g)	1.8	2.1	3.8	4.5
Masa después del ensayo (g)	1.2	2.2	0.0	0.0
Pérdida de masa (g/m <sup>2</sup> s)	2.27	1.80	3.97	3.38
m, velocidad de pérdida de masa desde que empieza la ignición hasta el final del ensayo (g/m <sup>2</sup> s)	2.38	2.34	9.36	10.20
mA, 10-90 Velocidad de pérdida de masa desde que pierde el 10% de masa hasta 90% (g/m <sup>2</sup> s)	2.27	-	14.85	13.37
MARHE (kW/m <sup>2</sup> )	40.03	72.38	134.98	131.88
S <sub>A1</sub> (total de humo producido por unidad de área durante el tiempo de la pre-ignición)	-	-	-	-
S <sub>A1</sub> (total de humo producido por unidad de área durante el tiempo de la inflamación)	-	-	-	-
SA,1 + SA,2	33.50	34.50	82.25	145.00

Tabla 29 - Resultados obtenidos tras el análisis de comportamiento frente al fuego.

Fuente: Elaboración propia.

Se ha preparado el siguiente cuadro como resumen con los valores más importantes de cada muestra:

<b>Comportamiento frente al fuego</b>				
<b>Condiciones antes del ensayo</b>	<b>Airlaid 1</b>	<b>Airlaid 2</b>	<b>Airlaid 5</b>	<b>Airlaid 6</b>
Presión ambiental (Pa)	96.000	96.000	96.000	96.000
Humedad relativa ambiental (%H <sub>2</sub> O) Entre 20-80%HR	44.0	43.0	38.5	37.5
Tª ambiente (°C) entre 15-30°C	21.8	21.8	21.3	23.8
Tiempo de inflamación sostenida (s)	10	9	12	10
Tiempo de extinción de la probeta (s)	71	243	198	235
Carbonización	SI	SI	SI	SI
Pérdida de masa (g/m <sup>2</sup> s)	2.27	1.80	3.97	3.38
MARHE (kW/m <sup>2</sup> )	40.03	72.38	114.98	131.88

*Tabla 30 – Resultados más relevantes obtenidos tras el análisis de comportamiento frente al fuego.  
Fuente: Elaboración propia.*

### **Conclusiones parciales comportamiento frente al fuego**

Como conclusiones a esta tabla, indicar:

- Centrándonos en el tiempo de inflamación y extinción, la muestra que mejores parámetros obtiene en este ámbito es la muestra 1, ya que el tiempo de inflamación es muy similar al resto (solo hay una diferencia de 3 segundos entre las distintas muestras), pero el tiempo de extinción se reduce a tan solo 71 segundos.  
  
Si comparamos las muestras por gramajes, podemos decir que, en ambos gramajes, la aportación de aramida al “no tejido” mejora considerablemente los tiempos de inflamación (retardando la inflamación del “no tejido” y extinción (reduciendo el tiempo de extinción del “no tejido”).
- En cuanto a la pérdida de masa, un aumento del porcentaje de aramida ha provocado un aumento de la pérdida de masa (en ambos gramajes).
- Por último, en cuanto al MARHE (máximo ratio de calor emitido kW/m<sup>2</sup>), concluimos que un aumento del porcentaje de aramida provoca una reducción considerable del valor de MARHE.

En las muestras de 200 gr/m<sup>2</sup>, un incremento del 20% de aramida, ha supuesto una reducción del MARHE en un 44,69%.

<b>Comportamiento frente al fuego</b>			
<b>Condiciones antes del ensayo</b>	<b>Airlaid 1</b>	<b>Airlaid 2</b>	
MARHE (kW/m <sup>2</sup> )	40,03	72,38	44,69%

Tabla 31 – Variación del MARHE debido al aumento del % de aramida en el “no tejido” de 200 gr/m<sup>2</sup>.  
Fuente: Elaboración propia.

En las muestras de 500 gr/m<sup>2</sup>, un incremento del 20% de aramida, ha supuesto una reducción del MARHE en un 12,81%.

