

ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DE DISTINTOS MATERIALES TEXTILES COMO MEDIO PARA ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO

TEJERO GONZÁLEZ, Ana ⁽¹⁾; CANCELA ANTELO, Ángel ⁽¹⁾; ANDRÉS CHICOTE, Manuel ⁽¹⁾

VELASCO GÓMEZ, Eloy ⁽¹⁾; REY MARTÍNEZ, Francisco Javier ⁽¹⁾; GONZÁLEZ GONZÁLEZ, Sergio
Lorenzo ⁽¹⁾

anatej@ei.uva.es

⁽¹⁾Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales, Dpto. Ingeniería Energética y Fluidomecánica

RESUMEN

Los sistemas de enfriamiento evaporativo son reconocidos por su elevada efectividad, respaldada por su gran sencillez y casi nulo consumo energético. La simplicidad de su funcionamiento lo constituye como el método de climatización en verano más antiguo, a la vez que el interés de su uso no caduca dentro de un contexto actual de concienciación sobre la eficiencia energética en las instalaciones edificatorias. Los equipos actuales de enfriamiento adiabático desde superficie húmeda deben afrontar unas severas restricciones en cuanto a seguridad frente a riesgo de Legionelosis, respecto a lo cual los medios comercializados más extendidos de relleno rígido presentan buenas prestaciones, pero con elevadas pérdidas de carga y relativamente elevado coste de adquisición. Estudios previos han demostrado que la utilización de materiales textiles proporciona resultados semejantes, pudiendo además reducir costos, permitiendo buenas opciones de mantenimiento [1].

A pesar de su interés energético y económico, para salvar la problemática asociada a la Legionella es interesante estudiar configuraciones alternativas de estos sistemas evaporativos textiles, que permitan trabajar sin acumulación de agua y optimizar el mantenimiento favoreciendo la limpieza y sustitución de materiales. Con este objeto, en este trabajo se caracterizan de forma comparativa tejidos de distinta naturaleza, para su selección en cuanto a su comportamiento frente a distintas opciones de humidificación sin pulverización (capilaridad y gravedad). Asimismo se estudia la tasa de evaporación de agua desde estas superficies para determinar la efectividad previsible del sistema, con el fin último de proponer el diseño de una configuración optimizada.

Palabras clave: Enfriamiento Evaporativo; Superficie Húmeda Textil; Legionella.

1. Introducción

El enfriamiento evaporativo es un fenómeno natural que está asociado a la transferencia de calor y masa que tiene lugar cuando entran en contacto agua y aire no saturado de humedad, al evaporarse una en el seno del otro. En su aplicación para climatización, la energía latente requerida en la evaporación del agua en el seno del aire se obtiene del propio aire, reduciéndose así la energía sensible del aire húmedo. Al tratarse de una evolución muy cercana a un proceso a entalpía constante, puede establecerse la temperatura de saturación adiabática del aire como el límite hasta el cual podríamos enfriarlo a través de este proceso [2]. De esta forma, cuando las condiciones del ambiente son propicias el uso de sistemas de enfriamiento por evaporación directa del agua en el aire suponen una alternativa de bajo coste económico y energético, y por lo tanto de elevada efectividad para acondicionar aire o reducir la demanda requerida para ello.

Entre los sistemas posibles de enfriamiento evaporativo directos, destacan aquéllos basados en el contacto de superficies húmedas con el aire, por reducir el riesgo de generación de aerosoles [3]. En la actualidad existen diferentes equipos comerciales contruidos con rellenos rígidos. El interés del uso de materiales textiles como alternativa a los rellenos comerciales radica no sólo en el coste, sino también en la pérdida de carga que determina el incremento del consumo energético de ventilación. Estudios anteriores de los autores demostraron que el proceso de transferencia de calor y masa de prototipos textiles se asemeja al de los sistemas comerciales, en cuanto a que ambos siguen evoluciones prácticamente adiabáticas con elevadas eficacias de humidificación [1, 4].

La principal problemática asociada a este tipo de sistemas, debida a la normativa actual relativa a Legionella, puede afrontarse con un adecuado mantenimiento [5]. Este es por lo tanto el principal reto que presenta cualquier nuevo diseño para un sistema de enfriamiento evaporativo directo. En el presente trabajo se propone el estudio de distintos materiales textiles de elevada disponibilidad, favoreciendo así su posible sustitución en labores de mantenimiento minimizando costes, para su utilización como superficies a humedecer aprovechando el efecto capilar para controlar el aporte de agua y de esta manera la acumulación de la misma.

