



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Valorización del residuo Polivinilo De Butiral Reciclado  
(rPVB) en procesos textiles

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Textil

AUTOR/A: Cortés Gallardo, Carolina

Tutor/a: Gisbert Paya, Jaime

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

## Valorización del residuo Polivinilo De Butiral Reciclado (rPVB) en procesos textiles

### RESUMEN

---

Desde el año 2015 existe una normativa europea que obliga a que el 95% de un vehículo sea reciclado, con el fin de evitar la problemática de acumulación y descontrol de residuos existente a nivel mundial. Para ello, los Centros Autorizados de Tratamiento de Vehículos (CAT) realizan diferentes tareas de descontaminación, reutilización y reciclado de las diferentes partes del automóvil. Entre estas, destaca la retirada de los vidrios de seguridad utilizados en las ventanas y lunas de automóviles que, generalmente, son hojas de vidrios unidas mediante una lámina de Polivinilo de Butiral (PVB). Hasta la fecha, pese a que el PVB reciclado (rPVB) se ha utilizado en la fabricación de nuevos productos, su uso en la industria, y en concreto en la industria textil, se encuentra limitado.

Este proyecto pretende investigar la aplicación de rPVB en diferentes procesos textiles buscando, además de la valorización de este tipo de residuo, ofrecer una alternativa a las resinas convencionales (generalmente provenientes del petróleo) que se utilizan comúnmente en dicha industria. De esta forma, se considera que los resultados obtenidos del proyecto pueden tener efectos positivos en el fomento de la economía circular en la industria textil, donde existe una demanda cada vez mayor de productos y procesos más sostenibles y ecológicos, que permitan reducir la contaminación que se le asocia.

➤ **PALABRAS CLAVE:** Residuo, Economía Circular, rPVB, textil, resina.

### ABSTRACT

---

Since 2015, there has been a European regulation that requires 95% of a vehicle to be recycled, in order to prevent the problem of accumulation and uncontrolled waste existing worldwide. To achieve this, Authorized Vehicle Treatment Centers (CATs) carry out different tasks of decontamination, reuse, and recycling of the different parts of the car. These include the removal of safety glass used in car windows and glass panes, which are generally sheets of glass bonded together with a Polyvinyl Butyral (PVB) film. To date, although recycled PVB (rPVB) has been used in the manufacture of new products, its use in the industry, and specifically in the textile industry, is limited.

This project aims to investigate the application of rPVB in different textile processes, seeking, in addition to the valorization of this type of waste, to offer an alternative to conventional resins (usually from petroleum) that are commonly used in this industry. In this way, it is considered that the results obtained from the project can have positive effects on the promotion of the circular economy in the textile industry, where there is an increasing demand for more sustainable and ecological products and processes, which allow reducing the pollution associated with it."

➤ **KEYWORDS:** Waste, Circular Economy, rPVB, textile, resin.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	4
<b>3. PROBLEMÁTICA</b> .....	5
<b>4. ESTADO DEL ARTE</b> .....	6
4.1 FORMACIÓN DEL POLÍMERO (PVB).....	6
4.2 USOS Y APLICACIONES DEL PVB VIRGEN Y RECICLADO.....	8
4.3 TENDENCIA INVESTIGACIONES RESINAS RECICLADAS .....	10
4.4 PROCESO DE RECICLAJE DEL PVB .....	13
4.5 CARACTERIZACIÓN PVB RECICLADO .....	14
4.6 COMPARATIVA RESINA DE rPVB Y RESINA ACRÍLICA .....	15
<b>5. DESARROLLO EXPERIMENTAL</b> .....	16
5.1 Materiales y equipos utilizados.....	17
5.2 Método experimental .....	18
<b>6. RESULTADOS</b> .....	30
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	39
<b>8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	40
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	40

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, según datos de la Comisión Europea, se estima que alrededor de 6 millones de vehículos son desechados, cada año, solo en Europa, al término del final de su vida útil, pasando a considerarse residuos. La reutilización, el reciclaje y la recuperación de los materiales de los vehículos desechados son líneas de investigación que se consideran cada vez más interesantes debido a las estrictas normativas y directivas medioambientales que se están implantando en los últimos años. Tal es el caso de la Directiva 2000/53/CE y de la Decisión 2005/293/CE por parte de la Comisión. En ellas, se impone el objetivo de reutilizar y recuperar el 95 % del peso de un vehículo al final de su vida útil o “ end of life vehicles” (ELV), y de reutilizar y reciclar hasta un 85 % del mismo. [1]

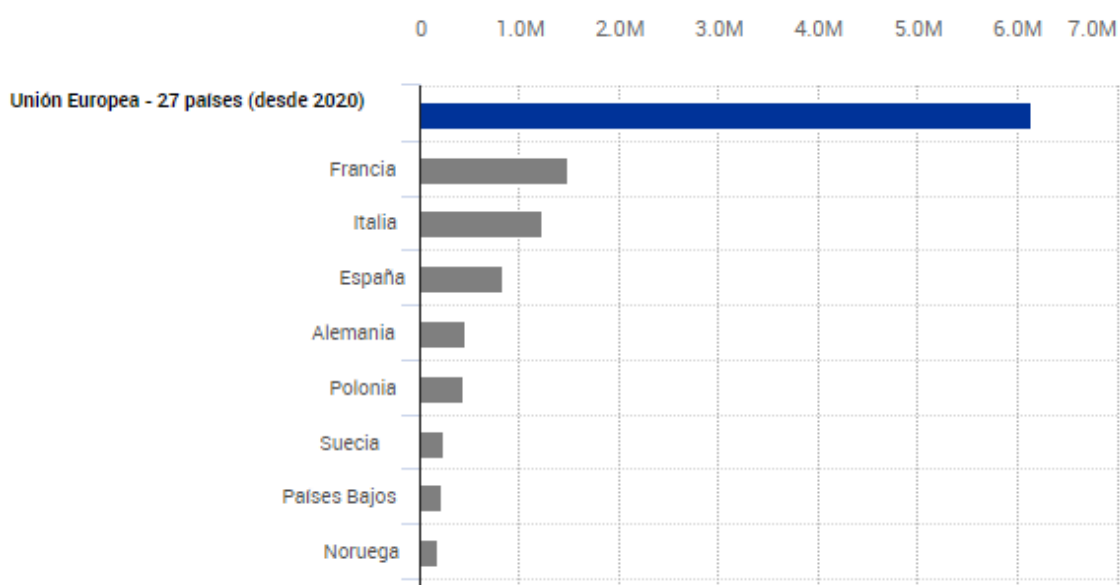


Figura 1. Representación de los países de la UE con mayor cantidad de ELVs. [2]

Si se analiza el gráfico expuesto, resaltar que España se sitúa en el tercer lugar dentro de los tres países de la UE que más vehículos desechan de manera anual, estando Francia en la cabecera de los mismos. Una vez que un vehículo es desechado, los CAT (Centros Autorizados de Tratamiento) son los únicos centros autorizados para llevar a cabo la descontaminación y extracción de las piezas y componentes que sean considerados de interés. De esta forma, sus principales tareas son el separar las piezas y los componentes de un vehículo que se puedan preparar para la reutilización, y comercializarlas; entregar a un gestor autorizado todos los materiales procedentes de la descontaminación del vehículo y remitir el resto del mismo que no pueda ser reutilizado ni reciclado a un gestor autorizado para su fragmentación. [3]

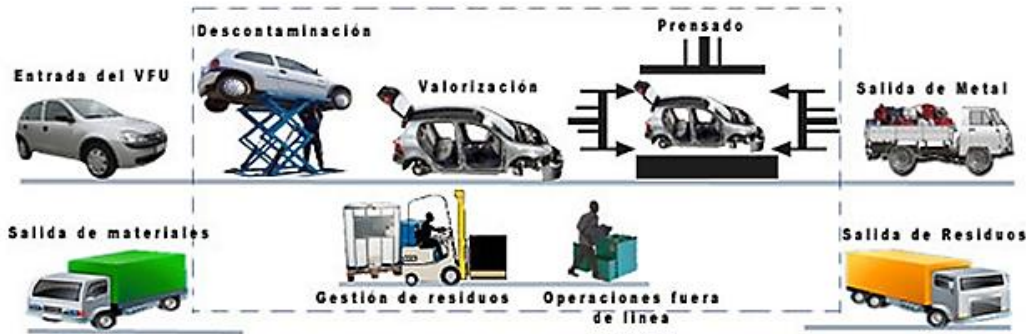


Figura 2. Cadena de procesamiento de un ELV. [4]

En los desguaces o CAT, la primera operación que debe llevarse a cabo es la descontaminación. Dicho proceso consiste en la extracción y almacenamiento de todos los fluidos y elementos peligrosos que confieren al vehículo la condición de residuo peligroso. Posteriormente, para fomentar la preparación para la reutilización y el reciclado de los mismos, se retiran determinados elementos y materiales susceptibles de ser reciclados y, por último, se procede a preparar el vehículo para su prensado. Al cual, le sigue un proceso de fragmentación por golpeo cuyo fin es reducir el tamaño del vehículo hasta que los trozos de material alcanzan las dimensiones adecuadas. A continuación se presenta un gráfico demostrativo de los diferentes residuos que se generan en toda la cadena del procesamiento de un vehículo desechado. [4]

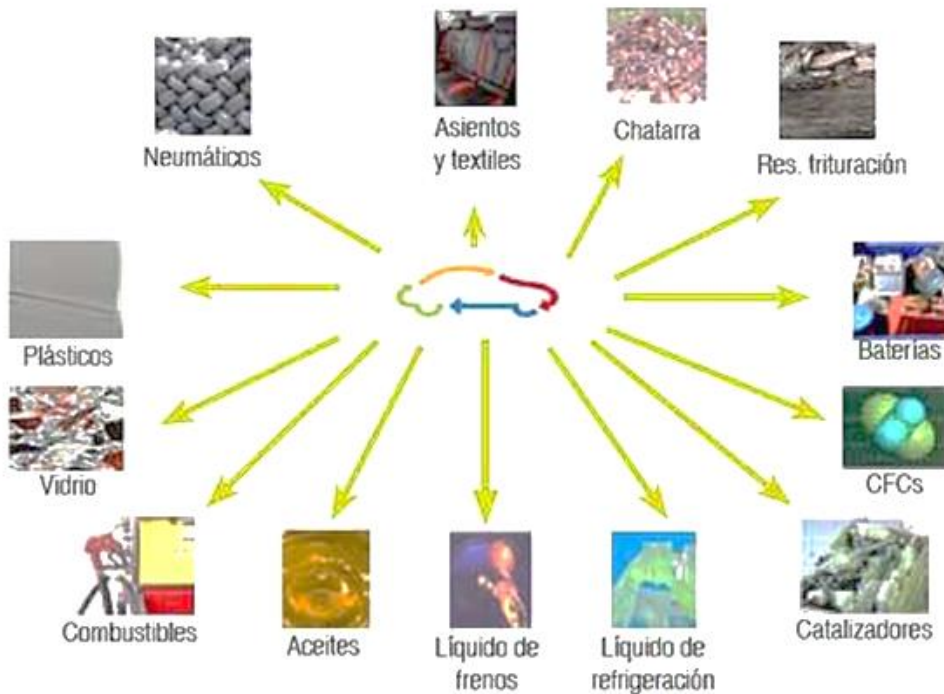


Figura 3. Gráfico indicativo de los residuos generados a partir de un ELV. [4]

Según datos de la Organización Internacional de Fabricantes de Vehículos de Motor (OICA), la producción mundial de automóviles es de unos 90 millones de vehículos al año. Suponiendo que el parabrisas de un vehículo contiene aproximadamente 13 kg de vidrio y 1 kg de película de PVB, la cantidad total de vidrio para la producción de parabrisas es de aproximadamente 1170 mil. kg y 90 mil. kg de película de PVB por año. [5] Este dato, junto con la cantidad de ELV producidos de manera anual, han motivado la idea de buscar una alternativa a la acumulación de PVB, buscando su reciclabilidad y reutilización en nuevos productos o procesos. Tal es el caso del proyecto que se presenta a continuación, relativo a un proceso de valorización de PVB reciclado (rPVB) en procesos textiles.

Hasta el momento, aunque la utilización de rPVB en la industria textil es bastante novedosa, se han encontrados diferentes estudios acerca de la viabilidad de su uso en diferentes aplicaciones. Como ejemplo, existen algunas investigaciones que utilizan rPVB en la fabricación de laminados, como material de refuerzo para tejidos y fibras sintéticas y como recubrimiento para la producción de cuero vegano, siendo esta última aplicación la más explotada. En el mercado se encuentran diferentes marcas que comercializan tejidos símil-piel a partir de rPVB. Sin embargo, su uso como resina ligante en procesos de tintura (objeto de estudio del proyecto), aún se encuentra en vías de desarrollo.

## 2. OBJETIVOS

**El objetivo principal del proyecto se centra en la investigación y desarrollo del proceso completo de valorización de Butiral de Polivinilo reciclado ( rPVB) y su introducción en procesos textiles.** Lo cual, podrá dar lugar al desarrollo de diferentes tejidos coloreados para su uso en diferentes sectores como podría ser el sector moda o el referente a la fabricación de calzados y bolsos. De esta forma, será necesaria la investigación y caracterización del rPVB así como la investigación y desarrollo de los procesos de aplicación del mismo en diferentes procesos de coloración textil.

A nivel de objetivos secundarios, se buscará conseguir diferentes tejidos tintados y estampados con elevada calidad, realizando por ello diferentes ensayos de solidez al lavado, al frote y a la luz artificial. Además, se buscará conocer su comportamiento frente agentes mecánicos, estudiando su resistencia al pilling.

El conjunto de todas estas investigaciones dará lugar al desarrollo de un proyecto cooperativo de fomento de las materias primas alternativas y de la economía circular, que conseguirá la valorización de residuos de PVB para implementarlos en la cadena textil. Y, además, permitirá ofrecer una alternativa al uso de resinas de origen petroquímico que se utilizan de manera frecuente en esta industria, donde existe una necesidad latente de desarrollar procesos y producto más sostenibles.



Figura 4. Objetivo general del proyecto

### 3. PROBLEMÁTICA

La problemática que se relaciona con la investigación surge ante la necesidad impuesta de reutilizar y recuperar el 95 % del peso de un vehículo al final de su vida útil además de reutilizar y reciclar hasta un 85 % del mismo. Dicha problemática se relaciona con la gestión sostenible y eficaz de los residuos y los materiales de los vehículos al llegar al final de su vida útil, con el objetivo de reducir la huella ambiental y promover la economía circular.

Además del reciclaje de materiales, la reutilización de los componentes y partes del vehículo al final de su vida útil es una parte fundamental de la gestión sostenible de ELV. De esta forma, existe la necesidad de hacer frente al exceso de lunas de automóviles que se genera, buscando alternativas de uso del vidrio y rPVB que se obtienen como derivados de su reciclado.

El esfuerzo realizado hasta la fecha por el reciclaje del polivinilbutiral (PVB) obtenido a partir de vehículos fuera de uso (ELVs) ha sido de gran envergadura, pero las tecnologías empleadas no han conseguido un material lo suficientemente depurado, destacando el alto coste económico y de energía que se le asocia a dicho proceso de reciclado. A ello, se le suma el hecho de que la calidad del PVB reciclado a menudo es inferior a la del PVB virgen.

La degradación térmica y la contaminación por partículas de caucho o vidrio, entre otras, pueden afectar sus propiedades, lo que limita su reutilización en aplicaciones que requieren propiedades y calidades específicas. Hasta la fecha, únicamente se han encontrado aplicaciones de menor calidad como revestimientos cerámicos, aislamiento acústico o refuerzo de materiales. Por tanto, ante tal cantidad de residuos de PVB generados, el material está siendo en una gran mayoría de casos destinado a vertederos o incinerado.