<b>Comportamiento frente al fuego</b>			
<b>Condiciones antes del ensayo</b>	<b>Airlaid 5</b>	<b>Airlaid 6</b>	
MARHE (kW/m <sup>2</sup> )	114,98	131,88	12,81%

Tabla 32 – Variación del MARHE debido al aumento del % de aramida en el “no tejido” de 500 gr/m<sup>2</sup>.  
Fuente: Elaboración propia.

[34]

Basándonos en la norma UNE-EN 45545-2:2013, y para analizar el cumplimiento de requisitos, el material se clasifica como R1 (componentes interiores, paredes laterales, divisores de espacios, cubiertas...).

{A1▶} Conjunto de requisitos (utilizado para) {◀A1}	Referencia del método de ensayo	Parámetro y unidad	Máximo o mínimo	HL1	HL2	HL3
R1 (IN1A; IN1B; IN1D; IN1E; IN4; IN5; IN6A; IN7; IN8; IN9B; IN11; IN12A; IN12B; IN14; F5)	T02 ISO 5658-2	CFE kWm <sup>-2</sup>	Mínimo	20 <sub>a</sub>	20 <sub>a</sub>	20 <sub>a</sub>
	T03.01 ISO 5660-1: 50 kWm <sup>-2</sup>	MARHE kWm <sup>-2</sup>	Máximo	a -	90	60
	T10.01 EN ISO 5659-2: 50 kWm <sup>-2</sup>	D <sub>s</sub> (4) adimensional	Máximo	600	300	150
	T10.02 EN ISO 5659-2: 50 kWm <sup>-2</sup>	VOF <sub>4</sub> mín.	Máximo	1 200	600	300
	T11.01 EN ISO 5659-2: 50 kWm <sup>-2</sup>	CIT <sub>G</sub> adimensional	Máximo	1,2	0,9	0,75

Tabla 33 – Conjunto de requisitos para el material con clasificación R1.

Fuente: UNE-EN 45545-2:2013

Por lo tanto, podemos concluir diciendo que el producto airlaid 1 obtiene la mejor clasificación (HL1), airlaid 2 obtiene una clasificación media (HL2) y los otros dos productos no serían materiales aptos. [35]

<b>Comportamiento frente al fuego</b>				
<b>Condiciones antes del ensayo</b>	<b>Airlaid 1</b>	<b>Airlaid 2</b>	<b>Airlaid 5</b>	<b>Airlaid 6</b>
MARHE (kW/m <sup>2</sup> )	40.03	72.38	114.98	131.88
Clasificación	HL3	HL2	-	-

*Tabla 34 – Resumen resultados de los distritos prototipos, según UNE-EN 45545-2:2013.  
Fuete: elaboración propia.*

## 6. Conclusiones

A partir de todas las conclusiones parciales, podemos concluir diciendo que:

1. En relación con el aislamiento acústico,
  - Las referencias Airlaid 1 y Airlaid 2, presentan una absorción acústica media (clasificación D), ya que los picos más altos de la curva apenas superan los valores de 0,4. Por el contrario, los “no tejidos” con referencias Airlaid 5 y Airlaid 6, presentan una absorción acústica alta (clasificación A), ya que los picos más altos de la curva superan los valores de 0,7.
  - Esta diferencia tan grande entre referencias es debida al gramaje de las muestras. Los “no tejidos” 1 y 2 tienen 200 gr/m<sup>2</sup>, mientras que las otras dos muestras alcanzan los 500 gr/m<sup>2</sup>.
  - Las muestras que contienen un 20% más de Aramida, producen una disminución cercana al 4% en el promedio de absorción acústica. Por lo tanto, podemos concluir diciendo que un aumento del porcentaje de aramida en un “no tejido”, no favorece el aislamiento acústico.
  - Las 4 referencias son válidas para su utilización como aislantes destinadas a construcción.
  
