

## EFICACIA EN LA RETENCIÓN DE PARTÍCULAS DEL POLVO DE MADERA: TELA NO TEJIDA FRENTE AL TAFETÁN

Lázaro V. Cremades

*Dpto. de Proyectos de Ingeniería, Universitat Politècnica de Catalunya (Barcelona, España)*

Milena Elizabeth Gómez Yepes

*Programa de Salud Ocupacional, Universidad del Quindío (Armenia, Colombia)*

### Abstract

This study compares the conventional non-woven fabric respirators (disposable masks) against other types of woven fabric like taffeta, in order to determine the efficacy of fabric in extreme conditions of exposure to wood dust, as referred to the retention of particulate matter. Using an experimental setup, we simulate the polluted atmosphere of wood dust in a section of a sanding or brushing of woodwork. The NIOSH analytical method 0500 has been used for taking samples. The speeds used in the experiments are 41 m/s for extreme conditions and 0.18-0.33 m/s for normal conditions. Finally, experimental results are compared with those of a mathematical model using a Monte Carlo simulation in order to measure the effectiveness of the proposed fabric against conventional non-woven fabrics of disposable masks in the retention of particles less than 20  $\mu\text{m}$ , and get to know the level of respiratory protection that may have on the carpenters.

**Keywords:** *wood dust; retention of particles; Monte Carlo simulation; taffeta; non-woven fabric*

### Resumen

En este estudio se comparan los respiradores convencionales (mascarillas desechables) de tela no tejida frente a otros tipos de tela tejida como el tafetán, con el fin de determinar la eficacia del tejido en condiciones extremas de exposición al polvo de madera, en lo que se refiere a la retención de material particulado. Mediante un montaje experimental, se simula la atmósfera contaminada de polvo de madera en una sección de lijado o cepillado de una carpintería. Se utiliza el método analítico de la NIOSH 0500 para la toma de las muestras. Las velocidades que se utilizan en los experimentos son de 41 m/s para condiciones extremas y de 0,18 a 0,33 m/s para las condiciones normales. Finalmente, los resultados experimentales se comparan con los de un modelo matemático por medio de una simulación de Monte Carlo, con el fin de medir la eficacia de la tela propuesta frente a las convencionales telas no tejidas de las mascarillas desechables en la retención de partículas inferiores a 20  $\mu\text{m}$ , y así conocer el nivel de protección respiratoria que puedan ejercer en los carpinteros.

**Palabras clave:** *polvo de madera; retención de partículas; simulación de Monte Carlo; tafetán; tela no tejida*

## 1. Introducción

Los trabajadores de carpinterías están expuestos de forma continua al polvo de madera, lo cual puede ser causa de enfermedades respiratorias graves. Es preocupante sobre todo la exposición a partículas con un diámetro equivalente aerodinámico ( $d_{ea}$ )  $< 50 \mu\text{m}$ , que afectan directamente el tracto respiratorio (TR) (Harper et al., 2002; Harper et al., 2004; Brosseau et al., 2002; Friesen et al., 2005).

Un estudio realizado por Gómez-Yepes *et al.* (2009) en 10 carpinterías del Quindío (Colombia), concluyó que el  $d_{ea}$  medio de las partículas de dos muestras analizadas era de 14,3 y 22,7  $\mu\text{m}$ , por lo que es muy probable que la deposición de las partículas en el sistema respiratorio humano ocurriera en la región superior del TR afectando la nariz, la boca, nasofaringe, orofaringe, epiglotis y la laringe. Sin embargo, se detectaron partículas con  $d_{ea}$  por debajo de 5  $\mu\text{m}$ , que podrían afectar la zona inferior del TR, pudiendo generar afecciones pulmonares. Además, se observó que en unos casos no se usaban protectores respiratorios y en los otros casos su uso era inadecuado, por lo que se infiere que los carpinteros tienen una alta probabilidad de enfermar (Gómez-Yepes *et al.*, 2010).

El objetivo del estudio aquí presentado es comparar la eficacia de retención de material particulado  $<50 \mu\text{m}$  de los tejidos en condiciones extremas de exposición en las carpinterías, en particular, la tela no tejida de los respiradores convencionales (mascarillas desechables) frente a la de otros tipos de tela.