El fenómeno de la capilaridad, el cual depende de la tensión superficial; es decir, va a conferir a los líquidos la capacidad de distribuirse por un tejido, al comportarse como un entramado de infinitos tubos capilares. Esta capacidad se debe a que la adhesión del líquido con el sólido por el cual asciende es mayor que la cohesión intermolecular de dicho líquido, por lo que esta diferencia se equilibra con el peso del líquido que asciende. Para su estudio es necesario conocer el radio medio del capilar, así como otras variables como son la orientación o la torsión de las fibras [6, 7, 8].

2. Metodología experimental

Se ha caracterizado experimentalmente el comportamiento de un dispositivo de enfriamiento evaporativo directo desde superficie húmeda textil, diseñado con vistas a alcanzar efectividades de humidificación comparables a aquéllas de los sistemas comerciales existentes más extendidos, de relleno rígido, y con el fin de facilitar las labores de mantenimiento del material, siendo éste notablemente más económico.

A continuación se procede a describir el equipo diseñado y caracterizado originalmente. Seguidamente se presentarán los resultados experimentales obtenidos, enfocados al análisis de la potencia de enfriamiento previsible en función de la tasa de agua evaporada desde la superficie.

2.1. Dispositivo

El sistema se ha construido con una banda de tejido de algodón de 16 m de largo y 25 cm de ancho, dispuesta sobre una matriz de alambre recubierto, según la configuración mostrada en la figura 1. El conjunto de la tela distribuida y tensada sobre la matriz, con las distintas secciones separadas de forma homogénea, se ajusta a un soporte que permite una estructura compacta por la que es posible el paso uniforme entre las distintas superficies creadas del aire a enfriar. El aporte de agua al tejido se realiza

por gravedad desde un distribuidor superior, y la humidificación completa de la tela se logra por distribución capilar.

La superficie de contacto aire-agua lograda mediante el tejido así dispuesto, al trabajar por ambas caras y salvando las zonas inútiles asociadas a los elementos de ajuste de la estructura y de separación de superficies, se estima en $7,5\text{m}^2$.

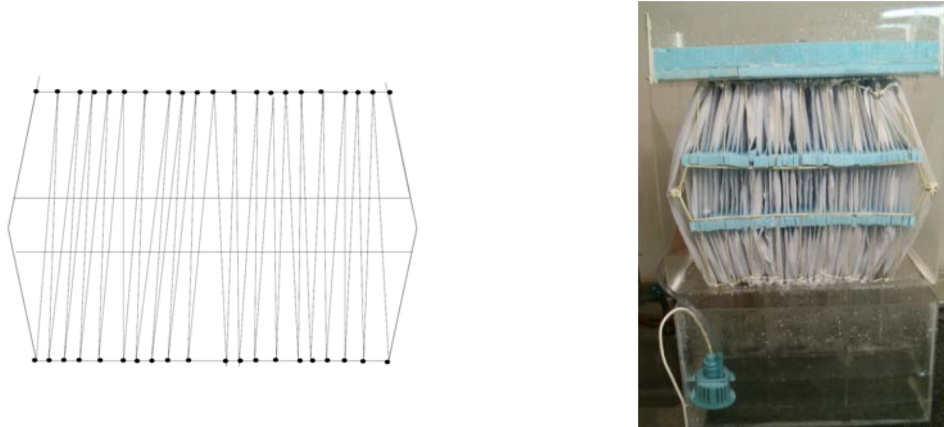


Figura 1: Esquema de la configuración (izquierda) y vista (derecha) del sistema de enfriamiento evaporativo directo textil.

2.2. Ensayos

Para su caracterización, el sistema se ha montado en un banco de ensayos compuesto por una unidad de tratamiento de aire (U.T.A.) que permite modificar caudal, temperatura y humedad mediante: un potenciómetro, resistencias eléctricas de calentamiento y humidificación, y una batería de enfriamiento no utilizada en este estudio. El dispositivo se conecta a la salida de la U.T.A. y se dispone de sondas de temperatura y humedad a su entrada y salida a fin de conocer las condiciones del aire tratado (termorresistencia de tipo Pt100 a 4 hilos, precisión $\pm 0,01$ °C y sondas cerámicas de tipo capacitivo estables en $\pm 5\%$ de humedad relativa). Estas sondas se encuentran conectadas a un adquisidor de datos Agilent 34970A. La medida del caudal se realiza mediante una tobera TG50 a la salida de la U.T.A., previamente calibrada.