2. En relación con el aislamiento térmico (resistencia térmica),
  - Las referencias Airlaid 1 y Airlaid 2, presentan una resistencia térmica inferior (más desfavorable) que las otras dos referencias, obteniendo promedios de 0,14000 y 0,13595 ((m<sup>2</sup>·K)/W).
  - Por el contrario, los “no tejidos” con referencias Airlaid 5 y Airlaid 6, presentan una conductividad térmica mayor, ya que los resultados son 0,39706 y 0.38271 ((m<sup>2</sup>·K)/W) respectivamente.
  - Las muestras que contienen un 20% más de Aramida, producen una mejora cercana al 2% en el promedio de Resistencia térmica. Por lo tanto, podemos concluir diciendo que un aumento del porcentaje de aramida en un “no tejido”, favorece el aislamiento térmico, pero la diferencia es insignificativa para la cantidad de aramida que se añade al “no tejido”.
  - Todas las muestras son aptas para su uso como aislante térmico. Buscando un símil a otros materiales, podemos decir que la resistencia térmica de las muestras 1 y 2 equivaldría a la utilización de una plancha de poliuretano proyectado de 6 cm de espesor y la de las muestras 5 y 6 equivaldría la utilización de una plancha de poliuretano proyectado de 12
  - Podemos concluir diciendo que la utilización de aramidas mejora las propiedades térmicas de los materiales, en ambos gramajes (200 y 500 gr/m<sup>2</sup>).

3. Por último, en relación con el comportamiento al fuego,

- Centrándonos en parámetro más importante (MAHRE), observamos que un aumento del porcentaje de aramida provoca una reducción considerable del valor de MARHE.
  - En las muestras de 200 gr/m<sup>2</sup>, un incremento del 20% de aramida, ha supuesto una reducción del MARHE en un 44,69%.
  - En las muestras de 500 gr/m<sup>2</sup>, un incremento del 20% de aramida, ha supuesto una reducción del MARHE en un 12,81%.
- Basándonos en la norma UNE-EN 45545-2:2013, y para analizar el cumplimiento de requisitos, el material se clasifica como R1 (componentes interiores, paredes laterales, divisores de espacios, cubiertas...). Por lo tanto, podemos concluir diciendo que el producto airlaid 1 obtiene la mejor clasificación (HL1), airlaid 2 obtiene una clasificación media (HL2) y los otros dos productos no serían materiales aptos. [35]

En la siguiente tabla se resumen las principales conclusiones de los diferentes ensayos:

Referencia	Proceso	Materiales	%	Gramaje (gr/m <sup>2</sup> )	Propiedades acústicas	Propiedades térmicas	Propiedades contra el fuego
AIRLAID 1	Airlaid	Residuo Borra Textil	10	201	Absorción acústica media (Clasificación D).	0,14000 (m <sup>2</sup> ·K)/W	40,03 (MARHE)
		Residuo Fibra Aramida	70				
		Bicomponente (PES/PE)	20				
AIRLAID 2	Airlaid	Residuo Borra Textil	30	198	Absorción acústica media (Clasificación D).	0,13595 (m <sup>2</sup> ·K)/W	72,38 (MARHE)
		Residuo Fibra Aramida	50				
		Bicomponente (PES/PE)	20				
AIRLAID 5	Airlaid	Residuo Borra Textil	30	500	Absorción acústica alta (Clasificación A).	0,39706 (m <sup>2</sup> ·K)/W	114,98 (MARHE)
		Residuo Fibra Aramida	50				
		Bicomponente (PES/PE)	20				
AIRLAID 6	Airlaid	Residuo Borra Textil	50	500	Absorción acústica alta (Clasificación A).	0,38271 (m <sup>2</sup> ·K)/W	131,88 (MARHE)
		Residuo Fibra Aramida	30				
		Bicomponente (PES/PE)	20				

Tabla 35 – Conclusiones de las propiedades de los distritos prototipos.

Fuete: elaboración propia.

Analizada la leve diferencia existente en los resultados acústicos y térmicos por la variación de un 20% de aramida, y sumado a que las referencias airlaid 5 y 6 han sido descartadas por no ajustarse a la normativa, hace que la selección se reduzca a las referencias airlaid 1 y 2.

Realizando una valoración global y teniendo en cuenta el aprovechamiento de la cantidad de materia a utilizar, los costes de la fibra de aramida y su reprocesado y los resultados de conductividad obtenidos, podemos decir que los mejores resultados se han obtenido con la referencia “airlaid 2”.

Los principales motivos por los que se ha seleccionado esta referencia, son los siguientes:

- Un aumento del 20% más de Aramida, tan solo produce mejoras de entre el 2 y el 4%.

- El coste de reprocesar ese 20% es mucho más elevado que el beneficio en conductividad obtenido.
- Y el residuo de borra textil es mucho más económico y sencillo de procesar.

