



DTY yarns

**INVESTIGACIÓN DEL EFECTO DEL PROCESO DE
TEXTURIZADO POR FALSA TORSIÓN EN LAS
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS
FIBRAS SINTÉTICAS POR MELT SPINNING**



ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	FICHA TÉCNICA DEL PROYECTO.....	4
2.	ANTECEDENTES Y MOTIVACIONES.....	6
3.	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	13
4.	PLAN DE TRABAJO	15
5.	RESULTADOS OBTENIDOS	32
6.	TRANSFERENCIA A EMPRESAS.....	45
7.	COLABORADORES EXTERNOS DESTACADOS	48



GENERALITAT
VALENCIANA

TOTS
A UNA
veu

IVACE
INSTITUT VALENCIÀ DE
COMPETITIVITAT EMPRESARIAL



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional
Una manera de hacer Europa

*Proyecto cofinanciado por los Fondos FEDER,
dentro del Programa Operativo FEDER
de la Comunitat Valenciana 2014 - 2020*

Este proyecto cuenta con el apoyo de la Conselleria d'Economia Sostenible, Sectors Productius, Comerç i Treball de la Generalitat Valenciana, a través del IVACE, y está cofinanciado por los fondos FEDER de la UE, dentro del Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana 2014-2020.

1.FICHA TÉCNICA DEL PROYECTO



GENERALITAT
VALENCIANA

TOTS
A UNA
veu

IVACE
INSTITUT VALENCIÀ DE
COMPETITIVITAT EMPRESARIAL

UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional
Una manera de hacer Europa

"Proyecto cofinanciado por los Fondos FEDER,
dentro del Programa Operativo FEDER
de la Comunitat Valenciana 2014 - 2020"

Este proyecto cuenta con el apoyo de la Conselleria d'Economia Sostenible, Sectors Productius, Comerç i Treball de la Generalitat Valenciana, a través del IVACE, y está cofinanciado por los fondos FEDER de la UE, dentro del Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana 2014-2020.

Nº EXPEDIENTE	IMDEEA/2017/67
TÍTULO COMPLETO	INVESTIGACIÓN DEL EFECTO DEL PROCESO DE TEXTURIZADO POR FALSA TORSIÓN EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS FIBRAS SINTÉTICAS POR MELT SPINNING
PROGRAMA	
ANUALIDAD	
PARTICIPANTES	(SI PROCEDE)
COORDINADOR	(SI PROCEDE)
ENTIDADES FINANCIADORAS	IVACE – INSTITUT VALENCIÀ DE COMPETITIVITAT EMPRESARIAL www.ivace.es FONDOS FEDER – PROGRAMA OPERATIVO FEDER DE LA COMUNITAT VALENCIANA 2014-2020
ENTIDAD SOLICITANTE	AITEX
C.I.F.	G03182870

Este proyecto cuenta con el apoyo de la Conselleria d'Economia Sostenible, Sectors Productius i Treball, a través de IVACE (Institut Valencià de Competitivitat Empresarial) y está cofinanciado por los fondos FEDER de la UE, dentro del Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana 2014-2020.



GENERALITAT
VALENCIANA

TOTS
A UNA
veu

IVACE
INSTITUT VALENCIÀ DE
COMPETITIVITAT EMPRESARIAL

UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional
Una manera de hacer Europa

"Proyecto cofinanciado por los Fondos FEDER,
dentro del Programa Operativo FEDER
de la Comunitat Valenciana 2014 - 2020"

2. ANTECEDENTES Y MOTIVACIONES

PROCESO DE TEXTURIZADO POR FALSA TORSIÓN/FRICCIÓN

El principio de esta técnica se centra en la torsión del filamento a altas velocidades provocada por la fricción que ejercen los discos sobre la fibra. Mediante la trayectoria del hilo después de traspasar la zona de calentamiento donde la fibra ha sido ablandada y posteriormente enfriada ligeramente por encima de la temperatura de transición vítrea (T_g), la torsión es transmitida y fijada en la estructura molecular de la fibra. En la zona de texturización se aplica al hilo una torsión en un sentido, llamado S, proporcionado por el primer disco, y una torsión en sentido inverso, llamado Z. En principio la torsión final obtenida es cero, sin embargo, como la torsión inicial ha sido fijada térmicamente, el hilo final será más voluminoso y elástico que antes de empezar en el proceso de texturización.

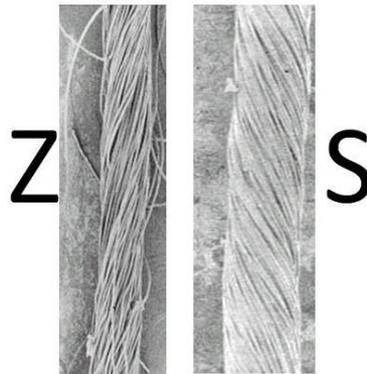


Figura 1. Imagen SEM de fibras en sentido S y Z, extraída de <http://www.tikp.co.uk/knowledge/technology/texturing/>

Durante el proceso de falsa torsión, el hilo pasa sobre una serie de zonas, donde cada una de ellas ejerce una función para obtener el producto final:

1. Una zona de entrada, donde el hilo pre orientado es tomado desde una bobina inicial y pasa sobre dos líneas de rodillos, unos son destinados a la alimentación y los otros para proporcionar un pretensado en los hilos de entrega. El efecto principal de este paso es el de darle una pequeña tensión para controlar el hilo.

Ajustes de la primera etapa:

2. Una zona fría, donde el hilo es torsionado inicialmente a la salida de los rollos de entrega.
3. Una zona caliente u horno, donde el hilo se calienta y se tuerce con mayor fuerza.
4. Una zona de enfriamiento.
5. Husillos de falsa torsión, formado por unos discos que giran en diferente sentido para darle torsión al hilo en S y en Z.

Ajustes de la segunda etapa donde se fija la torsión con baja tensión:

6. Zona post-husillo, el hilo se dirige a unos rodillos de recogida y terminación.
7. Un segundo horno (opcional).
8. Una zona de enfriamiento donde el hilo es recogido y terminado.

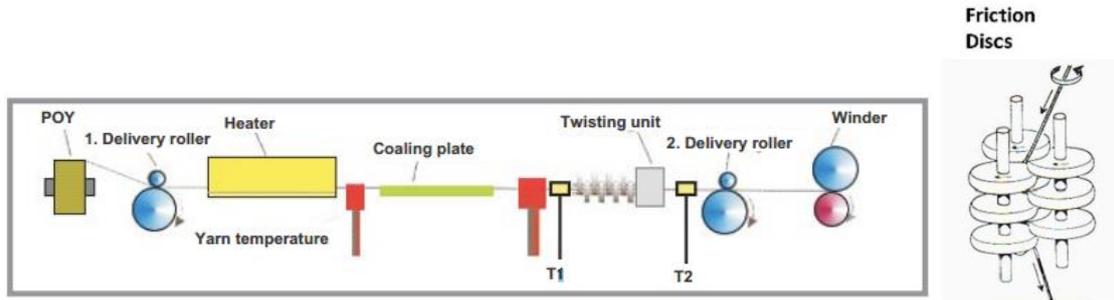


Figura 2. Esquema de un proceso por falsa torsión y discos de fricción utilizados

El proceso de falsa torsión consiste en aplicar una alta torsión a los filamentos previamente calentados en un horno, esta torsión se fija en el interior de su estructura molecular por efecto del calentamiento y posterior enfriamiento. A continuación, se procede a la destorsión de los filamentos con lo cual adquieren una configuración helicoidal con diámetros variables además de cierto volumen y capacidad de extenderse.

Los filamentos tendrán la tendencia a regresar a un nivel de energía con su configuración helicoidal cuando no estén tensados y, de esta manera, el hilo tendrá una estructura voluminosa. Esta extensibilidad limitada del hilo texturizado, corresponde a las características del proceso de falsa torsión, también denominado stretch, lo que aporta unas ventajas para ciertas aplicaciones. También existe una variación del proceso en la que se añade un segundo horno en el que se vuelven a calentar las fibras para fijarlas. Las fibras obtenidas en este segundo proceso no presentan tanta elasticidad como las del stretch, debido a ello, estos hilos son llamados set.

Los hilos generados por falsa torsión tienen una tendencia a compensar su torque interno formando marañas de hilos, lo cual dificulta su manipulación para la formación de tejidos, es por ello que es necesario la eliminación del torque residual de los hilos. Para ello existen diversos métodos, entre ellos un segundo tratamiento térmico, como ya hemos comentado, sin embargo, también puede eliminarse el torque mediante vapor en una autoclave o mediante un jet de aire. El vapor en autoclave es una opción más económica que la del jet de aire, pero presenta el inconveniente de que los hilos pierden elasticidad y volumen, mientras que, con el jet de aire, se aplica una presión con aire comprimido entre 0.4 y 1.5 bares a los hilos de forma que se elimina el torque residual al mismo tiempo que se conserva la texturización de los hilos obtenida anteriormente.

Estructura química de la fibra

En aquellos métodos en los que interviene la temperatura para texturizar hilos, conllevarán cambios en la estructura molecular y consiguientemente en la estructura cristalina del polímero, sin embargo, esto no ocurre con la texturización por aire (Taslan). El poliéster PES (polietileno de tereftalato) generalmente usado en la síntesis de fibras, contiene secuencias de grupos alifáticos inertes (CO-O-CH₂-CH₂-O-CO-), los cuales se enlazan con otras moléculas mediante fuerzas débiles de Van Der Waals. Estas secuencias se combinan con anillos de benceno, los cuales le dan rigidez a la molécula y generan interacciones electrónicas fuertes con las moléculas vecinas. Es la combinación de grupos inertes flexibles y los grupos rígidos activos la que confiere al PES características excelentes para ser usado en textiles. Las unidades poliméricas repetitivas proporcionan una fuerte tendencia a formar cristales perfectos.

