

IDENTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES CONSTITUYENTES DE FILTROS PLÁSTICOS DE RESPIRADORES ARTIFICIALES

E. Catari^{a*}, E. Longa^a, A. Herrera^a, L. Blanco^a, E. Bernal^a, J. Anzola^a, D. Soto Gil^b, M. E. Gomes Gomes^b, M. Suarez^c,
N. Camacho^c, V. Torres^c y O. Álvarez^c

^a Laboratorio de Polimeros. Centro de Química “Dr. Gabriel Chuchani”. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Altos de Pipe, Edo. Miranda, Venezuela.

^b Centro de Ingeniería de Materiales y Nanotecnología. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Altos de Pipe, Edo. Miranda, Venezuela.

^c Centro de Tecnología de Materiales (CTM). Fundación Instituto de Ingeniería para Investigación y Desarrollo Tecnológico (FIIIDT), Altos de Sartenejas, Edo Miranda, Venezuela.

Email: ecatari@gmail.com

Received: 15-07-2024

Accepted: 12-09-2024

Published: 27-03-2025

RESUMEN

En el presente trabajo se describe el proceso de identificación y de caracterización de los materiales constituyentes de filtros de aire desechables comerciales, usados en respiradores artificiales y nebulizadores de clínicas y hospitales. La caracterización de estos materiales, sirvió como insumo para estudio realizado con el fin de determinar la posibilidad de producir estos dispositivos médicos en el país, debido al incremento de pacientes con COVID-19, que requerían el uso de respiradores artificiales y de oxígeno medicinal con nebulizadores. Los filtros de aire clínicos están conformados por una carcasa plástica transparente que permite ver el interior del producto, que contiene dos tipos de elementos filtrantes. Además, sobre la carcasa del filtro se encuentra una pequeña tapa plástica opaca la cual permite el ingreso de medicamentos para nebulizar al paciente. La caracterización de los materiales fue realizada mediante DSC, TGA, FTIR y SEM-EDX. Se identificó el material del cual están fabricados la carcasa y el elemento filtrante plástico, el cual es el polipropileno.

Palabras claves: Filtros de aire respiradores artificiales, nebulizadores, caracterización de materiales, DSC, TGA, FTIR, SEM-EDX polipropileno.

IDENTIFICATION OF THE CONSTITUENT MATERIALS OF PLASTIC FILTERS OF ARTIFICIAL RESPIRATORS

ABSTRACT

This work describes the identification and characterization process of the constituent materials of commercial disposable air filters, used in artificial respirators and nebulizers in clinics and hospitals. The characterization of these materials served as input for a study carried out to determine the possibility of producing these medical devices in the country, due to the increase in patients with COVID-19, who required the use of artificial respirators and medical oxygen with nebulizers. Clinical air filters are made up of a transparent plastic casing that allows you to see the inside of the product, which contains two types of filter elements. In addition, on the filter housing there is a small opaque plastic cover that allows the entry of medications to nebulize the patient. The characterization of the materials was carried out by DSC, TGA, FTIR and SEM-EDX. The material from which the housing and the plastic filter element are made was identified, as polypropylene.

Keywords: Air filters for artificial respirators, nebulizers, material characterization, DSC, TGA, FTIR, SEM-EDX polypropylene.

INTRODUCCIÓN

Entre los años 2020 y 2022 la humanidad fue objeto de la pandemia de COVID-19 (SARS-CoV-2). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el coronavirus

dejó más de 21 millones de personas fallecidas. Sin embargo, los esfuerzos de los trabajadores del sector salud, el desarrollo de vacunas y la aplicación de tratamientos innovadores practicados lograron recuperar a

más de 664 millones de pacientes contagiados de COVID-19.^[1] Aproximadamente, el 5% de los contagiados presentaron distrés respiratoria; esta condición obligaba a la inducción del paciente a un estado de coma farmacológico, donde era entubado y conectado a un respirador artificial, para ser tratado con un coctel de medicamentos adecuados para erradicar el coronavirus de su organismo.^[2,3] En general, un respirador artificial emplea pequeños filtros de aire que deben ser reemplazados periódicamente, ya que éstos filtros quedan impregnados del coronavirus, reduciendo así su eficiencia.