#### 4. ESTADO DEL ARTE

El **PVB** (Butiral de Polivinilo) es un termoplástico translúcido, incoloro y amorfo que se obtiene gracias a la reacción de condensación entre alcohol de polivinilo (PVA) y butiraldehído. Este termoplástico es conocido por sus excelentes propiedades elásticas, su capacidad para producir films, su elevada capacidad de adherencia y por su elevada resistencia a la luz ultravioleta que le otorga gran durabilidad. [6,7]

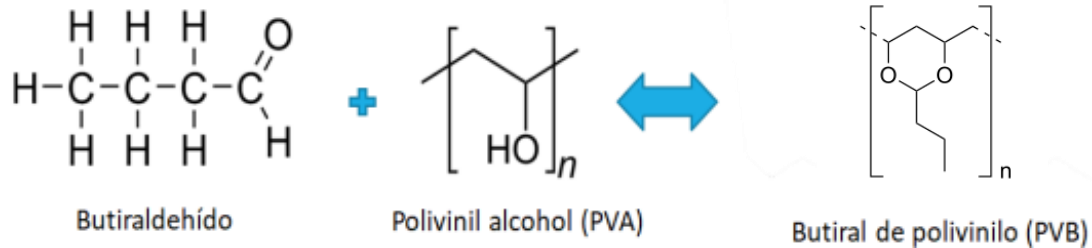


Figura 5. Reacción general de formación del PVB

#### 4.1 FORMACIÓN DEL POLÍMERO (PVB)

El poli(acetato de vinilo), que se polimeriza a partir de acetato de vinilo mediante polimerización en suspensión o solución, es el material de partida para la producción de PVB. En primer lugar, el alcohol de polivinilo (PVA) se obtiene a partir de poli(acetato de vinilo) mediante transesterificación (alcoholisis), normalmente con metanol y catálisis básica.

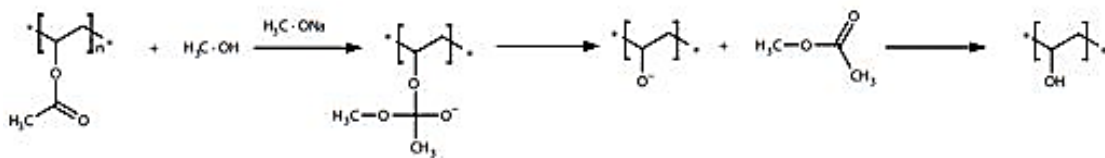


Figura 6. Reacción de transesterificación, formación de PVA.

La reacción de una solución acuosa de PVA con butanal (BA) en presencia de pequeñas cantidades de ácido mineral, que actúa como catalizador, produce PVB. Los grupos hidroxilo del PVA reaccionan con el BA para formar anillos de 1,3-dioxano (anillos de acetal). Primero, el n-butanal se protona en condiciones ácidas y luego el n-butanal protonado reacciona con el grupo hidroxilo de la molécula de PVA para formar un grupo hemiacetal protonado. A continuación, el hemiacetal protonado pierde una molécula de H<sub>2</sub>O y reacciona con el grupo hidroxilo vecino para formar un grupo acetal. Finalmente, el protón se desprende y se completa la reacción del acetal. Lo expuesto, se detalla seguidamente. [8]



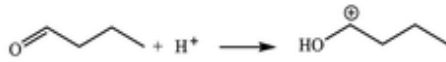


Figura 7. Protonación de BA en medio ácido.

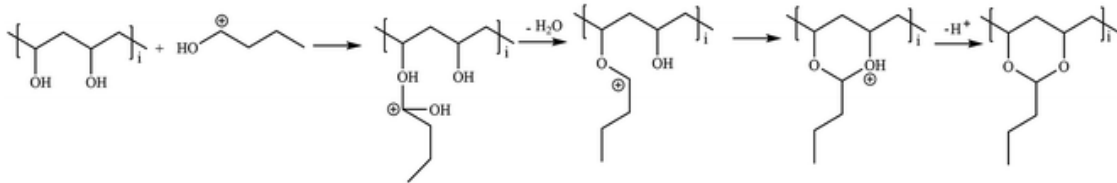


Figura 8. Reacción detallada de formación del PVB

Dado que no todos los grupos hidróxilo del PVA reaccionan con el aldehído, el PVB siempre contiene un cierto porcentaje de grupos hidroxilo. Además, un pequeño porcentaje de los grupos acetilo siempre permanece en la cadena polimérica procedente de la transesterificación anterior, durante la cual, el acetato de polivinilo se convierte en PVA. Por tanto, el producto final tiene el carácter de un polímero de vinilbutiral, alcohol vinílico (VA) y acetato de vinilo. [9]

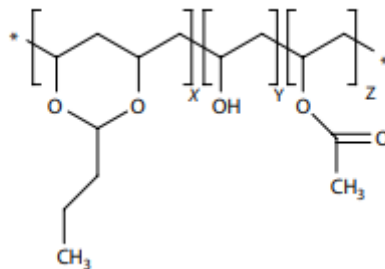


Figura 9. Estructura del PVB donde x se corresponde con el alcohol polivinílico, y acetato de polivinilo y z polivinilbutiral

Debido a la presencia de los tres grupos funcionales, del nivel de polimerización y del grado de acetalización, ciertas propiedades del PVB pueden variar. Un número alto de grupos butiral, en el polímero, incrementa la resistencia al agua del termoplástico. Así como, también se puede entrecruzar gracias a la presencia residual de grupos hidroxilo (-OH) en el polímero, de tal forma que puede reaccionar con resinas con base de fenoles, epoxi y melanina, produciendo unos revestimientos y films derivados de PVB con gran resistencia a los disolventes más comunes. Así, algunas de sus propiedades derivadas de sus características estructurales son: [7,10,11]

- El PVB es un polímero lineal, lo que significa que las unidades de repetición se unen en una cadena lineal sin ramificaciones significativas. Esta estructura lineal le confiere propiedades de fluidez y flexibilidad.
- Los grupos laterales de acetato de vinilo proporcionan al PVB su solubilidad en solventes orgánicos y su capacidad de formar fuertes enlaces químicos con otros materiales.

- Debido a la presencia de los grupos butiral de vinilo en la cadena, el PVB es flexible y puede absorber energía en impactos, lo que lo hace ideal para aplicaciones de seguridad.
- El PVB es resistente a la intemperie y a la radiación ultravioleta, lo que lo convierte en un material adecuado para aplicaciones al aire libre y exposición a la luz solar.
- Entre los grupos presentes en el resto PVB, el grupo alcohol vinílico es hidrófilo mientras que el grupo vinilbutiral es de naturaleza hidrófoba. Los componentes polares y no polares del PVB pueden interactuar preferiblemente con otras macromoléculas y, por lo tanto, pueden ser compatibles tanto con componentes hidrófilos como hidrófobos. La alteración porcentual de cualquier componente monomérico puede manipular la hidrofiliidad o hidrofobicidad del polímero [12,9]

#### 4.2 USOS Y APLICACIONES DEL PVB VIRGEN Y RECICLADO

La mayor parte del PVB se fabrica en forma de film y se utiliza extensamente en la industria del vidrio, jugando un papel fundamental en la fabricación de vidrios laminados. Se utiliza como una lámina para la unión de hojas de vidrio. Siendo un componente esencial de los vidrios de seguridad utilizados en ventanas, lunas de vehículos, escaparates y todos aquellos vidrios que por su uso puedan poner en riesgo la seguridad de las personas.



*Figura 10. Representación del vidrio laminado con PVB utilizado en la industria del automóvil*

La utilización de este polímero viene determinada por su gran adhesión al vidrio, ya que, si este sufre un impacto o rotura, gran parte de las astillas se quedan pegadas a la lámina de PVB, impidiendo el desprendimiento de cientos de fragmentos y evitando así los daños personales por corte que podrían ocasionar. El PVB laminado también ofrece una elevada protección acústica, una gran resistencia al impacto y una absorción cercana al 100% de luz ultravioleta. Debido a esta última propiedad, este termoplástico también se utiliza en el sector de las energías renovables con el objetivo de mejorar la durabilidad a largo plazo de las placas solares. De igual manera es adecuado para aplicaciones relacionadas con el envase o empaquetado ya que se considera no-tóxico y ha recibido la aprobación de uso en contacto con alimentos. Un ejemplo de uso lo realiza la marca francesa Tarkett, que utiliza el PVB reciclado de vidrios laminados de lunas de automóviles para incorporarlos en losetas modulares y suelos.

En la **industria textil**, aunque existen algunas muestras de su empleo para la fabricación de artículos textiles, su uso se encuentra aún en vías de desarrollo. Existen algunas investigaciones al respecto como la de Grethe et al. [13] en la cual se estudió el PVB como matriz polimérica para recubrimientos absorbentes de rayos UV en tejidos.

Además, se han realizado diferentes estudios para probar la viabilidad de la utilización del PVB para electrohilado de fibras. Como es el caso del estudio realizado por Ylacinkaya y Komared en el que incorpora PVB con otras nanopartículas inorgánicas para producir hilos antibacterianos mediante electrohilado. [14] En otras investigaciones como la de Brenden et al [15] se estudió el uso de PVB como recubrimiento de hilos mono y multifilamento de Poliéster y Poliamida, mediante un proceso de recubrimiento por inmersión reportando que los recubrimientos con PVB mostraron propiedades mejoradas hacia la abrasión y resistencia a solventes químicos.

Destacar que una de las primeras aplicaciones textiles del PVB fue su uso en ponchos militares, en los que dos tejidos estaban unidos por PVB, produciendo así lo que se conoce como laminados. [16] . Posteriormente, el PVB se utilizó como revestimiento de tejidos de nailon con el mismo fin y también como sellador de costuras. [17, 18, 14]

Las aplicaciones comerciales en el caso de la utilización de rPVB salvo para la producción de cuero sintético, sólo se pueden encontrar de forma limitada en la literatura de patentes. A continuación, se muestran algunas de las patentes encontradas al respecto con un breve resumen:

- En el documento CN000105421064A se describe un revestimiento ignífugo y al mismo tiempo antibacteriano para textiles, mientras que aproximadamente el 20 % del revestimiento se compone de PVB, junto con un reticulante de isocianato y tripolifosfato de sodio como componente supuestamente ignífugo. [19].
- En el documento KR 20130117454 A, se proporciona un método de producción de una lámina de tela adhesiva que utiliza una resina de polivinilbutiral para reciclar PVB desperdiciado y reemplazar el PVC cuyo uso está limitado porque el PVC no es respetuoso con el medio ambiente. [20]
- En el caso de EU 2005/0249912 A1 en el que se proporciona un método para la fabricación de un alfombra utilizando el PVB como lámina adhesiva. [21] O el estudio WO 2021/245261 A1 que describe un método de obtención de un panel decorativo para suelo techo o pared. [22]
- En el estudio CN116285180A se describe un método para fabricar una membrana de rPVB. Se describe la obtención de un tejido laminado a partir de rPVB modificado y un método para prepararlo, que consiste principalmente en mezclar dicho material con carga inorgánica, plastificante e isocianato. [23]

Como se ha comentado, a nivel comercial, las únicas muestras del empleo de rPVB en la industria textil, se ha encontrado en Eco-Park, marca utiliza polivinilbutiral reciclado (RPVB) para crear cuero vegano. Se trata de un cuero reciclado sin solventes, lo que significa que no contiene DMF, ftalato ni plomo. Bajo el mismo fundamento también se encuentra fabricando este tipo de producto BZ leather, o HandBagio.

### 4.3 TENDENCIA INVESTIGACIONES RESINAS RECICLADAS

Con el fin de averiguar la cantidad aproximada de patentes relacionadas con reciclado de resinas y más concretamente con el reciclado de resinas de PVB se realiza la búsqueda en la base de datos de patentes comerciales en línea LENS.ORG [24]. Concretamente, los parámetros de búsqueda se han definido de la siguiente manera:

- Se han descrito palabras clave relacionadas tanto con conceptos de resinas recicladas como textiles que han de figurar en el título, en el resumen o en las reivindicaciones.
- Todas las palabras que pudieran tener diferentes terminaciones válidas para la búsqueda se han dejado abiertas utilizando el operador booleano “\*”.
- En base a los campos de aplicación que se considera que pueden tener este tipo de patentes, la clasificación IPC escogida ha sido: o D: Correspondiente a Textiles y Papel. o C: Correspondiente a Química y Metalurgia.

Con estos parámetros de búsqueda se han obtenido 4186 resultados.

```
((title:(RESIN*) OR abstract:(RESIN*) OR claim:(RESIN*)) AND (title:(RECYCL*) OR abstract:(RECYCL*) OR claim:(RECYCL*))) AND ((title:(textil*) OR abstract:(textil*) OR claim:(textil*)) OR (title:(dy*) OR abstract:(dy*) OR claim:(dy*)) OR (title:(print*) OR abstract:(print*) OR claim:(print*)) OR (title:(fibre) OR abstract:(fibre) OR claim:(fibre)) OR (title:(fiber) OR abstract:(fiber) OR claim:(fiber)) OR (title:(fabric) OR abstract:(fabric) OR claim:(fabric))) AND (class_cpc.symbol:D* OR class_cpc.symbol:C*)
```

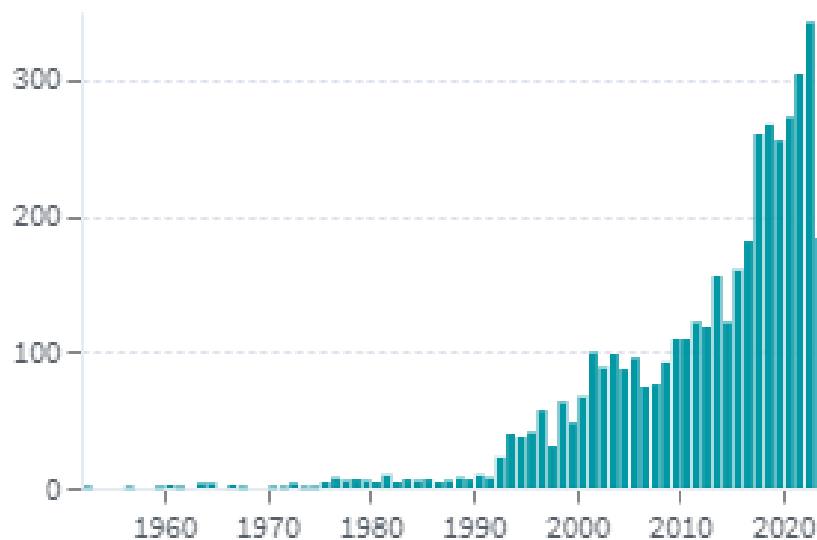


Figura 11. Tendencia de la publicación

Como se puede observar en la gráfica mostrada, la búsqueda indica que ya desde que se tiene registro de patentes en 1950, comenzaron a aparecer algunos documentos relacionados con el reciclado de resinas textiles para su uso en la industria textil. Sin embargo, a partir de 1990

comienza un crecimiento considerable de esta temática. En 2008 parece haber un pequeño descenso de las patentes, no obstante, continua al alza al recuperarse en años posteriores. Destacando el hecho de que pese a la pandemia del COVID 2019, el número de publicaciones al respecto fue elevado.