A continuación, se revisarán las hipótesis planteadas al inicio de este trabajo:

#### **Hipótesis 1 → Se ha cumplido**

Se ha conseguido generar “no tejidos” con una buena cohesión, a partir de restos de aramida, por lo tanto, se puede dar salida a este residuo con alta resistencia térmica y altas prestaciones mecánicas, en concreto se podrán crear materiales aislantes para su uso en el sector construcción.

#### **Hipótesis 2 → Se ha cumplido parcialmente**

Se ha demostrado que la utilización de aramida consigue mejorar 2 de las 3 propiedades estudiadas. Ha mejorado las propiedades de aislamiento térmico y comportamiento frente al fuego y no ha conseguido mejorar el aislamiento acústico, por lo tanto, nos abre la posibilidad de utilizar este residuo para crear nuevos materiales que mejoren las propiedades de los materiales existentes, para su uso en el sector construcción.

#### **Hipótesis 3 → Se ha cumplido**

Los resultados obtenidos son aceptables, por lo tanto, podemos decir que, con la utilización de residuos de aramida para crear nuevos materiales, se conseguirá reaprovechar un residuo que tiene difícil procesabilidad, debido a sus características mecánicas, consiguiendo un proceso de economía circular.

Para finalizar el apartado de conclusiones y como respuesta al apartado de antecedentes, comentar que la tecnología airlaid es muy versátil, que permite la obtención de propiedades con unos espesores relativamente bajos e inferiores al resto de tecnologías (gracias a la disposición de sus fibras). Esto abre nuevos campos de investigación, tanto para el reaprovechamiento de residuos, como para la creación de productos enfocados a nuevos sectores.

## 7. Líneas futuras

Los resultados obtenidos se han valorado muy positivamente, ya que, gracias al reaprovechamiento de residuos de altas prestaciones, junto con otros restos de la industria textil, se ha conseguido un producto que cumple con las exigencias de la normativa actual en materia de edificación, dando salida a un problema global que no para de crecer.

Pero esto es solo el comienzo, ya que en líneas futuras se debería:

- Concretar con más detalle si hay variables que mejoren los resultados obtenidos, con maquinaria más avanzada.
- Lanzar líneas de productos más específicos, que cubran solo las propiedades que el sector construcción demanda:
  - Aislamiento acústico
  - Aislamiento térmico
  - Aislamiento acústico + térmico
  - Etc.
- Estudiar la posibilidad de utilizar otro tipo de residuos, que acompañen a la aramida, y que ayuden a mejorar la economía circular en otros subsectores.
- Estudiar el aprovechamiento de los residuos y tecnología existente para cubrir necesidades en otros sectores, como puede ser el de automoción y transporte.

Se abre un nuevo abanico de posibilidades, que esperemos se traten próximamente.