Estos filtros son artículos médicos importados muy costosos, motivo por el cual en el 2022 se plantearon dos proyectos de investigación y desarrollo cuyo objetivo era promover la fabricación de estos filtros en el país. Uno de estos proyectos fue ideado por el Laboratorio de Polímeros del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), y el otro tuvo su origen en el Centro de Tecnología de Materiales (CTM) de la Fundación Instituto de Ingeniería para Investigación y Desarrollo Tecnológico (FIIIDT). Ambos proyectos fueron presentados ante el Ministerio de Ciencia y Tecnología de forma independiente y simultánea, los objetivos de cada uno de ellos no se solapaban, por el contrario, se complementaban. El proyecto presentado por el IVIC buscaba identificar y producir fibras poliméricas que pudiesen reemplazar los elementos internos filtrantes de los filtros de respiradores artificiales de clínicas y hospitales; por otra parte, el objetivo 2 del proyecto presentado por el CTM buscaba identificar los tipos de plásticos que conforman la carcasa externa de estos filtros; también la FIIIDT proyectaba diseñar moldes de inyección para promover la producción de las carcasas plásticas. En el desarrollo del objetivo 2 del proyecto de la FIIIDT, el CTM contactó al Laboratorio de Polímeros del IVIC para establecer relaciones interinstitucionales con el objetivo de caracterizar los materiales plásticos

constituyentes de estos filtros. El trabajo incluía la identificación de la coraza plástica externa (tapa superior e inferior) y los elementos internos filtrantes.

En la Imagen 1 se puede observar el filtro desechable plástico que emplean los respiradores artificiales, posee una coraza externa hecha de un plástico azulado transparente. También se aprecia, una pequeña tapa plástica opaca, mediante la cual se ingresan medicamentos y fármacos para el tratamiento médico.



Imagen 1. Filtro desechable empleado en respiradores artificiales

En el interior de la coraza azulada plástica están presentes dos elementos filtrantes blancos, los cuales posteriormente pudieron ser identificados como papel de filtrado y una espuma filtrante de polipropileno. El presente trabajo describe la metodología empleada para la identificación de las partes plásticas constituyentes del filtro desechable empleado por respiradores artificiales. Los análisis empleados incluyeron: FTIR, DSC, TGA y SEM-EDX.

PARTE EXPERIMENTAL

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) se realizó en un espectrómetro Perkin Elmer Spectrum 1001, con una resolución de aproximadamente 2 cm^{-1} después de 32 scans. Las muestras plásticas fueron fundidas en una prensa hidráulica a $190\text{-}210^{\circ}\text{C}$ por 3 minutos, obteniendo películas finas las cuales fueron analizadas en modo de transmisión. La calorimetría diferencial de barrido (DSC) se realizó en equipo DSC-821e Mettler Toledo, con una velocidad de barrido de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ desde temperatura ambiente hasta 180°C bajo

un flujo de 20 mL/min de nitrógeno seco, las temperaturas de fusión de las muestras fueron registradas a partir del segundo calentamiento. Los análisis termogravimétricos (TGA) se realizaron en un equipo TGA/SDTA 851e Mettler Toledo, empleando una velocidad de barrido de 10 °C/min, desde temperatura ambiente hasta 800°C, bajo un flujo de 20 mL/min de nitrógeno seco. Además de la curva de pérdida de masa en función de la temperatura del análisis, se graficó la curva correspondiente a la primera derivada del TGA (DTG). Los análisis de microscopia electrónica de barrido (SEM) se realizaron en un microscopio electrónico Jeol JFM-6390 provisto de analizador EDX, la energía empleada para la obtención de las imágenes fue de 30 kV y se aplicó un vacío de 1.33×10^{-6} mBar. El microscopio electrónico pertenece al Laboratorio E (Materiales y Procesos de Fabricación) de la Universidad Simón Bolívar, y fue operado por el Lic. Glenn Rodríguez. Para el análisis de las micrografías SEM se empleó el software Imagen 1.53t desarrollado por el Instituto Nacional de Salud de los Estados Unidos (USA). La determinación del gramaje a los elementos filtrantes internos, se realizó mediante la medición de la masa de las piezas y sus dimensiones.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Identificación del material de construcción de la carcasa externa del filtro

El análisis de DSC de la carcasa plástica azul del filtro (Figura 1) mostró una temperatura de fusión de 153,6°C, mientras que la temperatura de degradación (Figura 2) obtenida por TGA/DTG fue de 435,8°C. Tanto la temperatura de fusión como la de degradación corresponden a un termoplástico de polipropileno.⁴ En base a reportes técnicos,^[5] el homopolímero de propileno (polipropileno) es un material muy utilizado para aplicaciones médicas, debido a su elevada resistencia mecánica y térmica, que le permite ser sometidas a procedimientos de esterilización médica con calor y/o

radiación UV sin que el material sufra deformaciones o degradación.

