

PROTECCIÓN FRENTE A LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EJERCIDA POR TEJIDOS DE CALADA FABRICADOS CON FIBRAS CELULÓSICAS: ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL TIPO DE FIBRA Y DE ALGUNOS PARÁMETROS ESTRUCTURALES DEL TEJIDO

A. Riva* e I. Algaba**

0.1. Resumen

En este trabajo se estudia el factor de protección ultravioleta de diferentes tejidos de calada, elaborados con tres tipos de fibras celulósicas, y con unas variables de fabricación preestablecidas. La composición y estructura de los tejidos estudiados los hace apropiados para su uso en prendas de verano.

Se analizan las diferencias en el grado de protección frente a la radiación ultravioleta que ofrecen los tejidos, en función del tipo de fibra y de los parámetros estructurales del tejido. Dichas diferencias se establecen a partir de la determinación de los espectros de transmisión difusa de la radiación ultravioleta para cada tejido, y del cálculo de los correspondientes valores de UPF.

Palabras clave: factor de protección ultravioleta (UPF), parámetros estructurales del tejido, tejidos sin teñir, fibras celulósicas.

0.2. Summary: ULTRAVIOLET PROTECTION PROVIDED BY WOVEN MADE WITH CELLULOSE FIBRES: STUDY OF THE INFLUENCE OF THE FIBRE TYPE AND STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE FABRIC

The main focus of this research is the study of the Ultraviolet Protection Factor of different woven fabrics made with three different types of cellulosic fibres, and with some pre-established manufacturing variables. The composition and structure of the studied fabrics are appropriate for their use in summer garments.

The differences in the degree of protection in relation to the type of fibres and the structural parameters of the fabric are analysed by the determination of the ultraviolet diffuse transmittance spectra of each fabric and the calculation of the corresponding UPF values.

Key words: Ultraviolet Protection Factor (UPF), undyed fabrics, fabric structure, cellulosic fibres.

0.3. Résumé: PROTECTION CONTRE LA RADIATION ULTRAVIOLETTE AVEC DES TISSÉS FABRIQUÉS EN FIBRES CELLULOSIQUES : ÉTUDE DE L'INFLUENCE DU TYPE DE FIBRE ET DE CERTAINS PARAMÈTRES STRUCTURELS DU TISSU

L'étude examine le facteur de protection contre les ultraviolets de plusieurs tissés, fabriqués avec trois types de fibres cellulosiques et selon des variables de fabrication prédéterminées. De par leur composition et leur structure, les tissés étudiés conviennent à la confection de vêtements d'été.

L'étude comprend aussi l'analyse des différences de niveau de protection contre la radiation ultraviolette des tissus, en fonction du type de fibre et des paramètres structurels. Ces différences sont notées à partir de la détermination des spectres de transmission diffuse de la radiation ultraviolette pour chaque tissu et du calcul des valeurs UPF correspondantes.

Mots clé: facteur de protection ultraviolette (UPF), paramètres structurels du tissu, tissus non teints, fibres cellulosiques.

1. INTRODUCCIÓN

La exposición a mínimas dosis de soles beneficiosa para el organismo ya que contribuye al desarrollo de los huesos y asimilación de vitaminas. Pero una sobreexposición incrementa el riesgo de daño permanente a la piel causado por la radiación ultravioleta. Los expertos en dermatología aconsejan protegerse de cantidades excesivas de radiación ultravioleta¹⁻⁴.

* Dra. Ascensión Riva Juan, Profesora Titular de la Universidad del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera. Jefa del Laboratorio de Físico-Química de la Tintura y Acabados del INTEXTER (U.P.C.)

** Dra. Inés Algaba Joaquín, Ing. Ind., Laboratorio de Físico-Química de la Tintura y Acabados del INTEXTER (U.P.C.)

Actualmente se está incrementando la concienciación sobre el tema y cada vez más se está extendiendo el uso de cremas protectoras cuando la piel no está cubierta, pero en general se considera que la piel cubierta por un tejido está suficientemente protegida. Esto no siempre es cierto, en particular si se trata de tejidos ligeros⁵⁾.

Es importante tener en cuenta el grado de protección que pueden ofrecer los tejidos, especialmente los tejidos ligeros para prendas de deporte o actividades al aire libre de verano, infantiles, etc., y poder garantizar a los usuarios la utilización de tejidos protectores frente a la radiación ultravioleta, sobretodo cuando pudieran presentarse necesidades médicas específicas, como personas fotosensibles o que padezcan algún tipo de cáncer de piel.

La cuantificación de la protección que un tejido ofrece al paso de la radiación ultravioleta se realiza mediante la determinación *in vitro* de su factor de protección UPF (Ultraviolet Protection Factor). El tipo de fibra utilizado y las características estructurales del tejido se encuentran entre los parámetros textiles que tienen una mayor influencia sobre el UPF⁶⁻¹²⁾.

En este trabajo se estudia el factor de protección ultravioleta de diferentes tejidos de calada, elaborados con tres tipos de fibras celulósicas, y con unas variables de fabricación preestablecidas. La composición y estructura de los tejidos estudiados los hace apropiados para su uso en prendas de verano.

Se analizan las diferencias en el grado de protección frente a la radiación ultravioleta que ofrecen los tejidos, en función del tipo de fibra y de los parámetros estructurales del tejido. Dichas diferencias se establecen a partir de la determinación de los espectros de transmisión difusa de la radiación ultravioleta para cada tejido, y del cálculo de los correspondientes valores de UPF.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Materia

Se han fabricado y estudiado tres series de tejidos de calada, cuya composición y estructura los hace apropiados para la obtención de prendas de verano.

