

INFLUENCIA DEL TIPO DE FIBRA Y LA POROSIDAD DE LOS TEJIDOS EN EL FACTOR DE PROTECCIÓN A LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA PROPORCIONADO POR TEJIDOS DE VERANO^o)

I. Algaba*, A. Riva**, P.C. Crews***

0.1. Resumen

El efecto de la radiación ultravioleta sobre la piel humana es un tema de interés creciente, debido principalmente al incremento de la incidencia del cáncer de piel en algunos países. Las prendas proporcionan alguna protección. Sin embargo, los autores de numerosos estudios han concluido que muchas de las prendas ligeras usadas en verano no proporcionan una protección suficiente para personas que pasan todo el día al sol.

Este estudio compara el Factor de Protección a la radiación Ultravioleta (UPF) de tres tipos de tejidos cuya composición y estructura son apropiadas para prendas de verano. Los tejidos se han fabricado a partir de fibras de Algodón, Modal (una forma de rayón de alto módulo) y Modal Sun (Modal tratado con un absorbente de radiación ultravioleta). Se han tejido tres series de tejidos no teñidos a partir de las tres fibras con diferentes grados de porosidad especificados. Se ha evaluado el efecto del tipo de fibra y la porosidad en el valor de UPF en un esfuerzo para desarrollar un modelo matemático predictivo.

Los resultados muestran un alto coeficiente de correlación entre el UPF y la porosidad de los tejidos cuando cada tipo de fibra se analiza separadamente. El UPF está influenciado significativamente por el tipo de fibra. La fibra de Modal Sun, como se esperaba, proporciona los UPF más elevados. Consecuentemente, un modelo predictivo se puede desarrollar para cada tipo de fibra individualmente, pero no para su aplicación universal.

Palabras clave: factor de protección solar, porosidad, tejidos algodón, Modal, Modal Sun.

0.2. Summary: INFLUENCE OF THE FIBRE TYPE AND POROSITY OF FABRICS ON ULTRAVIOLET PROTECTION FACTOR PROVIDED BY SUMMER FABRICS

The effect of ultraviolet radiation on the human skin is a topic of growing interest, due, mainly, to the increase in the skin cancer rates in many countries. Clothing provides some protection. However, the authors of numerous studies have concluded that many of the light-weight garments used in summer do not provide enough protection for persons who spend all day in the sun.

This study compared the Ultraviolet Protection Factor (UPF) of three types of fabrics whose composition and structure are appropriate for summer garments. Fabrics included cotton, Modal (a form of high wet modulus rayon) and Modal Sun (Modal treated with an ultraviolet absorber). Three sets of undyed fabrics were manufactured to specification with different degrees of porosity from each of the three fibres. The effect of fibre type and porosity on UPF values was evaluated in an effort to develop a predictive mathematical model.

Results showed a high correlation coefficient between UPF and fabric porosity when each fibre type was analysed separately. UPF was influenced significantly by fibre type. Modal Sun exhibited the highest UPF ratings, as expected. Consequently, a predictive model could be developed for individual fibre types, but not for universal application.

Key words: ultraviolet protection factor, porosity, cotton fabrics, Modal, Modal Sun.

0.3. Résumé: INFLUENCE DU TYPE DE FIBRE ET DE LA POROSITÉ DES TISSUS SUR LE FACTEUR DE PROTECTION CONTRE LA RADIATION ULTRAVIOLETTE, FOURNI PAR LES TISSUS D'ÉTÉ

L'effet de la radiation ultraviolette sur la peau est un sujet qui suscite un intérêt grandissant, du fait principalement de l'augmentation de l'incidence du cancer de la peau dans certains pays. Les vêtements apportent une certaine protection. Néanmoins, les auteurs de nombreuses

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

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

*** Dra. P.C. Crews. Department of Textiles, Clothing & Design, University of Nebraska-Lincoln (U.N.L.), U.S.A.

•) Publicado originariamente en AATCC Review, vol. 4, nº 2, febrero 2004, pp. 26-31. Reimpreso con permiso de AATCC, www.aatcc.org, propietario del copyright.