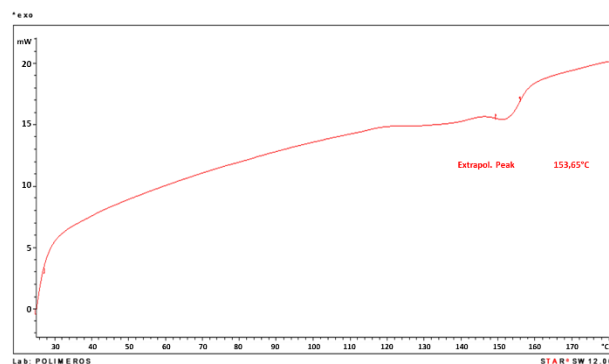


Figura 1. Termograma DSC del plástico azul (carcasa externa) del filtro

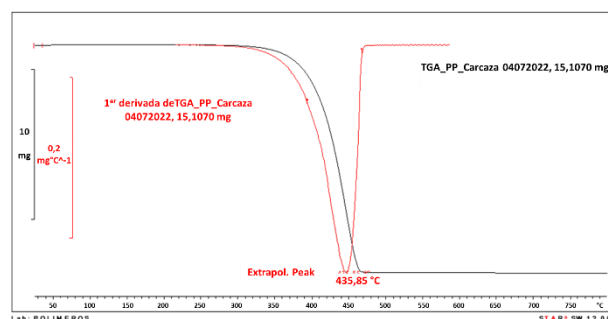


Figura 2: Termograma TGA del plástico azul (carcasa externa) del filtro

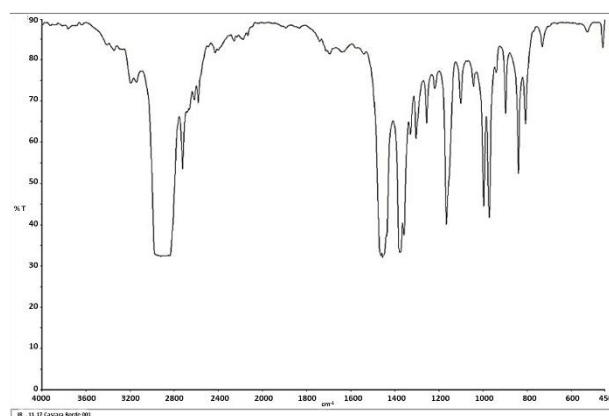


Figura 3: Espectro FTIR del plástico azul (carcasa externa) del filtro

El análisis FTIR de la carcasa plástica azul (Figura 3) presentó los siguientes picos de absorción: 840 cm⁻¹ (tensión C-H), 973 cm⁻¹ (tensión CH₃, estiramiento C-C), 993 cm⁻¹ (tensión CH₃, estiramiento C-C), 1166 cm⁻¹ (oscilante CH₃, estiramiento C-C), 1376 cm⁻¹ (doblado

simétrico CH_3), 1456 cm^{-1} (doblado simétrico CH_3), 2870 cm^{-1} (estiramiento CH_3), 2920 cm^{-1} (estiramiento asimétrico CH_2), 2950 cm^{-1} (estiramiento asimétrico CH_3).^[6] Las frecuencias de absorción detectadas en el análisis FTIR confirman la presencia de cadenas alifáticas hidrocarbonadas y de grupos metilos característicos del polipropileno.

Identificación del material de construcción de la tapa plástica opaca del filtro

El análisis DSC de la tapa plástica opaca azul celeste (Figura 4) mostró una transición vítrea a 116°C (cambio en la capacidad calorífica del material), a su vez no se observó ningún fenómeno de fusión en el rango de temperaturas empleado (25°C a 180°C), por lo que se pudo deducir la pequeña tapa azul celeste está constituida por un material amorfo o de un termoplástico semicristalino cuya temperatura de fusión se encuentra sobre los 180°C .