Para conocer más información acerca de las investigaciones referentes al uso de PVB reciclado, se ha introducido este término en la búsqueda estructurada anterior, de esta forma se ha acotado la búsqueda en gran medida obteniendo un total de 28 patentes al respecto. También se incorporó lo relativo al proceso de tintura y estampación por ser los procesos en estudio en este proyecto. El query generado se muestra a continuación.

```
((title:(RESIN*) OR abstract:(RESIN*) OR claim:(RESIN*)) AND (title:(RECYCL*) OR abstract:(RECYCL*) OR claim:(RECYCL*))) AND ((title:(rPVB) OR abstract:(rPVB) OR claim:(rPVB)) OR (title:(PVB) OR abstract:(PVB) OR claim:(PVB)) OR (title:("POLYVINYL BUTYRAL") OR abstract:("POLYVINYL BUTYRAL") OR claim:("POLYVINYL BUTYRAL"))) AND ((title:(textil*) OR abstract:(textil*) OR claim:(textil*)) OR (title:(dy*) OR abstract:(dy*) OR claim:(dy*)) OR (title:(print*) OR abstract:(print*) OR claim:(print*)) OR (title:(fibre) OR abstract:(fibre) OR claim:(fibre)) OR (title:(fiber) OR abstract:(fiber) OR claim:(fiber)) OR (title:(fabric) OR abstract:(fabric) OR claim:(fabric))) AND (class_cpc.symbol:D* OR class_cpc.symbol:C*)
```

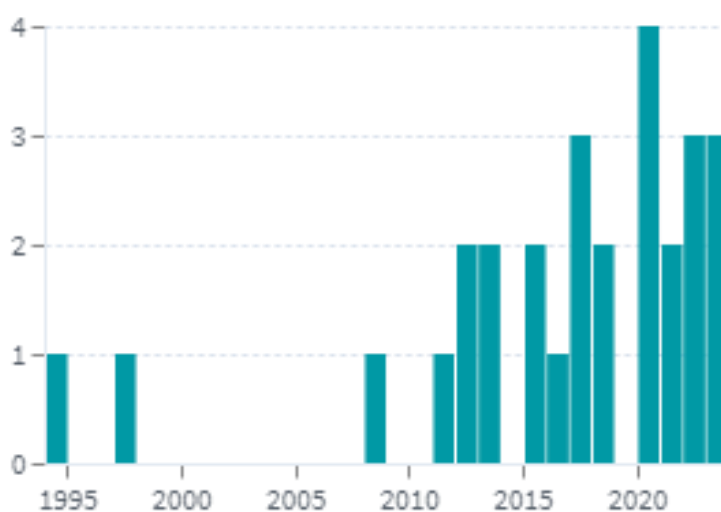


Figura 12. Tendencias de las publicaciones en relación con el PVB

En este caso, destacar que aunque desde inicios de registros aparecen algunas publicaciones, los picos más altos se han obtenido en los años 2017-2023, con el receso del año del COVID. Siendo el número de patentes publicadas al respecto durante estos años de 3-4 publicaciones.

La distribución mundial por jurisdicciones de los textiles antimicrobianos no es uniforme, existen algunos países que son predominantes en esta tecnología. Principalmente, destaca Estados Unidos con 11 patentes, seguido de cerca con China 5 y Europa 3. Dentro de esta clasificación se encuentran 1 patente a nivel nacional (España).



Figura 13. Distribución de publicaciones por países

El top ten de propietarios de patentes sería el que se muestra seguidamente siendo las franjas anchas correspondientes a dos publicaciones y las estrechas a 1 publicación:

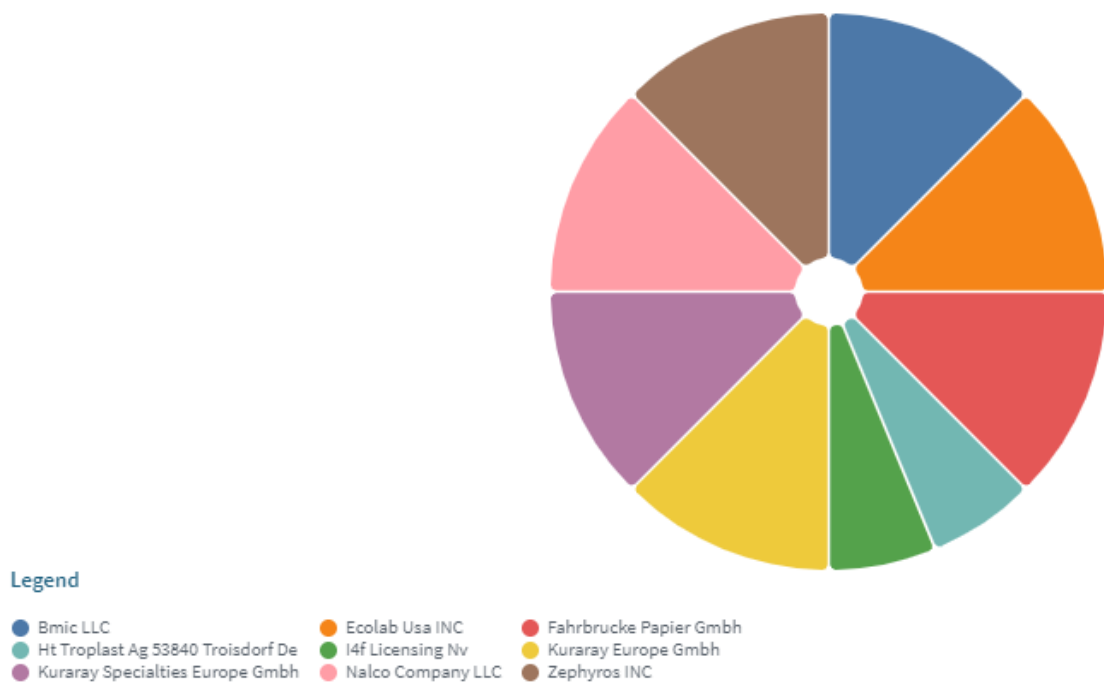


Figura 14. Principales propietarios de patentes

Mediante este estudio, se puede ver que el campo de utilización de resina de PVB en la industria textil, referente a procesos de estampación y tinte, es bastante novedoso. No se encuentran demasiadas publicaciones al respecto, aunque si bien es cierto, desde que se tiene registro de patentes, existen algunos indicios.

#### 4.4 PROCESO DE RECICLAJE DEL PVB

El proceso de reciclado del PVB, se encuentra reflejado mediante diferentes estudios en el registro de patentes ya que se han desarrollado diferentes procesos con el fin de obtener un grado de rPVB de pureza elevado. Actualmente existen diferentes patentes relacionadas con el reciclaje de PVB, eligiendo el estudio de EP 2 308 919 A1, para presentar el método de reciclado del PVB. Mediante el cual, se consigue obtener una elevada pureza de rPVB, siguiendo los procesos de extracción convencionales. [25]

El vidrio laminado, se fragmenta y se separa del polivinil butiral (PVB). Después de la trituración, los fragmentos de vidrio y PVB se separan utilizando diferentes métodos mecánicos. Estos pueden incluir tamizado, vibración y clasificación por densidad. El vidrio, que es más pesado, tiende a caer más rápido y se separa del PVB, que es menos denso.

La lámina de PVB resultante se corta en trozos y se realiza una limpieza superficial para eliminar la suciedad y materias extrañas, que comprende las siguientes etapas: el PVB se trata químicamente mediante un reactivo que consigue el debilitamiento de los enlaces entre el PVB y el vidrio, ejemplo de ello son diferentes ácidos orgánicos como el ácido acético glacial. Luego se limpia el polivinilbutiral (PVB) con agua para asegurar la eliminación completa de todo posible reactivo restante en la superficie del material. A continuación, la separación del polivinilbutiral (PVB) de las impurezas se realiza mediante un proceso fisicoquímico a modo de floculación para debilitar el vidrio adherido físicamente al polivinilbutiral (PVB). Por último, mediante un tratamiento químico adicional para asegurar que el polivinilbutiral (PVB) posea la estructura y propiedades originales, se realiza el tratamiento químico utilizando compuestos con características básicas, por ejemplo, Hidróxido de Sodio.

A continuación se detalla el diagrama del proceso de reciclado del pvb de alta pureza:

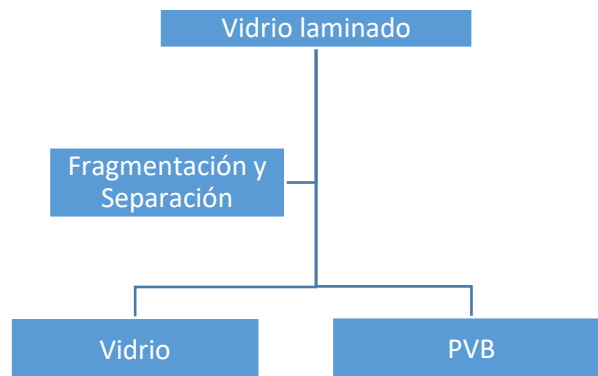


Figura 15. Primera etapa de separación de PVB.

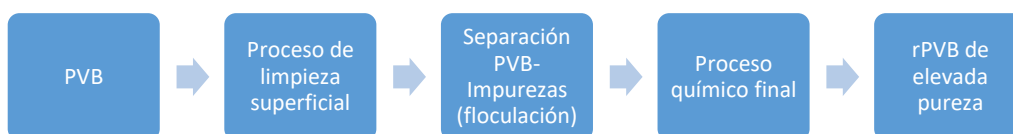


Figura 16. Proceso de limpieza y purificación del PVB reciclado.

#### 4.5 CARACTERIZACIÓN PVB RECICLADO

El **PVB reciclado** (rPVB) se obtiene, por tanto, de los cristales de seguridad desechados, bien de coches o bien de otras fuentes como escaparates. Este PVB reciclado se puede obtener en forma de polvo o bien en forma de dispersión [6,7]. Siempre que se emplea un material reciclado es conveniente realizar una comparativa con su alternativa comercial virgen, ya que las propiedades pueden variar enormemente debido a los procesos de recuperación que se aplican para la reutilización del producto. En este caso se comparan las principales propiedades que caracterizan a los materiales [6]:

Propiedad	PVB comercial	PVB reciclado
Melt Flow Index (g/10 min)	2,88 ( a 235°C, 2,16 kg)	7,48 ( a 235°C, 2,16 kg)
Densidad (g /cm <sup>3</sup> )	1,066 (23°C)	1,03 (23 °C)
Resistencia a tracción ( Mpa)	22,2	18
Elongación a rotura (%)	190	230
Módulo de Young	6,4	5,8
Temp. Fusión (°C)	180-210	180-190
Temp. Transición vítrea (Tg) (°C)	74	19,26
Dureza	85	82

Tabla 1. Comparativa características PVB comercial y reciclado

Como se puede ver en la tabla anterior, aunque se trata del mismo material, ciertas características se han visto afectadas por el proceso de revalorización del residuo que se ha llevado a cabo. Las más importantes diferencias se dan en índice de fluidez, la temperatura de fusión y la temperatura de transición vítrea, propiedades que están relacionadas entre sí.

A una temperatura inferior a la Tg, el polímero será frágil y quebradizo, mientras que por encima de dicha Tg, el polímero tendrá un comportamiento blando y flexible. Se puede decir, por una parte, que la Tg del PVB reciclado es inferior a la del PVB virgen, y por otra, que existe una gran diferencia ente los valores de esta (Tg) obtenidos para el material virgen y el reciclado. En condiciones de temperatura estándar (25°C) el polímero reciclado se encuentra justo en fase de transición, mostrando un comportamiento mixto, mientras que el PVB comercial muestra claramente un comportamiento frágil y quebradizo.

Además, se puede decir que el PVB reciclado es más elástico que el PVB comercial pero menos plástico, es decir, su elongación es más pronunciada, pero tiene más dificultades para recuperar su forma inicial. Debido a estas diferencias mecánicas, no es recomendable utilizar el PVB reciclado como sustituto directo del PVB en las aplicaciones relacionadas con los vidrios de seguridad. Sin embargo, otras propiedades, como la densidad o la dureza, son similares, indicativo de que se pueden realizar dispersiones para darle un segundo uso a este material, como ser aplicado como ligante en la tintura con pigmentos, lo cual se está desarrollando en este proyecto.

Una vez comparado el material reciclado con su contrapartida, se procede a analizar su idoneidad para que sustituya a las resinas acrílicas atendiendo a sus características.



#### 4.6 COMPARATIVA RESINA DE rPVB Y RESINA ACRÍLICA

Las resinas acrílicas son un tipo de resinas sintéticas, en las que la materia prima ha sufrido algún tipo de reacción química, generalmente una reacción de polimerización, y otro tipo de proceso que asegure que el producto tenga cualidades semejantes a las resinas naturales.

La resina acrílica (PAC) más conocida es el polimetilmetacrilato (PMMA) y se obtiene de la polimerización de metacrilato de metilo, siendo su presentación más frecuente en la industria en formato pellet, placa o en dispersión. El polimetilmetacrilato es un termoplástico duro, resistente, transparente, de excelentes propiedades ópticas con alto índice de refracción, buena resistencia al envejecimiento y a la intemperie. Entre sus características principales destacar: [26,27,28]

- Buena resistencia mecánica y estabilidad.
- Material ligero con una densidad de 1.19 kg/m<sup>3</sup>.
- Puede soportar una sobrecarga de 70 kg/m<sup>2</sup> (a pesar de su ligereza).

La transparencia de este plástico está comprendida entre el 85 y el 92%, por lo que deja pasar casi todos los rayos UV y su poder de difusión es casi nulo.

Dentro de la industria textil, las resinas acrílicas se emplean para la aplicación de los acabados sobre las fibras textiles, actuando como agentes de recubrimiento externo, o como sustancias capaces de modificar la estructura interna de la fibra. El que una resina actúe como agente de recubrimiento externo o como modificante de la estructura molecular de la fibra textil, es un aspecto que viene condicionado por la relación existente entre las magnitudes moleculares de los constituyentes de la resina y de la magnitud del canal intermicelar de la materia textil sobre la cual se aplica esa resina. Concretamente, las resinas acrílicas se emplean durante la formulación de recubrimientos o coatings, como ligante para pinturas elastoméricas, impermeabilizadores y otros acabados para no tejidos. [26, 27]

En cuanto a sus inconvenientes, el principal de ellos es su elevado coste. Además, industrialmente se produce a partir de la reacción entre acetona (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O) y el cianuro de hidrógeno (HCN), siendo éste último altamente tóxico para el medioambiente y muy venenoso para el ser humano.

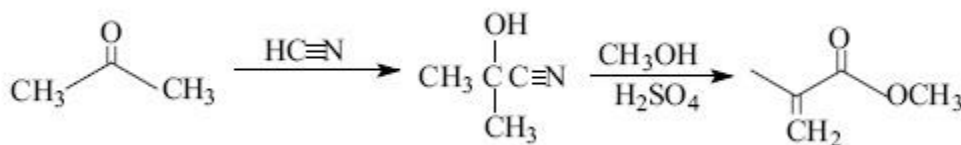


Figura 17. Reacción completa polimerización de Polimetilmetacrilato

Las resinas acrílicas se utilizan en la industria textil de manera frecuente, con diversos propósitos debido a sus propiedades deseables, que incluyen durabilidad, solidez del color y resistencia a factores ambientales. Se emplean para crear revestimientos en tejidos, que pueden proporcionar resistencia al agua, protección UV y mayor durabilidad en tejidos para exteriores como toldos, muebles de exterior y carpas. Otro de sus múltiples usos es con el fin de mejorar la capacidad de impresión de textiles, incrementando la adherencia de tintas o colorantes al tejido.

Sin embargo, en los últimos tiempos en los que la preocupación medioambiental se ha visto incrementada, ha aumentado la controversia en lo que respecta a este tipo de producto. La producción de resinas acrílicas implica el uso de productos petroquímicos, uno de las mayores fuentes contaminantes. Además, la eliminación de textiles tratados con acrílico puede ser problemática, ya que no son fácilmente biodegradables. Junto a ello, diferentes estudios han demostrado que los textiles acrílicos, al igual que otros textiles sintéticos, pueden liberar microplásticos cuando se lavan.

Con el crecimiento de la conciencia ambiental, hay un interés creciente en el desarrollo de alternativas más sostenibles a las resinas acrílicas tradicionales en textiles, como materiales a base de bioplásticos o reciclados. De ahí que se haya planteado la posibilidad de reutilización del rPVB.