En el análisis de tejidos debe tenerse en cuenta la contracción debida al ligamento. Esta contracción depende, principalmente, de las ondulaciones que efectúan los hilos al entrecruzarse, de la densidad y del título de los hilos. Estas ondulaciones dependen de la disposición del entrecruzamiento de los hilos de urdimbre y trama (el ligamento) y de las tensiones de los mismos. El valor de este entrecruzamiento viene dado por el denominado coeficiente de ligadura, que se calcula mediante la relación entre el número de puntos de inflexión producidos por los hilos cuando pasan del haz al envés y el curso del ligamento (mínimo número de hilos de urdimbre y trama para representar el ligamento). Cada ligamento tiene, pues, dos coeficientes, uno referido a la urdimbre y otro referido a la trama (excepto el tafetán, que es el único con coeficiente unitario) (Winchester y Whitwell, 1970; Algaba-Joaquín, 2004; Mañosa, 2008). Otra de las características estructurales del tejido es el factor de cobertura. Cuanto mayor es este factor, más bajo es el valor de permeabilidad al aire.

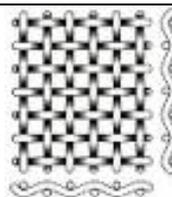
En la Tabla 1 puede verse la descripción de algunos tejidos utilizados por la industria textil, en lo que a urdimbre y trama se refiere. Debido a estas características (Gacén, 1995; Algaba, 2004), se escogieron los tejidos tipo tafetán y Jacquard para ser comparados con la tela no tejida (densidad =  $0,15 \text{ g/cm}^3$ ) de las mascarillas desechables.

**Tabla 1: Principales tejidos utilizados por la industria textil (Algaba, 2004)**

---

**Tafetán:** cada urdimbre se entrelaza con cada uno de los hilos de trama a modo de un sencillo enrejado, es un tejido liso como el batista, manta, calicó, lino, cambray, crespón o crepe, muselina, organdi, percal, cloqué, tul, popelina, acanalado y el escocés. La fibra es 94% poliéster y 6% poliuretano.

---



---

**Jacquard:** cada hilo de urdimbre se controla individualmente. Hay un número infinito de ligamentos posibles. El tejido combinado de jacquard y liso, se emplea para crear telas con dibujos como ojo de perdiz, brocados. La fibra del Jacquard pelo es 89% poliéster y 11% poliuretano. La fibra del Jacquard liso es 86% poliéster y 14% poliuretano.



---

**Crepe:** un entrecruzamiento irregular de los hilos. Aparecen bastas de longitud decimal sin ningún patrón diferenciable.



---

**Charmeuse:** es un tejido doble con urdimbre de una cara, creado con dos urdimbres muy trenzadas, una de las cuales forma un tejido de punto y la otra un tejido liso. Es un tejido sedoso muy suave, de peso medio, con una superficie granulada y un revés muy brillante; está tejido con técnica de doble revestimiento, en la cual la trama superior de crepé se entrelaza con tela de lino, y la trama inferior con un alto retorcimiento en tela de satén. Se usa en vestidos de mujer, lencería y abrigos ligeros.



## 2. Metodología experimental

Con el fin de simular la atmósfera contaminada de polvo de madera a la que están expuestos los trabajadores en una sección de lijado o cepillado de una carpintería, se prepararon dos montajes experimentales para probar las muestras de tejido (Figura 1). El primero pretende simular condiciones normales de exposición, mientras que el segundo simula las condiciones extremas de exposición. Las condiciones extremas se refieren a una producción elevada de muebles en el taller, en especial en el área de pulimento de las piezas de madera, en el que se utilizan herramientas como lijadoras de banda y lijadoras manuales con motor (NIOSH, 1994; OSHA, 1998; Hall et al., 2002; NIOSH, 2000).