Cada serie de tejidos fue obtenida partiendo de hilos fabricados con tres fibras celulósicas diferentes: Algodón, Modal y Modal Sun (fibra de Modal que incorpora un absorbente de radiación UV en el fluido de hilatura).

Las principales variables de fabricación de los tejidos de calada que influyen en la obtención de diferentes estructuras son: ligamento, título del hilo de urdimbre, título del hilo de trama, densidad de hilos y densidad de pasadas.

Es evidente que el número de variables y la gran cantidad de variaciones que se pueden obtener en la industria textil hace imposible el

estudio de todas las combinaciones posibles. Por ello ha sido necesario acotar el número de estructuras, reduciendo a 3 el número de variables de fabricación que intervienen en el estudio.

Por consideraciones prácticas, ya que facilita la producción de las muestras, se ha considerado el mantener constantes los siguientes parámetros de fabricación:

- Ligamento: se mantiene constante el ligamento tafetán para todas las muestras de tejidos.
- Densidad de hilos de urdimbre: se ha mantenido constante con un valor de 40 hilos/cm. Manteniendo constante este parámetro se simplifica el urdido previo al tisaje. El valor fijado, 40 hilos/cm, se ha escogido por ser el número máximo de hilos que se pueden urdir con el hilo más grueso utilizado.

De esta forma, quedan tres variables cuya combinación permite la obtención de tejidos con diferentes estructuras: título del hilo de urdimbre (Tu), título del hilo de trama (Tt) y densidad de hilos de trama (Dt). Para cada una de las variables se han escogido tres niveles diferentes, que se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1
Variables y valores de las variables en la experimentación

Nivel	ALGODÓN - MODAL			MODAL SUN		
	Tu (tex)	Tt (tex)	Dt (h/cm)	Tu (tex)	Tu (tex)	Dt (h/cm)
Bajo	14,3	14,3	23	14,3	14,3	23
Medio	20	20	25	20	20	25
Alto	25	25	27	29,4	29,4	27

La combinación de estas variables proporciona 27 tejidos de diferentes estructuras en cada serie, cubriendo una amplia gama de masa laminar (pesos teóricos comprendidos entre 100 y 200 g/m²).

Después de su fabricación, los tejidos han sido sometidos a un tratamiento de desencolado enzimático para eliminar la cola adicionada en el tisaje. Además, en los tejidos fabricados con Algodón ha sido necesaria la realización de un tratamiento de descruado y blanqueo químico para eliminar las partículas y pigmentos propios de esta fibra natural.

2.2. Parámetros determinados

Se han tomado 5 especímenes de cada uno de los 27 tejidos de las 3 series. En cada espécimen se ha determinado el espectro de transmisión de radiación en la región del ultravioleta y el valor del factor de protección a la radiación ultravioleta de los

tejidos. Ambos parámetros se han determinado por duplicado, una medida en la dirección de la urdimbre y otra en la dirección de la trama, dando un total de 10 medidas por muestra de tejido.

2.3. Métodos

2.3.1. Espectros de transmisión de radiación en la región del ultravioleta, Transmitancia media UVR, UVA y UVB

Cuando un rayo de luz ultravioleta incide sobre una muestra textil, una parte de la radiación es reflejada, otra parte es absorbida por el material y el resto lo atraviesa y se transmite de forma difusa. El porcentaje de energía transmitida con respecto a la energía incidente será diferente para cada longitud de onda. El espectro de transmitancia difusa es la representación del porcentaje de radiación ultravioleta transmitida en función de la longitud de onda (entre 290 y 400 nm). Se ha determinado directamente mediante un equipo analizador de transmitancia ultravioleta especialmente diseñado para este fin.

Según las indicaciones de la norma AS/NZ 4399:1996¹³⁾, la transmitancia UVR a través del tejido se definirá como la media aritmética de las transmitancias en las longitudes de onda del espectro ultravioleta comprendidas entre 290 y 400 nm.

$$UVR_{AV} = \frac{T_{290} + T_{295} + \dots + T_{400}}{23}$$

T_{λ} : transmitancia espectral a la longitud de onda λ

Debido a que existe una gran diferencia en el efecto que tienen los distintos tipos de radiación UVA y UVB sobre la piel, puede ser interesante disponer de un parámetro que nos cuantifique la cantidad de radiación de un tipo u otro que atraviesa el tejido. Para ello se definen la transmitancia UVA y la transmitancia UVB, como las medias aritméticas de las transmitancias en las longitudes de onda del UVA y UVB respectivamente:

$$UVA_{AV} = \frac{T_{315} + T_{320} + \dots + T_{400}}{18}$$

$$UVB_{AV} = \frac{T_{290} + T_{295} + \dots + T_{315}}{6}$$

Especialmente importante es que la transmisión UVB sea lo más baja posible, ya que la radiación en este intervalo de longitudes de onda es mucho más perjudicial para la piel humana.

2.3.2. Factor de protección a la radiación ultravioleta (UPF)

El UPF de los tejidos se ha determinado mediante el método in vitro, utilizando el aparato Analizador de Transmitancia en el Ultravioleta UV1000F de Labsphere, siguiendo las indicaciones de la norma AS/NZ 4399:1996¹³⁾.

