

ANEXO I

Filtración de partículas en telas no tejidas

Las telas no tejidas (sustratos), como el Spunbond y estructuras SMS (tricapa de Spunbond-Meltblown-Spunbond), se caracterizan por fibras de diámetro micrométrico que cumplen principalmente una función estructural. **En el caso del Spunbond, los filamentos continuos** presentan diámetros del orden de decenas de micrómetros, lo que **proporciona alta permeabilidad al aire pero una capacidad limitada para la retención de partículas** submicrométricas. **En las estructuras SMS, la capa intermedia de Meltblown aporta la función filtrante** mediante fibras más finas, reduciendo el tamaño de poro y aumentando el área superficial disponible para la captura de partículas.

La incorporación de una capa de nanofibras obtenidas por electrohilado **sobre estos sustratos modifica de manera significativa el comportamiento del material filtrante**. Las nanofibras, con diámetros en el rango nanométrico, forman una malla fibrosa de poros ultrafinos que incrementa la probabilidad de captura de partículas mediante mecanismos físicos como la intercepción y difusión browniana, relevantes para partículas en el rango submicrométrico. Esta red de nanofibras actúa como una zona activa de filtración que complementa la función estructural del sustrato no tejido.

Adicionalmente, debido a su reducido diámetro, las nanofibras permiten mantener una caída de presión controlada en relación con el aumento de superficie de filtración. Como resultado, la deposición de nanofibras sobre telas no tejidas permite obtener un material compuesto que conserva la permeabilidad al aire del sustrato base, mientras incorpora una estructura porosa de menor escala que mejora la retención de partículas.

Durante el desarrollo se evaluó el desempeño de distintas configuraciones de material filtrante que incorporan nanofibras obtenidas bajo diferentes condiciones de proceso. En diferentes ensayos se obtuvieron recubrimientos de nanofibras con baja cobertura, distribución no uniforme o presencia de artefactos en la superficie del recubrimiento, asociados a concentraciones poliméricas y parámetros de electrohilado no óptimos. Estos prototipos no alcanzaron niveles de alta eficiencia de filtración ($< 95\%$). Posteriormente, mediante la optimización de la solución polimérica y de los parámetros de proceso, se lograron recubrimientos de nanofibras estables y reproducibles, integradas de manera adecuada a la tela no tejida. Los prototipos obtenidos bajo estas condiciones sí presentaron un incremento en la eficiencia de filtración, alcanzando valores de alta eficiencia. Estos resultados confirman que el efecto observado no depende únicamente de la presencia de nanofibras, sino de la obtención de una configuración estructural específica y funcional de la capa nanofibrosa. Es importante resaltar que los estudios de eficiencia de filtración se realizaron en un laboratorio internacional certificado.

A continuación, se presenta el soporte de evaluaciones realizadas en las diferentes combinaciones de materiales filtrantes que **NO** cumplieron con alta eficiencia de filtración:

Evaluación eficiencia de filtración nanofibras - Combinaciones que no superaron el test (< 95 %)		
Prototipo	Composición	Resultado eficiencia de filtración
600ENPA21-SS Lot: 01	SMS+NANOFIBRA N21+SP	Muestra 1: 60,30%
800ENPA22-SS Lot: 01	SP+NANOFIBRA N22+SP	Muestra 2: 72,90%
380-SMSblc Lot: 01	SMS blanca+ NANOFIBRA N22+SP azul	Muestra 1: 90,2%
		Muestra 2: 83,8%
		Muestra 3: 82,0%
400-SMSblc Lot: 01	SMS blanca + NANOFIBRA N20 + SP azul	Muestra 1: 74,3%
		Muestra 2: 85,5%
		Muestra 3: 85,0%
350-SMSQM Lot: 01	SMS blanca + NANOFIBRA N27 + SP azul	Muestra 1: 96,06%
		Muestra 2: 91,71%
400-SMSQM Lot: 01	SMS blanca + NANOFIBRA N20 + SP azul	Muestra 1: 93,03%
		Muestra 2: 88,30%
450-SMSQM Lot: 01	SMS blanca + NANOFIBRA N28 + SP azul	Muestra 1: 98,54%
		Muestra 2: 87,90%
500-SMSQM Lot: 01	SMS blanca + NANOFIBRA N24 + SP azul	Muestra 1: 88,10%

SP: Spunbond. SMS: Capa trilaminada Spunbond-Meltblown-Spunbond. N: monocapa de nanofibra.

A continuación, se presenta el soporte de evaluaciones realizadas en las diferentes combinaciones de materiales filtrantes que **SÍ** cumplieron con alta eficiencia de filtración:

Evaluación eficiencia de filtración nanofibras - Combinaciones que sí superaron el test (≥95%)		
Prototipo	Composición	Resultado eficiencia de filtración
FCV-P1-1/ Lot # PN18-001	SP+NANOFIBRA N18+SMS azul	Muestra 1: 98,20%
		Muestra 2: 98,08%
FCV-P2/ Lot# PN17-001	SP+NANOFIBRA N17+SMS azul	Muestra 1: 99,877%
		Muestra 2: 99,824%
FCV-P3/ Lot# PN16-001	SP+NANOFIBRA N16+SMS azul	Muestra 1: 99,789%
		Muestra 2: 99,975%
FCV-P5/ Lot #DPN16-001	SP+NANOFIBRA DN16+SP	Muestra 1: 99,997%
		Muestra 2: 99,993%
FCV-P6/ Lot #DPN18-001	SP+NANOFIBRA DN18+SP	Muestra 1: 99,661%
		Muestra 2: 99,752%
FCV-P4/ Lot #PN16A-001	SP+NANOFIBRA N16A+SMS azul	Muestra 1: 99,699%