études ont conclu que la plupart des vêtements légers que nous portons l'été ne protègent pas suffisamment ceux qui passent toute la journée au soleil.

Cette étude compare le facteur de protection contre la radiation ultraviolette (UPF) de trois types de tissus dont la composition et la structure conviennent aux vêtements d'été. Les tissus ont été fabriqués à partir de fibres en coton, de fibres Modal (genre de rayonne à haut module) et de fibres Modal Sun (Modal traité avec un absorbant de radiation ultraviolette). Trois séries de tissus non teints ont été tissés à partir des trois fibres avec divers degrés de porosité spécifiés. L'effet du type de fibre et de la porosité sur la valeur de l'UPF a été évalué en vue de développer un modèle mathématique prédictif.

Les résultats montrent un coefficient de corrélation élevé entre l'UPF et la porosité des tissus quand chaque type de fibre est analysé séparément. Comme on s'y attendait, la fibre de Modal Sun fournit les UPF les plus élevés. Par conséquent, un modèle prédictif peut être développé pour chaque type de fibre individuellement, mais non pas pour une application universelle.

Mots clé: Facteur de protection solaire, porosité, tissus de coton, Modal, Modal Sun.

1. INTRODUCCIÓN

El efecto de la radiación ultravioleta sobre la piel humana es un tema de interés creciente, debido principalmente al incremento de la incidencia del cáncer de piel en algunos países. Desde los años 20 se ha producido un cambio en el estilo de vida y la actitud hacia la piel bronceada, que ha producido un notable incremento en el tiempo que pasamos al aire libre y, por lo tanto, en la cantidad de tiempo que nuestra piel se expone a la radiación solar ultravioleta (UVR). UVR tiene sólo dos efectos beneficiosos sobre nuestra piel: contribuye a la síntesis de vitamina D3 y al mantenimiento de la habilidad de la piel para soportar exposiciones repetidas a la UVR (por ejemplo, mediante el aumento del grosor de la piel). Las reacciones de la piel a la exposición a la UVR son el eritema, quemadura solar, bronceado y fotosensibilización¹⁾.

No podemos olvidar que el bronceado es un mecanismo de defensa de la piel. Los rayos ultravioletas pasan a través de la piel y alcanzan las células de capas inferiores, inflamándolas y produciendo quemaduras solares. En un esfuerzo por evitar el daño futuro, los melanocitos, células

localizadas en la epidermis, generan un pigmento llamado melanina que es el responsable de proporcionar un aspecto bronceado a la piel y, más importante, de protegerla contra la radiación ultravioleta. Pero el daño se acumula año tras año hasta que se produce una alteración en el ADN del melanocito. La célula dañada sobrevive y se reproduce, extendiendo el daño a áreas adyacentes y causando la aparición del cáncer de piel²⁾.

La mayoría de los efectos fotobiológicos (quemadura solar, inmunosupresión local y sistemática, envejecimiento de la piel, cáncer de piel, etc.) se atribuyen a la UVR y más particularmente a la radiación UVB (290-320 nm). La radiación UVA (320-400 nm) también juega un importante papel en la inducción del eritema mediante generación de especies reactivas de oxígeno que dañan el ADN y las membranas celulares, y promueven carcinogénesis y los cambios asociados con el fotoenvejecimiento³⁾.

Las prendas de vestir proporcionan cierta protección contra la UVR perjudicial. Sin embargo, los autores de numerosos estudios han concluido que muchas de las prendas ligeras usadas en verano no proporcionan una protección suficiente para personas que pasan todo el día al sol. Por ello, los fabricantes de artículos textiles han expresado su interés en desarrollar tejidos con propiedades de bloqueo de UVR mejoradas. Un modelo que permitiera a los fabricantes el predecir las propiedades de bloqueo de UVR de un tejido basándose en su tipo de fibra y porosidad sería útil para la industria textil. El propósito de este estudio es el desarrollar un modelo matemático predictivo teniendo en cuenta el efecto del tipo de fibra y la porosidad en la transmisión UVR de tejidos seleccionados con pesos ligeros adecuados para el verano.