Por las limitaciones del banco de ensayos, el diseño de experimentos no se ha realizado en función de niveles de las variables de interés (caudal, temperatura seca y humedad relativa), sino de 3 niveles del potenciómetro, correspondientes a caudales de $480\text{ m}^3/\text{h}$, $330\text{ m}^3/\text{h}$ y $240\text{ m}^3/\text{h}$; 6 de los controles de las resistencias de calentamiento (de 0, 5 a 3 kW en niveles de 0,5 kW) y 4 de humidificación (sin humidificación; 1,2 kW; 2,4 kW y 3,6 kW). De esta forma, se realizaron un total de 72 ensayos.

2.3. Resultados

En trabajos anteriores [1, 4] se han analizado algunos de los resultados experimentales orientados a estudiar el mecanismo de transferencia de calor y masa, a fin de comparar el proceso de humidificación adiabático con el de sistemas de relleno rígido comerciales también caracterizados, demostrándose una prácticamente total correspondencia de resultados. En este apartado del presente trabajo se van a estudiar los resultados experimentales sobre la humidificación de la corriente de aire tratada, bajo el punto de mira del aporte de agua proveniente de una superficie que se mantiene húmeda gracias a una distribución por capilaridad del agua alimentada desde el distribuidor superior.

Efectividad de humidificación

La potencia de enfriamiento del aire tratado por un sistema de enfriamiento evaporativo directo, por el fundamento de dicho fenómeno, está intrínsecamente relacionada con la tasa de agua evaporada en el aire a través del calor latente necesario para la evaporación de la misma, λ :

$$\dot{Q}_{enf} = \dot{M}_{agua} \cdot \lambda$$

La tasa de agua evaporada se corresponde con el producto del incremento de humedad específica registrado en el aire y el flujo másico de aire tratado. Observando cómo evoluciona el incremento de humedad específica en el aire a su paso por el sistema ante las distintas condiciones del aire logradas a la entrada mediante la U.T.A., se comprueba que esta aumenta claramente con la diferencia de temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo a la entrada, según se muestra en la figura 2. Esta diferencia de temperaturas, conocida usualmente como “depresión de bulbo húmedo” (WBD) resulta por lo tanto un parámetro identificativo de cómo depende el interés de las aplicaciones de enfriamiento evaporativo directo de las condiciones del aire a tratar.

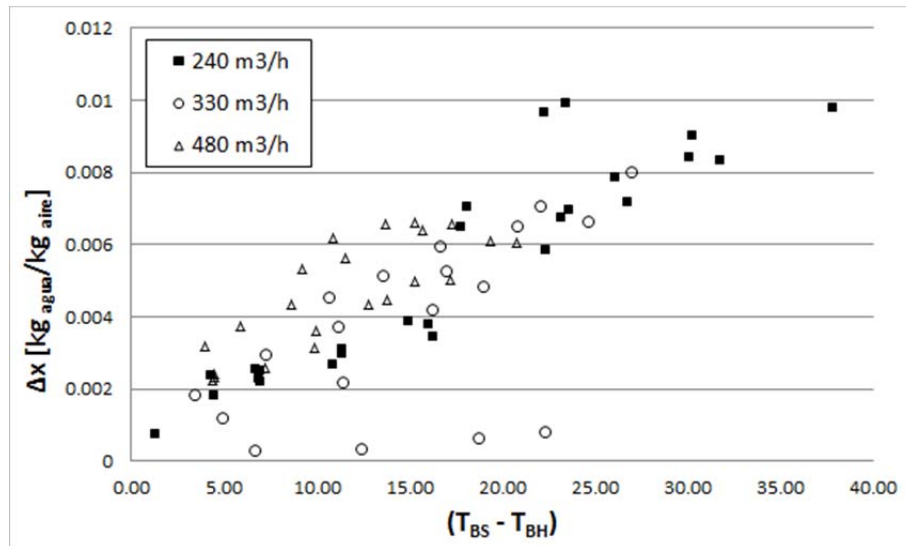


Figura 2: Relación de la ganancia de humedad del aire frente a la diferencia entre temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo a la entrada.