## 8. Bibliografía

- [1] AITEX, «<https://www.aitex.es/gi-nuevos-materiales/#1480076987210-d99b2eb1-845b>,» [En línea].
- [2] C. M. Sánchez, «<https://www.xlsemanal.com/actualidad/20160913/cataclismo-la-fast-fashion.html>,» [En línea]. [Último acceso: junio 2019].
- [3] G. Reday-Mulvey y W. Stahel, «Trabajos para mañana: el potencial para sustituir la mano de obra por energía.,» *Vantage Press*, 1981.
- [4] A. Rodríguez, «[http://economiecirculaire.org/blog\\_ec/?p=10](http://economiecirculaire.org/blog_ec/?p=10),» Febrero 2017. [En línea].
- [5] EDANA, «<https://www.edana.org/discover-nonwovens/what-are-nonwovens->,» [En línea].
- [6] EDANA, «<https://www.edana.org/discover-nonwovens/facts-and-figures>,» [En línea].
- [7] *Apuntes del Máster en Ingeniería Textil de la Universidad Politécnica de Valencia. Asignatura: Estructuras Laminadas..*
- [8] I. Cerkez, H. B. Kocer y R. M. Broughton, «Airlaid nonwoven panels for use as structural thermal insulation,» *JOURNAL OF THE TEXTILE INSTITUTE*, vol. 109, nº 1, pp. 17-23, 2018.
- [9] A. Wilson, «The formation of dry, wet, spunlaid and other types of nonwovens,» *APPLICATIONS OF NONWOVENS IN TECHNICAL TEXTILES*, nº 102, pp. 3-17, 2010.
- [10] . J. R. GROSS, J. S. HURLEY, B. E. BOEHMER, R. MOOSE, J. GROSS y J. HURLEY, «Composite nonwoven material used as airfelt in structures such as buildings, appliances, and interior passenger compartments an exterior components of automotive vehicles, comprises a core having matrix fibers and core binder». Patente WO2006107847-A2, 2006.
- [11] . J. R. GROSS, . J. S. HURLEY, B. E. BOEHMER , R. T. MOOSE y B. BOEHMER, «Fire-retardant nonwoven material used for sound attenuating laminate, and mattress, futon or other bedding product, furniture cushion or covering has burn through time in fire barrier screening test of about predetermined time». Patente WO2008005936-A2, 2008.
- [12] R. Nayak, S. Kanesalingam, L. Wang y R. Padhye, «Stab resistance and thermophysiological comfort properties of boron carbide coated aramid and ballistic nylon fabrics,» *JOURNAL OF THE TEXTILE INSTITUTE*, vol. 110, nº 8, pp. 1159-1168.
- [13] M. Ertekin y G. Ertekin, «Characterization of cut resistance and comfort properties of protective gloves based on different materials,» *JOURNAL OF THE TEXTILE INSTITUTE*, p. DOI: 10.1080/00405000.2019.1627986, 2019.
- [14] M. Zhonglei, K. Songlei, M. Jianzhong, S. Liang y W. Ajing, «High-Performance and Rapid-Response Electrical Heaters Based on Ultraflexible, Heat-Resistant, and Mechanically Strong Aramid Nanofiber/Ag Nanowire Nanocomposite Papers.,» *ACS nano*, vol. 13, nº 7, pp. 7578-7590, 2019.

- [15] Y. Li, M. Lin, K. Xu, Y. Ou y L. Su, «Thermally conductive nanostructured, aramid dielectric composite films with boron nitride nanosheets,» *COMPOSITES SCIENCE AND TECHNOLOGY*, vol. 175, pp. 85-91, 2019.
- [16] N. Sonee, C. Arora y M. Parmar, «Burning behavior of aramid and FR viscose blended fabrics,» *INDIAN JOURNAL OF FIBRE & TEXTILE RESEARCH*, vol. 44, nº 2, pp. 238-243, 2019.
- [17] G. Sun, W. Wang, L. Wang, Z. Yang, L. Liu, J. Wang, N. Ma, H. Wei y S. Han, «Effects of aramid honeycomb core on the flame retardance and mechanical property for isocyanate-based polyimide foams,» *JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE*, vol. 134, nº 28, 2017.
- [18] X. Zhang, X. Tang, R. Wang, R. Wang, X. Yan y M. Shi, «Thermal Degradation Behaviors and Fire Retardant Properties of Poly(1,3,4-oxadiazole)s (POD) and Poly(m-phenylene isophthalamide) (PMIA) Fibers,» *FIBERS AND POLYMERS*, vol. 18, nº 8, pp. 1421-1430, 2017.
- [19] Y. Wen, Y. Rui, H. Wang y X. Chen, «Research on Sound Absorption Properties of Aramid Micro-perforated Composite Sound Absorbing Material,» *PROGRESS IN FUNCTIONAL MANUFACTURING TECHNOLOGIES I*, vol. 458, pp. 14-22, 2011.
- [20] G. A. I. (ACOU-Non-standard), «Thermo-acoustic mortar and filler, useful in construction, comprises solid components mixture comprising dry polymer, sand, Portland cement, virgin/recycled tire powder produced by cryogenic method, and polypropylene, and water». FRANCIA Patente CA2593865-A1, 13 01 2009.
- [21] P. A. P. LLC, «Trim panel i.e. acoustic absorption trim panel, for covering the interior of an aircraft e.g. high-end private aircraft and helicopter.». Patente US2009173571-A1, 09 07 2009.
- [22] F. Takahashi, A. Abbott, T. M. Murray, J. S. T'ien y S. L. Olson, «Thermal response characteristics of fire blanket materials,» *FIRE AND MATERIALS*, pp. Volumen: 38 Número: 6 Páginas: 609-638, OCT 2014.
- [23] J. Zhang, Q. Kong, Z. Liu, S. Pang, L. Yue, J. Yao, X. Wang y G. Cui, «A highly safe and inflame retarding aramid lithium ion battery separator by a papermaking process,» *SOLID STATE IONICS*, pp. Volumen: 245 Páginas: 49-55, SEP 1 2013.
- [24] R. L. Barker y R. C. Heniford, «Factors Affecting the Thermal Insulation and Abrasion Resistance of Heat Resistant Hydro-Entangled Nonwoven Batting Materials for Use in Firefighter Turnout Suit Thermal Liner Systems,» *JOURNAL OF ENGINEERED FIBERS AND FABRICS*, pp. Volumen: 6 Número: 1 Páginas: 1-10, 2011.
- [25] L. Shi, X. Zhuang, X. Jiao, M. Li, H. Li y B. Cheng, «Research on Properties of Aramid Fiber Needle-Punched Nonwoven Fabrics,» *ADVANCED TEXTILE MATERIALS*, pp. 332-334 Páginas: 1253-+, 2011.
- [26] K. Kosuge, A. Takayasu y T. Hori, «Recyclable flame retardant nonwoven for sound absorption; RUBA (R),» *JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE*, pp. Volumen: 40 Número: 20 Páginas: 5399-5405, 2005.
- [27] K. Duran, I. Bahtiyari y R. Atav, «Protective nonwoven technical textiles,» *TEKSTİL VE KONFEKSİYON*, pp. Volumen: 17 Número: 3 Páginas: 174-177, JUL-SEP 2007.
- [28] *UNE-EN ISO 10534-2*.
- [29] *UNE-EN 12667*.