El UPF de cada espécimen se calcula según la siguiente fórmula:

$$UPF_i = \frac{\sum_{\lambda=290}^{400} E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=290}^{400} E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times T_{\lambda} \times \Delta\lambda}$$

E_{λ} : espectro eritemal según CIE

S_{λ} : irradiancia espectral solar

T_{λ} : transmitancia espectral del tejido

$\Delta\lambda$: anchura de banda en nm

λ : longitud de onda en nm

A continuación se calcula el UPF medio, como la media aritmética de los UPF de cada uno de los especímenes.

$$\overline{UPF} = \frac{UPF_1 + UPF_2 + \dots + UPF_N}{N}$$

\overline{UPF} : UPF medio

UPF_i : UPF de los especímenes

N: número de especímenes

El UPF de la muestra se obtiene mediante la fórmula siguiente, en la que se introduce una corrección estadística. Al UPF medio se le resta el error de la medida, calculado a partir de la desviación estándar del UPF medio y para un intervalo de confianza del 99% dado por la t de Student. Al hacer esta corrección nos aseguramos de que el UPF de la muestra que estamos tomando como válido, tiene una probabilidad del 99% de ser el UPF real de la muestra.

$$UPF = \overline{UPF} - t_{\alpha/2, N-1} \cdot \frac{SD}{\sqrt{N}}$$

$t_{\alpha/2, N-1}$: t de Student con un intervalo de confianza $\alpha = 0,005$

SD: desviación estándar del UPF medio

Este valor obtenido es el definitivo si es mayor que cualquiera de las medidas individuales de

los especímenes. Si el valor obtenido es menor, el UPF de la muestra será el menor valor del UPF de los especímenes.

La norma australiana/neozelandesa establece, además, un sistema de clasificación de los tejidos en función de sus propiedades protectoras del sol. Cuando el objetivo es incluir el factor de protección en el etiquetado, la ropa protectora del sol debe ser categorizada de acuerdo con el índice UPF, que se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2

Etiquetado y clasificación de los tejidos en función de su factor de protección a la radiación ultravioleta (Norma AS/NZ 4399: 1996)

Rango UPF de la muestra	Categoría de protección UVR	Transmisión UVR efectiva (%)	Índice UPF
15 a 24	Buena protección	6,7 a 4,2	15, 20
25 a 39	Muy buena protección	4,1 a 2,6	25, 30, 35
40 a 50, 50+	Protección excelente	≤ 2,5	40, 45, 50, 50+

El índice UPF siempre será un valor múltiplo de 5. Para su cálculo se parte del UPF de la muestra y se toma el múltiplo de 5 inmediatamente inferior. Así un tejido con un UPF de 39, tendrá un índice UPF de 35 y proporcionará muy buena protección a la radiación ultravioleta. A partir de 50, el índice siempre se señala como 50+.

3. RESULTADOS

3.1. Espectros de transmisión de radiación en la región del ultravioleta

3.1.1. Tejidos de algodón

La Figura 1 muestra los espectros de transmisión difusa de la radiación ultravioleta a través de los tejidos de algodón.

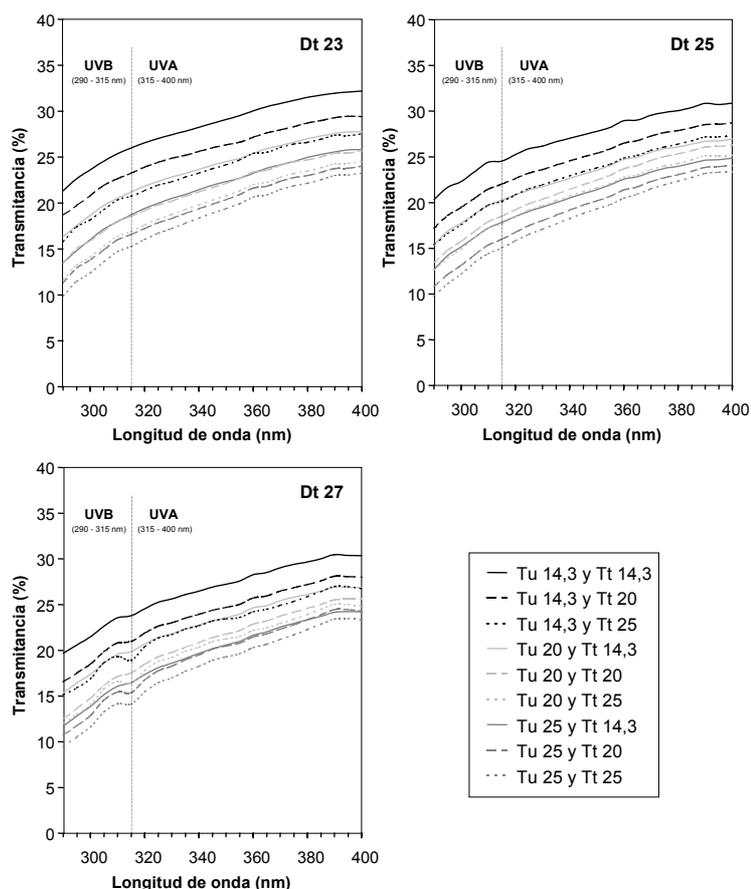


FIGURA 1: Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de algodón

En la figura se puede observar una forma de curva ascendente. La transmisión es menor en las

longitudes más bajas correspondientes al inicio del espectro UVB (290 – 315 nm) y va aumentando al

aumentar la longitud de onda hacia la zona del espectro UVA (315 – 400 nm).

ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 3

Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, en el UVB y en el total del espectro

TABLA 3

Transmisiones medias de los tejidos de Algodón

Transmitancia media		T _{UVA} media (315 - 400 nm)			T _{UVB} media (290 - 315 nm)			T _{UVR} media (290 - 400 nm)		
		Tu 14,3	Tu 20	Tu 25	Tu 14,3	Tu 20	Tu 25	Tu 14,3	Tu 20	Tu 25
Dt 23	Tt 14,3	29,57	25,01	22,84	23,91	18,99	16,36	28,25	23,60	21,33
	Tt 20	26,84	22,67	20,88	21,17	16,30	14,24	25,52	21,19	19,33
	Tt 25	24,68	21,31	19,91	18,61	14,59	12,87	23,27	19,75	18,27
Dt 25	Tt 14,3	28,28	24,10	21,92	22,76	18,11	15,54	27,01	22,70	20,43
	Tt 20	25,91	23,03	20,72	19,86	16,20	13,61	24,50	21,44	19,07
	Tt 25	24,32	22,14	19,89	18,02	15,41	12,66	22,85	20,58	18,21
Dt 27	Tt 14,3	27,75	24,09	21,10	21,95	17,86	14,34	26,41	22,65	19,54
	Tt 20	25,22	22,32	20,93	19,03	15,29	13,45	23,79	20,70	19,22
	Tt 25	23,86	21,68	19,77	17,47	14,62	12,19	22,41	20,07	18,04

En la tabla se observa que la transmitancia media en el UVA se sitúa entre un 29,57% para el tejido más ligero y un 19,77% para el tejido más compacto, la transmitancia media en el UVB entre un 23,91% y un 12,19%, dando un total de transmitancia en todo el espectro ultravioleta que va entre el 28,25% y el 18,04%. Por lo tanto, todos los tejidos de Algodón bloquean parte de la radiación ultravioleta. Sin embargo, transmiten una cantidad de radiación de valor muy elevado, muy por encima del 6,7% que, según, la norma AS/NZ 4339:1996, es la transmisión mínima orientativa para que el tejido se pueda considerar protector. El bloqueo de radiación ultravioleta por parte de los tejidos de Algodón es insuficiente para proporcionar protección, como se comprobará en los resultados del apartado siguiente.

Para dilucidar la influencia que tiene cada variable del sistema sobre la transmisión de UVR, se puede recurrir a la formación de grupos de tres muestras en las que se mantengan fijas dos de las variables y se varía la restante. En general, se puede observar que las transmisiones disminuyen al aumentar el nivel de la variable no fija.

- Si se mantienen fijos el título del hilo de trama y la densidad de pasadas, el aumento del título de urdimbre produce una disminución de la

transmitancia de los tejidos en el ultravioleta, así como de la transmitancia UVA y UVB.

- Si se mantienen fijos el título del hilo de urdimbre y la densidad de pasadas, el aumento del título de trama produce una disminución de la transmitancia de los tejidos en el ultravioleta, así como de la transmitancia UVA y UVB.
- Si se mantienen fijos el título del hilo de urdimbre y el título del hilo de trama, el aumento de la densidad de pasadas por trama produce una disminución de la transmitancia de los tejidos en el ultravioleta, así como de la transmitancia UVA y UVB.

3.1.2. Tejidos de modal

La Figura 2 muestra los espectros de transmisión en el ultravioleta, obtenidos en la medida de los tejidos de Modal.

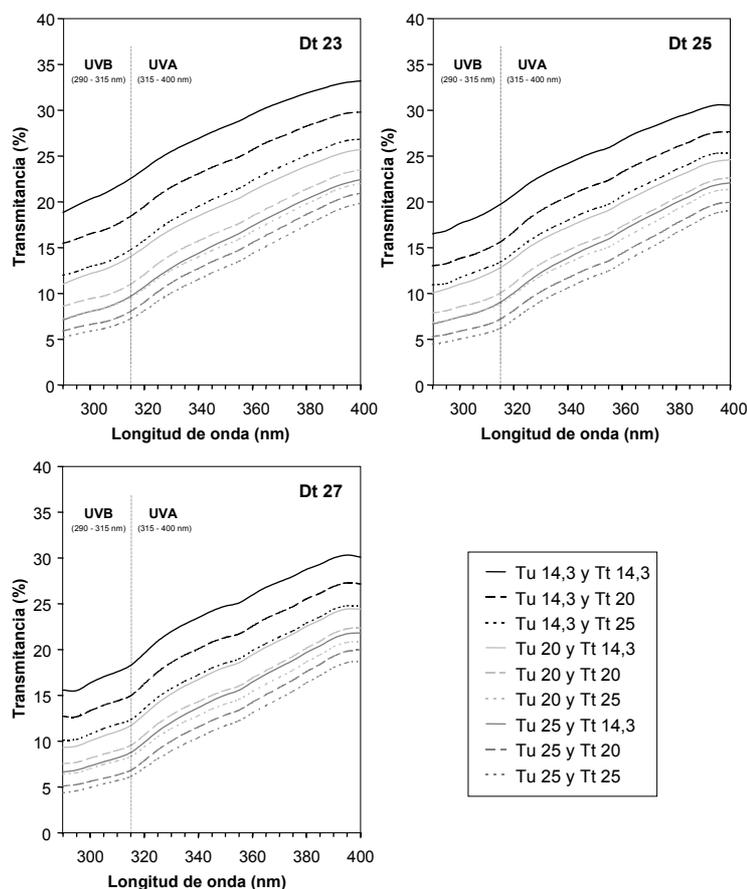


FIGURA 2: Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal

De igual forma que los espectros obtenidos para los tejidos de Algodón, se puede observar que la transmisión en función de la longitud de onda presenta una curva de forma ascendente. Es decir, la transmisión es menor en las longitudes más bajas correspondientes al inicio del espectro UVB (290 – 315 nm) y va aumentando al aumentar la longitud de

onda hacia la zona del espectro UVA (315 – 400 nm).

Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, en el UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 4.