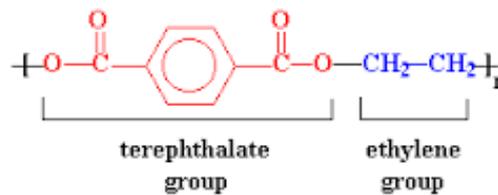


Figura 3 Estructura química del PET

El PES estirado posee una cristalinidad del 50%, lo cual quiere decir que su estructura interna se encuentra a mitad camino de ser entre un sólido cristalino y un sólido amorfo. Los primeros son aquellos que sus cadenas están ordenadas, en cambio, las cadenas de los sólidos amorfos presentan un elevado grado de desorden. Con tal de conseguir ese grado de cristalinidad es necesario un empaquetamiento ordenado de las moléculas/cristales. Los cristales poseen forma de bloque y se empaquetan en pseudo-fibrillas. Al final del cristal, algunas cadenas poliméricas giran 90° grados y se pliegan sobre la anterior, y otras flectan para formar lazos-moléculas, dando lugar a regiones amorfas entre regiones cristalinas vecinas. Las fibras se orientan generalmente a lo largo de su dirección axial, limitado por la severidad del proceso de estiramiento. El estiramiento proporciona orientación de las moléculas y con ello aumenta la cristalinidad de la fibra, aunque la orientación de las zonas amorfas es menor debido a que su orientación varía y se desvía del eje.

Si se usa como materia prima una fibra altamente orientada (fibras estiradas) para el proceso de texturización, la estructura cristalina ya habrá sido estabilizada y solo ocurrirán cambios menores al calentar la fibra. Sin embargo, al utilizar una fibra parcialmente orientada (También llamada POY, por sus siglas en inglés Partially Oriented Fibers) ya que el polyester poco orientado es amorfo (Low Oriented Fibers o LOY), el proceso de estiraje combinado con el texturizado dará lugar a una mayor reorganización de la estructura polimérica.

Texturizado por encima de la T_g , fijado de la forma.

A efectos prácticos, el proceso de texturización consiste en realizar el texturizado a una temperatura ligeramente superior a la T_g , las fibras se fijarán con la forma marcada por el tratamiento a medida que la temperatura baja y, por tanto, las fibras se enfrían por debajo de la T_g . En el caso de que no hubiese cambios en la estructura molecular de la fibra, el efecto podría revertirse mediante el calentamiento de las fibras a temperaturas superiores a la temperatura de transición vítrea en un estado libre de tensión o estrés.

En el poliéster PET, por debajo de la temperatura de transición vítrea (T_g), los bencenos presentan interacciones electrostáticas entre bencenos vecinos, manteniendo una estructura molecular permanente. Esto da lugar a un polímero amorfo que actúa como una red reticulada con una extensión máxima del 50%. Por encima de esta temperatura T_g , los bencenos se encuentran en un estado dinámico de equilibrio debido a las vibraciones proporcionadas por el aumento de la temperatura que aporta la energía necesaria para romper las interacciones electrostáticas entre los bencenos. Generalmente, la mayoría de los bencenos se encuentran en el mismo lugar, sin embargo, las interacciones van rompiéndose y formándose. Por lo tanto, cuando una fibra es texturizada ligeramente por encima de la T_g , la forma transferida a la fibra se fija conforme ésta se va enfriando después del texturizado, ya que las nuevas interacciones electrostáticas de los bencenos se mantendrán permanentes por debajo de esta temperatura.

El fijado térmico en el poliéster supone un calentamiento del polímero, el cual le da movilidad a las moléculas permitiendo una reorganización de las mismas, sin embargo, en el proceso de enfriamiento por debajo de la T_g es donde se crean nuevos enlaces de hidrógeno y donde aparecen las interacciones electrostáticas entre los benzenos, lo cual proporciona la fijación de la forma en la nueva restructuración. Consecuentemente, una correcta zona de enfriamiento entre la zona de calentamiento y la entrada del husillo de falso torsión, donde el hilo es torsionado, es necesaria para optimizar el proceso de texturizado.

Zona de falsa torsión: Discos

El alma del proceso de texturización por falsa torsión reside en la unidad de "Torcido por Fricción". Al torsionar el hilo estirado y calentado previamente se proporciona un cierto rizado y volumen al hilo. Con el paso del tiempo se han desarrollado varios métodos para proporcionar estas propiedades a los hilos, sin embargo, el más utilizado alrededor del mundo es el método de "discos apilados".

El objetivo de esta técnica es retorcer el filamento a altas velocidades proporcionadas por la fricción que ejercen los discos sobre la fibra. La torsión se transmite al hilo mediante la trayectoria del mismo a través de los discos. El hilo, después de traspasar la zona de calentamiento donde la fibra ha sido estirada, ablandada y posteriormente enfriada ligeramente por encima de la T_g , el momento torsor es transmitido y fijado en la estructura molecular de la fibra. El grado de torsión transmitido al hilo depende de dos factores:

1. El área de contacto entre el hilo y los discos de fricción (ángulo de envoltura α).
2. La velocidad de fricción de los discos relativa a la velocidad del hilo, comúnmente llamado coeficiente de D/Y.

El ángulo de envoltura α , se define como el contacto total del hilo con cada disco de la unidad de fricción, por lo tanto, el ángulo de contacto será $\alpha = \sum (\alpha_1 + \dots + \alpha_n)$ donde n se refiere al número total de discos. El ángulo de contacto puede ser modificado mediante:

- Variación del diámetro de los discos de fricción
- Variación de la distancia horizontal entre los discos de fricción.
- Variación de la distancia vertical entre los discos de fricción.
- Variación del número de discos de fricción.

Los métodos más utilizados para ajustar el ángulo de fricción son variar el número y la distancia vertical de los discos de fricción utilizados.

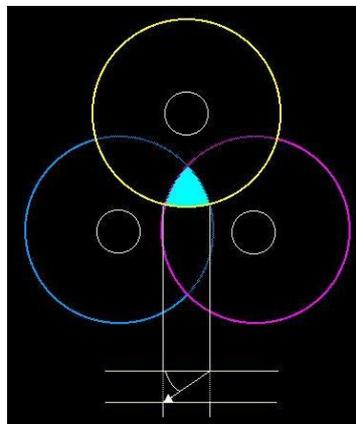


Figura 4 Diagrama del torsionado por discos apilados

El principio de la técnica es el siguiente: el hilo pasa por el interior del área del triángulo equilátero formado por la intersección de las áreas de los discos solapados vistos desde arriba (Zona azul claro, Figura 4). El hilo entraría a la unidad por el disco superior y la rotación de los discos transmitirá un movimiento torsor al hilo en la misma dirección de giro del disco, al mismo tiempo lo empuja al disco de abajo, donde será torsionado en dirección opuesta (o no) al anterior. El torsionado transmitido teórico se puede calcular conociendo el diámetro del hilo, el coeficiente de contracción debido al rizado y la geometría de la unidad de fricción, sin embargo, dicho valor posee escasa utilidad práctica.



Figura 5 Ejemplos de unidades de discos apilados

El material más comúnmente utilizado para fabricar los discos de fricción son el poliuretano o materiales cerámicos. Aunque ambos poseen grandes ventajas, los discos de poliuretano son los más utilizados. Éste es un material blando que presenta elevado grado de fricción que "oprime" mejor a la fibra en comparación con los discos de cerámica. Es decir, hay menos deslizamiento, por tanto, para un coeficiente D/Y dado, impartirá una mayor torsión sobre el hilo bajando la tensión final (T_2).



Tabla 1 Ventajas y desventajas de los materiales de los discos apilables

DISCOS DE CERÁMICA	DISCOS DE POLIURETANO
VENTAJAS	
Baratos (A largo plazo)	Generan menos suciedad
Vida útil larga	El hilo torsionado es suave
Hilo torsionado más áspero	El hilo torsionado tiene volumen alto
	Agradable al hilo, no lo daña
DESVENTAJAS	
Generan mucha suciedad	Caro (A largo plazo)
El hilo torsionado tiene volumen bajo	Vida útil corta
Daño mecánico a la fibra	Se daña fácilmente

El apilamiento de los discos es otro factor a tener en cuenta. Se deben considerar que a mayor número de discos utilizados, mayor volumen se transferirá al hilo, sin embargo, se dará una mayor rotura de fibras. Cuanto mayor número de discos se utilicen, mayor ángulo de envoltura sobre el hilo y mayor área de contacto. Ambos parámetros mejoran la eficiencia del torsionado y volumen del hilo para un coeficiente D/Y dado.

3.OBJETIVOS DEL PROYECTO



OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del proyecto fue el de realizar una comparativa entre las dos técnicas más utilizadas para la texturización de hilos: Texturizado por fricción-falsa torsión y Texturizado por aire-TASLAN. Paralelamente, se realizó un estudio de "Bulked Continuous Filament" BCF siguiendo la misma metodología.

Para ello se estudió exhaustivamente la estructura interna del polímero antes y después del procesado de texturización para determinar su cristalinidad. Asimismo, se estudió la variación de color de las fibras influenciado por el post procesado, con el objetivo de minimizarlo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A continuación, se mencionan los objetivos específicos que se consiguieron con el desarrollo del proyecto:

1. *Investigar sobre el comportamiento interno del polímero en relación con los parámetros de procesado.*
2. *Optimizar los parámetros de procesado de la texturización por Fricción-Falsa Torsión.*
3. *Optimizar los parámetros de procesado de la texturización por Aire - TASLAN.*
4. *Comparar el proceso de texturización por Fricción - Falsa Torsión con la texturización por Aire-TASLAN.*
5. *Eliminar el consumo de agua en el proceso de tintura. Optimización del proceso de tintura en masa.*
6. *Reducir el consumo energético.*
7. *Optimizar los parámetros de procesado de BCF (Bulked Continuous Filament).*



GENERALITAT
VALENCIANA

TOTS
A UNA
veu

IVACE
INSTITUT VALENCIÀ DE
COMPETITIVITAT EMPRESARIAL



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional
Una manera de hacer Europa

*Proyecto cofinanciado por los Fondos FEDER,
dentro del Programa Operativo FEDER
de la Comunidad Valenciana 2014 - 2020*

Este proyecto cuenta con el apoyo de la Conselleria d'Economia Sostenible, Sectors Productius, Comerç i Treball de la Generalitat Valenciana, a través del IVACE, y está cofinanciado por los fondos FEDER de la UE, dentro del Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana 2014-2020.