- [30] *ISO 5660-1*.
- [31] *ISO 11654*.
- [32] M. E. Raffino, «<https://concepto.de/conductividad-termica/#ixzz5uDkJCITb>,» julio 2019. [En línea]. [Último acceso: julio 2019].
- [33] C. d. M. Fenercom, «Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética,» 2012.
- [34] *ISO 5660-1: 2002. Reaction to fire tests-Heat release, smoke production and mass loss rate. Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)*.
- [35] *UNE-EN 45545-2:2013 - Requisitos para el comportamiento frente al fuego de los materiales y componentes..*

## 9. Índice de ilustraciones y tablas

### ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1- Explicación sobre el flujo de materiales en un proceso de economía circular. ....	7
Ilustración 2- Producción de “No tejidos” en Europa (en miles de toneladas).....	9
Ilustración 3- Clasificación de “No tejidos” en Europa según su aplicación final (en miles de toneladas).....	10
Ilustración 4- Flujos comerciales totales con países no pertenecientes a la UE.....	10
Ilustración 5- Formación de “no tejidos” mediante sistema Airlaid. ....	12
Ilustración 6- Ejemplo de maquinaria Airlaid. ....	12
Ilustración 7- Obtención de “no tejido” airlaid de celulosa y poliolefina. ....	13
Ilustración 8- Haz de un “no tejido” consolidado por termofusión. ....	14
Ilustración 9 - Evolución de publicaciones relacionadas con "no tejidos", en los últimos 9 años.....	15
Ilustración 10 - Evolución de las publicaciones sobre las distintas tecnologías de fabricación de "no tejidos". ....	16
Ilustración 11 - Triturado de fibras.....	26
Ilustración 12 - Formación de la muestra no tejida airlaid 1.....	26
Ilustración 13 - Formación de una muestra no tejida mediante airlaid.....	27
Ilustración 14 - Fotografía del equipo denominado "Tubo de impedancia" .....	28
Ilustración 15 - Esquema de funcionamiento de un "Tubo de impedancia" .....	29
Ilustración 16 - Equipo Netzsch modelo HFM 436 Lambda .....	31
Ilustración 17 - Partes de un equipo medidor de flujo de calor.....	31
Ilustración 18 - Esquema del Cono Calorimétrico .....	32
Ilustración 19 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento acústico - Airlaid 1. ....	38
Ilustración 20 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento acústico - Airlaid 2. ....	39
Ilustración 21 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento acústico - Airlaid 5. ....	40