A partir de estos resultados puede estudiarse la capacidad de enfriamiento del prototipo textil. Para valores de WBD entre 20 y 40°C se registran incrementos en la humedad específica de hasta 10 g agua/kg_{aire} (para 240 m³/h) que se traducen en saltos térmicos de hasta 30 °C en flujos de aire que en dicha posición del ventilador varían en torno a 240 kg/h, obteniéndose así potencias de enfriamiento que superan los 1,5 kW. Para caudales superiores pueden llegar a alcanzarse saltos térmicos de 10°C, obteniéndose potencias de incluso 2,3 kW, al compensarse los menores incrementos de humedad (hasta 6 g agua/kg_{aire}) con flujos de aire que duplican los correspondientes a caudales de 240 m³/h. Por otro lado, como margen inferior nos encontramos con que en las condiciones del aire tratado correspondientes prácticamente a saturación (WBD = 1,3°C registrado para 240 m³/h), el salto de temperaturas logrado es mínimo y la potencia de enfriamiento obtenida queda limitada a 130 W.

3. Estudios de mejora

Los principales inconvenientes del prototipo de enfriamiento evaporativo directo textil se corresponden con los de cualquier otro sistema compacto que trabaja desde superficie húmeda: el mantenimiento para prevenir el riesgo de Legionelosis al existir acumulación de agua, y la pérdida de carga generada que incrementa el consumo de los ventiladores. Actuar sobre la pérdida de carga puede

ser complicado, puesto que usualmente la propia superficie de intercambio se sobredimensiona para actuar en una última sección de paso del aire como separador de gotas.

Puesto que se comprueba que, una vez aportado por gravedad, el agua se distribuye de manera uniforme por toda la superficie gracias a las características capilares del tejido, se plantea la posibilidad de rediseñar el sistema de distribución de forma que pueda aportarse una cantidad precisa de agua que limite las necesidades de acumulación. Para ello, es necesario conocer el comportamiento capilar del tejido utilizado (algodón 100%).

Este estudio se realiza de forma paralela con otros tejidos de bajo costo existentes en el mercado textil, indicados a continuación, de interés por la disponibilidad para su sustitución en labores de mantenimiento. Asimismo, para facilitar estas maniobras, se propone para el futuro diseño utilizar una configuración de bandas de tejido individuales que permitan su sustitución independiente.

3.1. Caracterización de tejidos alternativos

La selección de tejidos a caracterizar se ha realizado en función de su naturaleza. De esta forma, se han distinguido:

-Tejidos de origen natural: pueden extraerse del reino vegetal en diferentes formas en función de la parte de la planta de la que provengan, o de los folículos pilosos de diversas especies de animales, así como de secreciones o cuero. Entre los posibles tejidos de origen vegetal, además del algodón utilizado en el estudio original se escogen muestras de lino y esparto; y entre los de origen animal, seda y lana.

- Tejidos manufacturados: pueden clasificarse en sintéticos, si las fibras provienen de diversos productos derivados del petróleo; o artificiales, si la materia prima es natural como la celulosa o ciertas proteínas animales, transformadas posteriormente mediante procesos químicos. Como muestra de tejidos sintéticos se escogen muestras de poliéster, y entre los tejidos artificiales se escoge rayón.

Las distintas muestras se confeccionarán en bandas iguales de dimensiones 57x10 cm, que permitirán su colocación en la bancada construida para su estudio.

Como se observará durante la caracterización, un factor clave del comportamiento será la manufactura del tejido. Sin embargo, como el principal objetivo en el diseño de este prototipo es poder construir un sistema económico y sencillo, la fabricación de un tejido específico para el mismo queda fuera de los objetivos. Por lo tanto el estudio se limita a la identificación de tejidos potencialmente interesantes de elevada disponibilidad.

Para la elección de un tejido sustituto del algodón componente del prototipo original (correspondiente a la muestra denominada seguidamente como Algodón 1), se van a comparar en términos de rapidez de humidificación por capilaridad y cantidad de agua susceptible de contenerse, ya que este último dato permitirá prever la cantidad de agua susceptible de ser evaporada en el aire en contacto con la superficie.

Ascenso capilar: velocidad y ganancia de agua.