### 2.1. Montaje para condiciones normales

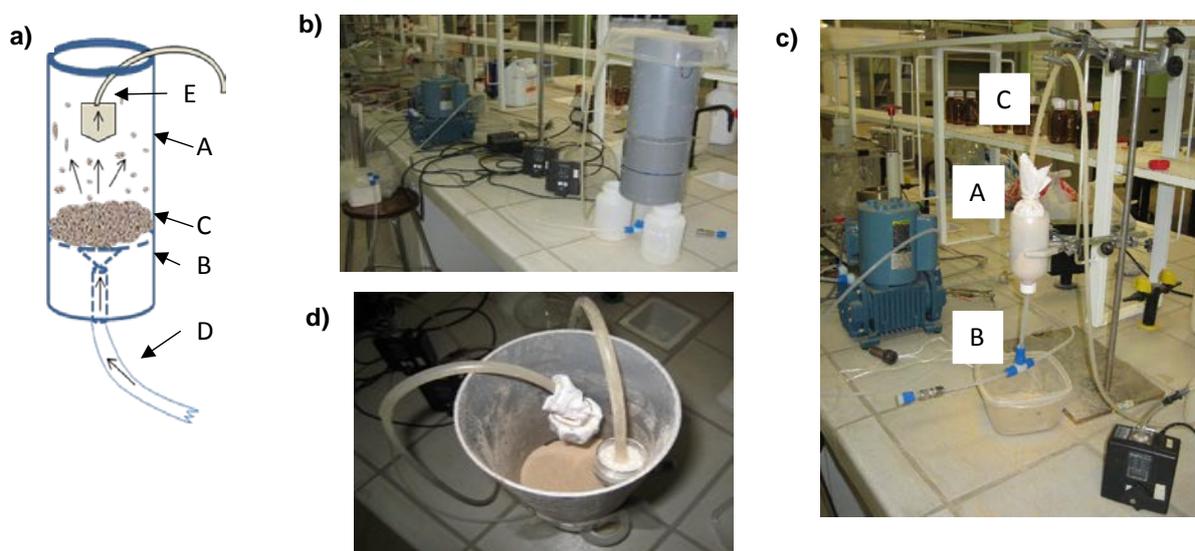
Se dispusieron dos tubos de PVC de 3 mm de grosor encajados uno en el interior del otro (Figuras 1a y 1b): un tubo (A) con un diámetro de 12,5 cm y una altura de 22 cm y el otro tubo (B) con un diámetro de 13 cm y de altura 9 cm. Se recortaron dos trozos de malla metálica, se colocaron una encima de la otra, de forma que se entrecruzaran los poros, y se ubicaron entre los tubos, de tal manera que ambos tubos quedaron unidos y sellados por las mallas. Sobre las mallas (C), se añadieron 100 g de serrín. Este serrín se recogió en la sección de lijado de una carpintería de Barcelona. Sus características pueden encontrarse en Gómez-Yepes & Cremades (2011). Por la parte inferior del montaje, se ubicó una manguera de aire (D), de tubo de teflón de 3,6 mm de diámetro. La corriente de aire era impulsada por una bomba (KNF Neuberger Model 726 FTE), con el fin de remover el serrín. En el extremo del tubo de teflón se colocó un vaso cilíndrico de 3,6 mm de diámetro perforado en su parte inferior por la cual penetraba el tubo de teflón, para reducir la velocidad de salida de aire y aumentar el área de la dispersión. Finalmente, en el interior del tubo y por la parte superior, se colocó un casete portafiltro (E), envuelto en la tela objeto de ensayo, unido a una bomba muestreadora de aire marca Escort ELF MSA 497702.

### 2.2. Montaje para condiciones extremas

Según se muestra en la Figura 1c, se ubicó el casete portafiltro (A) envuelto en la muestra de tela en el interior de un recipiente de PVC, cuyo diámetro era similar al del casete (37

mm). El espacio libre del recipiente en su parte inferior se llenó con serrín. Por la parte inferior se ubicó la manguera de aire (B) procedente de la bomba impulsora y por la parte superior del recipiente se ubicó la manguera unida (C) al casete y conectada a la bomba muestreadora.

**Figura 1: Montajes experimentales: a) esquema; b) para condiciones normales de exposición; c) para condiciones extremas de exposición; d) vista superior del cilindro con dos casetes portafiltro, uno de ellos envuelto en una muestra de tela**



### 2.3. Condiciones de muestreo

La velocidad máxima del aire en un área de trabajo es 1,5 m/s. Para talleres de carpintería, se tienen velocidades extremas superiores a 8 m/s (Harper et al., 2002). Las velocidades del aire utilizadas en los experimentos fueron de 0.18 – 0.33 m/s para las condiciones normales y de 41 m/s para condiciones extremas.

Aplicando el método analítico de la NIOSH 0500, el caudal de la bomba muestreadora se fijó entre 1.5-2.0 L/min (NIOSH, 1994). Las telas fueron sometidas a diferentes velocidades de aire en un tiempo de 1 hora cada una. Cada trozo de tela envolvió el porta-casete con filtro de PVC que conectaba a la bomba de muestreo. El porta-casete se aseguró casi herméticamente para evitar que pudiera pasar accidentalmente polvo por el revés de la tela. Luego, ambos lados de las telas fueron observados con un microscopio estereoscópico (Zeiss Stemi 2000-C) para verificar si había partículas en el revés de las telas.

Los tiempos de muestreo fueron de 20 minutos con un mínimo de 15 lecturas, y de 120 minutos con 4 lecturas. Los filtros se pesaban cada 20 minutos y al final de la jornada se compararon con los filtros en blanco de acuerdo al método analítico NIOSH 0500. El TLV del polvo total de madera tomado como referencia teórica es de 5 mg/m<sup>3</sup> (ACGIH, 2008). Dicho valor es el que se ha utilizado para comparar las concentraciones experimentales. Las mascarillas desechables utilizadas en la experimentación son de tipo concha de dos clases: una regulada con normas internacionales de marca reconocida (FFP2) y la otra comercial sin marca ni con normas internacionales (sin número de referencia).