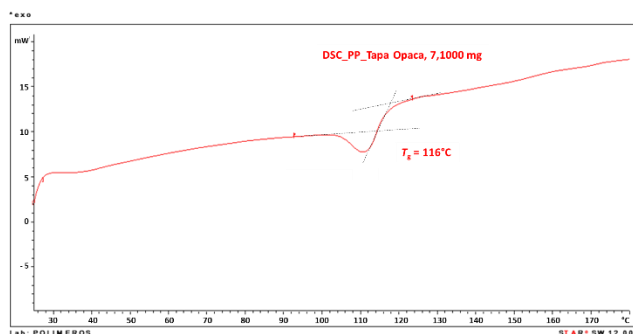


Figura 4: Termograma DSC de la pequeña tapa azul del filtro

Para poder realizar el análisis de FTIR a la pequeña tapa azul, se empleó una muestra que fue termoformada en forma de una delgada lámina transparente. En este proceso de transformación se pudo ver que el material constituyente de la pequeña tapa azul celeste es en efecto un polímero termoplástico semicristalino⁷ cuya temperatura de fusión debería entonces estar localizada sobre los 180°C , lamentablemente para el presente estudio no fue posible evaluar temperaturas de fusión mayores a 180°C por DSC. Adicionalmente, el material de la pequeña tapa azul mostró una mayor temperatura de

degradación ($481,67^\circ\text{C}$) en comparación a la temperatura de degradación determinada para el polipropileno ($435,80^\circ\text{C}$), lo cual puede indicar la presencia de un polímero cuyas cadenas macromoleculares poseen una mayor energía intermolecular lo que infunde al material elevadas temperaturas de fusión y degradación.^[8]

Entre los materiales que pueden ser empleados para la construcción de la pequeña tapa azul está el ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno), cuya temperatura de transición vítrea se encuentra entre 108°C y 111°C .⁹ El análisis FTIR de la pequeña tapa plástica azul (Figura 5) mostró las señales o frecuencias de absorción correspondientes al termoplástico ABS (2238 cm^{-1}) correspondiente al estiramiento $\text{C}\equiv\text{N}$ del acrilonitrilo, 1492 cm^{-1} y 1605 cm^{-1} asociadas al sistema aromático del estireno, 966 cm^{-1} asociadas a flexiones en el plano C-H del polibutadieno, 759 cm^{-1} y 700 cm^{-1} vibración en modo de flexión C-H del anillo de estireno, 1452 cm^{-1} vibración en modo de tijeo de los enlaces CH_2 , $2800\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$ vibración C-H del sistema alifático del estireno y entre $3000\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$ vibración C-H del sistema aromático del estireno.^[9] Por lo tanto, el material del que está construida la tapa azul celeste es ABS.

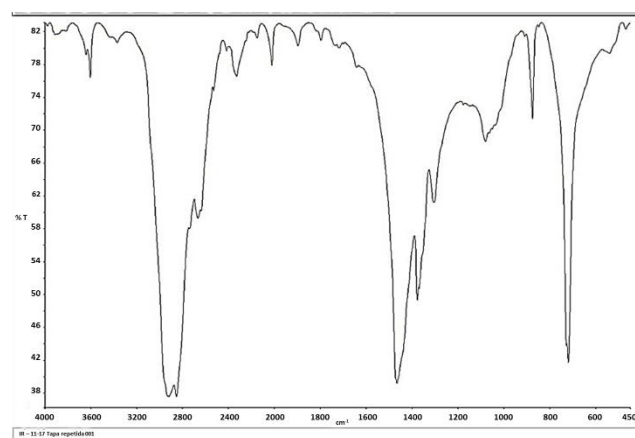


Figura 5: Espectro FTIR de la tapa pequeña azul celeste del filtro

Identificación del material de construcción de los elementos filtrantes internos del filtro

Para poder realizar los análisis correspondientes a los elementos filtrantes internos del filtro comercial, se procedió a realizar el desmontaje de la pieza (Figura 6). A continuación, se muestra el registro fotográfico del proceso de desarme del filtro comercial:



Figura 6: Desmontaje del filtro comercial

El tipo de polímero, que generalmente se emplea para la fabricación de elementos filtrantes de filtros de aire de uso clínico son microfibras de polipropileno (PP).^[10] La inspección del interior del filtro comercial mostro que los elementos filtrantes internos están conformados por una cinta doble de papel de celulosa enrollada y un disco filtrante constituido por un disco central conformado por microfibras de polipropileno confinado entre dos capas delgadas hechas del mismo polipropileno. Para determinar las dimensiones de las fibras en el disco central y de las capas delgadas de polipropileno, se realizaron análisis de microscopia electrónica de barrido (SEM).