Para conocer la rapidez con la que el agua se distribuye por capilaridad por toda la superficie de tejido, es interesante atender a la velocidad de ascenso capilar del agua. El comportamiento notablemente distinto de los tejidos seleccionados permite realizar este estudio meramente de forma cualitativa. Para ello, se disponen las bandas de los distintos tejidos en una bancada de forma que sus extremos inferiores se ponen simultáneamente en contacto con agua. Las termografías mostradas en la figura 3 están tomadas a los 15 minutos de iniciarse el proceso, y muestran claramente esta notoria disparidad de comportamientos.

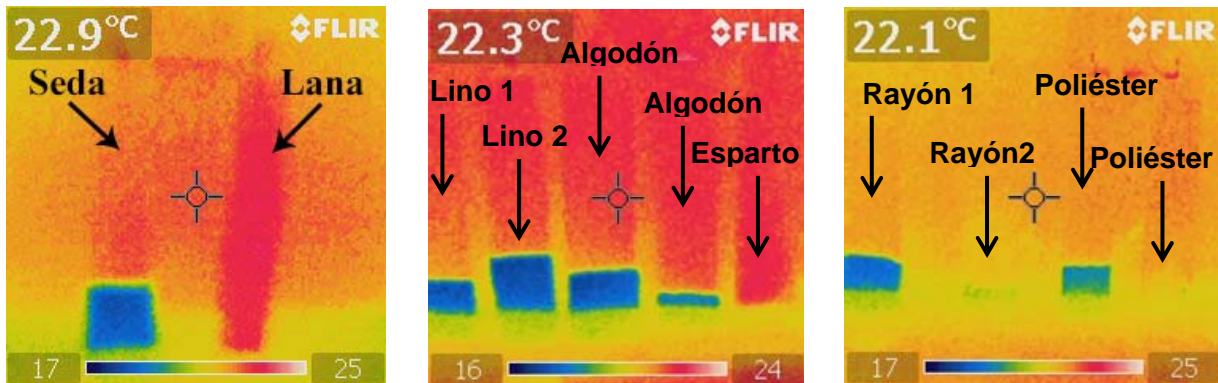


Figura 3: Termografías realizadas sobre las muestras de tejidos tras 15 minutos.

Atendiendo a este primer estudio cualitativo, la seda y la muestra de lino 2 muestran un comportamiento muy atractivo. Otros tejidos como el rayón 1 y el poliéster 1 muestran un comportamiento también interesante, y similar al del algodón 1, material correspondiente al utilizado en el prototipo original.

Una vez alcanzado el equilibrio, se tomaron datos de la altura capilar alcanzada y del peso del tejido en estas condiciones de humidificación. La figura 4 muestra comparativamente las alturas capilares (cm) alcanzadas por las distintas muestras.

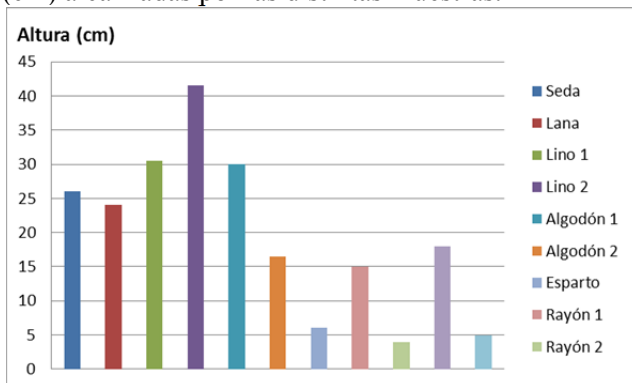


Figura 4: Comparación de alturas capilares alcanzadas con los distintos tejidos.

Destacan casos como la lana, que a pesar de ser inicialmente muy hidrófoba, llega a alcanzar alturas capilares semejantes a la seda. Por su parte, los tejidos de lino presentan alturas capilares destacables, seguidos del algodón 1. El comportamiento dispar de materiales de igual naturaleza demuestra que afecta de forma importante la estructura del propio tejido a su comportamiento capilar. Sin embargo, este comportamiento es fácilmente previsible observando a simple vista los tejidos, de forma que la orientación de las fibras perceptible en los casos del lino 2, algodón 1, rayón 1 y poliéster 1 permiten prever mayores alturas capilares alcanzadas.