4. PLAN DE TRABAJO

PLAN DE TRABAJO

0. GESTIÓN Y COORDINACIÓN

Tarea 0.1 Gestión

Esta tarea se basó en la definición de las orientaciones del proyecto y tuvo como principales funciones la gestión global del proyecto, la coordinación de las tareas administrativas y financieras, la aprobación de los informes técnicos y la toma de decisiones críticas, firmas de contratos con SSEE, envío de documentación a IVACE, control de gastos, nóminas, presupuestos, pedidos, facturas, pagos, etc. Gestión y seguimiento con Colaboradores Externos, presupuestos, pedidos, facturas según la Guía de Normativa relativa a ejecución y Justificación de proyectos de I+D avalada por AITEX.etc.

Esta tarea se mantuvo activa durante la ejecución del proyecto, de esta manera se pudo identificar rápidamente las desviaciones en relación con los planteamientos iniciales y se pudo definir las medidas correctoras oportunas.

Además, esta tarea también engloba la coordinación técnica del proyecto, esto quiere decir: organización de los trabajos, control del esfuerzo dedicado por cada persona involucrada, etc. Por lo tanto, esta tarea se orientó a la consecución de los siguientes objetivos:

- Asegurar que la comunicación entre el personal participante sea fluida y eficaz.
- Garantizar que las tareas planificadas se cumplen en tiempo, garantizando el cumplimiento de los objetivos e hitos del proyecto.
- Apoyo por parte del investigador principal a los distintos investigadores en la correcta ejecución de los objetivos establecidos.
- Asegurar que la comunicación y seguimiento de los colaboradores y servicios externos participantes en el proyecto sea fluida y eficaz.
- Garantizar que las tareas planificadas para los distintos colaboradores y servicios externos se cumplen en tiempo, garantizando el cumplimiento de los objetivos e hitos del proyecto.

1. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS Y ESTADO DEL ARTE

Esta primera fase estuvo activa de forma intensa en el comienzo de la investigación con el fin de mantener al día todos los avances relacionados con las técnicas de texturizado a utilizar (Texturizado por falsa torsión, texturizado por aire TASLAN, texturizado BCF). Se trabajó fundamentalmente con las bases de datos "Web of Science" y "Google Scholar". Además, se definió los requerimientos técnicos necesarios para el desarrollo del producto. Asimismo, se emplearon herramientas de gestión de citas como "EndNote" con el fin de disponer de una base de datos donde se integra toda la información vinculada a la investigación y de fácil acceso en el momento de la redacción.

Tarea 1.1 Patentes

Esta tarea consistió en búsquedas en bases de datos de patentes, por ser el punto donde se ven reflejadas muchas investigaciones punteras. Entre las bases de datos que se consultaron se encuentran las siguientes:



- ✓ **OPEM.** Contiene datos bibliográficos de documentos de Patentes y Modelos de Utilidad tramitados por el Estatuto de la Propiedad Industrial y por la nueva Ley de Patentes de 20 de marzo de 1986, así como las Patentes Europeas y las solicitadas vía PCT que designan a España. Incluye tanto las solicitudes de patentes como las concesiones de las mismas.
- ✓ **esp@cenet.** Bajo este nombre se engloba un servicio que contiene varias bases de datos que difieren en sus fuentes (oficinas nacionales y organizaciones internacionales) y en su cobertura.

Con el empleo de las bases de datos citadas, permitió conocer las investigaciones más recientes en el marco del proyecto y se completó el estudio con bases de datos tipo "Journal of Citation Reports" para establecer la relevancia de las investigaciones. La revisión bibliográfica contempló, entre otros los siguientes apartados:

- Texturizado por fricción-Falsa torsión
- Texturización por aire TASLAN
- Bulked Continuous Filament BCF

Tarea 1.2 Documentación científica - Búsqueda del Estado del Arte

Se realizará igualmente un estudio bibliográfico referente al estado de la tecnología utilizada. Para su ejecución se consultaron diversas bases de datos de artículos científico-técnicos tales como:

- ✓ **ISI Web of Knowledge - Web of Science.** Base de datos producida por ISI-Thomson, recoge referencias bibliográficas de más de 8000 publicaciones periódicas de ciencias, ciencias sociales y humanidades de ámbito internacional.
- ✓ **Science Direct.** Base de datos creada por la editorial Elsevier, donde se recogen más de 25% de la producción mundial científica y técnica, siendo posible la consulta sobre un archivo histórico de más de 6.75 millones de artículos.

También se examinaron fondos bibliográficos, con los libros editados al respecto de la temática tratada, donde se recojen monografías, con vistas a obtener un conjunto de los conocimientos base que afecta a este estudio. La revisión bibliográfica contempló, entre otros, los siguientes apartados:

- Texturizado por fricción-Falsa torsión
- Texturizado por aire TASLAN
- Bulked Continuous Filament (BCF)
- Parámetros a optimizar
- Materiales (Polietilentereftalato PET, Polibutilentereftalato PBT, Polipropileno PP, Poliamida PA)
- Estructura química de los polímeros.
- Propiedades físicas y térmicas de los polímeros.
- Procesado de los polímeros.
- Parámetros de hilatura de los polímeros.
- Test
- Producción y consumo



➤ Innovación y desarrollo

Tarea 1.3 Normativa aplicable

A través de la consulta de las bases de datos de normativa aplicable, se establecieron los procedimientos de análisis y validación de resultados de los materiales a analizar.

2. PREPARACIÓN DE MATERIALES Y EXTRUSIÓN DE FIBRAS

Tarea 2.1 Selección de materiales

Esta fase está ligada a la finalización del Estado del Arte en tanto en cuanto se seleccionaron y adquirieron los materiales para la realización de la investigación.

En esta tarea se utilizaron materiales que AITEX ya disponía y se realizó un estudio previo de ciertas referencias para verificar que dichos polímeros eran válidos para su posterior uso en hilatura multifilamento. Después de realizar el estudio se adquirieron los siguientes materiales:

- 300 Kg de Polímero PES semi mate HC102 (Proporcionado por ANGLES TEXTIL)
- 300 Kg de Polímero PBT BR viscosidad baja HC107 (Proporcionado por ANGLES TEXTIL)
- 300 Kg de Polímero PP HP561 (Proporcionado por Ultrapolymers)
- 300 Kg de Polímero PA B40 (Proporcionado por Ultrapolymers)

Tarea 2.2 Hilatura multifilamento de PET, PBT, PA66 y PP

Una vez definidos los materiales base y los requisitos del producto final, se realizó la extrusión de estos mediante la utilización de la planta piloto de extrusión multifilamento. Se realizó la hilatura de cuatro materiales distintos (PET, PP, PBT, PA66), en crudo y coloreados, a dos velocidades distintas (2500 m/min y 3000 m/min) para obtener hilos POY (Partial Oriented Yarn) con distintos valores de estiraje y propiedades mecánicas.

Con la intención de obtener una hilatura coloreada (tintura en masa) se utilizaron masterbatch negros proporcionados por IQAP:

- CROMOFIX Negro/Black ref 69B055 Negre Fibra PP
- CROMOFIX Negro/Black ref 99860 Negre Fibra PA
- Black ref 89343 Negre fibra Poliester y Polibutileno de teraftalato.



Figura 6 Planta piloto de extrusión multifilamento

En este proceso, el polímero se alimenta de forma sólida a través de una tolva y sale por el cabezal en estado fundido. El dispositivo de fusión, bombeo y mezclado consiste en un tornillo o usillo que gira en el interior de un cilindro calentado, generalmente mediante resistencias, esta posee un sistema de refrigeración por agua para evitar el sobre calentamiento del polímero fundido en la entrada del sistema. Como consecuencia del giro del usillo, este compacta el polímero sólido dando lugar a la fusión del material y lo transporta hacia la boquilla de conformado, produciendo al mismo tiempo la presurización y mezclado del material.

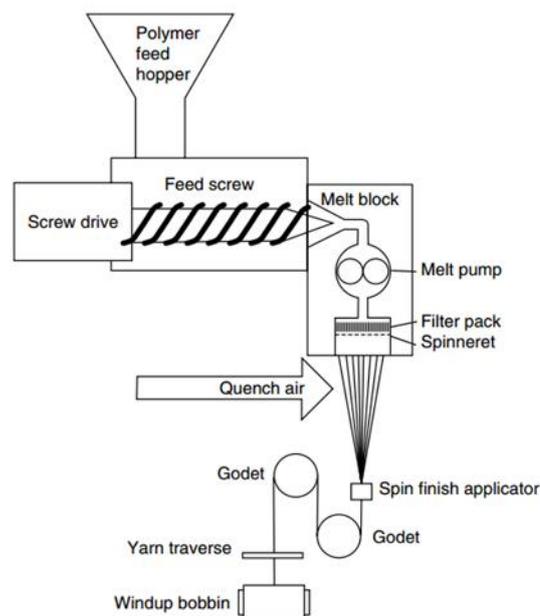


Figura 7 Sistema general de extrusión multifilamento de fibras

Conforme el material sale de la extrusora, este es recogido por diferentes rodillos que estiran el material orientando las moléculas poliméricas y generalmente aumentando la cristalinidad del polímero. Esta estación de estiraje consta de 4 pares de godets:

- Godets 1-4: calentados por inducción. Diámetro de 0.5 m, 120 mm de ancho. Capaces de alcanzar 3.000 m/min.
- Godets 5-6: calentados por inducción. Diámetro de 0.5 m, 120 mm de ancho. Capaces de alcanzar 5.000 m/min.
- Godets 7-8: sin sistema de calefacción. Diámetro de 0.834 m, 120 mm de ancho. Capaces de alcanzar 6.000 m/min.