Tanto las resinas acrílicas como las resinas de PVB son polímeros termoplásticos, lo que significa que se vuelven maleables cuando se calientan y se endurecen cuando se enfrían. Pueden ser fabricados con alta transparencia y claridad y exhiben cierta resistencia al impacto, lo que los hace útiles en aplicaciones donde la durabilidad y la seguridad son prioritarias. Tienen propiedades adhesivas. Se utilizan en aplicaciones donde se necesita unión entre materiales, como vidrio y otros sustratos. Y pueden ser diseñados para resistir la degradación causada por la exposición a la radiación ultravioleta (UV). Esto es importante en aplicaciones al aire libre, como ventanas y láminas de plástico.

A pesar de estas semejanzas, es esencial destacar que estas dos resinas son química y estructuralmente diferentes y, por lo tanto, tienen propiedades y aplicaciones distintas. La elección entre una resina acrílica y una resina de PVB dependerá de las necesidades específicas de la aplicación y las propiedades requeridas. A continuación se muestran algunas de sus propiedades más significativas, que demuestran lo expuesto. [27,28]

Propiedad	PVB reciclado	Resinas acrílicas
Melt Flow Index (g/10 min)	7,48 ( a 235°C, 2,16 kg)	6,5 ( a 235 °C, 2,16 kg)
Densidad (g /cm <sup>3</sup> )	1,03 (23 °C)	1,14-1,21
Resistencia a tracción ( Mpa)	18	43
Elongación a rotura (%)	230	<40
Temp. Fusión (°C)	180-190	200
Temp. Transición vítrea (Tg) (°C)	19,26	100
Dureza	82	90

Tabla 2. Comparativa características PVB reciclado y resinas Acrílicas.

## 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En esta parte del proyecto, con el fin de comparar el comportamiento de los dos compuestos indicados (rPVB y PAC) al ser utilizados como resinas en procesos de la industria textil, se decidió llevar a cabo dos métodos experimentales de coloración de tejidos, (impregnación por Foulard y estampación por rasqueta). Así, se buscó obtener conclusiones representativas acerca de las prestaciones y características que cada una de ellas puede ofrecer, en vistas a determinar si podría reemplazar el rPVB al PAC en algunos de los procesos estudiados. A continuación, se

detalla cada una de las etapas ejecutas para el desarrollo del proceso así como los materiales y equipos utilizados.

### 5.1 Materiales y equipos utilizados.

Para el desarrollo del proyecto, fueron necesarios los siguientes materiales y equipos:

- ❖ El tejido utilizado como base para el desarrollo de las diferentes pruebas experimentales fue un **Tejido de Algodón blanqueado (100%), con ligamento Sarga**, proporcionado por la empresa ONDYTEC S.L.

<b>Productos químicos</b>	
<b>COMPUESTO</b>	<b>PROVEEDOR</b>
Pigmento rojo sintético	ONDYTEC 2018 S.L.
Resina Acrílica	Universitat Politècnica de València (UPV). Campus d'Alcoi.
Butiral de polivinilo reciclado	ONDYTEC 2018 S.L.
Espesante Proesclear	Universitat Politècnica de València (UPV). Campus d'Alcoi.
Agua destilada	ONDYTEC 2018 S.L.
Detergente Proesgen RSL	ONDYTEC 2018 S.L.

*Tabla 3. Productos químicos empleados para el desarrollo del proyecto.*

<b>Equipos utilizados</b>	
<b>EQUIPOS</b>	<b>PROVEEDOR</b>
Batidora	ONDYTEC 2018 S.L.
Estufa	
Balanza analítica	
Tint control	
Rasqueta	
Foulard	
Equipo de IR	Universitat Politècnica de València (UPV). Campus d'Alcoi.
Crockmaster	ONDYTEC 2018 S.L.
Martindale	
Equipo de solidez a la luz	
Cabina de luces con Iluminante D65	
Botes de Tint Control	
Cortador de peso	

*Tabla 4. Equipos empleados para el desarrollo del proyecto.*

<b>Instrumentos de laboratorio</b>	
<b>COMPUESTO</b>	<b>PROVEEDOR</b>
Vasos de precipitados	ONDYTEC 2018 S.L.
Pipetas Pasteur	
Pipetas	
Cucharillas	
Tijeras de corte y confección	
Regla	
Aguja de coser	
Cubetas de plástico	
Bolas de acero	

Tabla 5. Instrumentos de laboratorio empleados para el desarrollo del proyecto.

## 5.2 Método experimental

El desarrollo del proyecto se dio inicio una vez conocido el material base que se iba a utilizar con tejido principal en el proyecto, siendo este, tal y como se expuso en el anterior apartado una Sarga de algodón 100%. Para tener aún más características definitorias, se cortaron tres probetas de tejido (utilizando un cortador normalizado) en orillo, centro y orillo. Las cuales, fueron pesadas en la balanza analítica anotando su valor, para, después de ello, obtener un valor medio de las medidas de peso realizadas.

Una vez anotadas dichas medidas, se procedió a cortar el número de muestras de tejido previstas como necesarias para realizar las pruebas contenidas en el diseño de experimentos. Estas, fueron un total de 56 muestras para impregnación ( 24 de 20x30 cm y 32 de 15x15 cm ) y 72 para rasqueta (tamaño de 20x35 cm). Tras esto, se comenzó a realizar las pruebas experimentales relativas al proceso de impregnación.

### ❖ TINTURA DE TEJIDOS POR IMPREGNACIÓN-FOULARD

El sistema de tintura por impregnación (Foulard) es un sistema abierto, en el cual, el colorante se deposita mecánicamente en el textil por absorción de baño mediante la inmersión del tejido. La fijación o reacción del mismo se realiza en una segunda fase, generalmente por activación térmica.

Para la realización de este proyecto, se llevó a cabo el proceso PAD-THERM (Foulardado-Secado-termofijado), el cual es un proceso continuo que consiste en la impregnación del tejido a medida que este se sumerge en una solución o baño de tintura, y pasa por unos rodillos exprimidores que quitan el sobrante de la solución no absorbida por el tejido. Seguidamente, se realiza un presecado en un horno con una temperatura determinada y, finalmente, la fijación del pigmento a la tela se realiza en el mismo horno (Termofijado) a la temperatura indicada en la ficha técnica del producto, esto también en función a la composición del tejido.

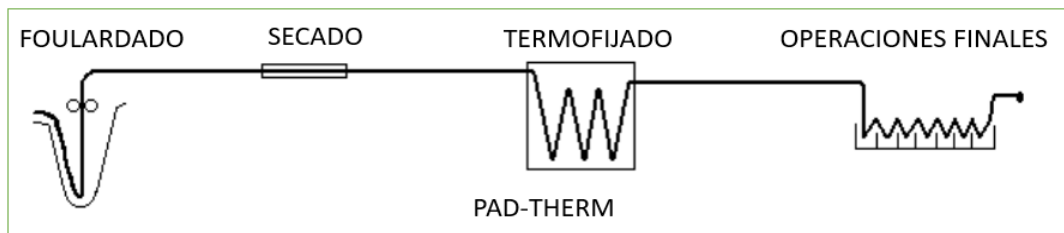


Figura 18. Diagrama del proceso de impregnación PAD THERM.

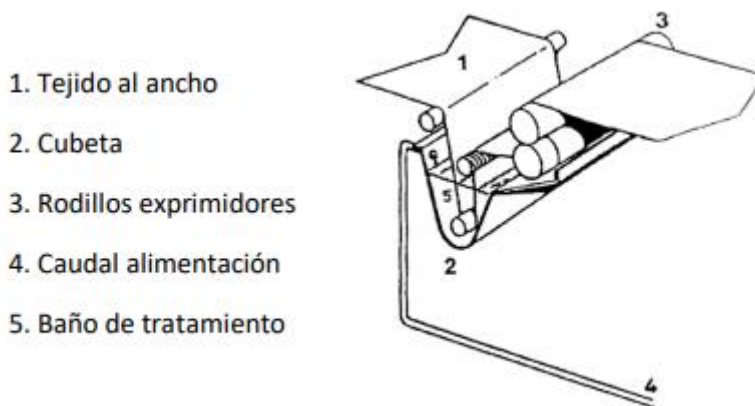


Figura 19. Esquema de un proceso de impregnación por Foulard

Como materia prima principal, además del rPVB, se eligió un pigmento sintético rojo, que sería el compuesto encargado de la coloración de los tejidos. Se trabajó variando la concentración de pigmento así como la de resina de rPVB, manteniendo fijas otras variables como las recogidas en la siguiente tabla.

Variables	Rango	
	Min	Max
Resina rPVB (g/L)	75	300
Pigmento (g/L)	10	50
Velocidad de paso de tejido (m/min)	2	2
Pick-up (%)	100	100
Temperatura secado (°C)	100	100
Tiempo secado (min)	10	10
Temperatura de curado (°C)	140	140
Tiempo curado (min)	10	10

Tabla 6. Variables del proceso de impregnación por Foulard con rPVB

A partir de dichas variables, las pruebas experimentales que se plantearon, fueron las siguientes:

Experimento	rPVB (g/L)	Pigmento (g/L)	V. tejido (m/min)	Pick-up (%)	T <sup>a</sup> secado (°C)	t secado (min)	T <sup>a</sup> curado (°C)	t curado (min)
l:75-10-100	75	10	2	100	100	10	140	10
l:150-10-100	15	10	2	100	100	10	140	10
l:150-50-100	150	50	2	100	100	10	140	10
l:300-50-100	300	50	2	100	100	10	140	10

Tabla 7. Diseño de experimentos para la tintura con rPVB por Foulard

Una vez planteadas, se realizaron los cálculos necesarios para conocer la cantidad de cada uno de los compuestos que conformaron el baño de tintura investigado, teniendo en cuenta que se decidió preparar 100 ml de baño de tintura por cada experimento, en vistas a reducir excesos de productos. Destacar que las variables del proceso fueron las mismas para el caso de la tintura con rPVB y con PAC de cara a poder comparar resultados, exceptuando el tiempo de curado de la resina acrílica y la temperatura, que por las especificaciones del proveedor fue de 5 min a 150 °C.

Variables	Rango	
	Min	Max
Resina PAC (g/L)	75	300
Pigmento (g/L)	10	50
Velocidad de paso de tejido (m/min)	2	2
Pick-up (%)	100	100
Temperatura secado (°C)	100	100
Tiempo secado (min)	10	10
Temperatura de curado (°C)	150	150
Tiempo curado (min)	5	5

Tabla 8. Variables del proceso de impregnación por Foulard con PAC

Experimento	PAC (g/L)	Pigmento (g/L)	V. tejido (m/min)	Pick-up (%)	T <sup>a</sup> secado (°C)	t secado (min)	T <sup>a</sup> curado (°C)	t curado (min)
l:75-10-100	75	10	2	100	100	10	150	5
l:150-10-100	15	10	2	100	100	10	150	5
l:150-50-100	150	50	2	100	100	10	150	5
l:300-50-100	300	50	2	100	100	10	150	5

Tabla 9. Diseño de experimentos para la tintura con PAC por Foulard

- **Cálculos:**

150 g de resina → 1 l dis.

x g de resina → 10<sup>-3</sup> l dis

$$x = \frac{150 \text{ g de resina} \cdot 10^{-3} \text{ l}}{1 \text{ l dis}} = 0,15 \text{ g resina}$$

$$\left. \begin{array}{l} 10 \text{ g de pigmento} \rightarrow 1 \text{ l dis.} \\ x \text{ g de pigmento} \rightarrow 10^{-3} \text{ l dis} \end{array} \right\} x' = \frac{10 \text{ g de pigmento} \cdot 10^{-3} \text{ l}}{1 \text{ l dis}} = \mathbf{0,1 \text{ g de pigmento}}$$

*El contenido de agua destilada, fue el restante hasta alcanzar un volumen de 100 ml de disolución buscado.*

Para preparar cada uno de los experimentos, se utilizaron diferentes vasos de precipitados. Se comenzó pesando en balanza analítica la cantidad de pigmento requerida, así como de resina y agua destilada. Al ser un pigmento sintético, se encontraron problemas de disolución por lo que se tuvo que aplicar calor y agitación manual para conseguir homogeneizar el baño. Tras ello, se dio inicio el proceso de tintura por impregnación (Foulard).

A continuación, se muestra el foulard utilizado para la tintura de los tejidos y tras ello, cada uno de los baños preparados para el desarrollo del proyecto, junto con parte de los tejidos coloreados con los mismos.



*Figura 20. Foulard utilizado y muestra del proceso de impregnación.*

## BAÑOS DE TINTURA



150 g/l rPVB  
10 g/L pigmento



150 g/l rPVB  
50 g/L pigmento



300 g/l rPVB  
50 g/L pigmento



75 g/l rPVB  
10 g/L pigmento



150 g/l PAC  
10 g/L pigmento



150 g/l PAC  
50 g/L pigmento



300 g/l PAC  
50 g/L pigmento



75 g/l PAC  
10 g/L pigmento

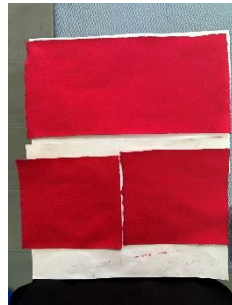
## TEJIDOS TINTADOS POR FOULARD



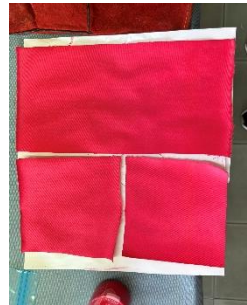
150 g/l rPVB  
10 g/L pigmento



150 g/l rPVB  
50 g/L pigmento



300 g/l rPVB  
50 g/L pigmento



75 g/l rPVB  
10 g/L pigmento



150 g/l PAC  
10 g/L pigmento



150 g/l PAC  
50 g/L pigmento



300 g/l PAC  
50 g/L pigmento



75 g/l PAC  
10 g/L pigmento



## ❖ ESTAMPACIÓN

El sistema de estampación sobre rodillos o por rasqueta, consiste en depositar una pasta determinada entre el intersticio que se forma al colocar un tejido entre las pantallas (en este caso, en forma cilíndrica) que permanecen estáticas sujetando el tejido. Una vez aplicada la pasta de estampación, el movimiento del tejido entre los cilindros, arrastra la pasta a lo largo del mismo, de forma que se produce la deposición de la pasta/color en una de sus caras. La regulación de la cantidad de pasta depositada se debe a la velocidad de paso del tejido, a la viscosidad del producto preparado para la aplicación y a las galgas milimétricas que se colocan entre ambos rodillos.

Después de la estampación, es necesario que las telas se sometan a un proceso de secado para evitar que se manchen las zonas sin estampar, al producirse el sangrado de la pasta de estampación. A esta etapa, le sigue un proceso de fijado de color que puede ser por vaporizado o termofijado en rame/horno, y se utiliza para que los tintes y productos químicos presentes superficialmente en la tela se transfieren a la misma.

A continuación, se representan las variables del proceso estudiadas, el diseño de experimentos, así como los cálculos que fueron necesarios para preparar las pastas de estampación buscadas.

Variables	Rango	
	Min	Max
Resina rPVB (g/kg)	75	300
Espesante (g/kg)	15	15
Pigmento (g/kg)	10	50
Galga (mm)	0,07	0,07
Temperatura secado (°C)	100	100
Tiempo secado (min)	10	10
Temperatura de curado (°C)	140	140
Tiempo curado (min)	10	10

Tabla 10. Variables del proceso de estampación por Rasqueta con rPVB

A partir de dichas variables, el diseño de experimentos creado fue el que se muestra a continuación.