### 3. Modelo de Monte Carlo

Los resultados de la experimentación con los tejidos se han comparado con los de una simulación de Monte Carlo. Consiste en realizar un número elevado de exploraciones de

variables que intervienen en el sistema de forma aleatoria, y tabular los resultados obtenidos. A partir de dichos resultados es posible obtener información sobre el espacio de soluciones (Fishman, 1996). Para ello, se ha desarrollado un modelo matemático que nos permite conocer aproximadamente el número relativo de partículas que atravesarían un filtro (o que quedarían retenidas) bajo las siguientes hipótesis:

- Las partículas tienen tamaños diversos según una distribución gaussiana caracterizada por un diámetro aerodinámico medio ( $d_{eam}$ ) y una desviación estándar ( $\sigma$ ). De esta forma, todas las partículas tienen un tamaño comprendido entre estos límites:  $d_{eam} \pm f \cdot \sigma$ , siendo  $f$  un factor que depende del intervalo de confianza de la distribución.
- Cada partícula viene representada por una esfera de diámetro igual a su diámetro aerodinámico,  $d_{ea}$ . Su posición en el plano de referencia del filtro viene determinada por las coordenadas cartesianas X,Y.
- El flujo de partículas es perpendicular al filtro.
- La malla tejida de un filtro está representada por una capa de fibras entrecruzadas formando celdas cuadradas de un mismo tamaño de poro.
- La malla no tejida de un filtro está representada por 2 ó más capas de mallas tejidas (es decir, con celdas cuadradas), dispuestas una sobre otra con orientación y desplazamiento aleatorios respecto a la primera capa. Cada capa puede tener distinto tamaño de poro, pero ese tamaño es uniforme en dicha capa.
- Las partículas se mueven de forma independiente, es decir, no existe interacción entre las partículas.
- Se considera que la partícula atraviesa el filtro si no intercepta ninguno de los cuatro lados de una celda de la malla del filtro. En caso contrario, quedará retenida por el filtro, pero su presencia no afectará a la retención de otras partículas.

Estas dos últimas hipótesis hacen que los resultados obtenidos sean conservadores, es decir, que la eficacia del filtro en realidad puede ser mayor que la obtenida por el modelo, por el efecto barrera que puede existir debido a la acumulación de partículas en el filtro.

El modelo resultante se ha implementado en forma de programa en lenguaje Fortran. Dicho programa permite simular diversas combinaciones aleatorias de mallas no tejidas compuestas siempre por el número de capas que se le indica en los datos. El tamaño de la partícula, el tamaño del poro en cada capa, las orientaciones de las capas 2ª y siguientes, así como el desplazamiento relativo de cada capa respecto a la primera, son determinados de forma aleatoria entre los límites correspondientes.

El proceso de cálculo para simular el paso de partículas a través de una tela no tejida es el siguiente: se comienza escogiendo aleatoriamente la posición de una partícula en el plano de la primera capa. Si supera los tests para esta capa, significa que puede pasar a la segunda capa. La segunda capas y siguientes están giradas respecto a la primera, según un ángulo  $\alpha$  escogido aleatoriamente entre 10 y 80°. Luego, se escoge aleatoriamente el sentido de giro ( $+\alpha$  ó  $-\alpha$ ). Asimismo, se selecciona aleatoriamente un desplazamiento normalizado de la capa respecto a la primera, de entre 0 y 0,5.

Respecto a la posición de la partícula ( $x,y$ ), es equivalente girar una capa un determinado ángulo que hacer girar la partícula el mismo ángulo en sentido contrario. Por lo tanto, las nuevas coordenadas de la partícula ( $x',y'$ ) respecto al plano de la capa, desplazada unas distancias  $\delta_x$  y  $\delta_y$ , según los ejes X,Y respectivamente, y girada un ángulo  $\alpha$ , son:

$$x' = \cos(\alpha) (x + \delta_x) - \sin(\alpha) (y + \delta_y) \quad (1)$$

$$y' = \sin(\alpha) (x + \delta_x) + \cos(\alpha) (y + \delta_y) \quad (2)$$

Una vez referida la posición de la partícula a las coordenadas del plano de la capa girada, se le aplica el mismo test que para la primera capa. Si la partícula logra pasar la capa, se

repite el proceso para la siguiente capa, y así sucesivamente, hasta la última capa de la tela no tejida. Todo este proceso se repite un gran número de veces para simular el paso de un elevado número de partículas, por ejemplo, 100 000. Finalmente, para medir la eficacia del filtro, se cuenta el número de partículas que han logrado pasar la tela sobre el número total de partículas simuladas. En el caso de telas tejidas, la simulación es más simple, pues se reduce a calcular el paso por sólo una capa.