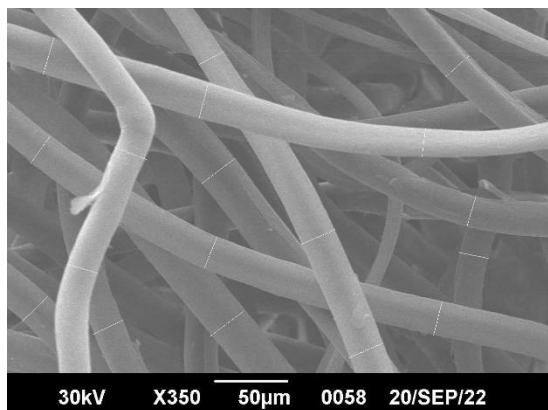


Figura 7: Micrografía SEM del disco central de fibras de polipropileno (Código: 0058)

Se obtuvieron micrografías a partir de diversas zonas del disco central. A continuación, se presentan dos de estas

micrografías (Figuras 7 y 8) en las que se observan las marcas de medición de los diámetros de las fibras de polipropileno.

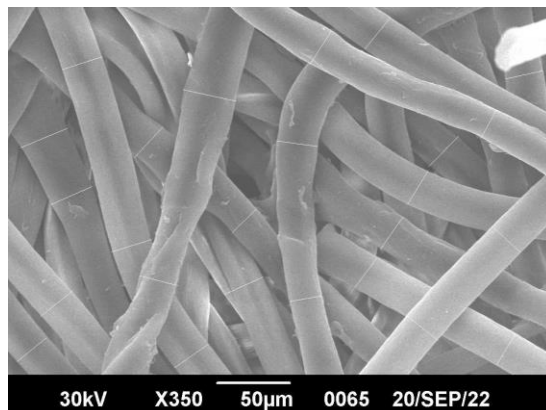


Figura 8: Micrografía SEM del disco central de fibras de polipropileno (Código: 0065)

Fueron tomadas más de 15 micrografías del disco central de PP, en todas las micrografías se observan múltiples fibras de polipropileno entrecruzadas de forma aleatoria, este tipo de arreglo microestructural es característico de procesos industrializados de soplado en fundido (MeltBlown). Se seleccionaron cuatro imágenes representativas del material para analizar los diámetros de las fibras de PP. Los resultados de las mediciones de los diámetros de las fibras de PP se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Diámetros de 4 muestras representativas del disco central de PP

Código	Diámetro promedio (μm)	Desviación estándar (μm)	Valor mínimo (μm)	Valor máximo (μm)
Filtro centro 0058	23.0	2.7	18.8	28.3
Filtro centro 0065	27.1	3.2	21.4	36.3
Filtro centro 0073	22.0	2.5	17.8	26.0
Filtro centro 0088	22.8	3.1	18.5	32.5

La identificación química del material constitutivo del disco central revela la presencia de átomos de carbono característicos del polipropileno (Figura 9).

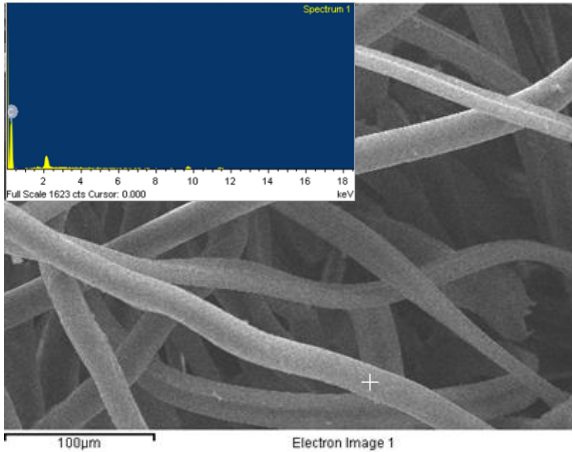


Figura 9: Análisis elemental EDX del disco central de fibras de polipropileno (Código: 0073)

El disco central fibroso de polipropileno se encuentra confinado entre dos delgadas capas (telas) finas, que dan forma y cierto grado de compresión al disco central. En la Figura 10 se presenta una micrografía obtenida de estas finas telas. Esta Figura 10 muestra unas zonas rectangulares regulares en los cuales ha ocurrido la fusión del polímero.

Estos puntos exhiben formas regulares cuyas áreas son muy parecidas entre sí (ver tabla 2), y se encuentran ubicados a una distancia equidistante. Esto hace suponer que estas zonas de fusión fueron producidas como consecuencia del proceso de calandrado industrial, el cual da forma a las láminas delgadas de PP.