Algunos investigadores han señalado que la porosidad o abertura del tejido es un parámetro clave que influye en la transmisión UVR^{4,5)} Crew et al.⁶⁾ encontraron que la porosidad del tejido era el mejor predictor individual de la transmisión UVR a través de tejidos de calada no teñidos, pero que el tipo de fibra era también un factor influyente. Pailthorpe^{7,8)} definió el tejido ideal para la protección solar como aquel en el cual los hilos son completamente opacos a la radiación UVR y los agujeros o poros del tejido son suficientemente pequeños para bloquear la transmisión de radiación UVR. Relacionó la transmisión UVR a través de un tejido con su "factor de cobertura", el término que usó para describir la porosidad del tejido, según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Transmisión UVR} = 100 - \text{Factor de Cobertura y UPF} = \frac{100}{100 \text{ Factor de Cobertura}}$$

Basándose en datos derivados de esta ecuación, Pailthorpe^{7,8)} concluyó que, para alcanzar un UPF mínimo de 15, el factor de cobertura del tejido debía ser mayor que el 93%. “Además, una vez que el factor de cobertura excede el 95%, incrementos muy pequeños en el factor de cobertura conducen a mejoras sustanciales en el SPF del tejido”⁸⁾. En la práctica, sin embargo, no existe un tejido ideal como el descrito y los tejidos con un mismo factor de cobertura pueden tener UPF ampliamente diferentes, cuando se tejen a partir de diferentes tipos de fibras.

Reinert et al.⁵⁾ llevaron a cabo determinaciones espectroscópicas de fibras de algodón, lana, seda poliéster y Nylon no teñidos y mostraron que el algodón, seda y Nylon no teñidos eran notablemente transparentes a la radiación UVR. Las fibras de poliéster, constituidas por unidades aromáticas, exhibían una alta absorción de radiación UVB. Cuando se añadían un mateante (dióxido de titanio), el poliéster absorbía también la radiación UVA. La transmisión UVR de las fibras de Nylon igualmente se reduce sustancialmente mediante la adición de un mateante. Asimismo los colorantes, blanqueadores ópticos, productos de acabado y el diámetro de la fibra, también han mostrado su influencia sobre la transmisión UVR. Sin embargo, la porosidad del tejido es el

parámetro de construcción de los tejidos que tiene mayor influencia sobre la transmisión UVR. Por ello, es el parámetro sobre el que nos centramos en este estudio.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materiales

Se han fabricado y estudiado tres series de tejidos de calada cuya composición y estructura son adecuados para la producción de prendas de verano (pesos entre 90 y 250 g/m²).

Cada serie se fabrica a partir de una fibra celulósica diferente:

- Tejidos de algodón
- Tejidos de Modal: una forma de rayón de alto módulo en húmedo
- Tejidos de Modal Sun: Modal que incorpora un absorbente de radiación UV

Los tejidos de cada serie se han fabricado con ligamento tafetán, combinando tres títulos diferentes de hilo de urdimbre y de trama y tres densidades de trama diferentes (Tabla 1). Se han producido 2 metros (ancho 0,5 m) de cada tejido. Cada serie está compuesta por 27 tejidos que cubren un amplio rango de porosidad.

TABLA 1
 Especificaciones de producción

Fibra	Título del hilo (tex)		Densidad de hilos (hilos/cm)	
	Urdimbre	Trama	Urdimbre	Trama
Algodón	14, 20, 25	14, 20, 25	38	23, 25, 27
Modal	14, 20, 25	14, 20, 25	38	23, 25, 27
Modal Sun	14, 20, 29	14, 20, 29	38	23, 25, 27

Después del tisaje, los tejidos han sido descolados y blanqueados. Se ha medido el grado de blanco (WI) de varios tejidos seleccionados de cada serie. Los resultados han mostrado que el grado de blanco de los tres tipos de fibras está en el siguiente rango: Algodón WI \approx 80; Modal WI \approx 96 y Modal Sun WI \approx 93.