#### 4. Resultados

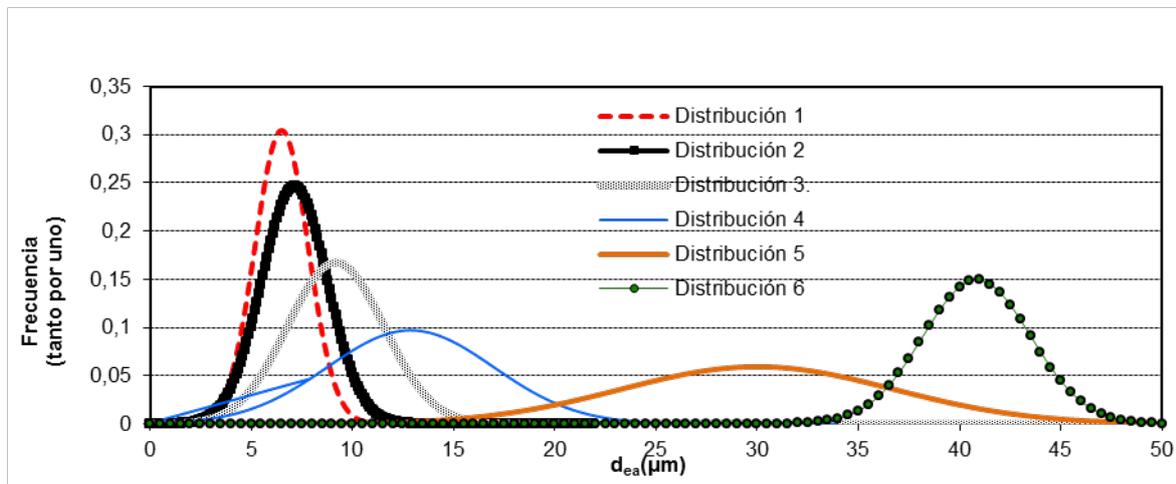
Observando el revés de los filtros a través del microscopio, con una magnitud de hasta 160X, se clasificaron las telas que presentaron mejores resultados (poca muestra o nada de polvo de madera). Las telas seleccionadas fueron: Tafetán y Jacquard.

Se observó la evolución del peso acumulado y de la concentración acumulada de los filtros de los tejidos tipo tejido tafetán y Jacquard. Al aplicar la prueba *t* de Student para dos muestras suponiendo varianzas desiguales a los datos experimentales frente a la tela no tejida de las mascarillas desechables, se apreció que el tejido tipo tafetán tiene mejor retención de partículas que el Jacquard. No obstante, ninguno de los filtros de los dos tejidos superó el valor límite del polvo de madera de las condiciones extremas de exposición. El peso acumulado del filtro del tejido tipo tafetán permaneció constante al igual que el filtro de la mascarilla normalizada. El peso del filtro de la mascarilla desechable presentó un aumento progresivo a lo largo del tiempo del muestreo. Con respecto a la concentración de material particulado del filtro recubierto de la mascarilla desechable, se observó que superaba la concentración permitida al cabo de 60 minutos de sobreexposición. Los filtros cubiertos por la mascarilla normalizada y el tejido tipo tafetán permanecieron constantes en el tiempo de muestreo sin superar el valor límite permisible.

En las Tablas 2 y 3 se pueden observar los resultados de las pruebas *t* para medias de dos muestras emparejadas entre los filtros cubiertos de las telas no tejidas (mascarillas desechables de uso común y normalizada) de los tejidos tipo tafetán y Jacquard, suponiendo varianzas desiguales ( $\alpha \leq 0,05$ ) para diferentes condiciones de exposición (extremas y normales) y a diferentes velocidades de aire. En negrita se destaca aquel tejido que en comparación es mejor que la tela no tejida de la mascarilla desechable de uso común. También se pueden apreciar las velocidades del aire utilizadas en los experimentos. La velocidad de aire a 41 m/s para condiciones extremas fue una velocidad forzada para que pudiera pasar el aire a través de la malla y agitara el serrín provocando una atmósfera polvorienta.

En cuanto al modelo de Monte Carlo, se simularon 6 distribuciones de tamaño de partículas y se contabilizó el porcentaje de partículas que atravesaban el filtro simulado (Tabla 4). Por ejemplo, en la distribución 1, que tiene un diámetro medio de tamaño de poro de 7,17  $\mu\text{m}$ , el tejido de tipo tafetán ha dejado pasar un 0,97% de las partículas, es decir, que presenta una retención del 99,3% (= 100 – 0,97). En la Figura 2 se pueden observar las distribuciones normales de las partículas. Las partículas que se simularon fueron de una muestra con 275700 partículas. Esta muestra presentó la mayor cantidad de partículas < 50  $\mu\text{m}$ . El intervalo de confianza del experimento fue de 99,7% de simulación de retención ( $\alpha \leq 0,05$ ).