TABLA 4

Transmisiones medias de los tejidos de Modal

Transmitancia media		T _{UVA} media (315 - 400 nm)			T _{UVB} media (290 - 315 nm)			T _{UVR} media (290 - 400 nm)		
		Tu 14,3	Tu 20	Tu 25	Tu 14,3	Tu 20	Tu 25	Tu 14,3	Tu 20	Tu 25
Dt 23	Tt 14,3	28,84	20,62	16,77	20,63	12,44	8,29	26,98	18,77	14,86
	Tt 20	25,07	17,96	15,10	16,80	9,67	6,84	23,20	16,10	13,25
	Tt 25	21,69	16,33	13,96	13,22	8,28	6,10	19,78	14,53	12,20
Dt 25	Tt 14,3	26,12	19,43	16,29	17,95	11,31	7,70	24,27	17,60	14,37
	Tt 20	22,64	16,99	14,09	14,13	8,80	6,11	20,72	15,15	12,31
	Tt 25	20,17	15,66	13,05	12,03	7,73	5,23	18,34	13,89	11,30
Dt 27	Tt 14,3	25,43	18,99	16,04	16,72	10,36	7,57	23,47	17,05	14,15
	Tt 20	22,13	16,63	13,97	13,66	8,42	5,84	20,23	14,79	12,16
	Tt 25	19,44	15,16	12,85	11,10	7,26	5,18	17,57	13,40	11,14

En la tabla se observa que la transmitancia media en el UVA se sitúa entre un 28,84% para el tejido más ligero y un 12,85% para el tejido más compacto, la transmitancia media en el UVB entre un 20,63% y un 5,18%, dando un total de transmitancia en todo el espectro ultravioleta que va entre el 26,98% y el 11,14%. El bloqueo de la radiación ultravioleta ejercido por los tejidos de Modal es, por lo tanto, mayor que el proporcionado por los tejidos de Algodón. Pero tampoco en este caso los valores de transmisión obtenidos son suficientemente bajos (según los valores orientativos de transmisión media para cada nivel de protección, proporcionados por la norma AS/NZ 4339:1996), en general, para proporcionar protección a los tejidos fabricados con esta fibra y dentro de los intervalos en los valores de las variables estudiados en este proyecto.

También se observa en esta serie que, si se mantienen dos de las variables fijas y se varía la restante, las transmisiones disminuyen al aumentar el nivel de la variable no fija. Por lo tanto, se cumple que un aumento en el número de los hilos de urdimbre o de trama o de la densidad de pasadas, provocará un mayor bloqueo de la radiación UVR por parte del tejido, tal como era de esperar.

3.1.3. Tejidos de Modal Sun

La Figura 3 muestra los espectros de transmisión en el ultravioleta, obtenidos en la medida de los tejidos de Modal Sun.

En el caso de la serie de tejidos fabricados con Modal Sun, se observa una variación importante en la forma de las curvas de transmitancia en el ultravioleta. La transmisión es notablemente más baja en la zona del UVB y en la parte de longitudes de onda más bajas del UVA, aunque luego aumenta abruptamente en las zonas de longitudes altas del ultravioleta. Esta forma de la curva característica de esta fibra, es muy interesante cuando se habla de la protección proporcionada por los tejidos. La fórmula del UPF da un peso mucho mayor a las transmisiones en las zonas de longitudes bajas del ultravioleta debido a que son las más perjudiciales para la piel humana, y considera en un grado mucho menor las de longitudes altas. Por lo tanto, esta fibra tendrá muy buenas características protectoras ya que bloquea en mayor proporción la radiación de las zonas más perjudiciales, no teniendo tanta importancia el que permita un mayor paso de la radiación en las zonas de longitudes altas.

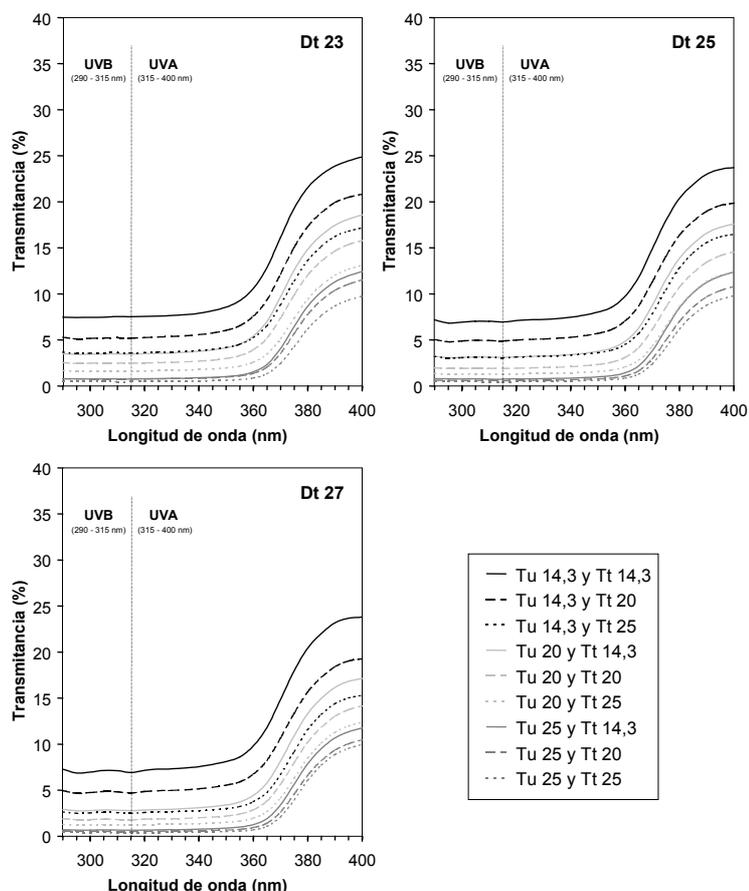


FIGURA 3: Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal Sun

Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, en el UVB y en el total del espectro

ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 5.