Se han extraído al azar cinco especímenes de cada uno de los tejidos estudiados. Ninguno de los especímenes se cortó a una distancia menor de 5 cm del orillo. Se han tomado dos medidas de la porosidad de los tejidos (Porcentaje de cobertura) y dos medidas del valor UPF en cada uno de los especímenes, una en la dirección de la urdimbre y otra en la dirección de la trama, dando un total de 10 medidas por muestra de tejidos para cada una de las variables independientes.

2.2. MÉTODOS

2.2.1. Porosidad del tejido: Porcentaje de cobertura por Análisis de Imagen

La porosidad o abertura de un tejido en un importante indicador de la habilidad para bloquear la radiación solar de un tejido. El porcentaje de cobertura es una medida útil de la porosidad de un tejido y se define como el porcentaje de área ocupada por los hilos de urdimbre y trama en un área de tejido dada.

Para este estudio, el porcentaje de cobertura se ha determinado utilizando un sistema de análisis de imagen. Se ha obtenido la imagen microscópica de cada tejido mediante un microscopio óptico (Olympus Provis) y una cámara de vídeo (Olympus U-SPT). La imagen microscópica se ha tomado utilizando un objetivo 4x y un ocular 10x y se ha magnificado posteriormente en un monitor de vídeo de 13" hasta

una magnificación total de 130x en la pantalla. La imagen monocroma magnificada de cada tejido se ha capturado con una tarjeta de captura de vídeo (Optronics DEI-750 Acquire) y se ha convertido en píxeles en la pantalla del ordenador. Cada píxel representa un valor monocromático entre 0 y 255. Utilizando un software de análisis de imagen, se han representado los valores entre 0 y 75 como píxeles negros. Se ha considerado que el área del tejido ocupada por hilos es aquella representada por los píxeles negros (valor monocromático entre 0 y 75).

$$\text{Cobertura (\%)} = \frac{\text{Número de píxeles negros}}{\text{Número total de píxeles}} \cdot 100$$

2.2.2. Factor de Protección Ultravioleta (UPF)

El Factor de Protección Ultravioleta (UPF) de un tejido es una medida cuantitativa de la efectividad del tejido para proteger la piel humana contra la radiación ultravioleta. El UPF se calcula de la razón entre la radiación UVR media transmitida a través del aire y la radiación UVR media transmitida a través del tejido.

El UPF de un tejido puede variar significativamente en función de los parámetros de fabricación del mismo, incluyendo las fibras que componen el tejido, los aditivos que las fibras contienen, las características estructurales del tejido (ligamento, densidad de hilos, factor de cobertura, etc.), el color y la intensidad de tintura, la presencia de blanqueadores ópticos, pigmentos o productos de acabado, especialmente absorbentes de UV, las condiciones de lavado de las prendas, etc.⁴⁻¹¹.

El UPF de los tejidos incluidos en este estudio se ha determinado *in vitro* utilizando un Analizador de Transmitancia Ultravioleta UV1000F de Labsphere, y de acuerdo con la norma AS/NZ 4399:1996¹².

UPF de un espécimen: Se calcula mediante la 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 relativo CIE

S_{λ} : Irradiancia espectral solar

T_{λ} : Transmitancia espectral del tejido

$\Delta\lambda$: intervalo de longitud de onda en nm (1 nm)

UPF de la muestra: obtenida introduciendo una corrección estadística. Partiendo del UPF medio y la desviación estándar del UPF medio, el error estándar en el UPF medio se calcula para un intervalo de confianza del 99%.

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

\overline{UPF} : UPF medio

$t_{\alpha/2, N-1}$: valor t para $\alpha = 0.005$

SD: desviación estándar del UPF medio UPF

Cuando el objetivo es el etiquetado, las prendas protectoras deben ser clasificadas de acuerdo con su índice UPF, según se muestra en la Tabla 2.