Conocidos los pesos de cada tejido tanto en seco, previamente al ensayo, como totalmente humidificados, así como la longitud de tejido sumergida (controlada) es posible ponderar para calcular de forma precisa la cantidad de agua admitida por el tejido por unidad de superficie gracias a la distribución capilar. Puesto que la sección de las bandas de tejido es la misma en todas las muestras, en la tabla 1 se recopilan los datos de gramos de agua admitida por unidad de longitud de la banda. Según esta consideración, el esparto admite una cantidad notoria de agua, pero no es interesante por su

mal comportamiento en cuanto a la velocidad de humidificación. Le siguen el algodón 2, lino 2 y rayón 2, mostrando ganancias de agua semejantes.

Tabla 1: Comparación de resultados obtenidos para los distintos tejidos.

	Ganancia de agua (g/cm)	Ángulo de contacto (σ)	Radio medio (μm)	Velocidad
Seda	0,13	70	19,33	↑↑
Lana	0,16	76,4	14,40	↓↓
Lino 1	0,11	76	11,65	↑
Lino 2	0,23	76	8,57	↑↑
Algodón 1	0,12	76,6	11,35	↑
Algodón 2	0,23	76,6	20,64	↓
Esparto	1,83	67	95,69	↓↓
Rayón 1	0,11	25	88,78	↑
Rayón 2	0,22	25	133,17	↓↓
Poliéster 1	0,13	72,5	24,55	↑
Poliéster 2	0,17	72,5	88,37	↓↓

Como se ha explicado en la introducción, es interesante determinar cuál es el radio medio de un tejido, para conocer su comportamiento capilar. Sin embargo, esto no es una labor sencilla, por lo que como primera aproximación y ante la falta de datos más precisos sobre los tejidos disponibles se puede calcular dicho radio sabiendo que la altura que alcanza el líquido por capilaridad se ajusta a la ley de Jurin:

$$h = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos \theta}{\rho \cdot g \cdot r}$$

Donde:

γ es la tensión superficial (N/m).

θ es el ángulo de contacto.

ρ es la densidad del líquido (kg/m³).

g es la aceleración de la gravedad (m/s²).

r es el radio capilar (m).

En nuestro caso, el valor de la tensión superficial es el del agua a la temperatura de los ensayos y el ángulo de contacto depende de cada tipo de tejido ensayado teniendo en cuenta que está relacionado con las fuerzas cohesivas y adhesivas. Los resultados recopilados en la tabla X provienen de los datos sobre los ángulos de contacto disponibles en referencias sobre la materia [9, 10, 11, 12, 13].

Comportamiento de tejidos en un segundo uso

Un resultado interesante se descubre al atender al comportamiento de algunos tejidos en usos sucesivos. En el caso del lino 1 y del poliéster, un segundo uso demuestra resultados muy diferentes a los ya descritos: en el caso del lino es contraproducente, pues disminuye tanto la velocidad de ascenso como la cantidad de agua admitida; mientras que en el poliéster es interesante por observarse el efecto contrario. Este efecto se aprecia claramente en las termografías de la figura 5.



Figura 5: Termografías realizadas tras poner en contacto con el agua muestras de tejidos nuevos y ya utilizados en ensayos previos de lino (izquierda) y poliéster (derecha).

Esto se justifica por los tratamientos que reciben algunos tejidos destinados a confección, que pueden perderse tras su lavado. De esta forma, se muestra necesario lavar los tejidos previamente a su uso como superficie de intercambio en un prototipo de enfriamiento evaporativo textil.

4. Conclusiones y trabajos futuros

En este trabajo se ha mostrado la caracterización experimental de la capacidad de humidificación del aire desde un sistema de enfriamiento evaporativo directo construido en material textil. Los resultados muestran que pueden alcanzarse potencias de enfriamiento nada desdeñables para un sistema muy compacto y económico.

Para salvar las desventajas que presenta el prototipo en materia de seguridad por legionelosis, se plantea un futuro nuevo diseño que limite la necesidad de acumulación de agua y permita de forma económica la sustitución de superficies textiles de intercambio. Para ello se caracteriza aquí el comportamiento capilar de tejidos de distinta naturaleza alternativos al algodón original.

A la hora de seleccionar un posible material textil sustituto, es necesario desechar todos aquellos que no muestran una capacidad de distribuir rápidamente por capilaridad la humedad por toda su superficie. Atendiendo además al coste económico se desecharía la seda, y los competidores potenciales del algodón 1 serían el lino 2, el rayón 1 y el poliéster 1. Aunque la altura capilar del lino 2 y su ganancia de agua son muy destacables, se desecha por observarse un comportamiento no repetitivo. Entre el poliéster 1 y el rayón 1 se escoge el primero de los dos como material a utilizar en el futuro diseño, por demostrar un comportamiento ligeramente mejor en cuanto a distribución capilar y a admisión de agua, además de verse mejorado en usos sucesivos.