Cada par de godets emplea un motor propio. La superficie de los mismos está recubierta por un compuesto cerámico para asegurar una adherencia óptima durante el estirado.



Figura 8 Tren de estiraje.

Tabla 2 Matriz de experimentos realizados para la hilatura multifilamento de PET, PBT, PA y PP

Hilatura multifilamento		
Para hilos texturizados por Fricción		
PET	60Kg PET	POY 1
		POY 2
	60Kg PET MASA	POY 1
		POY 2
PBT	60Kg PBT	POY 1
		POY 2
	60Kg PBT MASA	POY 1
		POY 2
PP	60Kg PP	POY 1
		POY 2
	60Kg PP MASA	POY 1
		POY 2
PA	60Kg PA	POY 1
		POY 2

	60Kg PA MASA	POY 1
		POY 2
Para hilos texturizados por Aire		
PET	60Kg PET	POY 1
		POY 2
PET	60Kg PET MASA	POY 1
		POY 2
PBT	60Kg PBT	POY 1
		POY 2
PBT	60Kg PBT MASA	POY 1
		POY 2
PP	60Kg PP	POY 1
		POY 2
PP	60Kg PP MASA	POY 1
		POY 2
PA	60Kg PA	POY 1
		POY 2
PA	60Kg PA MASA	POY 1
		POY 2

Tarea 2.3 Texturizado FDY - Optimización de los parámetros de procesado

El principio de esta técnica se centra en el torcido de los filamentos a altas velocidades dadas por la fricción que ejercen los discos sobre la fibra. El volumen final de la fibra depende de diferentes variables:

- **Velocidad de Texturizado:** Un incremento en la velocidad de texturizado, lo cual corresponde a una disminución en el tiempo de calentamiento y enfriamiento, disminuye la tenacidad, la contracción, el módulo y estabilidad del rizado. Como el principio fundamental de fricción en el texturizado/estiraje se basa en la fricción superficial entre el filamento y los rodillos, esto conlleva a la rotura de filamentos. Siendo uno de los mayores problemas de esta técnica.
- **Temperatura:** inicialmente se aplica un calentamiento al hilo mediante un horno; esto proporciona una maleabilidad del hilo debido al mayor movimiento de las moléculas producido por el calor, que facilitará el estirado y torsionado del mismo. Este proceso afecta directamente a las siguientes características del hilo final:
 - Volumen o rizado (\uparrow con $T^a \uparrow$)
 - Tintura (\downarrow con $T^a \uparrow$)
 - Nivel de rotura de los filamentos (\uparrow con $T^a \uparrow$)
- **Coefficiente de D/Y:** El método más común para variar el torsionado aplicado a un hilo es la variación de la velocidad de rotación de los discos, dejando constante el número de discos utilizados y la distancia entre los mismos. Con esto, el coeficiente D/Y varía. La tensión del hilo antes de la unidad de torsión (T_1) y la tensión del hilo a la salida de la unidad de torsión (T_2) gobernará el valor del coeficiente D/Y. Cuando se ajusta el coeficiente D/Y, el objetivo es equilibrar estas tensiones para obtener una situación del hilo estable.

- **Zona de falsa torsión (discos):** El grado de torcido transmitido al hilo depende de dos factores:
 1. El área de contacto entre el hilo y los discos de fricción (ángulo de envoltura α).
 2. La velocidad de fricción de los discos relativa a la velocidad del hilo, comúnmente llamado coeficiente de D/Y.

Para la realización de esta tarea se trabajó con una máquina "SSM GIUDICI RG. 12DTB false-twist texturing machine". Debido a la reciente adquisición de la misma, los operarios realizaron pruebas iniciales de texturización con Poliéster con tal de habituarse a la nueva maquinaria. Una vez adquirido un conocimiento básico del tratamiento de los polímeros y de la máquina, se realizó un curso sobre texturizado impartido por Joan Miralles, quien se caracteriza por tener una gran experiencia en hilatura y texturizado de fibras sintéticas.



Figura 9 SSM GIUDICI RG. 12DTB false-twist texturing machine

Inicialmente se realizó una planificación de los ensayos a llevar a cabo, que se especifica a continuación:

Tabla 3 Ensayos realizados de Texturizado por fricción para el PET

Texturizado por fricción - falsa torsión			
Polímero	Draw Ratio	Tª textu (°C)	
PET	POY 1	1,5	190
			210
			220
		1,7	190
			210
			220
	POY 2	1,5	190
			210
			220
		1,7	190
			210
			220

Tabla 4 Ensayos realizados de Texturizado por fricción para el PBT

Texturizado por fricción - falsa torsión			
Polímero	Draw Ratio	Tª textu (°C)	
PBT	POY 1	1,5	160
			170
			180
		1,7	160
			170
			180
	POY 2	1,5	160
			170
			180
		1,7	160
			170
			180

Tabla 5 Ensayos realizados de Texturizado por fricción para el PP

Texturizado por fricción - falsa torsión		
Polímero	Draw Ratio	Tª textu (°C)
POY 1	1,5	140

PP		1,7	150
			160
			140
			150
			160
	POY 2	1,5	140
			150
			160
			140
			150
	1,7	160	

Tabla 6 Ensayos realizados de Texturizado por fricción para el PA

Texturizado por fricción - falsa torsión			
Polímero	Draw Ratio	Tª textu (°C)	
PA	POY 1	1,5	190
			200
			210
		1,7	190
			200
	210		
	POY 2	1,5	190
			200
			210
		1,7	190
210			

Tarea 2.4 Texturizado ATY - Optimización de parámetros de procesado

El proceso de texturización por aire TASLAN se basa en una sobrealimentación del hilo dentro de un compresor de aire de corriente de chorro, de ese modo las fibras más largas son forzadas a formar bucles. Los parámetros especificados a continuación tienen un efecto en los resultados obtenidos:

- **Presión de aire:** Cuando la presión de aire se incrementa la velocidad del flujo, que es la principal fuerza de impulsión, abre los filamentos del hilo para facilitar el aumento del enmarañamiento y texturización. Una mejor texturación del hilo se obtiene a altas presiones, por lo que también se obtiene un enmarañamiento o cohesión más estable, es decir, menor inestabilidad para los hilos taslanizados a altas presiones. A elevadas presiones se aumenta la densidad lineal, pero disminuye la tenacidad debido al gran enmarañamiento y número de bucles.
- **Sobrealimentación de hilo:** La sobrealimentación mediante el jet, la cual es aproximadamente igual a la diferencia entre la velocidad de entrada del hilo y la

velocidad de la salida del jet, tiene una influencia directa en el volumen y texturizado del hilo. Cuando la sobrealimentación de un hilo es menor del 10%, el exceso de longitud de filamentos para formar bucles es realmente bajo. En consecuencia, la texturización es pobre. Cuando se incrementa la sobrealimentación, hay mayor longitud de filamentos que están disponibles para formar bucles, cubriendo la superficie del hilo.

- **Ratio de estiraje:** es la cantidad en que el hilo es estirado antes de entrar en la zona de texturizado:

$$\text{Ratio de estiraje} = \frac{\text{Velocidad del eje despues del pasador de estiraje } \left(\frac{m}{\text{min}}\right)}{\text{Velocidad del eje antes del pasador de estiraje } \left(\frac{m}{\text{min}}\right)}$$

- **Rodillo de estiraje calefactado:** Este rodillo proporciona un punto fijo de estiraje proporcionando un medio de estiraje a una temperatura alrededor de la temperatura de transición vítrea (T_g) (Siendo para el poliéster 70-100°C). La temperatura típica a la que se programa este rodillo es 120-160°C.

Inicialmente se realizó una planificación de los ensayos a llevar a cabo. A continuación, se especifican los ensayos:

Tabla 7 Ensayos realizados de Texturizado por aire para el PET, PBT, PP y PA.

Texturizado por aire TASLAN			
Polímero		Draw Ratio	Tª textu (°C)
PET	POY 1	1,5	120
		1,6	125
		1,7	130
	POY 2	1,3	120
		1,4	125
		1,5	130
Polímero		Draw Ratio	Tª textu (°C)
PBT	POY 1	1,5	90
		1,6	95
		1,7	100
	POY 2	1,3	90
		1,4	95
		1,5	100
Polímero		Draw Ratio	Tª textu (°C)
PP	POY 1	1,3	65
		1,4	70
		1,5	80
	POY 2	1,1	65
		1,2	70
		1,3	80
Polímero		Draw Ratio	Tª textu (°C)

PA	POY 1	1,3	65
		1,4	70
		1,5	80
	POY 2	1,1	65
		1,2	70
		1,3	80

Tarea 2.5 Caracterización de hilados

En esta tarea se realizaron varios test con el objetivo de determinar y optimizar ambos procesos y al mismo tiempo realizar una comparativa entre técnicas. Los ensayos que se llevaron a cabo se enumeran a continuación:

- **Tenacidad**

La dinamometría se basa en un ensayo colectivo de tracción sobre un cierto número de hilos. Un dinamómetro es una herramienta que mide las variaciones que se producen en un objeto al tener una fuerza externa. Su funcionamiento está basado en la ley de "Hooke" se enfoca en la elasticidad del material.

El equipo mono-columna de la serie 3343 es ideal para aplicaciones de tracción y/o compresión con ensayos de menos de 1kN. Este equipo permite medir "in situ" la tenacidad y el alargamiento del hilo, dándonos un "feedback" que nos permite modificar los parámetros de máquina en el momento.



Figura 10 Equipo de ensayo mono-columna de la serie 3343.