Experimento	rPVB (g/kg)	Esp. (g/kg)	Pigmento (g/kg)	Galga (mm)	T <sup>a</sup> Secado (°C)	t Secado (min)	T <sup>a</sup> curado (°C)	t curado (min)
R:75-15-10-0,07	75	15	10	0,07	100	10	140	10
R:150-15-10-0,07	150	15	10	0,07	100	10	140	10
R:150-15-50-0,07	150	15	10	0,07	100	10	140	10
R:300-15-50-0,07	300	15	50	0,07	100	10	140	10

Tabla 11. Diseño de experimentos para la estampación por rasqueta con rPVB

Destacar de nuevo que para el caso de la resina, las variables de tiempo de curado y temperatura fueron las impuestas por las especificaciones del proveedor.

Variables	Rango	
	Min	Max
Resina PAC (g/kg)	75	300
Espesante (g/kg)	15	15
Pigmento (g/kg)	10	50
Galga (mm)	0,07	0,07
Temperatura secado (°C)	100	100
Tiempo secado (min)	10	10
Temperatura de curado (°C)	150	150
Tiempo curado (min)	5	5

Tabla 12. Variables del proceso de estampación por Rasqueta con PAC

Experimento	PAC (g/kg)	Espes. (g/kg)	Pigmento (g/kg)	Galga (mm)	T <sup>a</sup> Secado (°C)	t. Secado (min)	T <sup>a</sup> curado (°C)	t. curado (min)
R:75-15-10-0,07	75	15	10	0,07	100	10	140	10
R:150-15-10-0,07	150	15	10	0,07	100	10	140	10
R:150-15-50-0,07	150	15	10	0,07	100	10	140	10
R:300-15-50-0,07	300	15	50	0,07	100	10	140	10

Tabla 13. Diseño de experimentos para la estampación por rasqueta con PAC

- **Cálculos:**

$$\left. \begin{array}{l} 300 \text{ g de resina} \rightarrow \text{kg pasta.} \\ y \text{ g de resina} \rightarrow 10^{-3} \text{ kg pasta} \end{array} \right\} \begin{array}{l} y = \frac{300 \text{ g de resina} \cdot 10^{-3} \text{ kg pasta}}{1 \text{ kg pasta}} \\ y = \mathbf{0,3 \text{ g resina}} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} 15 \text{ g de espesante} \rightarrow \text{kg pasta.} \\ y' \text{ g de espesante} \rightarrow 10^{-3} \text{ kg pasta} \end{array} \right\} \begin{array}{l} y' = \frac{15 \text{ g espesante} \cdot 10^{-3} \text{ kg pasta}}{1 \text{ kg pasta}} \\ y' = \mathbf{0,015 \text{ g espesante.}} \end{array}$$

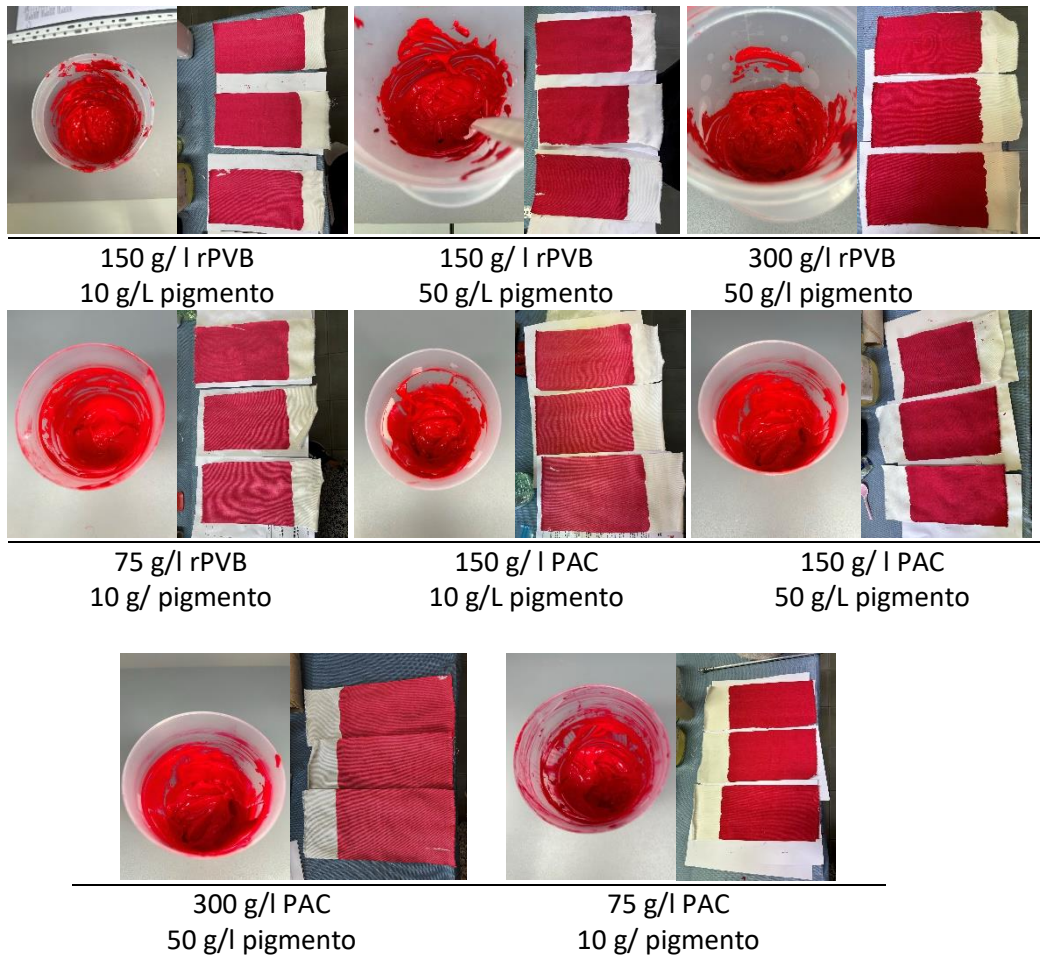
$$\left. \begin{array}{l} 10 \text{ g de pigment.} \rightarrow \text{kg pasta.} \\ y'' \text{ g de pigment.} \rightarrow 10^{-3} \text{ kg pasta} \end{array} \right\} \begin{array}{l} y'' = \frac{30 \text{ g pigment.} \cdot 10^{-3} \text{ kg pasta}}{1 \text{ kg pasta}} \\ y'' = \mathbf{0,03 \text{ g pigmento.}} \end{array}$$

Una vez conocida cada una de las cantidades de cada compuesto que iba a constituir la pasta, se pesaron cada uno de ellas en balanza analítica, en un vaso de estampación, procediendo a batirlas con una batidora. A continuación se muestran los equipos empleados para el desarrollo del proceso así como los resultados obtenidos.



Tabla 14. Rasqueta utilizada para la estampación de tejidos

### PASTAS DE ESTAMPACIÓN Y TEJIDOS ESTAMPADOS POR RASQUETA



Una vez realizada cada una de las pruebas experimentales contenidas en los diferentes diseños de experimentos, se procedió a ensayar cada uno de los tejidos coloreados obtenidos como resultado. El fin de ello fue conocer las características de los mismos. De esta forma se buscó determinar la solidez a la luz artificial, al lavado, al frote y su resistencia al pilling. Por último, de

para conocer las características estructurales de las resinas aplicadas, se decidió realizar un ensayo FTIR. La explicación de cada uno de los procesos así como los resultados obtenidos, se detalla seguidamente.

#### ❖ SOLIDEZ AL FROTE

Para evaluar la solidez del color de los tejidos al frote, en seco y húmedo, se siguió la norma UNE EN ISO 105-X12:2016. Se cortaron diferentes probetas de un tejido testigo de algodón 100 %, (tamaño 5 x 5 cm). Acto seguido, se cortaron diferentes probetas de los tejidos a ensayar en dirección urdimbre y trama, con un tamaño 5 x 14 cm. Para la realización del ensayo, se utilizó el equipo Crockmaster. Con este, se aplicó un frote de 10 vueltas en sentido longitudinal, con el tejido testigo de Algodón sobre cada una de las muestras a ensayar. Tras ello, se evaluó la descarga del color sobre el tejido testigo así como la degradación del color del tejido ensayado, siguiendo la escala de grises normalizada. A continuación, se presenta el equipo utilizado así como algunas imágenes de los tejidos tras la realización del ensayo. La valoración de los mismos, se recoge en el posterior apartado.

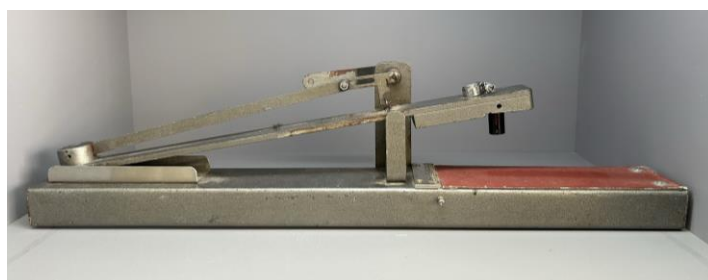


Figura 21. Equipo de solidez al frote - Crockmaster

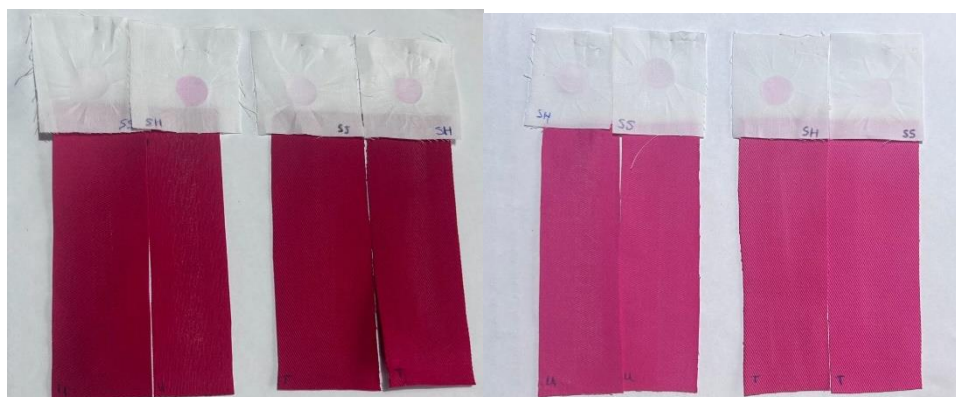


Figura 22. Muestra de resultados tras la realización del ensayo de solidez al frote a los tejidos de I: - 300 g/L RPVB 50 g/l pig. I: - 300 g/L 150 PAC y 10 g/l pig.

#### ❖ SOLIDEZ AL LAVADO DOMÉSTICO Y COMERCIAL

Para evaluar la solidez del color de los tejidos al lavado, se siguió la norma norma UNE-EN ISO 105-C10. El equipo utilizado para el ensayo fue un Tint Control con nombre comercial Laboratory

Dyeing Machine IR, de QUARS. Se cortaron diferentes muestras de tejido testigo multifibra con un tamaño de 100 mmx40 mm tal y como especifica la norma. Estos, fueron cosidos a la cara del tejido por uno de los extremos.

Por otro lado, se prepararon los baños de lavado correspondientes, formados por detergente y agua, siendo el volumen total de los mismos de 150 ml. La cantidad de detergente a adicionar también se describe en la norma, siendo la concentración de 4g/L. Como detergente se utilizó (PROESGEN RSL). Se realizaron 16 pruebas de lavado, por lo que se decidió realizar dos baños únicos de 1,350 l y de ahí, medir los 150 ml de disolución correspondientes utilizando una probeta.

- **Cálculos:**

$$\left. \begin{array}{l} 4 \text{ g de detergente} \rightarrow 1 \text{ l dis.} \\ x \text{ g de deterg} \rightarrow 1,350 \text{ l dis} \end{array} \right\} x = \frac{4 \text{ g de deterg.} \cdot 1,350 \text{ l dis}}{1 \text{ l dis}} = 5,4 \text{ g det.}$$

Esta cantidad de detergente fue pesada en Balanza analítica. Para llegar a los 1,350 l buscados, se añadió agua destilada en el vaso de precipitados hasta alcanzar el volumen buscado. De ahí se fueron midiendo los 150 ml en probeta y añadiendo los baños en los botes del Tint control, junto con 10 bolas de acero y los tejidos de ensayo. Se cerraron los botes con sumo cuidado para que no se saliera su contenido y se introdujeron durante 45 min en el equipo, a 40 °C. Transcurrido el tiempo de proceso, los tejidos se escurrieron e introdujeron en la estufa a 60 °C hasta el secado de los mismos.



Figura 23. Tint control utilizado para la solidez al lavado



Figura 24. Secado de los tejidos tras ensayo

Una vez secos, cada uno de los tejidos multifibra fue valorado comparando el resultado obtenido con un tejido multifibra sin ensayar, siguiendo de nuevo la escala de grises normalizada. De igual forma, se evaluó la degradación del color por parte de los tejidos. Los resultados obtenidos, se muestran en el siguiente apartado.



Tabla 15. Método de evaluación tras ensayo de lavado. Comparativa tejidos pre y post ensayo.

#### ❖ SOLIDEZ DEL COLOR A LA LUZ ARTIFICIAL

Para evaluar la solidez del color a la luz se siguió la norma ISO 105 B02. Siguiendo dicha norma, las muestras de tejido a ensayar se exponen a una intensa luz artificial generada por una lámpara de arco de xenón. La luz pasa a través de una serie de filtros para garantizar que su espectro (longitud de onda) coincida estrechamente con el espectro de la luz natural que entra a través del vidrio. Se controlan la humedad y la temperatura de la atmósfera de prueba.

Para la realización del ensayo, se coloca una pequeña muestra de material, junto con una serie de ocho tejidos estándar de lana azul (referencias 1 a 8), y se introducen en el equipo donde se expusieron simultáneamente a una luz de alta intensidad. Las condiciones del ensayo fueron 63 °C y 20 % de humedad. Se evaluó el desvanecimiento del color del tejido a las 24 horas del proceso, aunque este fue controlándose durante periodos de tiempo de 2h-4h-6h y 12horas, sin observar cambios significativos en ninguno de los casos. Transcurrido este tiempo, los tejidos ensayados se evaluaron comparando la tasa de decoloración de las ocho muestras de lana teñidas de azul que se clasifican de 1 (mala) a 8 (excelente). Los resultados obtenidos se muestran en el apartado posterior.



Figura 25. Equipo de solidez a la luz

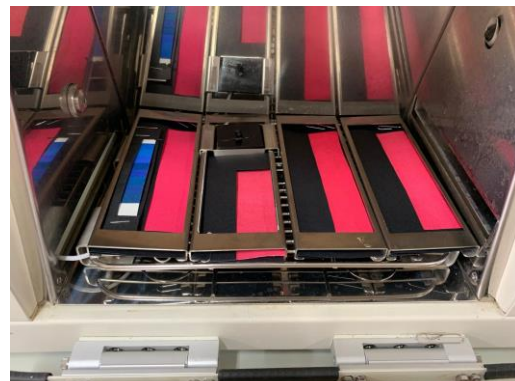


Figura 26. Muestras de tejidos colocadas para ensayo

Destacar que dado que los pigmentos sintéticos presentan buena estabilidad de color frente a luz, se decidió únicamente evaluar las muestras de tejidos tintadas con una concentración de 10

g/l de pigmento. Por tanto, se evaluaron únicamente los tejidos tintados con 75 g/l y 150 g/l de resinas, respectivamente. Dicha decisión se tomó teniendo en cuenta que en el caso de no obtener buenos resultados, se continuaría testando el resto de tejidos estudiados.

#### ❖ RESISTENCIA AL PILLING

Para evaluar la resistencia del tejido a la formación de pilling o vellosidad, se siguió la norma UNE EN ISO 12945-2. El pilling es la aparición progresiva de pequeñas bolas de fibras en la superficie de los textiles, que se produce más rápidamente en la parte donde existe la fricción más intensa, lo que puede aportar información de cara a conocer la calidad o idoneidad de un tejido que va a estar en fricción durante su uso diario. El equipo utilizado para la realización del ensayo es un Martindale, mediante el cual el tejido de ensayo se frota contra una superficie abrasiva durante un período de tiempo predeterminado, evaluando durante los intervalos impuestos por norma, la formación o no de pilling, vellosidades o enredos. Para ejercer presión, se utiliza pesas definidas de 9-12 kPa. A continuación, se muestra una imagen del mismo, mostrándose los resultados obtenidos en el posterior apartado. Destacar que para la realización de la prueba el material abrasivo utilizado fue el mismo tejido de ensayo.