TABLA 5

Transmisiones medias de los tejidos de Modal Sun

Transmitancia media		T _{UVA} media (315 - 400 nm)			T _{UVB} media (290 - 315 nm)			T _{UVR} media (290 - 400 nm)		
		Tu 14,3	Tu 20	Tu 29,4	Tu 14,3	Tu 20	Tu 29,4	Tu 14,3	Tu 20	Tu 29,4
Dt 23	Tt 14,3	13,80	8,56	4,28	7,48	3,46	0,78	12,43	7,45	3,52
	Tt 20	10,66	6,79	3,90	5,20	2,48	0,76	9,47	5,85	3,22
	Tt 29,4	8,11	5,15	3,08	3,59	1,63	0,48	7,12	4,39	2,52
Dt 25	Tt 14,3	13,02	7,94	4,19	6,99	3,13	0,76	11,71	6,90	3,45
	Tt 20	10,08	5,89	3,50	4,92	1,92	0,60	8,96	5,03	2,87
	Tt 29,4	7,45	4,62	3,07	3,10	1,30	0,47	6,51	3,90	2,51
Dt 27	Tt 14,3	13,09	7,53	3,90	7,05	2,81	0,68	11,78	6,50	3,20
	Tt 20	9,72	5,63	3,31	4,79	1,82	0,53	8,65	4,80	2,70
	Tt 29,4	6,61	4,53	3,00	2,55	1,24	0,40	5,73	3,82	2,43

En la tabla se puede observar que los niveles de transmitancia obtenidos para la serie de tejidos de Modal Sun son considerablemente más bajos que para los tejidos de Algodón y Modal. Se observa que la transmitancia media en el UVA se sitúa entre un 13,80% para el tejido más ligero y un 3,00% para el tejido más compacto, la transmitancia media en el UVB entre un 7,48% y un 0,40%, dando un total de transmitancia en todo el espectro ultravioleta entre el 12,43% y el 2,43%. El bloqueo de la radiación ultravioleta ejercido por los tejidos de Modal Sun es, por lo tanto, muy alto en general y la mayoría de los valores de transmisión obtenidos son suficientes para proporcionar protección a los tejidos. En la mayoría de los casos se consiguen transmisiones UVR medias inferiores al 6,7% (buena protección), en muchos casos transmisiones inferiores al 4,1% (muy buena protección) y alguna transmisión inferior al 2,5% (excelente protección), siempre según los valores orientativos de transmisión media para cada nivel de protección proporcionados por la norma AS/NZ 4339:1996.

También se observa en esta serie que, en general, si se mantienen dos de las variables fijas y se varía la restante, las transmisiones disminuyen al

aumentar el nivel de la variable no fija. A medida que aumentan el título de los hilos de urdimbre o trama o la densidad de pasadas y, por lo tanto, a medida que el tejido se va haciendo más compacto, disminuye la transmitancia espectral en el ultravioleta.

3.2. Factor de protección a la radiación ultravioleta de los tejidos (UPF)

3.2.1. Tejidos de algodón

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación Ultravioleta de los tejidos fabricados con la fibra de Algodón se exponen en la Tabla 5. En la tabla se muestra el UPF de cada muestra calculado según la media aritmética de 10 medidas y tras aplicar la corrección estadística especificada en la norma aplicada. Entre paréntesis se muestra el valor del índice UPF que debería ser el utilizado en un posible etiquetado de los tejidos.

TABLA 6
UPF de los tejidos de Algodón

UPF (Índice UPF)		Tu 14,3	Tu 20	Tu 25
Dt 23	Tt 14,3	3,80 (1)	4,75 (1)	5,33 (5)
	Tt 20	4,36 (1)	5,43 (5)	6,13 (5)
	Tt 25	4,89 (1)	5,98 (5)	6,57 (5)
Dt 25	Tt 14,3	4,06 (1)	4,86 (1)	5,74 (5)
	Tt 20	4,54 (1)	5,43 (5)	6,35 (5)
	Tt 25	4,96 (1)	5,74 (5)	6,66 (5)
Dt 27	Tt 14,3	4,16 (1)	5,03 (5)	6,15 (5)
	Tt 20	4,78 (1)	5,67 (5)	6,32 (5)
	Tt 25	5,12 (5)	6,00 (5)	6,92 (5)

Los resultados muestran que todos los tejidos de la serie fabricada con Algodón son muy transparentes a la radiación ultravioleta. A pesar de que algunos tejidos de la serie son de estructura bastante compacta, no se ha conseguido que ninguna de las muestras obtenga un valor de UPF suficiente como para considerar al tejido protector contra la radiación ultravioleta (mínimo valor 15). Se observa una ligera mejora del UPF de los tejidos al aumentar la compacidad de los mismos, si bien no se han producido diferencias remarcables en los niveles de protección alcanzados por las diferentes muestras utilizadas en este proyecto.

Se puede observar la tendencia del UPF de los tejidos a crecer cuando lo hace cualquiera de las variables de fabricación que intervienen en el sistema. Este efecto es más acusado para variaciones del título del hilo de urdimbre, algo menos acusado para variaciones del título del hilo de trama y mucho más limitado cuando se aumenta el nivel de la variable densidad de trama.

Sin embargo, la influencia de estas variables es muy pequeña, produciendo su combinación como máximo un salto de únicamente 3 puntos entre el UPF del tejido menos compacto y el UPF del tejido más compacto.