- **Control de resistencia y alargamiento de un hilo continuo**

Es necesario que los hilos obtenidos posean una resistencia y alargamiento a la rotura adecuados para los procesos posteriores de tejeduría donde serán aplicados. Por esta razón es necesario controlar los hilos en distintos procesos para verificar que las condiciones aplicadas cumplen los parámetros físicos de resistencia y alargamiento correctos.

- **Determinación del test de la elasticidad (K1)**



El número de vueltas de la madeja de hilo para realizar el test es el siguiente:

Nº vueltas: 10.000 / (1.8x decitex)

El método para realizar el test de Elasticidad (K1) es el siguiente:

1. Se realizan las madejas de hilo con el número de vueltas en función del título.
2. Se introduce en la estufa durante 5 minutos a 130°C
3. Una vez pasado ese tiempo se saca de la estufa y se deja enfriar durante unos dos minutos.
4. Se coloca un peso de 10 g y se realiza la lectura **lg**.
5. Se le coloca un peso de 1 Kg y se toma la lectura **lg**.

Con estos resultados se realiza el cálculo del porcentaje de elasticidad.

$$\% \text{ DE ELASTICIDAD} = \frac{lg - lz}{lg} \times 100 (\%)$$

- **Determinación de la contracción residual**

La determinación de la contracción residual térmica de un hilo se realiza a las siguientes temperaturas:

150°C para la Poliamida (PA) y a 190°C para el Poliéster (PET).

1. Se prepara una madeja de 10 vueltas de hilo, se cuelga un peso equivalente al decitex del hilo, lo más aproximado posible, y se realiza la primera medida **lg₁**.
2. Se retira el peso y se introduce en la estufa durante 5 minutos a la temperatura correspondiente dependiendo del material.
3. Se retira de la estufa una vez transcurridos los 5 minutos y se deja enfriar durante unos dos minutos.
4. Se le coloca el peso inicial, correspondiente al decitex del hilo, y se realiza la segunda medida **lg₂**.

Con estas dos medidas se realiza el cálculo del porcentaje de contracción residual a la temperatura correspondiente.

$$\% \text{ DE CONTRACCIÓN} = \frac{lg_1 - lg_2}{lg_1}$$

Tarea 2.6 Estudio comparativo y conclusiones

A partir de los ensayos especificados en la tarea 2.5.- Caracterización de hilados, se realizó un estudio comparativo entre el texturizado por fricción-falsa torsión y el texturizado por aire TASLAN.

Teniendo en cuenta las diferencias entre las dos técnicas utilizadas, se procedió a realizar una comparativa entre ambas. Las propiedades físicas de un polímero dependen del grado de cristalinidad del mismo, y esta está estrechamente influenciada por la temperatura de texturizado y el ratio de estiraje. Es por ello que se cuantificaron los cambios de sus propiedades mecánicas con tal de correlacionar dichos cambios con el grado de cristalinidad y obtener valores óptimos de procesado.



3. BULK CONTINUOS FILAMENT

En este Paquete de Trabajo se trabajó en la optimización del proceso de texturizado BCF. Para ello se estudió el efecto de texturización variando diferentes parámetros de procesado. Se realizaron conjuntamente los test de los filamentos obtenidos con tal de cuantificar las optimizaciones. Finalmente se obtuvo unas conclusiones basadas en las variaciones de los parámetros y los resultados obtenidos.

Tarea 3.1 Hilatura

Esta tarea se llevó a cabo siguiendo la metodología de la "Tarea 2.2 Hilatura multifilamento". En este paquete de trabajo se trabajó con la hilatura de los materiales PET, PP y PA66 con un título de 300 dtex.

Tarea 3.2 Rizado

Una vez obtenida la hilatura multifilamento de los diferentes materiales se procedió al rizado de los mismos variando los parámetros de procesado. Los parámetros que influenciaron las propiedades de la fibra final obtenida son los siguientes:

- **Ratio de estiraje**

Teniendo en cuenta que el hilo ha sido previamente estirado en el proceso de hilatura, la temperatura de los dos rodillos situados antes de la unidad de texturado se ajustan dependiendo de las propiedades del polímero.

- **Aire caliente de texturado**

Las variables más importantes del proceso son la temperatura y la presión del aire. La **temperatura** del aire debe ser ligeramente inferior a la temperatura de fusión del polímero (para el nylon 6 $T_m = 225^\circ\text{C}$ y el polipropileno $T_m = 160^\circ\text{C}$, la temperatura del aire suele estar entre $200\text{-}220^\circ\text{C}$ y $140\text{-}160^\circ\text{C}$ respectivamente). La **presión** del aire afecta a las turbulencias dentro del tubo. Esto influirá la transferencia de la temperatura del aire hacia el hilo y consecuentemente las propiedades del hilo siendo esto un efecto secundario. El rango de presión es aproximadamente 5-8 bares. Se debe tener en cuenta que el volumen del hilo final dependerá, además de las propiedades de texturizado, de toda la historia térmica del polímero empezando desde la fusión en el proceso de hilatura hasta el proceso de bobinado. La tercera variable a tener en cuenta es el **escape del aire caliente**, la cual juega un papel importante en la densidad de doblado del hilo dentro del jet. Un escape restringido del aire caliente provocará el doblado del hilo y con ello la estructura tridimensional del rizado, aunque éste no es permanente en este estado. Por el contrario, un escape poco restringido da como resultado un escaso doblado del hilo y un volumen mínimo.

- **Tambor de enfriamiento**

Tanto el tambor de enfriamiento como los dos cilindros de estabilización giran a velocidades constantes. El volumen de la fibra dependerá de la velocidad en la que el hilo salga del jet, por lo tanto, dependerá del tiempo que el hilo permanezca dentro de la unidad de texturizado. El proceso de enfriamiento se consigue por medio de extracción o succión de aire de dentro del tambor de enfriamiento, el cual tiene una superficie perforada. El enfriamiento debe de ser justo para que en los siguientes pasos (relajación, tangleado y embobinado) se puedan llevar a cabo sin que el hilo pierda voluminosidad. El

enfriamiento es necesario para que el hilo mantenga su estructura texturizada. La variable a controlar en esta fase es la velocidad de rotación del tambor con respecto a la velocidad de salida del jet del hilo y la potencia de la extracción del tambor de enfriamiento.

- **Enmarañamiento y relajación**

En este estado, el diseño del jet de texturizado tiene la mayor influencia sobre el efecto final. Por lo tanto, el ancho y la forma del canal por donde transcurre el hilo además de la entrada de aire han de ser escogidos en función de la fibra a texturizar, es por ello que esta unidad puede ser intercambiable según las características del hilo. Las especificaciones del jet deben definir las dimensiones del orificio de entrada de aire y el ángulo de aplicación del aire sobre el hilo.



Figura 11 Geometría del jet de texturizado

La mayoría de jets poseen un rango de presiones recomendadas, dentro de este rango se cumple que cuando mayor es la presión del aire, los nudos formados en el hilo serán más apretados, consecuentemente, a una presión excesivamente baja, la formación de los nudos será irregular. Generalmente la presión de aire utilizada recae en el rango de 4-10 bares (400-1000 kPa) con una consumición de aire entre 10-70 m³/hora por hilo.

Tarea 3.3 Caracterización y fabricación de prototipos

En esta tarea se realizaron los test especificados en la "Tarea 2.5 Caracterización de hilados" con el objetivo de determinar y optimizar el proceso. Los ensayos a llevados a cabo se enumeran a continuación:

- Cristalinidad
- Tenacidad
- Control de resistencia y alargamiento de un hilo continuo
- Determinación del test de la elasticidad (K1)
- Determinación de la contracción residual
- Control del crimp del hilo texturado

Una vez optimizado el proceso BCF utilizando los valores obtenidos de la caracterización, se utilizaron los hilos BCF para la fabricación de prototipos mediante la cooperación como servicio externo de Alfombras Rahmati. Con tal fin, los hilados desarrollados en AITEX



fueron proporcionados a Alfombras Rahmati que fabricaron varios prototipos mediante la técnica "Hand Tufting" utilizando una máquina "Kibby machine".

Tarea 3.4 Conclusiones

Con la finalidad de este paquete de trabajo se redactó un informe que recoge todos los aspectos relacionados con la técnica experimental y los resultados. Los resultados de este paquete de trabajo sirvieron para establecer un procedimiento optimizado de la técnica para futuras aplicaciones.

4. DIFUSIÓN

Tarea 4.1 Difusión

La difusión de los resultados se llevó a cabo durante la ejecución del proyecto y una vez finalizado el proyecto mostrando los resultados obtenidos. Esta tarea tiene como fin último dar a conocer la existencia y la ejecución del proyecto. Durante las primeras etapas de su desarrollo se informó de sus objetivos y resultados previstos a través de los diversos canales que AITEX dispone (revista de AITEX, boletines, web de AITEX, servicio de vigilancia tecnológica, showroom, etc.)

Durante el desarrollo y, sobre todo, al final del mismo, se procedió a dar a conocer a las empresas los resultados del mismo a través de estos mismos canales.