Figura 27. Martindale para prueba de resistencia al pilling



Figura 28. Colocación tejido abrasivo

La valoración de los resultados obtenidos, se detalla en el siguiente apartado.

#### ❖ ESPECTROFOTOMETRIA FTIR

Se decidió realizar un análisis FTIR para conocer/identificar la composición química de cada uno de los materiales (resina de RPVB y PAC) y estudiar su morfología. Para ello se empleó el equipo Parkin Elnar, Spectrum BX con detector DTGS/KBr, cubriendo un rango de 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$ . Los espectros fueron recogidos en modo absorbancia después de 20 barridos y con una resolución espectral de 2  $\text{cm}^{-1}$ . La espectroscopia FTIR usa energía del infrarrojo medio modulada para analizar una muestra. La luz infrarroja se absorbe a frecuencias específicas directamente relacionadas con las energías de enlace vibratorio interatómico de la molécula. Cuando la energía de enlace vibratorio y la luz infrarroja media son equivalentes, el enlace puede absorber dicha energía. Los diversos enlaces de una molécula vibran con energías diferentes y, por lo tanto, absorben longitudes de onda distintas de la radiación por infrarrojos (IR). La posición (frecuencia) e intensidad de cada una de estas bandas de absorción contribuye al espectro total, lo que crea una identificación característica de la molécula.

Este tipo de análisis se realizó en vistas a comparar las características estructurales de los tejidos coloreados utilizando resinas de RPVB y PAC y poder establecer conclusiones significativas. Se seleccionaron las muestras de tejidos teñidas por impregnación y rasqueta con 150 g/l de resina y 10 g/l de pigmento. Los resultados obtenidos se detallan en el siguiente apartado.

## 6. RESULTADOS

### ❖ MEDIDA DEL GRAMAJE DEL TEJIDO

P <sub>1</sub> : 2,3407 g	}	$\bar{P}: 2,3426 \text{ g} \longrightarrow \text{Al ser el cortador normalizado } 100 \text{ cm}^2$ $G: \frac{2,3426 \text{ g}}{100 \text{ cm}^2} \cdot \frac{1 \text{ (cm)}^2}{(10^{-2} \text{ m})^2} = 234,26 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$
P <sub>2</sub> : 2,3418 g		
P <sub>13</sub> : 2,3452 g		

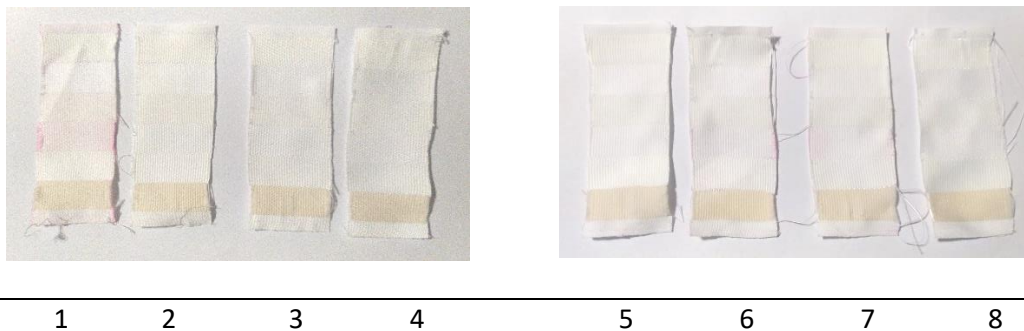
### ❖ SOLIDEZ AL LAVADO

De cara a controlar cada una de las muestras ensayadas y en vistas a recoger los resultados de manera ordenada, se decidió referenciar cada uno de los tejidos de la siguiente forma.

REF.	DESCRIPCIÓN PROCESO ACRÍLICA	REF.	DESCRIPCIÓN PROCESO rPVB
<b>1</b>	Impreg - 150 g/L resina 10 g/l pig.	<b>9</b>	Rasq - 300 g/L resina 50 g/l pig.
<b>2</b>	Rasq - 300 g/L resina 50 g/l pig.	<b>10</b>	Impreg - 300 g/L resina 50 g/l pig.
<b>3</b>	Impreg - 300 g/L resina 50 g/l pig.	<b>11</b>	Rasq - 75 g/L resina 10 g/l pig.
<b>4</b>	Rasq - 75 g/L resina 10 g/l pig.	<b>12</b>	Impreg - 150 g/L resina 50 g/l pig.
<b>5</b>	Rasq - 150 g/L resina 50 g/l pig.	<b>13</b>	Impreg - 150 g/L resina 10 g/l pig.
<b>6</b>	Impreg - 150 g/L resina 50 g/l pig.	<b>14</b>	Impreg - 75 g/L resina 10 g/l pig.
<b>7</b>	Impreg - 75 g/L resina 10 g/l pig.	<b>15</b>	Rasq - 150 g/L resina 10 g/l pig.
<b>8</b>	Rasq - 150 g/L resina 10 g/l pig.	<b>16</b>	Rasq - 150 g/L resina 50 g/l pig.

*Tabla 16. Referencia de cada una de las muestras en estudio*

Así, los resultados y la valoración de los tejidos de ensayo, fue la siguiente:





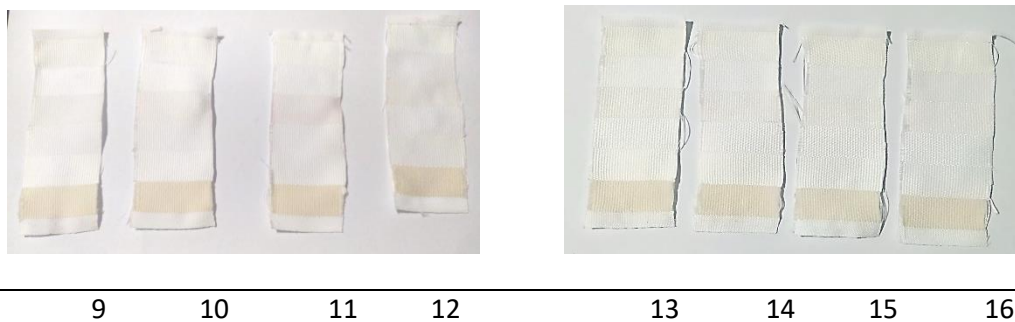


Figura 29. Descarga de color tras ensayo de lavado

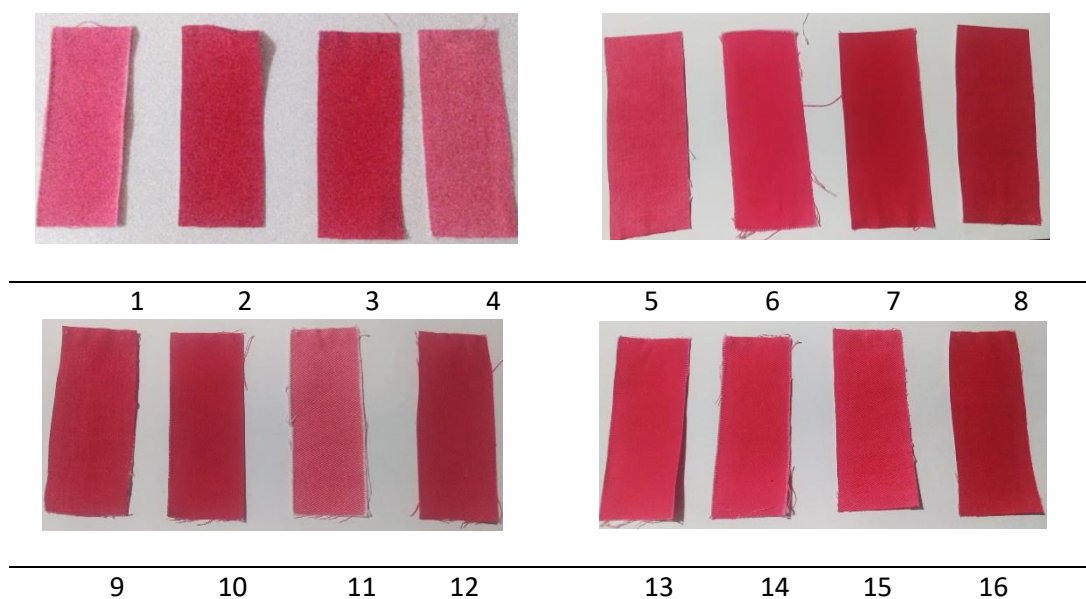


Tabla 17. Degradación de color tras lavado

REFERENCIA	Cambio de color	Transferencia de color					
		Acetato	Algodón	Poliamida	Poliéster	Acrílico	Lana
1	4	4/5	4/5	4/5	3-4	4/5	4/5
2	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
3	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
4	4	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
6	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
7	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
8	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
9	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
10	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
11	4	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
12	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
13	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
14	4	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
15	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
16	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Tabla 18. Resultados solidez al lavado

Si se analizan los resultados obtenidos, se observa que se produce una mayor **degradación del color** en los tejidos **1 (Impreg - 150 g/L PAC ,10 g/l)**, **11 (Rasq - 75 g/L rPVB 10 g/l pig.)**, **4 (Rasq - 75 g/L PAC 10 g/l pig.)** y **14 (Impreg - 75 g/L rPVB 10 g/l pig.)**. Con respecto a la **descarga de color**, destacar que de nuevo las referencias **1 y 11** son las que peores resultados muestran, en el caso 1 en **Poliéster** y en el caso 11 la **Poliamida**.

Por otro lado, si se analizan las aguas residuales obtenidas de cada uno de los procesos, se observa una mayor intensidad de color en los baños con un índice de solidez inferior. A simple vista, se puede observar que los tejidos coloreados utilizando resina PAC como agente ligante, han tenido mayor descarga de color en las aguas que los tejidos coloreados con rPVB. En concreto, han aportado peores resultados los casos referenciados como **1 (Impreg - 150 g/L resina PAC 10 g/l pig.)** **6 (Impreg - 150 g/L PAC 50 g/l pig.)**, **7 (mpreg - 75 g/L PAC 10 g/l pig.)** y **10 (Impreg - 300 g/L rPVB 50 g/l pig.)**.

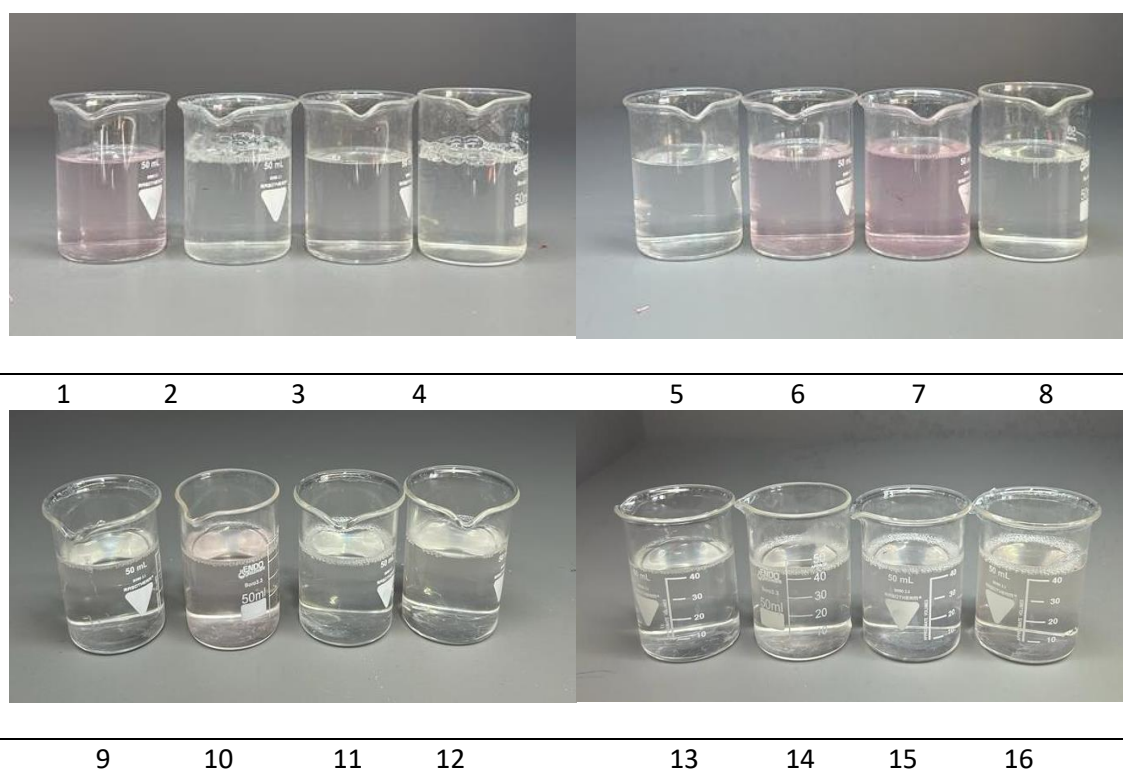


Figura 30. Aguas residuales tras ensayo de lavado

#### ❖ SOLIDEZ AL FROTE

La valoración de la solidez al frote se realizó tal como se expuso anteriormente, utilizando la escala de grises normalizada siendo los resultados obtenidos los que se recogen en la siguiente tabla:

Referencia	Descarga en Seco (U)	Degradación en seco (U)	Descarga húmedo (U)	Degradación húmedo (U)
1	4	4	4	4
2	4	4/5	4	4/5

3	4/5	4/5	4	4/5
4	4/5	5	5	5
5	4	4/5	4/5	4/5
6	4	4/5	4	4/5
7	4	4/5	4	4
8	4/5	5	4/5	5
9	4/5	5	4	4/5
10	4/5	4/5	4	4
11	4/5	5	4/5	5
12	4/5	4/5	4	4/5
13	4/5	5	4/5	5
14	4/5	5	4/5	4
15	4/5	5	4/5	5
16	4	4/5	4	4/5

Figura 31. Valoración solidez al frote de tejidos ensayados en urdimbre

Referencia	Descarga en Seco (T)	Degradación en seco (T)	Descarga húmedo (T)	Degradación húmedo (T)
1	4/5	4/5	4	4
2	4/5	4/5	4	4
3	4	4/5	4/5	4/5
4	4/5	4/5	4/5	5
5	4	4/5	4/5	4/5
6	4	4	4	4
7	4	4	4	4
8	4/5	5	4/5	5
9	4/5	5	4	4/5
10	4/5	4/5	4	4
11	4	4/5	4	4/5
12	4/5	4/5	4	4/5
13	4/5	5	4/5	5
14	4/5	5	4/5	4/5
15	4/5	5	4/5	4/5
16	4	4/5	4	4/5

Figura 32. Valoración solidez al frote de tejidos ensayados en trama

Analizando los mismos, se observa que los **peores resultados** obtenidos corresponde de nuevo a las muestras **1, 6 y 7** (ya mencionadas) **y 16 correspondientes a (Rasq - 150 g/L rPVB 50 g/l pig.)**.

#### ❖ RESISTENCIA AL PILLING

Como se mencionó en el apartado anterior, el método de ensayo consistió en hacer friccionar tejido contra tejido mediante el equipo Martindale, evaluando la formación de pilling, velloidad y enredos, durante diferentes ciclos impuestos según norma. Los resultados obtenidos se muestran seguidamente.

Destacar que al ser una prueba de mayor duración, únicamente se ensayaron algunos de los tejidos que mejores y peor resultados estaban reportando, para poder determinar diferentes conclusiones.