3.2.2. Tejidos de Modal

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación Ultravioleta de los tejidos fabricados con la fibra de Modal se exponen en la Tabla 7.

Los resultados muestran que únicamente los dos tejidos más compactos de la serie fabricada con Modal pueden clasificarse como tejidos protectores contra la radiación ultravioleta, al haber obtenido valores mayores, aunque muy cercanos, que el valor mínimo de 15 a partir del cual se considera que el tejido proporciona cierta protección. Se produce un aumento en el factor de protección a medida que aumenta la compacidad de los tejidos, tal como se produce para los tejidos de Algodón, aunque en los tejidos de Modal es más notoria la influencia de la estructura sobre el nivel de protección proporcionado por los tejidos. El mismo cambio en los niveles de los parámetros estructurales produce un mayor aumento en la protección proporcionada por los tejidos de Modal que en la proporcionada por los tejidos de Algodón.

TABLA 7
UPF de los tejidos de Modal

UPF (Índice UPF)		Tu 14,3	Tu 20	Tu 25
Dt 23	Tt 14,3	4,72 (1)	7,15 (5)	10,06 (10)
	Tt 20	5,28 (5)	8,91 (5)	12,34 (10)
	Tt 25	6,65 (5)	10,20 (10)	13,44 (10)
Dt 25	Tt 14,3	5,12 (5)	7,72 (5)	10,73 (10)
	Tt 20	6,34 (5)	9,73 (5)	13,21 (10)
	Tt 25	7,38 (5)	11,03 (10)	15,53 (15)
Dt 27	Tt 14,3	5,28 (5)	8,34 (5)	10,95 (10)
	Tt 20	6,52 (5)	10,03 (10)	14,06 (10)
	Tt 25	7,86 (5)	11,39 (10)	15,76 (15)

Se puede observar la tendencia del UPF de los tejidos a crecer cuando lo hace cualquiera de las variables de fabricación que intervienen en el sistema. Este efecto es más acusado para variaciones del título del hilo de urdimbre, seguido por las variaciones del título del hilo de trama. Las variaciones en la densidad de trama producen un menor efecto en el aumento de la protección del tejido.

La influencia de estas variables es relativamente pequeña, produciendo un salto

máximo de aproximadamente 12 puntos entre el UPF del tejido menos compacto y el UPF del tejido más compacto.

3.2.3. Tejidos de Modal Sun

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación Ultravioleta de los tejidos fabricados con la fibra de Modal Sun se exponen en la Tabla 8.

TABLA 8
UPF de los tejidos de Modal Sun

UPF (Índice UPF)		Tu 14,3	Tu 20	Tu 29,4
Dt 23	Tt 14,3	11,48 (10)	24,88 (20)	93,47 (50+)
	Tt 20	16,63 (15)	31,89 (30)	98,96 (50+)
	Tt 29,4	24,09 (20)	47,48 (45)	155,64 (50+)
Dt 25	Tt 14,3	12,66 (10)	26,72 (25)	99,08 (50+)
	Tt 20	18,01 (15)	43,11 (40)	113,31 (50+)
	Tt 29,4	27,54 (25)	57,06 (50+)	153,10 (50+)
Dt 27	Tt 14,3	12,38 (10)	28,22 (25)	107,80 (50+)
	Tt 20	17,61 (15)	42,16 (40)	133,41 (50+)
	Tt 29,4	32,16 (30)	64,04 (50+)	179,85 (50+)

Al contrario de lo que ocurre con las series de Algodón y Modal, casi todos los tejidos de la serie fabricada con Modal Sun han resultado ser protectores contra la radiación ultravioleta. Únicamente los 3 tejidos fabricados con los hilos de urdimbre y de trama de título inferior no proporcionan suficiente protección (valor mínimo de UPF de 15). Incluso hay un considerable número de tejidos fabricados con esta fibra que llegan a alcanzar un nivel de protección excelente (con valores de UPF superiores a 40). Un pequeño aumento en la compacidad de los tejidos fabricados con la fibra de Modal Sun puede producir un aumento muy notable en la protección contra la radiación ultravioleta proporcionada por los mismos.

Para los tejidos de Modal Sun, también se puede observar la tendencia del UPF de los tejidos a crecer cuando lo hacen cualquiera de las variables de fabricación que intervienen en el sistema. Este efecto continúa siendo más acusado para variaciones del título del hilo de urdimbre, seguido por las variaciones del título del hilo de trama. Las variaciones en la densidad de trama producen un menor efecto en el aumento de la protección del tejido.

La influencia de estas variables en los tejidos de Modal Sun es muy notable, produciendo un salto máximo de aproximadamente 180 puntos entre el UPF del tejido menos compacto y el UPF del tejido más compacto.

4. CONCLUSIONES

El tipo de fibra es un factor que tiene una notable influencia sobre la protección a la radiación ultravioleta proporcionada por los artículos textiles:

- Los dos tipos seleccionados de fibras celulósicas convencionales han resultado ser muy transparentes a la radiación ultravioleta, dentro de la gama de tejidos fabricados para este estudio con pesos adecuados para su uso en prendas de verano.
- Los espectros de transmisión difusa de la radiación ultravioleta a través de los tejidos de Algodón y Modal presentan una curva creciente a medida que aumenta la longitud de onda de la radiación, es decir, bloquean más cantidad de radiación UVB que de radiación UVA. A pesar de que se produce un cierto bloqueo de la radiación ultravioleta, los valores de transmisiones medias en el UVR son excesivamente elevados para proporcionar una suficiente protección. También son elevados los valores de las transmisiones medias en el UVA y, sobretodo, en el UVB.
- Los tejidos crudos fabricados con la fibra de Algodón son los más transparentes al paso de la radiación ultravioleta. Dentro de la

gama de tejidos de Algodón no se ha conseguido obtener ningún tejido con un UPF suficiente para que pueda ser considerado como protector contra la radiación ultravioleta.