Aunque se observan comportamientos distintos de telas de igual naturaleza, claramente asociados a la estructura del tejido, dado que no es de interés en el estudio propuesto confeccionar tejidos específicos y que el efecto previsible de la estructura de los hilos es identificable a simple vista, un estudio más profundo a nivel microscópico no estaría justificado.

Por todo ello, el uso de un material sintético de bajo coste y alta disponibilidad como es el poliéster escogido, permitirá plantear un diseño mejorado en cuanto a mantenimiento, al preverse un menor desarrollo bacteriológico.

5. Agradecimientos

Manuel Andrés Chicote desea agradecer la contribución del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno de España a través del Programa de Formación de Profesorado Universitario (FPU). Referencia: AP2010-2449.

6. Referencias

- [1] VELASCO GÓMEZ, E. REY MARTÍNEZ, F.J. TEJERO GONZÁLEZ, A. GOBERNADO ARRIBAS, I. " Caracterización de un sistema de enfriamiento evaporativo utilizando una superficie húmeda textil". En Avances en Ciencias y Técnicas del Frío V. Actas CYTEF-2009: V Congreso Ibérico y III Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío, (Castellón, España – 23 a 25 de Septiembre, 2009). ISBN 978-84-692-3393-1 Universidad Jaume I, 2009.
- [2] WANG, S.K. Incorporating Evaporative Cooling with Other Coolers, Handbook of Air-Conditioning and Refrigeration New York: McGraw Hill, 1994.
- [3] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Guía técnica de ahorro y recuperación de energía en instalaciones de climatización. Madrid, 2010.
- [4] VELASCO GÓMEZ, E. TEJERO GONZÁLEZ, A. REY MARTÍNEZ, F.J. DEL CORRAL RODRÍGUEZ, A. "Study of the Analogy Between Heat and Mass Transfer Processes through the Experimental Analysis of Two Evaporative Cooling Devices". En Proceedings of the VI INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTROMECHANICS AND SYSTEMS ENGINEERING (VI CIIES) Docum MEC-I-04 (México D.F., noviembre 2011). Instituto Politécnico Nacional, Servicio de Publicaciones, 2011. p. 18-23.
- [5] Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Guía Técnica para la prevención y control de la legionelosis en instalaciones.
- [6] PEZRON, I. BOURGAIN, G. QUÉRET, D. Imbibition of a fabric. Journal of Colloid and Interface Science, 1995, pp. 319-327.
- [7] VOLKOV, V.A. BULUSHEV, B.V. AGEEV, A.A. Determination of the capillary size and contact angle of fibers from the kinetics of liquid rise along the vertical samples of fabrics and nonwoven materials. ColloidJournal, 2003, Vol. 65, No. 4 pp. 523-525.
- [8] MULLINS, B.J. AGRANOVSKI, I.E. BRADDOCK, R.D. HO, C.M. Effect of fiber orientation on fiber wetting processes. Journal of Colloid and Interface Science, 2004, pp. 449-458. 2004.
- [9] PIMANPANG, S. WANG, P.I. SENKEVICH, J.J. WANG, G.C. LU, T.M. Effect of hydrophilic group on water droplet contact angles on surfaces of acid modified silk and parylene polymers. Colloids and Surfaces, 2005 pp. 53-59.
- [10] HERR, T.J. A Description of the Wool Fiber Surface Based on Contact Angle Measurements. TextileResearchJournal, 1997.
- [11] BAUTISTA PÉREZ, L. Tratamientos de tejidos de algodón con ozono: análisis de las variables de proceso, aproximación cinética, estudio del envejecimiento y caracterización superficial. Universidad Politécnica de Cataluña. 2012.
- [12] BOHLI, N. PERWUELZ, A. BEN CHEIKH, R. BAKLOUTI, M. Wettability Investigations on the Cellulosic Surface of Alfa Fibers. Journal of AppliedPolymerScience, 2008 Vol. 110, Issue 6 pp. 3322-3327.
- [13] WOODINGS, C. Regenerated Cellulose Fibers. Woodhead Publishing Limited. 2001.