Ilustración 22 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento acústico - Airlaid 6. ....	41
Ilustración 23 - Resumen de los resultados acústicos obtenidos.....	42
Ilustración 24 - Relación entre conductividad térmica y temperatura en Airlaid 1.....	45
Ilustración 25 - Relación entre conductividad térmica y temperatura en Airlaid 2.....	46
Ilustración 26 - Relación entre conductividad térmica y temperatura en Airlaid 5.....	47
Ilustración 27 - Relación entre conductividad térmica y temperatura en Airlaid 6.....	48
Ilustración 28 - Representación de los resultados térmicos obtenidos.....	49
Ilustración 29 - Representación de los resultados de resistencia térmica.....	51

### **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 - Búsqueda de publicaciones relacionadas con "no tejidos", en los últimos 9 años. ....	14
Tabla 2- Búsqueda de publicaciones relacionadas con las distintas tecnologías de fabricación de "no tejidos". ....	15
Tabla 3- Búsqueda de publicaciones relacionadas con "no tejidos" y aramida, en los últimos 9 años. ....	18
Tabla 4 - Resultados obtenidos de la búsqueda de artículos sobre tecnologías de "no tejidos" y aramida.....	19
Tabla 5 - Características del residuo textil.....	23
Tabla 6 - Características del residuo de la fibra de aramida. ....	24
Tabla 7 - Características de la fibra bicomponente (PES/PE). ....	24
Tabla 8 - Referencias a realizar mediante proceso Airlaid. ....	25
Tabla 9 - Resultados obtenidos de la fabricación de los diferentes "no tejidos".....	35
Tabla 10 - Selección de " no tejidos" para su posterior caracterización. ....	36
Tabla 11 - Selección de " no tejidos" a analizar acústicamente. ....	37
Tabla 12 - Resumen de los resultados acústicos obtenidos.....	42
Tabla 13 - Resultados de absorción acústica tras la variación del % de aramida en muestras de 200 gr/m <sup>2</sup> .....	43
Tabla 14 - Resultados de absorción acústica tras la variación del % de aramida en muestras de 500 gr/m <sup>2</sup> .....	43

Tabla 15 - Clasificación de los materiales en función del valor del coeficiente de absorción acústica obtenido.....	43
Tabla 16 - Selección de " no tejidos" a analizar térmicamente.....	44
Tabla 17 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento térmico - Airlaid 1. ....	45
Tabla 18 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento térmico - Airlaid 2. ....	46
Tabla 19 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento térmico - Airlaid 5. ....	47
Tabla 20 - Resultados obtenidos en el ensayo de aislamiento térmico - Airlaid 6. ....	48
Tabla 21 - Resumen de los resultados de conductividad térmica.....	49
Tabla 22 - Resultados de conductividad térmica tras la variación del % de aramida en muestras de 200 gr/m2 .....	50
Tabla 23 - Resultados de conductividad térmica tras la variación del % de aramida en muestras de 500 gr/m2 .....	50
Tabla 24 - Resumen de los resultados de resistencia térmica. ....	51
Tabla 25 - Resultados de resistencia térmica tras la variación del % de aramida en muestras de 200 gr/m2 .....	52
Tabla 26 - Resultados de resistencia térmica tras la variación del % de aramida en muestras de 500 gr/m2 .....	52
Tabla 27 – Resumen de resultados térmicos significativos.....	53
Tabla 28 - Selección de “no tejidos” en los que se debe analizar su comportamiento frente al fuego. ....	54
Tabla 29 - Resultados obtenidos tras el análisis de comportamiento frente al fuego. .	55
Tabla 30 – Resultados más relevantes obtenidos tras el análisis de comportamiento frente al fuego. ....	56
Tabla 31 – Variación del MARHE debido al aumento del % de aramida en el “no tejido” de 200 gr/m2. ....	57
Tabla 32 – Variación del MARHE debido al aumento del % de aramida en el “no tejido” de 500 gr/m2. ....	57
Tabla 33 – Conjunto de requisitos para el material con clasificación R1.....	57
Tabla 34 – Resumen resultados de los distritos prototipos, según UNE-EN 45545-2:2013. ....	58
Tabla 35 – Conclusiones de las propiedades de los distritos prototipos. ....	60