**Figura 2: Seis distribuciones normales con diferentes desviaciones estándares y diferentes medias de los tamaños de las partículas (intervalo de confianza de 99.7%), utilizadas en la simulación de Monte Carlo**



**Tabla 2: Prueba *t* para medias de pesos acumulados en mg de dos muestras emparejadas entre los tejidos tela no tejida de las mascarillas desechables de uso común y normalizada, los tejidos tipo tafetán y Jacquard, suponiendo variancias desiguales ( $\alpha \leq 0,05$ ), para diferentes velocidades del aire ( $v_a$ )**

		$V_a = 41.1$ m/s			$V_a = 0.18$ m/s	$V_a = 0.23$ m/s	$V_a = 0.33$ m/s	
		Mascarilla de uso común	Mascarilla normalizada	Tafetán	Mascarilla de uso común	Mascarilla de uso común	Mascarilla de uso común	Tafetán
<b>Tafetán</b>	Media	0.01	0.01	-	14.1	-	0.01	-
	$\sigma^2$	3.42	1.5	-	0.015	-	$10^{-8}$	-
	<i>t</i>	-0.98	-1	-	2.44	-	$-1.3 \cdot 10^8$	-
	$p(T \leq t)$ *	0.34	0.33	-	0.07	-	$9 \cdot 10^{-25}$	-
	Valor crítico de <i>t</i>	2.17	2.17	-	2.77	-	3.18	-
<b>Jacquard</b>	Media	0.01	-	0.01	-	0.014	0.01	0.01
	$\sigma^2$	$6.1 \cdot 10^{-7}$	-	$9.4 \cdot 10^{-8}$	-	$1.3 \cdot 10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-8}$
	<i>t</i>	10.45	-	7.17	-	-0.75	-15	-11
	$p(T \leq t)$ *	$5.3 \cdot 10^{-8}$	-	$3.2 \cdot 10^{-6}$	-	0.49	$6.4 \cdot 10^{-4}$	$1.6 \cdot 10^{-3}$
	Valor crítico de <i>t</i>	2.144	-	2.13	-	2.77	3.18	3.18
<b>Mascarilla normalizada</b>	Media	0.01	-	-	-	-	-	-
	$\sigma^2$	3.42	-	-	-	-	-	-
	<i>t</i>	3.52	-	-	-	-	-	-
	$p(T \leq t)$ *	<b>0.004</b>	-	-	-	-	-	-
	Valor crítico de <i>t</i>	2.17	-	-	-	-	-	-

\* El valor *p* para la prueba *t* puede definirse como el valor más pequeño de  $\alpha$  por el cual la hipótesis nula se puede rechazar. Si  $p \leq \alpha$ , es posible rechazar la hipótesis nula; si  $p > \alpha$  no es posible rechazar la hipótesis nula.

**Tabla 3: Prueba t para medias de concentración acumulada en mg/m<sup>3</sup> de dos muestras emparejadas entre los tejidos tela no tejida de las mascarillas desechables de uso común y normalizada, los tejidos tipo tafetán y Jacquard, suponiendo variancias desiguales ( $\alpha \leq 0,05$ ), para diferentes velocidades del aire ( $v_a$ )**

		$V_a = 41.1$ m/s			$V_a = 0.18$ m/s	$V_a = 0.23$ m/s	$V_a = 0.33$ m/s	
		Mascarilla de uso común	Mascarilla normalizada	Tafetán	Mascarilla de uso común	Mascarilla de uso común	Mascarilla de uso común	Tafetán
<b>Tafetán</b>	Media	3.8	2.07	0.15	0.15	-	0.23	-
	$\sigma^2$	1.8	0.52	0.02	0.02	-	0.21	-
	$t$	7.89	7.62	1.58	-1.5	-	1.00	-
	$p(T \leq t)$ *	<b>4.3·10<sup>-6</sup></b>	<b>5.6·10<sup>-6</sup></b>	0.18	0.18	-	0.39	-
	Valor crítico de t	2.17	2.17	2.77	2.77	-	3.18	-
<b>Jacquard</b>	Media	2.83	-	-	-	0.58	0.07	0.07
	$\sigma^2$	1.02	-	-	-	0.12	0.02	0.02
	$t$	4.69	-	-	-	1.13	-2.20	-2.20
	$p(T \leq t)$ *	<b>3.4·10<sup>-4</sup></b>	-	-	-	0.32	<b>0.11</b>	<b>0.11</b>
	Valor crítico de t	2.14	-	-	-	2.77	3.18	3.18
<b>Mascarilla normalizada</b>	Media	3.8	-	-	-	-	-	-
	$\sigma^2$	1.82	-	-	-	-	-	-
	$t$	7.29	-	-	-	-	-	-
	$p(T \leq t)$ *	<b>9.5·10<sup>-6</sup></b>	-	-	-	-	-	-
	Valor crítico de t	2.17	-	-	-	-	-	-

\* El valor  $p$  para la prueba t puede definirse como el valor más pequeño de  $\alpha$  por el cual la hipótesis nula se puede rechazar. Si  $p \leq \alpha$ , es posible rechazar la hipótesis nula; si  $p > \alpha$  no es posible rechazar la hipótesis nula.