		Muestra 2: 99,847%
FCV-P5/ Lot #DPN16-001	SP+NANOFIBRA DN16+SP	Muestra 1: 99.997%
		Muestra 2: 99.993%
FCV-P6/ Lot #DPN18-001	SP+NANOFIBRA DN18+SP	Muestra 1: 99.661%
		Muestra 2: 99.752%
325-10-SMSQM Lot: 01	SMS+ nanofibra N34 + SP azul	Muestra 1: 99,95%
275-8-SMSQM Lot: 01	SMS blanca+ nanofibra N30+ SP azul	Muestra 1: 97,88%
		Muestra 2: 99,33%
		Muestra 3: 99,63%

SP: Spunbond. SMS: Capa trilaminada Spunbond-Meltblown-Spunbond. N: monocapa de nanofibra. DN: Doble capa de nanofibra.

Referencias:

Zhou, Y. et al. *Electrospun Nanofiber Membranes for Air Filtration: A Review*. *Polymers*, 2022.

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9000692/>

Barhate, R. S., & Ramakrishna, S. *Nanofibrous filtering media: Filtration problems and solutions from tiny to even smaller particles*. *Journal of Membrane Science*, 296 (2007), 1–8.

<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.03.038>

Anexos:

ANEXO 1. Informe de laboratorio - Resultados Eficiencia de filtración < 95%.



Study Number 1430104-S01
Sodium Chloride (NaCl) Aerosol Test Final Report

Results:

Test Article	Corrected* Airflow Resistance (mm H ₂ O)	Particle Penetration (%)	Filtration Efficiency (%)
600ENPA21-SS Lot: 01	17.9	39.7	60.3
800ENPA22-SS Lot: 01	18.3	27.1	72.9

* The final airflow resistance value for each test article was determined by subtracting out the background resistance from the system.

Results:

ID: 380-SMSblc Lot:01:

Test Article Number	Airflow Resistance (mm H ₂ O)	Particle Penetration (%)	Filtration Efficiency (%)
1	37.0	9.80	90.20
2	33.9	16.2	83.8
3	33.9	18.0	82.0

ID: 400-SMSblc Lot: 01:

Test Article Number	Airflow Resistance (mm H ₂ O)	Particle Penetration (%)	Filtration Efficiency (%)
1	26.3	25.7	74.3
2	44.2	14.5	85.5
3	42.6	15.0	85.0

Results:

Test Article	Corrected ^a Airflow Resistance (mm H ₂ O)	Particle Penetration (%)	Filtration Efficiency (%)
ID: 350-SMSQM Lot:01	67.9	3.94	96.06
ID: 400-SMSQM Lot:01	54.3	6.95	93.05
ID: 450-SMSQM Lot:01	67.4	1.46	98.54
ID: 500-SMSQM Lot:01	30.3	11.9	88.1

Test Article	Airflow Resistance (mm H ₂ O)	Particle Penetration (%)	Filtration Efficiency (%)
ID: 350-SMSQM Lot:01	68.2	8.29	91.71
ID: 400-SMSQM Lot:01	40.9	11.7	88.3
ID: 450-SMSQM Lot:01	33.7	12.1	87.9

ANEXO 2. Informe de laboratorio - Resultados Eficiencia de filtración ≥95%

Results:FCV-P1-1/ Lot # PN18-001:

Test Article Number	Airflow Resistance (mm H ₂ O)	Particle Penetration (%)	Filtration Efficiency (%)
1	79.5	1.80	98.20
2	80.9	1.92	98.08

FCV-P2-1/ Lot# PN17-001:

Test Article Number	Airflow Resistance (mm H ₂ O)	Particle Penetration (%)	Filtration Efficiency (%)
1	94.4	0.123	99.877
2	107.0	0.176	99.824

FCV-P3-1/ Lot# PN16-001:

Test Article Number	Airflow Resistance (mm H ₂ O)	Particle Penetration (%)	Filtration Efficiency (%)
1	86.1	0.211	99.789
2	119.7	0.025	99.975

FCV-P4-1/ Lot #PN16A-001:

Test Article Number	Airflow Resistance (mm H ₂ O)	Particle Penetration (%)	Filtration Efficiency (%)
1	81.6	0.301	99.699
2	83.5	0.153	99.847

FCV-P5-1/ Lot #DPN16-001:

Test Article Number	Airflow Resistance (mm H ₂ O)	Particle Penetration (%)	Filtration Efficiency (%)
1	148.0	0.003	99.997
2	144.5	0.007	99.993

FCV-P6-1/ Lot #DPN18-001:

Test Article Number	Airflow Resistance (mm H ₂ O)	Particle Penetration (%)	Filtration Efficiency (%)
1	124.7	0.339	99.661
2	134.1	0.248	99.752

ID: 275-8-SMSQM Lot: 02**ID: 275-8-SMSQM Lot: 03****Results:**

Test Article Number	Airflow Resistance (mm H ₂ O)	Particle Penetration (%)	Filtration Efficiency (%)
1-1	112.1	0.674	99.326
2-1	119.9	0.375	99.625

Results:ID: 325-10-SMSQM Lot: 01:

Test Article Number	Airflow Resistance (mm H ₂ O)	Particle Penetration (%)	Filtration Efficiency (%)
1	77.5	0.048	99.952

ID: 275-8-SMSQM Lot: 01:

Test Article Number	Airflow Resistance (mm H ₂ O)	Particle Penetration (%)	Filtration Efficiency (%)
1	72.0	2.12	97.88