- Los tejidos fabricados con la fibra de Modal presentan un mejor comportamiento que los de Algodón, si bien la mayoría de ellos tampoco proporciona una protección suficiente. Únicamente dos tejidos de Modal, los más compactos de la serie, han obtenido un factor de protección de valor algo superior a 15, que los clasifica como buenos protectores.
- La fibra de Modal Sun, especialmente diseñada para su uso en prendas protectoras contra la radiación ultravioleta, se ha mostrado muy eficaz en el desempeño de su función específica.
- Aunque las estructuras de los tejidos de Modal Sun son similares a las de las series de Algodón y Modal, el factor de protección de los tejidos de Modal Sun es notablemente mayor. Se ha conseguido fabricar tejidos ligeros para su uso en prendas de verano que pueden proporcionar niveles de buena protección ($15 < \text{UPF} \leq 25$), muy buena protección ($25 < \text{UPF} \leq 40$) y protección excelente ($\text{UPF} \geq 40$).
- La mayor efectividad de la fibra de Modal Sun en el bloqueo de la radiación ultravioleta se puede explicar por la presencia de partículas de dióxido de titanio en su composición. La adición de este producto a la celulosa produce una disminución considerable de la transmisión difusa de la radiación en todas las longitudes de onda del espectro ultravioleta. Es necesario destacar la importancia de que absorba principalmente una gran parte de la radiación en las longitudes de onda del UVB. Este tipo de radiación es el más perjudicial para la piel humana, por lo que se le da más peso en la fórmula del factor de protección UPF, de forma que un bloqueo efectivo de la radiación UVB produce un notable incremento en el valor del UPF de un tejido.

La estructura de los tejidos es otro factor que también tiene influencia sobre la protección proporcionada por los mismos contra la radiación ultravioleta, si bien el mayor o menor grado de influencia dependerá del tipo de fibra utilizada. Así, el UPF de los tejidos de Algodón o Modal es poco sensible a variaciones de estructura, mientras que el UPF de los tejidos de Modal Sun es muy sensible a pequeñas variaciones en la estructura de los tejidos.

- La transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos disminuye cuando aumentan los niveles de las

variables de fabricación de los tejidos: título del hilo de urdimbre, título del hilo de trama o densidad de hilos de trama.

- Al disminuir la transmisión, el factor de protección a la radiación ultravioleta UPF aumenta al incrementarse el valor de cualquiera de los parámetros estructurales estudiados.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CYCYT) la financiación del proyecto MAT 99-0996, dentro del cual se ha llevado a cabo este estudio. Asimismo agradecen al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte la concesión de una beca para la realización de la tesis doctoral dentro del programa de Formación de Profesorado Universitario.

También desean expresar su especial agradecimiento a la empresa Hilaturas Llaudet S.A. por el suministro de las fibras y fabricación de los hilados utilizados en el estudio, así como a las señoras R. Prieto y P. Ferrer por su colaboración en la preparación de los tejidos.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. United States Environmental Protection Agency. *The sun, UV and you. A guide for sunwise behaviour* [En línea]. Página web, URL <<http://www.epa.gov/sunwise>>. (1999)
2. World Health Organisation; United Nations Environment Programme; Geneva. *Protection Against Exposure to Ultraviolet Radiation* [En línea]. Página web, URL <<http://www.who.int/pehuv/publications/english/whoehg95-17.htm>>. Intersun - The global UV Project. (1995)
3. Tenkate, T.D. Ultraviolet Radiation: Human Exposure and Health Risks. *Environmental Health*, 61(2): 9-15, (1998)
4. Ferrini, R.L.; Perlman, M.; Hill, L. Skin Protection from Ultraviolet Light Exposure American College of Preventive Medicine Practice Policy Statement. *American Journal of Preventive Medicine*, 14(1): 83-86. (1998)
5. Pailthorpe, M. Sun Protective Clothing. *Textile Horizons*, 16(5): 11-14. (1996)
6. Hilfiker, R.; Kaufmann, W.; Reinert, G.; Schmidt, E. Improving Sun Protection Factors of Fabrics by Applying UV-Absorbers. *Textile Research Journal*, 66(2): 61-70. (1996)
7. Curiskis, J.; Pailthorpe, M. Apparel textiles and sun protection. *Textiles Magazine*, 4: 13-17. (1996)
8. Crews, P.; Kachman, S.; Beyer, A. Influences on UVR transmission of undyed woven fabrics. *Textile Chemist and Colorist*, 31(6): 17-26. (1999)

9. Reinert, G.; Fuso, F.; Hilfiker, R.; Schmidt E. UV-protecting properties of textile fabrics and their improvement. *Textile Chemist and Colorist*, 29(12): 36-43. (1997)
10. Gies, P.; Roy, C.; Toomey, S.; McLennan, A. Protection against solar ultraviolet radiation. *Mutation Research*, 422: 15-22. (1998)
11. Böhringer, B. UV Protection by textiles. Conferencia presentada en el 37th International Man-Made Fibres Congress, Dornbirn (Austria) 16-18 septiembre. (1998)
12. Pailthorpe, M.T. Textiles and sun protection: the current situation. *Australian Textiles*, 14(6): 54-66. (1994)
13. AS/NZS 4399:1996. Sun protective clothing – Evaluation and classification