5. TRANSFERENCIA Y PROMOCIÓN DE RESULTADOS

Tarea 5.1 Transferencia y promoción de resultados

El objetivo principal de este Plan es el de promover la transferencia y aprovechamiento de los resultados de investigación generados por el proyecto DTY yarn. En este sentido, se han planteado una serie de actuaciones para formar e informar a las empresas interesadas y relacionadas con la materia de estudio, con el fin de sensibilizar y mejorar la calidad de los resultados que se transfieren. Dentro de este ámbito destacan las siguientes actuaciones:

1. **Actuaciones**: Estas relaciones de colaboración se regularon en forma de ACUERDOS DE COLABORACIÓN y CARTAS DE COLABORACIÓN.
2. **Convocatoria abierta en medios digitales**: durante la ejecución del proyecto se publicó en www.aitex.es el abstract público del proyecto, desde donde las empresas pueden **solicitar la colaboración en el proyecto**, mediante la cumplimentación de un formulario on-line.
3. **Reuniones con empresas para transferir el proyecto**: de manera proactiva se contactó con otras empresas con un potencial interés en el proyecto, con el fin de materializar un modelo de colaboración en esta iniciativa.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Tarea 2.2 Hilatura multifilamento de PET, PBT, PA66 y PP

En la tarea 2.2 Hilatura multifilamento de PET, PBT, PA66 y PP (**Entregable Técnico 2.3**), se ha planteado una matriz de experimentos especificada a continuación:

Tabla 8 Matriz de experimentos realizados en la Tarea 2.2 Hilatura multifilamento de PET, PBT, PA66 y PP

Hilatura multifilamento		
Para hilos texturizados por Fricción		
PET	60Kg PET	POY 1
		POY 2
	60Kg PET MASA	POY 1
		POY 2
PBT	60Kg PBT	POY 1
		POY 2
	60Kg PBT MASA	POY 1
		POY 2
PP	60Kg PP	POY 1
		POY 2
	60Kg PP MASA	POY 1
		POY 2
PA	60Kg PA	POY 1
		POY 2
	60Kg PA MASA	POY 1
		POY 2
Para hilos texturizados por Aire		
PET	60Kg PET	POY 1
		POY 2
	60Kg PET MASA	POY 1
		POY 2
PBT	60Kg PBT	POY 1
		POY 2
	60Kg PBT MASA	POY 1
		POY 2
PP	60Kg PP	POY 1
		POY 2
	60Kg PP MASA	POY 1
		POY 2
PA	60Kg PA	POY 1
		POY 2
	60Kg PA MASA	POY 1
		POY 2

Para cada prueba de hilatura es necesaria la preparación de la máquina de hilatura multifilamento y la preparación del polímero o la mezcla a utilizar, ello supone un tiempo de aproximadamente 3 horas.

Material

Todas las mezclas poliméricas se secan previamente en un horno durante al menos 5 horas para eliminar la humedad y el agua que pueda haber absorbido el polímero del ambiente, los parámetros de secado son los siguientes:

- **PET:** 7.5 horas con aire caliente a una temperatura de 150°C
- **PET MASA:** 7.5 horas con aire caliente a una temperatura de 150°C
- **PBT:** 10 horas con aire caliente a una temperatura de 140°C
- **PBT MASA:** 10 horas con aire caliente a una temperatura de 140°C
- **PP:** no necesita secado ya que su estructura química no absorbe agua
- **PP MASA:** no necesita secado ya que su estructura química no absorbe agua
- **PA:** 5 horas con aire caliente a una temperatura de 80°C
- **PA MASA:** 5 horas con aire caliente a una temperatura de 80°C

Preparación de la máquina

Inicialmente la preparación de la máquina conlleva el calentamiento de la zona del cabezal, que al tratarse de una pieza maciza de acero necesita varias horas para alcanzar la temperatura requerida (entre 255°C y 275°C). Transcurrido un tiempo se debe calefactar los godets, al calentarse a una temperatura mucho inferior (cercanas a la temperatura de transición vítrea del material a procesar), estos necesitan menos tiempo para estabilizar su temperatura. A su vez se prepara la bobinadora con tal de que se estabilice. Los operarios cargan las tolvas con el polímero que fue previamente preparado y secado la noche anterior.

Preparación y calentamiento del cabezal

La preparación de cabezal conlleva el ensamble de varias piezas y filtros que deben de estar correctamente limpios. La configuración del cabezal dependerá del material a utilizar ya que dependiendo de las propiedades reológicas del polímero y el tamaño de partícula es necesaria la utilización de filtros de diferente tamaño de malla y arena metálica de diferente grosor. Una vez el cabezal está preparado y ensamblado se introduce en una mufla (horno) con tal de que este alcance la temperatura establecida en la extrusora donde posteriormente se va a ensamblar.

Purga y limpieza del cabezal

Una vez el cabezal y la extrusora han adquirido la temperatura programada necesaria, antes de la colocación del cabezal se realiza una purga de material durante 15-10 minutos con tal de asegurar que el polímero fundido fluye correctamente en el interior de la extrusora. Pasado ese momento, se encaja el cabezal en la extrusora y se fija con tornillos.

Estabilización de los parámetros de extrusión

Con tal de estabilizar los parámetros de máquina para cada material, inicialmente se realizan varias pruebas de hilatura variando los parámetros según necesidades de producción hasta conseguir una hilatura estable.

Los parámetros que se varían con el objetivo de obtener los valores óptimos son:

- Altura de caída



- Velocidad del aire
- Velocidad de aplicación del aceite de ensimaje
- Velocidades del a bomba y de la extrusora
- Velocidades y temperatura de los godets y ratio de estiraje

Resultados obtenidos

Hilatura multifilamento PET

La hilatura POY de poliéster no conllevó ningún problema de procesado. Previamente se tuvo que secar el polímero durante 7.5 horas con aire caliente a una temperatura de 150°C para eliminar la humedad y el agua que pueda haber absorbido el polímero del ambiente. Se utilizaron los parámetros de procesado del PET virgen para establecer los límites iniciales de la hilatura del PET + Negro masa. La variación de viscosidad de la mezcla con respecto al PET es mínima, con lo que las temperaturas de procesado se mantuvieron dentro del rango de procesado.

El perfil de temperatura de procesado fue 280/280/285/275 con:

- una velocidad de bobinado de 2500 m/min aplicando un ratio de estiraje de 1,2
- una velocidad de bobinado de 3000 m/min aplicando un ratio de estiraje de 1,5

Hilatura multifilamento PBT

El polímero se secó previamente durante 10 horas con aire caliente a una temperatura de 140°C para eliminar la humedad y el agua que pueda haber absorbido el polímero del ambiente. Se utilizaron como valores iniciales los resultados obtenidos en las pruebas de hilatura del PBT virgen para estabilizar los parámetros de la hilatura de PBT MASA. La viscosidad del polímero aditivado con colorante negro MASA aumenta en muy baja medida, con lo que los parámetros de procesado de hilatura se ajustaron para obtener un hilo que mostró los requisitos mínimos establecidos.

El perfil de temperatura de procesado fue 250/250/250/245 con:

- una velocidad de bobinado de 2500 m/min aplicando un ratio de estiraje de 1,2
- una velocidad de bobinado de 3000 m/min aplicando un ratio de estiraje de 1,5

Hilatura multifilamento PP

La hilatura de polipropileno no necesita de un secado previo del material ya que la estructura química de la molécula no posee ningún grupo químico que absorba agua. Por lo tanto, el polímero se introdujo directamente en la tolva y se ajustaron los parámetros.

El perfil de temperatura de procesado fue 240/245/250/250 con:

- una velocidad de bobinado de 2500 m/min aplicando un ratio de estiraje de 1,4
- una velocidad de bobinado de 3000 m/min aplicando un ratio de estiraje de 1,5

El polipropileno posee unas propiedades mecánicas similares a las del poliéster, sin embargo, posee mayor alargamiento.



Hilatura multifilamento PA

Por último, la realización de hilos de PA ha sido más complicada ya que la elasticidad intrínseca del polímero dificulta la puesta a punto de la máquina de extrusión multifilamento ya que la recogida del hilo es más sensible que para el PET y el PP. La hilatura de PA es más propensa a la obstrucción de los cabezales y más susceptible a las condiciones de secado por lo que su hilatura ha conllevado algunos problemas más que la hilatura de PES o PP. Además, la Poliamida es un polímero que desprende gases debido a la descomposición del material cuando este se funde, con tal de evitar dicha descomposición se necesita proporcionar una atmosfera inerte, es por ello que se inyecta gas nitrógeno en el proceso de hilatura para conseguir un proceso limpio y constante. Sin embargo, la hilatura multifilamento de PA no ha dado lugar a mayores contratiempos pudiéndose obtener las propiedades deseadas.

El perfil de temperatura de procesado fue 245/250/255/255 con:

- una velocidad de bobinado de 2500 m/min aplicando un ratio de estiraje de 1,2
- una velocidad de bobinado de 3000 m/min aplicando un ratio de estiraje de 1,5

La PA presenta mayores propiedades mecánicas pero menor alargamiento, seguidamente el PET con buenas propiedades mecánicas y de alargamiento, el PP y el PBT. Después de la hilatura cada material se texturizará por aire aumentando en baja medida sus propiedades mecánicas ya que no posee aporte de temperatura ni estiraje, y se texturizará por fricción aportando un precalentamiento y un posterior estiraje que dará lugar a un aumento de las propiedades mecánicas.