Tabla 2. Áreas aproximadas de zonas rectangulares de las finas telas de rodean el disco central

Fundidos rectangulares	Área Aprox. (mm ²)	Separación	distancia (µm)
A	0.627 ± 0.005	A - B	1030.2 ± 0.5
B	0.554 ± 0.005	B - D	980.1 ± 0.5
C	0.570 ± 0.005	C - D	1047.0 ± 0.5
D	0.604 ± 0.005	C - A	981.0 ± 0.5

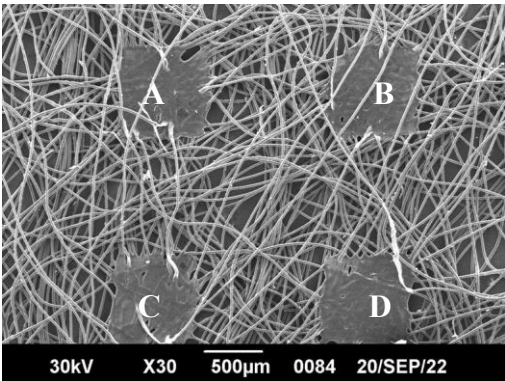


Figura 10: Micrografía SEM de la tela fina de polipropileno (Código: 0084)

A las zonas fibrosas del filtro tapa, también se le realizaron varias micrografías. En las Figuras 11 y 12 se muestran dos imágenes de estas zonas fibrosas entrecruzadas

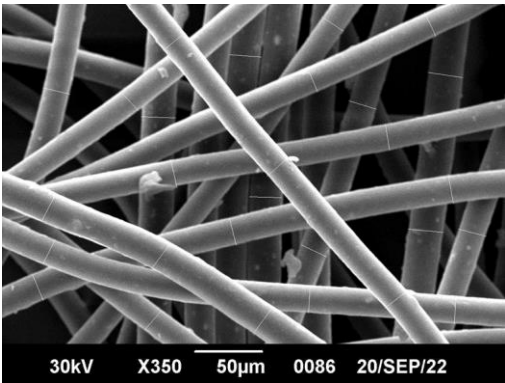


Figura 11: Micrografía SEM de la tela fina de polipropileno (Código: 0086)

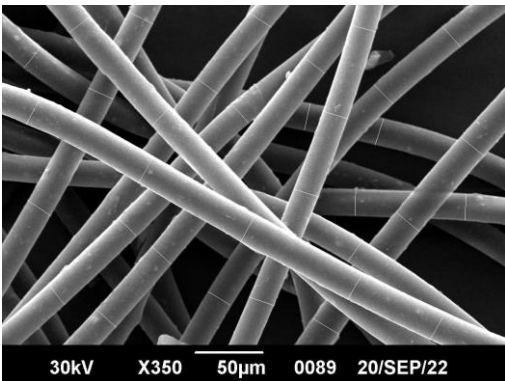


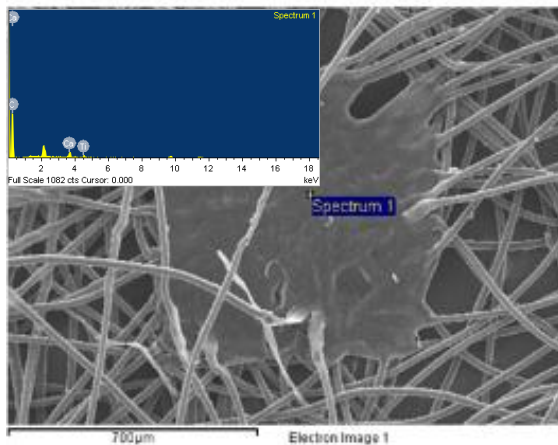
Figura 12: Micrografía SEM de la tela fina de polipropileno (Código: 0089)

Para poder estimar valores representativos del grosor de las fibras de polipropileno, se analizaron tres imágenes de MEB. Los resultados de estas mediciones de diámetros se resumen en la Tabla 3.

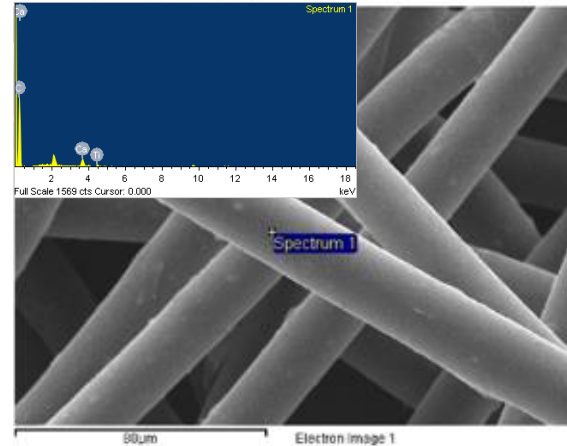
Tabla 3. Diámetros de 3 muestras representativas fibras de PP