REF. <u>12</u>	PILLING	VELLOS.	ENREDOS
125 ciclos	5	5	5
500 ciclos	5	4/5	5
1000 ciclos	5	4/5	5
2000 ciclos	5	4/5	5
5000 ciclos	4/5	4	5

REF. <u>15</u>	PILLING	VELLOS.	ENREDOS
125 ciclos	5	4/5	5
500 ciclos	5	4/5	5
1000 ciclos	5	4/5	5
2000 ciclos	4/5	4	5
5000 ciclos	4/5	4	5

REF. <u>16</u>	PILLING	VELLOS.	ENREDOS
125 ciclos	5	4/5	5
500 ciclos	5	4/5	5
1000 ciclos	5	4/5	5
2000 ciclos	5	4	5
5000 ciclos	4/5	4	5

REF. <u>14</u>	PILLING	VELLOS.	ENREDOS
125 ciclos	5	5	5
500 ciclos	5	4/5	5
1000 ciclos	5	4/5	5
2000 ciclos	5	4/5	5
5000 ciclos	4/5	4	5

REF. <u>7</u>	PILLING	VELLOS.	ENREDOS
125 ciclos	5	4/5	5
500 ciclos	5	4/5	5
1000 ciclos	5	4	5
2000 ciclos	4/5	4	5
5000 ciclos	4/5	4	5

REF. <u>6</u>	PILLING	VELLOS.	ENREDOS
125 ciclos	4/5	4/5	5
500 ciclos	4/5	4/5	5
1000 ciclos	4	4	5
2000 ciclos	4	4	5
5000 ciclos	4	4/3	5

REF. <u>8</u>	PILLING	VELLOS.	ENREDOS
125 ciclos	4/5	4/5	5
500 ciclos	4/5	4/5	5
1000 ciclos	4	4	5
2000 ciclos	4	4	5
5000 ciclos	4	4/3	5

REF. <u>3</u>	PILLING	VELLOS.	ENREDOS
125 ciclos	4/5	5	5
500 ciclos	4	5	5
1000 ciclos	4	4/5	5
2000 ciclos	4	4/5	5
5000 ciclos	4	4/5	5

Tabla 19. Resultados evaluación resistencia al pilling en Martindale

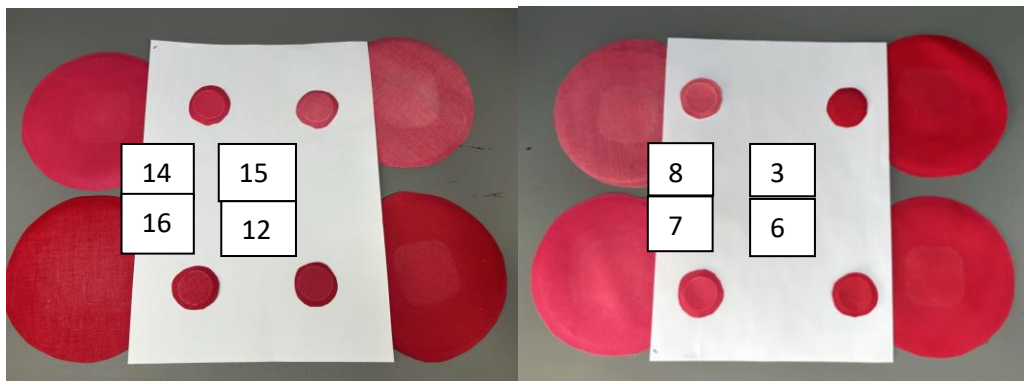


Figura 33. Resultados valoración tejidos ensayados en Martindale

Analizando dichos resultados se observa que, de nuevo, los tejidos tintados con rPVB, presentan mejores resultados que aquellos tratados con resina acrílica. Además, a medida que se aumenta la concentración de resina, se observa un pilling más pronunciado. En este caso, dicho resultado es bastante significativo ya que una de las problemáticas que presentan las resinas acrílicas es la tendencia a la formación de pilling. Con lo cual, se podría considerar que con la utilización de rPVB, se puede conseguir una mayor calidad de tejido.

#### ❖ SOLIDEZ A LA LUZ

Una vez finalizado el ensayo de solidez a la luz, los tejidos fueron evaluados según la escala de azules que se muestra seguidamente. La cual, también fue ensayada durante el proceso para poder comparar el efecto de la luz sobre cada una de las franjas que la constituyen, con respecto a los tejidos.

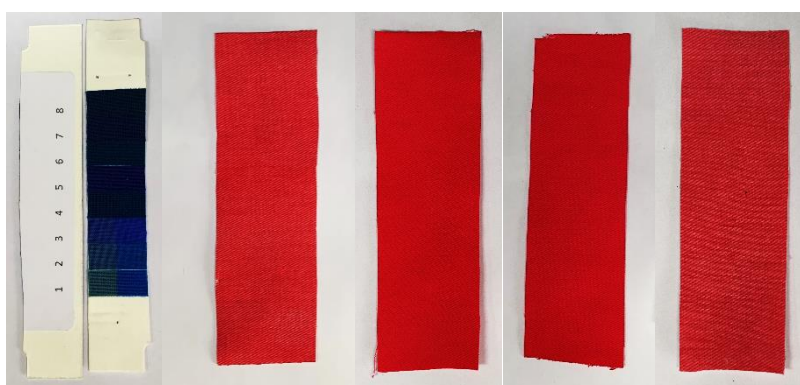


Figura 34. Rasq. rPVB/PAC 75 g/l -10 g/l pig; Impreg. rPVB/PAC 75g/l- /10 g/l pig



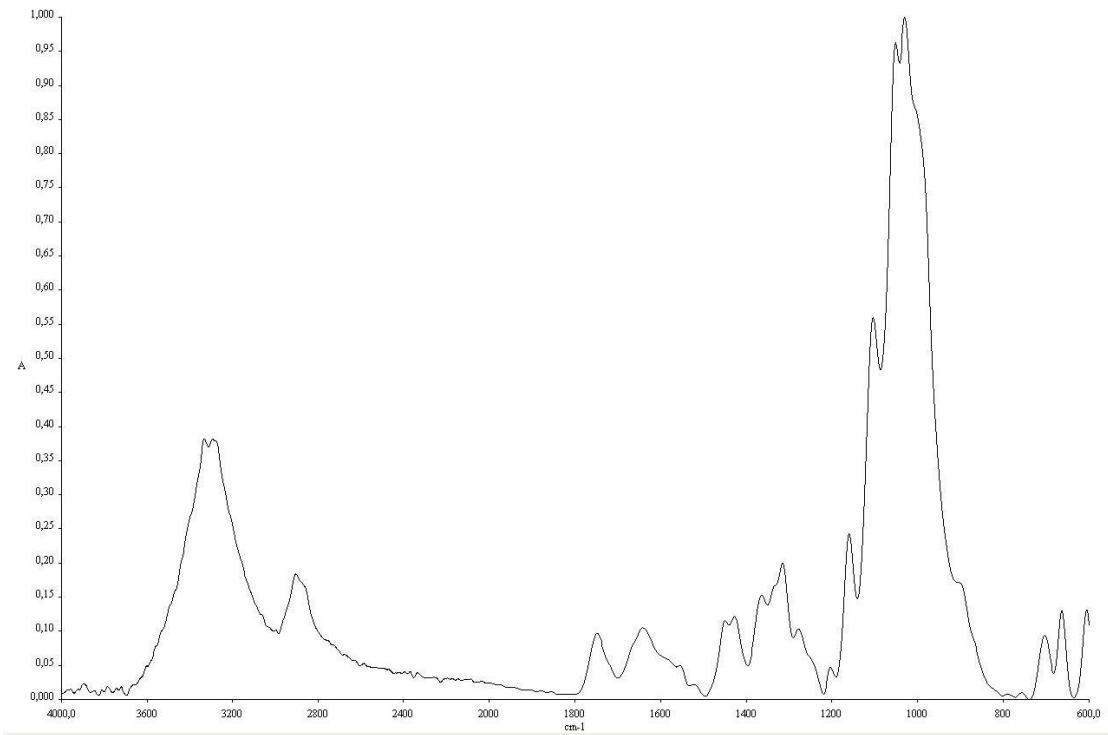
Figura 35. Rasq. rPVB/PAC 150 g/l -10 g/l pig; Impreg. rPVB/PAC 150g/l- 10 g/l pig

Destacar que tras las 24 h de ensayo, no se observó ningún deterioro del color a consecuencia de su exposición a la luz por lo que la evaluación de los tejidos fue de grado 8. Resaltar también que se decidió probar las muestras que mejor y peor resultados estaban reportando. Al ser una prueba de larga duración, teniendo en cuenta las propiedades de resistencia a los rayos UV de las resinas estudiadas en el estado del arte y, al observar que con tanto con 75 g/l y 150 g/L de resina se conseguían buenos resultados, se decidió no ensayar las muestras con una concentración mayor de producto.

## ❖ ANÁLISIS FTIR

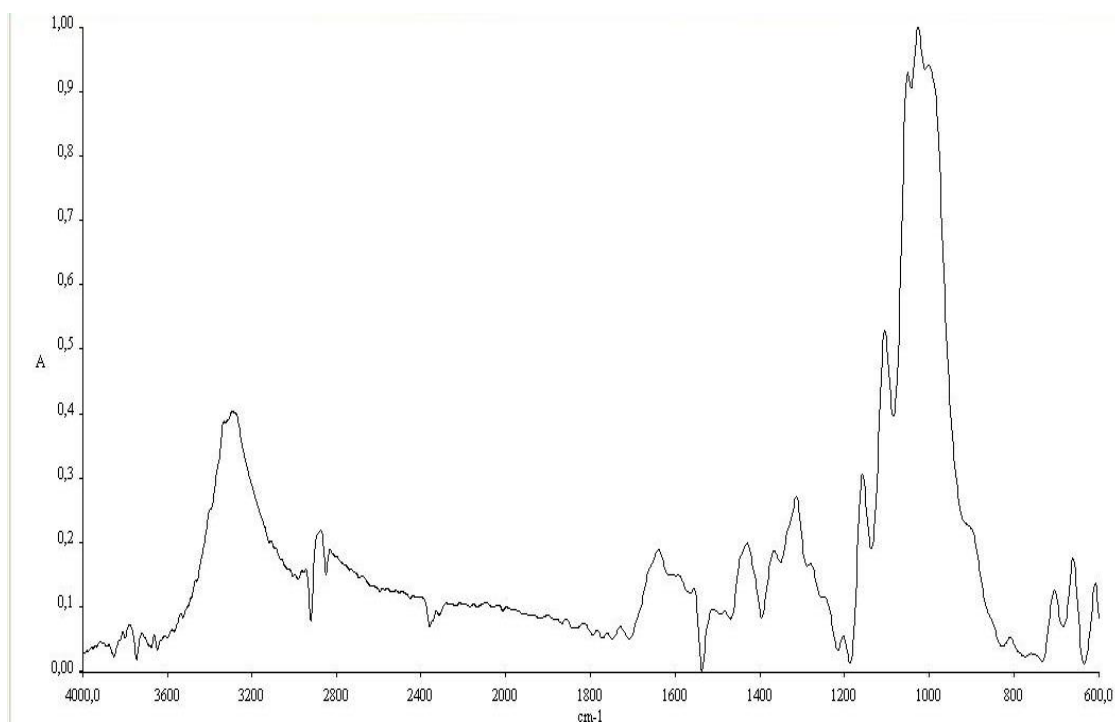
Los resultados del análisis FTIR, evaluando tejidos tintados y estampados con las dos resinas objeto de estudio, (PAC y rPVB), se detallan seguidamente:

Figura 36. Tejido estampado con rasqueta 150 g/l de rPVB y 10 g/l de pigmento



El espectro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) del butiral de polivinilo reciclado muestra picos típicos atribuidos al PVA, con bandas de vibración estiradas por OH en torno a  $3320\text{ cm}^{-1}$ , un pico un poco más ancho de lo común, desviándose de su valor normal ( $3600\text{ cm}^{-1}$ ). Además, se pueden observar algunos picos derivados de la presencia de funciones acetálicas (en la región entre  $1050$  y  $1150\text{ cm}^{-1}$ ). [9]

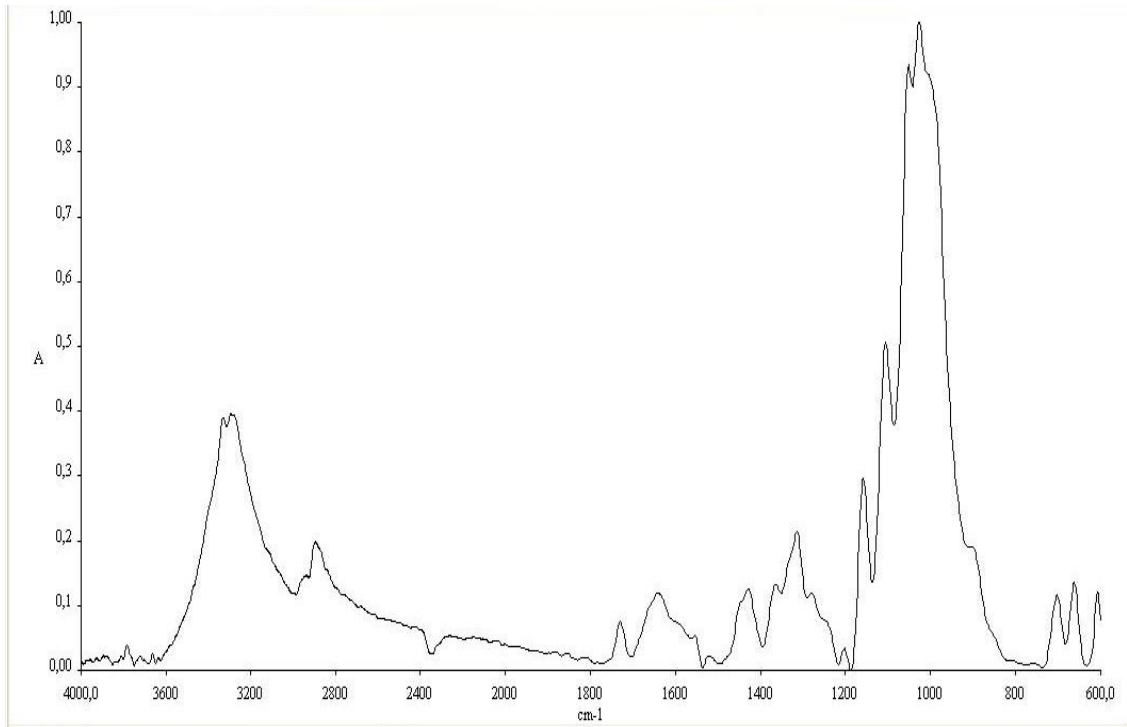
Figura 37. Tejido **tintado por impregnación** con 150 g/l de rPVB y 10 g/l de pigmento



Analizando este segundo espectro FTIR, destacar que de nuevo se aprecian los picos correspondientes al PVA, con bandas en torno a  $3320\text{ cm}^{-1}$ . Además, se pueden observar algunos los picos derivados de la presencia de funciones acetálicas (en la región entre  $1050$  y  $1150\text{ cm}^{-1}$ ) La banda a  $2900\text{ cm}^{-1}$  se debe a la presencia de alcanos alifáticos, la cual, en el caso de los tejidos estampados se encuentra solapada por la presencia de otros compuestos. [9]