Tarea 2.3 Texturizado FDY - Optimización de los parámetros de procesado

El principio de esta técnica se centra en el torcido del filamento a altas velocidades dado por la fricción que ejercen los discos sobre la fibra. El volumen final de la fibra depende de diferentes variables que fueron modificadas y optimizadas con el fin de estudiar como estas afectaban al producto final obtenido. Con tal fin se llevaron a cabo ensayos modificando el ratio de estiraje, la temperatura del horno entre otros. (**Entregable Técnico 2.3**). Los hilos obtenidos son los siguientes:

Tabla 9 Matriz de experimentos realizados en la Tarea 2.3 Texturizado FDY - Optimización de los parámetros de procesado

Texturizado por fricción - falsa torsión			
Polímero		Draw Ratio	Tª textu (°C)
PET	POY 1	1,5	190
			210
			220
	1,7	190	
		210	
		220	
	POY 2	1,5	190
			210
220			
1,7	190		

			210
			220
Texturizado por fricción - falsa torsión			
Polímero		Draw Ratio	Tª textu (ºC)
PBT	POY 1	1,5	160
			170
			180
		1,7	160
			170
			180
	POY 2	1,5	160
			170
			180
		1,7	160
			170
			180
Texturizado por fricción - falsa torsión			
Polímero		Draw Ratio	Tª textu (ºC)
PP	POY 1	1,5	140
			150
			160
		1,7	140
			150
			160
	POY 2	1,5	140
			150
			160
		1,7	140
			150
			160
Texturizado por fricción - falsa torsión			
Polímero		Draw Ratio	Tª textu (ºC)
PA	POY 1	1,5	190
			200
			210
		1,7	190
			200
			210
	POY 2	1,5	190
			200
			200



		1,7	210
			190
			200
			210

Se observó que los siguientes parámetros influenciaban las propiedades finales del hilo según:

Temperatura del horno: al aplicar temperatura sobre el filamento, esta produce una maleabilidad al hilo debido al mayor movimiento de las moléculas del polímero producido por el aporte de energía. Ello facilitará el estiraje y el torsionado del hilo. Se observó que la temperatura es un parámetro que influencia directamente a las siguientes características del hilo final:

- Volumen del rizado: al aumentar la temperatura del horno el polímero es más dúctil y la fricción de los discos con el hilo produce mayor efecto y con ello aumenta el volumen.
- Tenacidad de hilo final: Aumenta con la temperatura del horno ya que la orientación de las fibras al aplicar el estiraje aumenta su orden y con ello la cristalinidad.
- Contracción del hilo: es la reducción de longitud de un filamento del hilo texturizado como resultado de su estructura rizada, esta mejora con el aumento de la temperatura.

Ratio de estiraje: es la cantidad en que el hilo es estirado antes de entrar en la zona de texturizado. Tiene una influencia sobre la orientación de las moléculas; por lo tanto, influye directamente en las propiedades mecánicas del hilo. Las propiedades físicas de un polímero dependen del grado de cristalinidad de este, y esta está estrechamente influenciada por la temperatura de texturizado y el ratio de estiraje; las propiedades influenciadas por el ratio de estiraje son los siguientes:

- Tenacidad del hilo final: la orientación de las fibras al aplicar el estiraje aumenta su orden y con ello la cristalinidad.
- Permanencia del rizado: Las moléculas del polímero se ordenan con el estiraje y la forma transmitida a las moléculas se mantiene.
- El alargamiento del hilo final disminuye debido al estiraje.
- Aumenta la rotura de los filamentos con lo que se debe llegar a un compromiso.

Con tal de poder comparar por igual todas las pruebas llevadas a cabo, la velocidad de texturizado se mantuvo constante a 500 m/min para todos los materiales debido a que un aumento de la velocidad de texturizado implica una disminución del tiempo de calentamiento del polímero dando lugar a peores propiedades del hilo texturizado como son disminución de la tenacidad final, contracción y rotura de filamentos.

Tarea 2.4 Texturizado ATY - Optimización de parámetros de procesado

El proceso de texturización por aire TASLAN se basa en una sobrealimentación del hilo dentro de un compresor de aire de corriente de chorro, de ese modo las fibras más largas son forzadas a formar bucles. Una vez obtenidos los hilos mediante hilatura multifilamento, se llevó a cabo una texturización por aire TASLAN. Los hilos obtenidos fueron los siguientes (**Entregable técnico E 2.4**):

Tabla 10 Matriz de experimentos realizados en la Tarea 2.4 Texturizado ATY - Optimización de parámetros de procesado

Texturizado por aire TASLAN			
Polímero		Draw Ratio	T^a textu (°C)
PET	POY 1	1,5	120
		1,6	125
		1,7	130
	POY 2	1,3	120
		1,4	125
		1,5	130
Polímero		Draw Ratio	T^a textu (°C)
PBT	POY 1	1,5	90
		1,6	95
		1,7	100
	POY 2	1,3	90
		1,4	95
		1,5	100
Polímero		Draw Ratio	T^a textu (°C)
PP	POY 1	1,3	65
		1,4	70
		1,5	80
	POY 2	1,1	65
		1,2	70
		1,3	80
Polímero		Draw Ratio	T^a textu (°C)
PA	POY 1	1,3	65
		1,4	70
		1,5	80
	POY 2	1,1	65
		1,2	70
		1,3	80

El texturizado por Aire TASLAN se llevó a cabo mediante una máquina TEXTURADO AFK-FC. Los parámetros a optimizar en este proceso fueron:

- Presión de aire
- Temperatura de godet
- Sobrealimentación de hilo Coeficiente de D/Y
- Velocidad de taslanización
- Ratio de estiraje

Tabla 11 Tabla de resultados de los hilos texturizados por Aire, TASLAN

	PET POY 1			PET POY 2		
Draw ratio	1.5	1.6	1.7	1.3	1.4	1.5
Tª godet	120	125	130	120	125	130
Resistencia final (g/den)	3.20	3.25	3.27	3.13	3.25	3.37
	PBT POY 1			PBT POY 2		
Draw ratio	1.5	1.6	1.7	1.3	1.4	1.5
Tª godet	90	95	100	90	95	100
Resistencia final (g/den)	3.09	3.11	3.16	3.12	3.15	3.16
	PP POY 1			PP POY 1		
Draw ratio	1.3	1.4	1.5	1.1	1.2	1.3
Tª godet	65	70	80	65	70	80
Resistencia final (g/den)	3.46	3.50	3.59	3.56	3.60	3.63
	PA POY 1			PA POY 2		
Draw ratio	1.3	1.4	1.5	1.1	1.2	1.3
Tª godet	65	70	80	65	70	80
Resistencia final (g/den)	3.80	3.85	3.88	3.86	3.84	3.80

Los resultados obtenidos demuestran que el ratio de estiraje durante el texturizado proporciona un aumento de la resistencia del hilo dando valores para el PET POY1 de 3.20 g/den para un ratio de estiraje de 1.5 a 120°C y aumenta a 3.27g/den al aplicar un estiraje de 1.7 a 130°C. También se observa que el estiraje previo en la hilatura afecta de forma positiva en las propiedades finales del hilo texturizado, ya que para hilos con diferente estiraje en hilatura y habiéndoles aplicado un estiraje en la texturización de 1.5, aquel con mayor estiraje en hilatura muestra mejor resistencia (3.37 g/den) frente al de menor estiraje (3.20 g/den).

Los resultados para el PBT muestran la misma tendencia, a mayor estiraje, mayores propiedades mecánicas. Para un PBT POY 1 se obtuvo una resistencia de 3.16 g/den con un estiraje de 1.7 a 100°C, mientras que para un PBT POY 2 con un menor estiraje (1.5) se obtuvo valores similares.

El PP y la PA muestran mayores propiedades mecánicas en comparación al PET y PBT, sin embargo, siguen la misma tendencia que estos. A mayor estiraje en la hilatura, mayores son las resistencias, y estas a su vez mejoran al aplicar estiraje en el proceso de texturización.

Tarea 2.5 Caracterización de hilados

En esta tarea se realizaron varios test con el objetivo de determinar y optimizar todos los procesos realizados hasta el momento a cada hilo (hilatura, texturización por fricción y texturización por aire) y al mismo tiempo realizar una comparativa entre técnicas. Los ensayos a llevar a cabo se enumeran a continuación (Los resultados se recogen en los entregables técnicos **E.2.2, E.2.3, E.2.4**):

- Tenacidad
- Control de resistencia
- Alargamiento
- Determinación del test de la elasticidad (K1)



Tarea 2.6 Estudio comparativo y conclusiones

A partir de los ensayos especificados en la tarea 2.5.- Caracterización de hilados, se realizará un estudio comparativo entre el texturizado por fricción-falsa torsión y el texturizado por aire TASLAN.

Tabla 12 Tabla de muestras de PET en crudo obtenidas durante la ejecución del proyecto según el proceso aplicado.

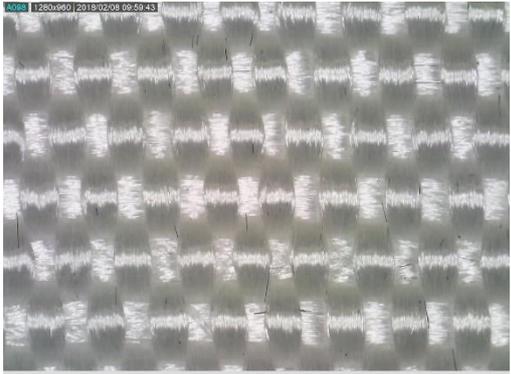
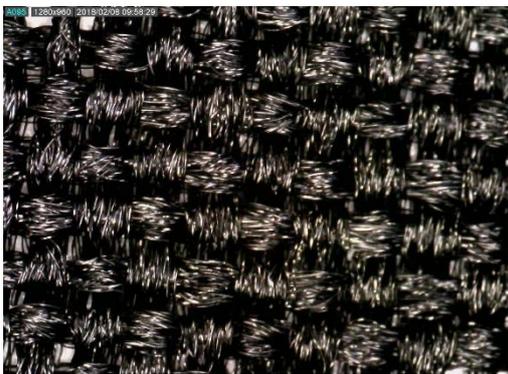
<h1>Poliéster</h1>	
Hilatura multifilamento	Texturizado por Falsa Torsión - Fricción
	
Texturizado por Aire - TASLAN	Tejeduría Tafetán
	

Tabla 13 Tabla de muestras de PET MASA en crudo obtenidas durante la ejecución del proyecto según el proceso aplicado.

Poliéster MASA	
Hilatura multifilamento	Texturizado por Falsa Torsión - Fricción
	
Texturizado por Aire - TASLAN	Tejeduría Tafetán
	

Teniendo en cuenta las diferencias entre las dos técnicas utilizadas, se procedió a realizar una comparativa entre ambas. Las propiedades físicas de un polímero dependen del grado de cristalinidad del mismo, y esta está estrechamente influenciada por la temperatura de texturizado y el ratio de estiraje. Es por ello que se estudió los cambios estructurales de cada polímero para determinar cómo afecta la variación de los parámetros de procesado al producto final. Además, se cuantificaron los cambios de sus propiedades mecánicas con tal de correlacionar dichos cambios y obtener valores óptimos de procesado.