Código	Diámetro promedio (μm)	Desviación estándar (μm)	Valor mínimo (μm)	Valor máximo (μm)
Filtro tapa 0086	21.3	2.1	18.4	25.4
Filtro tapa 0089	20.2	1.4	18.5	23.1
Filtro tapa 0104	20.8	2.4	17.7	31.5

La identificación química de las zonas fundidas rectangulares observadas en las telas finas de PP indicó la presencia de carbono (polipropileno), calcio (carbonato de calcio usado como relleno), y también se detectó titanio. El titanio presente en el filtro de polipropileno puede justificarse por el hecho de que industrialmente se emplea óxido de titanio (TiO_2) en combinación con el polipropileno en la producción de películas y fibras para que el potencial superficial del producto fuese atenuado en un corto tiempo, esto se debe a que el (TiO_2) influencia positivamente la conductividad del producto. ^[11]

**Figura 13:** Análisis elemental EDX de la zona rectangular de la tela fina de PP (Código: 0084)

Además de la zona rectangular de PP fundido, se analizaron las fibras de PP circundantes a estas zonas rectangulares. A continuación, se muestran los resultados del análisis elemental de las fibras circundantes a estas zonas rectangulares.

**Figura 14:** Análisis elemental EDX de las fibras de la tela fina de PP (Código: 0084)

El análisis elemental (EDX) a las fibras de la tela fina de PP indicó la presencia de carbono (polipropileno), recordando que los átomos de hidrogeno que acompañan a este termoplástico no son detectables mediante la difracción de rayos X del detector EDX, también se observó calcio (carbonato de calcio usado como relleno) y titanio (TiO_2).

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Los análisis de SEM y análisis elemental EDX confirman que el material del cual están constituidos los filtros filamentosos es polipropileno.

Las capas externas (tela fina) son telas del tipo **spunbond**, las cuales se producen mediante la extrusión del polímero en forma de hileras parcialmente fundidas, que son impactadas sobre una banda transportadora que posteriormente conduce el material a unos rodillos de calandrado. En estos rodillos se les proporciona el espesor adecuado, además se les funde rectángulos de polímero para proporcionarles estabilidad y resistencia mecánica. Este proceso se denomina unión térmica o unión calandrada, en la Figura 15 se muestra una ilustración de este proceso.

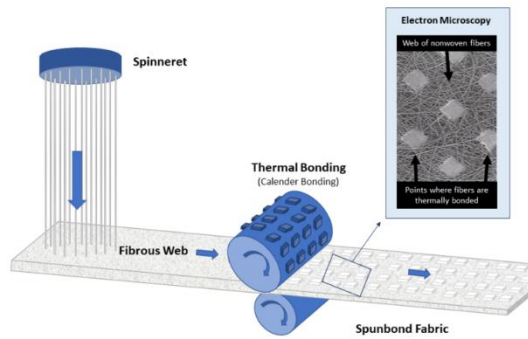


Figura 15: Esquema simple del proceso de SpunBond en combinación a calandrado^[12]

Por su parte, el disco central de polipropileno es un material fabricado a partir de un proceso denominado **meltblown** o de soplado en fundido.

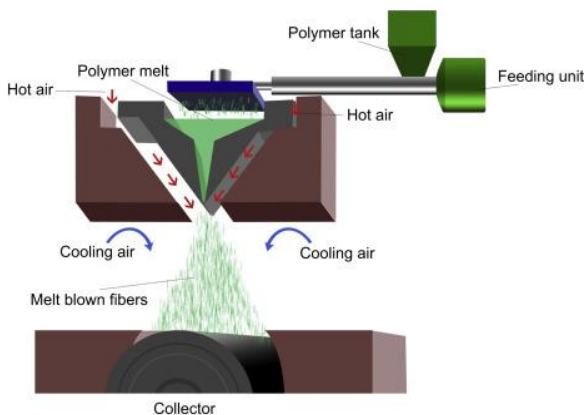


Figura 16: Esquema simple del proceso de MeltBlown^[13]

El proceso de soplado en fusión consiste de un sistema de fabricación de materiales no tejidos (non woven) que implica la conversión directa de un polímero en filamentos continuos, integrado con la conversión de los filamentos en una tela no tejida colocada al azar. En la Figura 16 se ilustra este proceso.