**Tabla 4: Seis distribuciones de tamaño de partículas por simulación de Monte Carlo con diferente número de capas (intervalo de confianza del 99,7%). Se indican, para cada distribución, los porcentajes de partículas que atraviesan los poros del tejido**

Tejido	No. de capas	Tamaño poro ( $\mu\text{m}$ )	Distribución					
			1	2	3	4	5	6
		Dmin ( $\mu\text{m}$ )	2,27	2,10	32,93	0,67	2,61	10,03
		Dmax ( $\mu\text{m}$ )	12,07	16,23	48,77	25,07	10,39	49,96
		Dmed ( $\mu\text{m}$ )	7,17	9,17	40,85	12,87	6,50	30
		$\sigma$ ( $\mu\text{m}$ )	1,62	2,38	2,67	4,11	1,31	6,73
Jacquard	1	63	78,51	73,07	12,49	63,62	80,33	28,57
Tafetán	1	6	0,97	0,47	0,00	0,51	1,15	0,00
Tela no tejida	2	5-10	0,27	0,14	0,00	0,51	1,15	0,00
Tela no tejida	2	10-20	4,31	2,20	0,01	0,18	0,32	0,01
Tela no tejida	3	10-20	1,25	0,58	0,01	1,10	5,37	0,01
Tela no tejida	4	10-20	0,43	0,20	0,01	0,35	1,61	0,00
Tela no tejida	5	10-20	0,18	0,08	0,01	0,15	0,15	0,00
Tela no tejida	6	10-20	0,08	0,04	0,01	0,09	0,09	0,00

Tejido	No. de capas	Tamaño poro ( $\mu\text{m}$ )	Distribución					
			1	2	3	4	5	6
Tela no tejida	7	10-20	0,04	0,02	0,01	0,05	0,05	0,00
Tela no tejida	8	10-20	0,02	0,01	0,01	0,04	0,04	0,00
Tela no tejida	9	10-20	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,00
Tela no tejida	10	10-20	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00

## 5. Discusión

Los tejidos tipo tafetán y Jacquard fueron seleccionados para esta investigación, debido a que mostraron poca variación en el peso acumulado y concentración acumulada de los filtros de PVC cubiertos por estas telas. Es decir, mediante ambos tejidos, no se supera el TLV teórico de referencia para partículas.

Mediante la tela no tejida tampoco se supera el TLV; sin embargo, en condiciones extremas, los filtros acumulan más polvo que con los tejidos tafetán y Jacquard, es decir, deja pasar mayor cantidad de partículas. No obstante, en condiciones normales de exposición, todos los tejidos muestreados tienen un comportamiento parecido.

En lo que respecta a las pruebas *t*-Student para medias de dos muestras emparejadas entre las telas no tejida de las mascarillas desechables común y mascarilla normalizada, y los tejidos tipo tafetán y Jacquard, suponiendo varianzas desiguales ( $\alpha \leq 0,05$ ), la diferencia de peso acumulado de polvo, en condiciones normales de exposición, en los filtros cubiertos por la tela no tejida y los tejidos tipo tafetán y Jacquard, no fue significativa. Sin embargo, en condiciones extremas de exposición, para la concentración acumulada de polvo en  $\text{mg}/\text{m}^3$ , sí existe una significativa eficacia de retención de partículas del tafetán ante la tela no tejida de las mascarillas desechables de uso común y normalizada, lo que significa que en condiciones extremas el tafetán retiene mejor las partículas.

Según la simulación de Monte Carlo, el tejido de tipo tafetán simulado parece ser más eficaz que la tela no tejida, ya que el tafetán con una sola capa, cubre mejor que una mascarilla desechable de 3 capas en la retención de partículas de  $< 20 \mu\text{m}$ . Por el contrario, el tejido Jacquard no es nada eficaz en la retención de estas partículas de  $< 20 \mu\text{m}$ .

## 6. Conclusión

La comparación experimental entre telas comunes y de la tela no tejida de las mascarillas desechables nos ha revelado que, en condiciones extremas, las típicas mascarillas desechables de uso común, pierden su efecto protector al cabo de un par de horas de exposición, a pesar de tener hasta 3 capas o más. Este tejido es por lo tanto deficiente frente a estas condiciones laborales. En cambio, en condiciones normales o de baja producción, tanto las telas comunes como las no tejidas de las mascarillas desechables, logran el efecto protector. La tela tipo tafetán parece tener un efecto protector eficaz tanto en condiciones normales como en condiciones extremas de exposición, confirmado tanto a nivel experimental como por simulación de Monte Carlo.