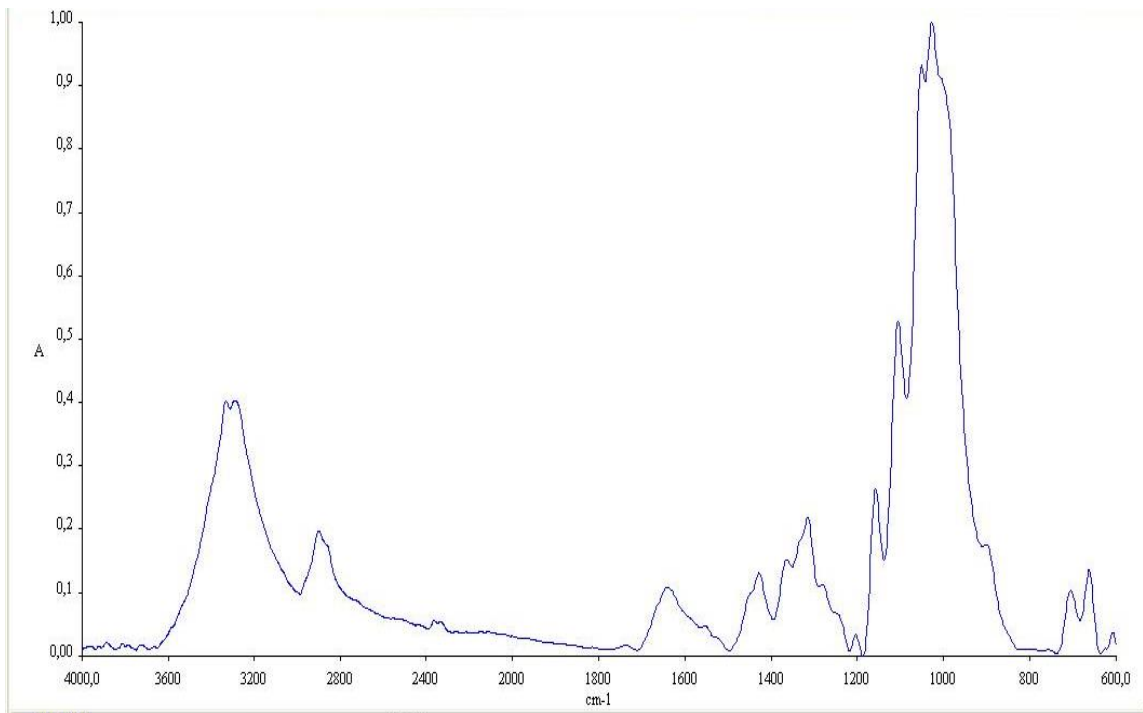
Si se analizan los espectros obtenidos de manera general, se puede observar una estructura diferente en el caso del tejido impregnado y estampado. Esto se debe a que en el caso de la estampación, se utiliza un agente espesante para incrementar la viscosidad de la pasta, el cual, también tiene grupos funcionales que absorben la luz del infrarrojo y por tanto aparecen representados.

Figura 38. *Tejido tintado por impregnación con 150 g/l de PAC y 10 g/l de pigmento.*



En el espectro FTIR de resina acrílica, aparecen dos picos de absorción principales, el grupo metacrilato aparece aproximadamente a  $1650\text{ cm}^{-1}$  y el pico de absorción de  $\text{C}=\text{O}$  del grupo éster carbonílico a  $1700\text{ cm}^{-1}$ . La banda vibracional observada entre  $3000\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$  se asocia al estiramiento C-H de los grupos alquilo. [26,28]

Figura 39. *Tejido estampado con 150 g/l de PAC y 10 g/l de pigmento*





Analizando este nuevo espectro, de nuevo aparecen los picos de absorción principales, relativos al grupo metacrilato ( $1650\text{ cm}^{-1}$ ) y al grupo éster carbonílico ( $1700\text{ cm}^{-1}$ ). Así como la banda vibracional referente a los grupos alquilo ( $3000\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$ ). [26,27,28] Destacar que ocurre lo mismo que en el análisis del rPVB, observando espectros con algunas variaciones en el caso del tejido estampado a consecuencia del agente espesante.

## 7. CONCLUSIONES

Llegados a este punto del proyecto, se podría decir que el desarrollo de la investigación se ha llevado a cabo con éxito, ya que se han conseguido obtener resultados satisfactorios acerca de la viabilidad del uso del rPVB en procesos textiles.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, **destacar que la degradación y descarga de color en los tejidos coloreados con una concentración de 75 g/l de PAC y rPVB, no ha reportado buenos resultados**, redirigiendo ello a concluir que se trata de una concentración de trabajo inferior a la óptima.

Trabajando **con concentraciones de 150 g/l de rPVB y 10 g/l de pigm, se han obtenido mejores resultados que con resina PAC**, pudiendo considerar por ello, que son unas concentraciones de trabajo adecuadas. **Lo mismo ocurre en relación con las concentraciones de 300 g/l y 50 g/l de resina y pigmento**. De esta forma, se podría afirmar que el rPVB ofrece mejores resultados que la resina acrílica, y que dichas condiciones de trabajo son susceptibles de ser elegidas en función de la intensidad de color buscada. Del mismo modo, destacar que las aguas residuales derivadas del proceso de lavado de los tejidos coloreados con resina acrílica han resultado coloreadas con mayor intensidad con respecto a las derivadas de rPVB. Lo cual, es un importante aspecto a tener en cuenta ya que a nivel industrial supondría el vertido de aguas residuales con compuestos sintéticos de origen petroquímico, los cuales son contaminantes.

Por otro lado, destacar que comparando los resultados derivados de los procesos seguidos, (impregnación por foulard y estampación con rasqueta), se han obtenido mejores solideces en el caso de los tejidos estampados.

**Con respecto a la resistencia al pilling de los tejidos, de nuevo, la calidad se ha visto mejorada en el caso del uso de resina de rPVB**, lo cual es un aspecto importante a tener en cuenta ya que dependiendo de la prenda a la que esté destinado el tejido, no será recomendado el uso de tejidos tintados con PAC, por la aparición de pilling y vellosidades. Matizar también que la resistencia de ambas resinas a la degradación de la luz es semejante, no habiéndose visto afectada en ninguno de los casos.

Resaltar también que se ha utilizado de un pigmento rojo sintético cuyo uso resulta controversial ya que a menudo presenta desafíos especiales en comparación con otros colores debido a sus características químicas y físicas. Muchos pigmentos rojos son inherentemente menos opacos que otros colores, lo que significa que permiten que la luz pase a través de ellos en mayor medida. O, para obtener mayor intensidad se muelen a un tamaño de partícula muy fino, siendo frecuente la aparición de problemas de dispersión. Además, suelen ser sensibles al pH y pueden cambiar de color o volverse menos estables en medios ácidos o alcalinos, entre otras limitaciones.

Por todo ello, **se puede concluir que el resultado de la investigación ha sido satisfactorio considerando que la valorización del rPVB reciclado en la industria textil puede ofrecer una alternativa viable al uso de resinas de origen petroquímico.** Favoreciendo ello el uso de materias primas alternativas, la economía circular y la implantación de nuevos productos y procesos más sostenibles.

## 8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Como futuras posibles líneas de investigación a desarrollar, se propone acotar el estudio a la utilización de resina de rPVB, modificando el pigmento en uso y apostando por pigmentos de origen natural y/o reciclado. El motivo de ello es la necesidad de combatir la contaminación asociada a la industria textil y, más concretamente, a los procesos de coloración textil.

Principalmente esta nueva línea de investigación permitiría la consecución de un nivel más elevado de protección medioambiental que el exigido por la normativa vigente en lo que se refiere a colorantes sintéticos y la contaminación que estos producen respecto a emisiones de CO<sub>2</sub> y carga contaminante en aguas residuales, puesto que una gran mayoría de los colorantes sintéticos están aceptados en el mercado y su utilización no se cuestiona, siendo estos aceptados por la normativa vigente (REACH...). Caracterizándose este tipo de colorantes (colorantes sintéticos) por ser colorantes que provienen del petróleo (fuente contaminante y agotable/no renovable), lo que hace necesaria su sustitución por colorantes de menor impacto ambiental tanto en lo que se refiere a la obtención, como en la utilización. Y además, ante la necesidad de cubrir la demanda de productos sostenibles que genera una sociedad cada vez más preocupada por el medioambiente y el consumo sostenible.

Extendiendo aún más el campo de investigación, pero bajo el mismo fundamento, (redirigir la industria hacia una mayor sostenibilidad), cabría destacar la posibilidad de continuar haciendo una comparativa entre las resinas en estudio PAC y rPVB, en otros campos donde sea frecuente el uso de resinas acrílicas. De esta forma, se podría estudiar el proceso de flocado, donde se utilizan este tipo de resinas para proporcionar adhesión a las fibras o sustancias que se aplican sobre una superficie. O, de igual modo, llevar a cabo un proceso de laminado textil donde es frecuente el uso de las resinas acrílicas para la unión de diferentes capas textiles, proporcionando resistencia, durabilidad y otras características deseables. Así, se podría estudiar y optimizar el rPVB en el laminado textil, ya que aunque existen algunas investigaciones al respecto, no se han alcanzado resultados representativos.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

[1] Swain, B. Park, J. R. Shin, D. Y. Park, K. Hong, M. H. Lee, C. G. Recycling of waste automotive laminated glass and valorization of polyvinyl butyral through mechanochemical separation, *Environmental Research*, Volume 142, 2015, Pages 615-623, ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.08.017>.

- [2] EUROSTAT- End of life vehicles: reuse, recycling and recovery, total. [Consulta online el 01/09/2023]. (Disponible en: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env\\_waselvt/default/bar?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_waselvt/default/bar?lang=en)).
- [3] Información sobre proceso de reciclado de vehículos. [Consulta online el 01/09/2023]. (Disponible en: <https://www.sigrauto.com/que-tratamiento-se-le-da-a-mi-vehiculo>).
- [4] Vehículos fuera de uso – Recogida de residuos por fracciones. [Consulta online el 01/09/2023]. (Disponible en: <https://www.mostoles.es/es/ayuntamiento/ayuntamiento/estructura-gobierno/concejalía-seguridad-emergencias-movilidad-medio-ambiente/menu-concejalía/gestion-residuos/recogida-residuos-fracciones/vehiculos-uso>).
- [5] Šooš, L.; Matúš, M.; Pokusová, M.; Čáčko, V.; Bábits, J. The Recycling of Waste Laminated Glass through Decomposition Technologies. *Recycling* 2021, 6, 26. <https://doi.org/10.3390/recycling6020026>
- [6] Tupý, J. Císař, P. Mokrejš, D. Měřínská y A. Tesaříková-Svobodová, «Comparison of Processing Conditions for Plasticized PVC and PVB,», *Engineering and Technology*, vol. 9, nº 5, 2015.
- [7] Tupý, a. Měřínská, P. Svoboda, A. Kalendová, A. Klásek y Josef Zvoniček, «Effect of water and acid–base reactants on adhesive properties of various plasticized poly(vinyl butyral) sheets,» *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 127, nº 5, 2013.
- [8] Luan, W., Sun, L., Zeng, Z., & Xue, W. (2023). Optimization of a polyvinyl butyral synthesis process based on response surface methodology and artificial neural network. *RSC Advances*, 13(11), 7682-7693. <https://doi.org/10.1039/d2ra08099k>
- [9] Carrot, C. Bendaoud, A., Pillon. C., 22 December 2015, *Polyvinyl butyral from: CRC Press Thermoplastics Handbook*
- [10] Dhaliwal A. y Hay, J. «The characterization of polyvinyl butyral by thermal analysis,» *Thermochemica Acta*, vol. 391, pp. 245-255, 2002.
- [11] C. E. C. Jr., Seymour/Carraher's Polymer Chemistry: Sixth Edition, vol. 6, 2003.
- [12] Kumar, P. & Kumar, D. (2016). POLYVINYL BUTYRAL (PVB), VERSETILE TEMPLATE FOR DESIGNING NANOCOMPOSITE/COMPOSITE MATERIALS: A REVIEW. *Green Chemistry & Technology Letters*. 2. 185. [10.18510/gctl.2016.244](https://doi.org/10.18510/gctl.2016.244).
- [13] Grethe, T. Schwarz-Pfeiffer, A. Graßmann, C. Engelhardt, E. Feld, S. Guo, F. Vrieze, M. Y Mahltig, B. (2018). Polyvinylbutyral (PVB) coatings for optical modification of textile substrates.
- [14] Yalcinkaya, F, Komared, M, "Hilos cubiertos de nanofibras/nanopartículas de polivinilbutiral (PVB) para superficies textiles antibacterianas". En t. *J. Mol. Ciencia.* , 20 4317 (2019)
- [15] Brendgen, R., Graßmann, C., Grethe, T. et al. Coatings with recycled polyvinyl butyral on polyester and polyamide mono- and multifilament yarns. *J Coat Technol Res* 18, 819–829 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11998-020-00445-x>
- [16] (PDF) Impacto sinérgico de nanocristales de celulosa con múltiples resinas en el comportamiento térmico y mecánico. Available from:

[https://www.researchgate.net/publication/345495990\\_Synergistic\\_impact\\_of\\_cellulose\\_nano\\_crystals\\_with\\_multiple\\_resins\\_on\\_thermal\\_and\\_mechanical\\_behavior](https://www.researchgate.net/publication/345495990_Synergistic_impact_of_cellulose_nano_crystals_with_multiple_resins_on_thermal_and_mechanical_behavior)

[17] Technical Abstracts, United States. Office of the Quartermaster General. Military Planning Division, 11 (1943) 594

[18] Babers, FH, "Sealing of Seams and Hydrostatic Test Requirements in Specifications." Technical Report 67-89-CM, Clothing and Organic Materials Laboratory US Army, Natick, Massachusetts, 1967

[19] Chen, L, Ma, J, Yan L, Zhou, M, "Flame-Retardant Antibacterial Coating for Textile Fabric." Patent CN000105421064A, 2016

[20] KR 20130117454 A - Bonding textile using recyclable polyvinyl butyral resin, and bonding method and apparatus therefor the lens - Free & open patent and scholarly search. (s. f.). The Lens - Free & Open Patent and Scholarly Search. <https://www.lens.org/lens/patent/112-024-887-473-228/frontpage?l=en>

[21] US 2005/0249912 A1 - Floor covering containing polyvinyl butyral and Method of making Same The Lens - Free & open patent and Scholarly search. (s. f.). The Lens - Free & Open Patent and Scholarly Search. <https://www.lens.org/lens/patent/102-545-178-232-027/frontpage?l=en>

[22] WO 2021/245261 A1 - Decorative panel, and decorative floor covering consisting of said panels The Lens - Free & open patent and scholarly search. (s. f.). The Lens - Free & Open Patent and Scholarly Search. <https://www.lens.org/lens/patent/040-617-768-100-449/frontpage?l=en>

[23] CN116285180A - RPVB Composite Particle, Preparation Method and Fabric prepared from RPVB Composite Particle - Google Patents. [https://patents.google.com/patent/CN116285180A/en?q=\(rpbv+use+in+textile\)&oq=rpbv+use+in+textile](https://patents.google.com/patent/CN116285180A/en?q=(rpbv+use+in+textile)&oq=rpbv+use+in+textile)

[24] Explore el conocimiento científico y tecnológico global- The lens.org. [Consulta online el 04/11/2023]. (Disponible en: <https://www.lens.org/>)

[25] EP 2 308 919 A1 – POLYVINYL BUTYRAK RECYCLING METHOD- European Patentent OFFICE. <https://data.epo.org/publication-server/document?iDocId=3901569&iFormat=0>

[26] Ajekwene K., K., Properties and Applications of Acrylates- Acrylate Polymers for Advanced Applications, 2020. ISBN: 978-1-78985-184-7DOI: 10.5772/intechopen.89867

[27] POLYACRILATES- Polymerdatabase.com. (Consulta online el 01/11/2023). [ Disponible en : <https://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Polyacrylate%20type.html>

[28] Costa-Torres, L. López-Marín, L. Nuñez, R. & Hernandez-Padron, G. & Castaño, V. (2011). Biocompatible Metal-Oxide Nanoparticles: Nanotechnology Improvement of Conventional Prosthetic Acrylic Resins. Journal of Nanomaterials. 2011. 10.1155/2011/941561.