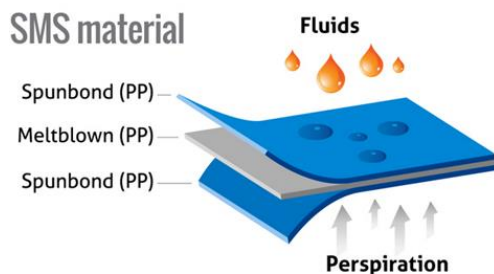


Figura 17: Componentes básicos de sistemas de filtrado de aire usados en filtros y mascarillas o tapabocas ^[14]

La combinación de ambos tipos de materiales: **spunbond** y **meltblow** (Figura 17) son ampliamente empleados como elementos de filtración de aire en sistemas de respiración artificial en clínicas y hospitales.

REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud. Covid-19 superó las 7 millones de muertes a finales de 2023: OMS. En: <https://www.forbes.com.mx/covid-19-superolas-7-millones-de-muertes-a-finales-de-2023-oms/>.
- [2] Castro García, R. G.; Pazmiño Chancay, M. J.; Peñaherrera Cepeda, R. A. Manejo de La Vía Aérea Artificial En Pacientes COVID-19. *Recimundo* 2020, 4 (4), 207–215. En: <https://doi.org/10.26820/recimundo/4>.
- [3] Chávez Morillo, D. J.; Uribe López, J. R. Uso de Máquina de Anestesia Como Ventilador Mecánico En Pacientes COVID-19 En Áreas Críticas Del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín TT - Use of Anesthesia Machine as a Mechanical Ventilator in COVID-19 Patient in Critical Areas of Carlos And. *Cambios rev. méd* 2020, 19 (2), 89–103.
- [4] Marck, J. E. *POLYMER DATA HANDBOOK*; Marck, J. E., Ed.; Oxford University Press: University of Cincinnati, 1998.
- [5] Maier, C.; Calafut, T. Morphology and Commercial Forms. In *Polypropylene. The Definitive User's Guide and Databook*; Andrew, W., Ed.; 1998; pp 11–25. En: <https://doi.org/10.1016>.
- [6] Fang, J.; Zhang, L.; Sutton, D.; Wang, X.; Lin, T. Needleless Melt-Electrospinning of Polypropylene Nanofibres. *J. Nanomater.* 2012, 2012, 9. En: <https://doi.org/10.1155/2012/382639>.
- [7] Saldivar-Guerra, E.; Vivaldo-Lima, E. *Handbook of Polymer Synthesis, Characterization, and Processing*; John Wiley & Sons, Inc, 2013. En: <https://doi.org/10.1002/9781118480793>.

- [8] Ray, S.; Cooney, R. P. Thermal Degradation of Polymer and Polymer Composites. In *Handbook of Environmental Degradation of Materials*; Elsevier Inc.: New Zealand, 2018; pp 185–206. En: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52472-8.00009-5>.
- [9] Dos Anjos, E. G. R.; Marini, J.; Montagna, L. S.; do Amaral Montanheiro, T. L.; Passador, F. R. Reactive Processing of Maleic Anhydride-Grafted ABS and Its Compatibilizing Effect on PC/ABS Blends. *Polimeros* 2020, 30 (4). En: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.09220>.
- [10] Jinwei, X.; Xin, X.; Wenbo, Z.; Rong, X.; Sang, C. K.; Yi, C.; Tyler, T. H.; Esther, W.; Yi, C. Air-Filtering Masks for Respiratory Protection from PM2.5 and Pandemic Pathogens. *One Earth* 2020, November (20), 574–589.
- [11] Lou, C. W.; Shih, Y. H.; Huang, C. H.; Lee, S. A.; Chen, Y. S.; Lin, J. H. Filtration Efficiency of Electret Air Filters Reinforced by Titanium Dioxide. *Appl. Sci.* 2020, 10 (8). En: <https://doi.org/10.3390/APP10082686>.
- [12] Jocelyn Songer, Mask Fabrics: Introduction to Fibers and FabricsMakerMask Organización.MakerMask Organizacion, Julio 2020. En: <https://makermask.org/mask-fabrics-101-introduction-to-fibers-and-fabrics/>
- [13] Erdem Ramazan, Avances en estructuras textiles para el cuidado de heridas.en Textiles avanzados para el cuidado de heridas (segunda edición), 2019. En: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/melt-blown-process>
- [14] Xian Wan Li. ¿Cuál Es La Diferencia Entre Los No Tejidos SMS Y SMMS?, Julio de 2023. En: <https://es.wanli-safety.com/info/the-difference-between-sms-and-smms-nonwovens-84757499.html>