Según los resultados obtenidos, la tela no tejida sólo es eficaz a partir de 4 capas en la retención de partículas de  $< 20 \mu\text{m}$ . Pero, conviene recordar que la tela no tejida comercial presenta sólo 3 capas. Por otro lado, la simulación de Monte Carlo ha revelado que el tejido Jacquard no resultaría eficaz en la retención de partículas de  $< 20 \mu\text{m}$ .

Estas conclusiones nos permiten indagar más en la investigación futura sobre otros tipos de tejido diferentes de la tela no tejida para la elaboración de mascarillas respiratorias, con mayor efectividad a la hora de retener partículas de polvo en condiciones extremas de exposición al polvo de madera y lograr una mayor eficacia en la protección respiratoria del carpintero.

## 7. Referencias

- Algaba, I.M. (2004). *Protección ultravioleta proporcionada por los textiles: Estudio de la influencia de las variables más significativas y aplicación de productos específicos para su mejora*. Tesis Doctoral. Institut d'Investigació Tèxtil i Cooperació Industrial. Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera. Universitat Politècnica de Catalunya.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (2008). *TLV'S and BEL'S Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical agent*. Cincinnati. Ohio.
- Brosseau, L.M., Parker, D., Lazovich, D., Dugan, S., & Milton, T. (2002). Designing intervention effectiveness studies for occupational health and safety: The Minnesota wood dust study. *Am. J. Industrial Med.*, 41, 54-61.
- Fishman, G. S. (1996). *Monte Carlo – Concepts, Algorithms and Applications*. Springer-Verlag, New York
- Friesen, M.C., Davies, H.W., Teschke, K., Marion, S., & Demers, P.A. (2005). Predicting Historical dust and wood dust exposure in sawmills model development and validation. *J. Occup. Environ. Hyg.*, 2 (12), 650.
- Gacén, G.J. (1995). *Fibras textiles, propiedades y descripción*. Universitat Politècnica de Catalunya, ETSIIT (UPC), ISBN 84-7653099-4. Barcelona.
- Gómez-Yepes, M.E., & Cremades, L.V. (2011). Characterization of wood dust from furniture by scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray analysis. *Industrial Health*, 49, 492-500.
- Gómez-Yepes, M.E., Sánchez-López, J.F., Villamizar, R.H., Pioquinto, J.F., Torres, P., Sánchez, D., Camargo, L.M., Castañeda, R.A., Cardona, A.M., & Cremades, L.V. (2009). Health and working conditions in carpenter's workshops in Armenia (Colombia). *Industrial Health*, 48, 222-230.
- Gómez-Yepes, M.E., Sánchez-López, J.F., Villamizar, R.H., Pioquinto, J.F., Torres, P., Sánchez, D., Camargo, L.M., Castañeda, R.A., Cardona, A.M., & Cremades, L.V. (2010). Diagnóstico de las condiciones de salud de los carpinteros del Quindío (Colombia). Parte II. *Rev. Invest. Univ. Quindío*, 20, 171-178.
- Harper, M., Akbar, M.Z., & Andrew, M.E. (2004). Comparison of wood dust aerosol size distributions collected by air samplers. *J. Environ. Monit.*, 6, 18-22.
- Harper, M., Muller, B.S., & Bartolucci, A.I. (2002). Determining particle size distributions in the inhalable size range for wood dust collected by air samplers. *J. Environ. Monit.*, 4, 642-647.
- Mañosa, F.M. (2008). Relación entre las densidades de urdimbre y trama y su influencia en el aspecto superficial de los tejidos con ligamentos de relieve. *Boletín INTEXTER, UPC*, 133, 55-61.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (1994). *Particulates not otherwise regulated, total, Manual of Analytical Methods 0500*. Fourth edition.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (2000). *Chemical and Biological Respiratory Protection Workshop Report*. US Department Of Health And Human Services Public Health Service. Centers for Disease Control and Prevention. Publication. No. 2000-122.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (1998). *Respiratory protection*. Regulation 29 CFR 1910.134.US.

Winchester, S.C., & Whitwell, J.C. (1970). Estudio de las telas no tejidas. Método de aproximación a multiparámetros. *Textile Research Journal*, 5,458-572.

**Correspondencia** (Para más información, contacte con):

Lázaro V. Cremades  
Phone: + 34 93 401 1750  
Fax: + 34 93 401 6646  
E-mail: lazaro.cremades@upc.edu