Aplicaciones para hilos texturizados fricción y por Aire

La extensibilidad de los textiles se convierte cada día más en otro argumento esencial para la venta. Entre las muchas aplicaciones de los hilos **texturizados mediante falsa torsión**, destacan las medias para señoras, pantalones de deporte, trajes de baño, calcetines, y gran cantidad de prendas de vestir.

Al texturizar un hilo por falsa torsión, este adquiere un mayor volumen, así como una gran fuerza elástica, consecuentemente el tejido tiende a volver a su forma original cuando la tensión cesa. Dicha fuerza elástica de "contracción de rizo", es la responsable de la adaptabilidad de los tejidos a las formas del cuerpo.

Debido a que en la **texturización por Aire** no existe aportación térmica durante el proceso, solo en el proceso de estiraje, el hilo que se obtiene posee un nivel de contracción térmica importante, generalmente superior al 10%. Por ello es necesario termo fijar el hilo para poder ser utilizado en máquinas de tejer. Los hilos texturizados por aire son los que poseen un aspecto más parecido a los hilos de fibra cortada en cuanto a forma y características. Este proceso no proporciona elasticidad a los hilos, por lo que su volumen no sufre deformaciones importantes por tensión. Debido a estas características, estos hilos tienen unas aplicaciones bastante específicas:

- Prendas deportivas: hilos finos (100-200 Dtex)
- Automoción: hilos medios (400-800 Dtex)
- Textil hogar: hilos gruesos (>800 Dtex)

Paquete de trabajo 3 – Bulk Continuous Filament

Esta tarea se llevó a cabo siguiendo la metodología de la "Tarea 2.2 Hilatura multifilamento". En este paquete de trabajo se trabajó con la hilatura de los materiales PET, PP y PA66 con un título de 300 dtex (**Entregable Técnico E.3**):

Tabla 14 Ensayos realizados de Hilatura BCF

Hilatura multifilamento		
Hilos BCF		
PET	60Kg PET	POY 1
		POY 2
	60Kg PET MASA	POY 1
		POY 2
PP	60Kg PP	POY 1
		POY 2
	60Kg PP MASA	POY 1
		POY 2
PA	60Kg PA	POY 1
		POY 2
	60Kg PA MASA	POY 1
		POY 2



La hilatura multifilamento BCF se diferencia de la hilatura normal en que el hilo obtenido posee un título mucho mayor de un valor de alrededor de 720 Dtex. Para conseguir tal título se deben ajustar ciertos parámetros como la velocidad de extrusión, ya que de ella dependerá el volumen de polímero extruido. A su vez, la velocidad de bobinado también es un parámetro a tener en cuenta ya que dependiendo del bobinado el hilo poseerá mayor o menor estiraje y de este dependerá el título final. Por lo tanto, los problemas generales que se han observado durante la hilatura BCF es que al poseer un denier o dpf (denier por filamento) tan elevado, del orden de 18, los filamentos son muy gruesos y cuesta más enfriarlos; por lo tanto, la altura de la caída se aumenta al máximo y la velocidad del aire también. A su vez, el bobinado se produce a velocidades bajas por la misma razón; para que dé tiempo a enfriarse. El producto final obtenido es un POY con mucho estiraje residual.

Cabe destacar que la Poliamida es un polímero que desprende gases debido a la descomposición del material cuando este se funde, con tal de evitar dicha descomposición se necesita proporcionar una atmosfera inerte, es por ello que se inyecta gas nitrógeno en el proceso de hilatura para conseguir un proceso limpio y constante.

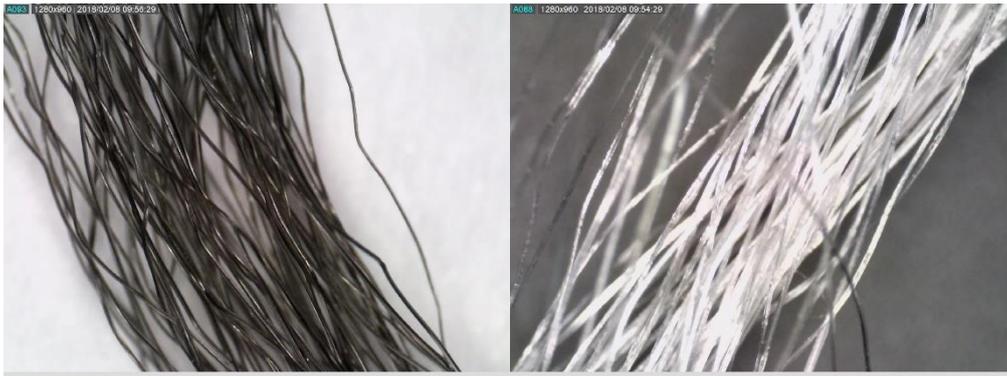


Figura 12 Hilos de PP obtenidos mediante hilatura BCF

6. TRANSFERENCIA A EMPRESAS



Empresa*	CIF	Localidad	Comarca	Fases y actividades**
Jorge Sempere S.L.	B03049988	Alcoy	Alicante	1, 3, 4
CAVITEX	ES-B-03814621	Alcudia	Alicante	1, 3, 4
INTERFABRICS S.L.	B03957024	Muro de Alcoy	Alicante	1, 3, 4

**Fases del proyecto:

1. Análisis de necesidades
2. Definición del proyecto
3. Generación de conocimiento y/o tecnología
4. Transferencia y promoción de los resultados obtenidos

Jorge Sempere S.L.

Concretamente la empresa Jorge Sempere SL, ha participado en las siguientes fases del proyecto:

- Análisis de las necesidades.
- Definición del proyecto.
- Generación de conocimiento y/o tecnología.

En los paquetes de trabajo y tareas siguientes:

Paquete 2. Preparación de materiales y extrusión de fibras

Tarea 2.3 Texturizado FDY - Optimización de los parámetros de procesado

Tarea 2.4 Texturizado ATY - Optimización de parámetros de procesado

Paquete 3. Bulk Continuos Filament

Tarea 3.2 Rizado

En cada una de las fases y tareas, se contó con el asesoramiento de la empresa Jorge Sempere SL. Para conseguir tal fin, se llevaron a cabo dos reuniones de seguimiento donde se le explicó el progreso del proyecto y se le enseñó prototipos de hilados. Gracias a la experiencia de Jorge Sempere SL en el sector la aportación de información de la empresa ayudó a mejorar el proceso para ajustarlo al máximo al entorno real de la industria.

CAVITEX

Concretamente la empresa CAVITEX, ha participado en las siguientes fases del proyecto:

- Análisis de las necesidades.
- Definición del proyecto.
- Generación de conocimiento y/o tecnología.



En los paquetes de trabajo y tareas siguientes:

Paquete 2. Preparación de materiales y extrusión de fibras

Tarea 2.3 Texturizado FDY - Optimización de los parámetros de procesado

Tarea 2.4 Texturizado ATY - Optimización de parámetros de procesado

En cada una de las fases y tareas, se contó con el asesoramiento de la empresa CAVITEX. Para conseguir tal fin, se llevó a cabo una reunión de seguimiento donde se le expuso el progreso del proyecto y se le enseñó prototipos de hilados. La empresa mostró especial interés en los resultados obtenidos para los hilos texturizados por aire y como los parámetros de procesado varían las propiedades finales del producto final.

INTERFABRICS S.L.

Concretamente la empresa INERFABRICS, ha participado en las siguientes fases del proyecto:

- Análisis de las necesidades.
- Definición del proyecto.
- Generación de conocimiento y/o tecnología.

En los paquetes de trabajo y tareas siguientes:

Paquete 2. Preparación de materiales y extrusión de fibras

Tarea 2.3 Texturizado FDY - Optimización de los parámetros de procesado

Tarea 2.4 Texturizado ATY - Optimización de parámetros de procesado

En cada una de las fases y tareas, se contó con el asesoramiento de la empresa Interfabrics SL. Para conseguir tal fin, se llevó a cabo una reunión de seguimiento donde se le expuso el progreso del proyecto y se le enseñó prototipos de hilados. La empresa mostró especial interés en los resultados obtenido para los hilos de texturización por fricción.



GENERALITAT
VALENCIANA

TOTS
A UNA
veu

IVACE
INSTITUT VALENCIÀ DE
COMPETITIVITAT EMPRESARIAL



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional
Una manera de hacer Europa

*Proyecto cofinanciado por los Fondos FEDER,
dentro del Programa Operativo FEDER
de la Comunidad Valenciana 2014 - 2020*

Este proyecto cuenta con el apoyo de la Conselleria d'Economia Sostenible, Sectors Productius, Comerç i Treball de la Generalitat Valenciana, a través del IVACE, y está cofinanciado por los fondos FEDER de la UE, dentro del Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana 2014-2020.

7. COLABORADORES EXTERNOS DESTACADOS



GENERALITAT
VALENCIANA

TOTS
A UNA
veu

IVACE
INSTITUT VALENCIÀ DE
COMPETITIVITAT EMPRESARIAL

UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional
Una manera de hacer Europa

*Proyecto cofinanciado por los Fondos FEDER,
dentro del Programa Operativo FEDER
de la Comunitat Valenciana 2014 - 2020*

Este proyecto cuenta con el apoyo de la Conselleria d'Economia Sostenible, Sectors Productius, Comerç i Treball de la Generalitat Valenciana, a través del IVACE, y está cofinanciado por los fondos FEDER de la UE, dentro del Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana 2014-2020.

Este punto es opcional.

Se considera oportuno en los casos en los que algún servicio externo tiene mucho peso en el proyecto, por ejemplo. O en aquellos casos en los que se cree conveniente explicar las actividades realizadas por parte del servicio externo, para poder llegar a entender correctamente el objetivo y desarrollo del proyecto.