El índice UPF que se utiliza en una etiqueta de producto es el UPF medio de la muestra menos el error estándar del UPF medio de la muestra, y el resultado "se redondea hasta el menor múltiplo de cinco más cercano" (12). Cuando el UPF calculado de esta forma es menor que el menor UPF de los especímenes individuales, entonces el valor del índice UPF que se utilizará en la etiqueta debe ser el UPF del espécimen con el menor valor UPF, que igualmente se redondea hasta el menor múltiplo de cinco más cercano. De ninguna forma el índice UPF será mayor que 50.

TABLA 2

Sistema de clasificación del UPF, AS/NZ 4399: 1996 (12) y ASTM D6603-2000¹³

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

3. RESULTADOS

3.1. Estimación del porcentaje de cobertura por análisis de imagen

La Figura 1 muestra las microfotografías correspondientes a los tejidos menos compactos (Referencia 1), de compacidad media (Referencia

14) y más compactos (Referencia 27) de cada serie. Como ejemplo, los tejidos de compacidad media (algodón 14, Modal 14 y Modal 14) están fabricados con hilos de urdimbre y trama de título 20 tex y densidad de trama de 25 hilos/cm.

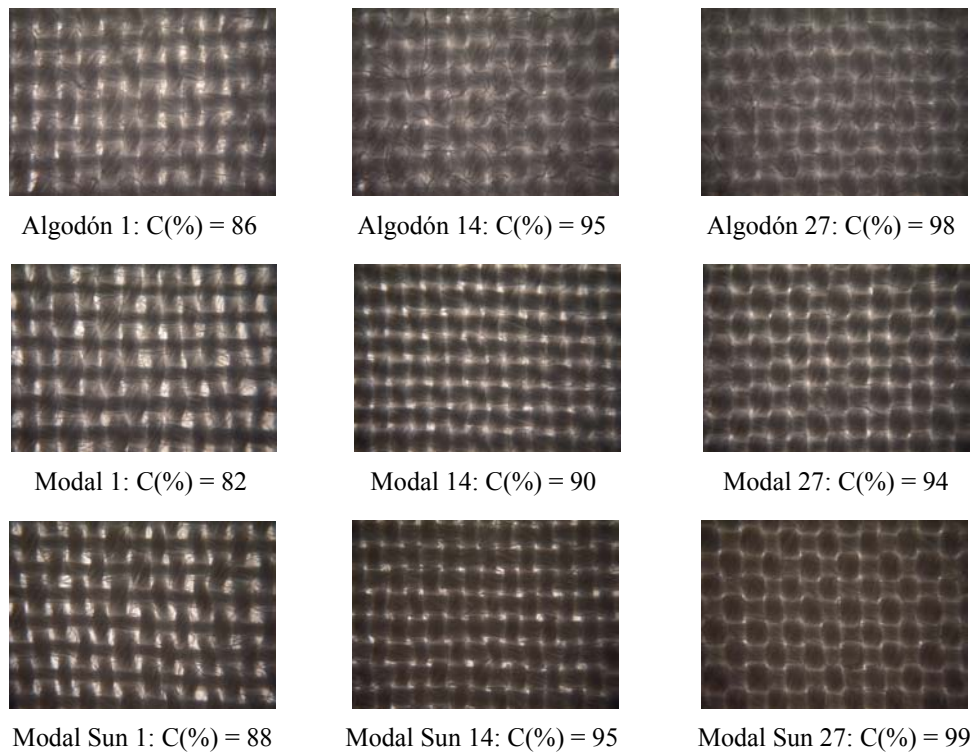


FIGURA 1: Microfotografías de los tejidos para la estimación del porcentaje de cobertura.

El porcentaje de cobertura varía entre el 86% y el 98% para los tejidos de algodón, entre el 82% y el 94% para los tejidos de Modal y entre el 88% y el 99% para los tejidos de Modal Sun. La Figura 2 muestra los valores de porcentaje de cobertura obtenidos para cada serie de tejidos. Los tejidos de Modal tienen un rango menor de porcentajes de cobertura que los tejidos de algodón

y Modal Sun. La razón de esta diferencia no está clara. Los tejidos de las series de Modal y Algodón se tejieron utilizando los mismos números de hilo y densidades de trama, por lo que se esperaba que tuvieran los mismos rangos de valores de porcentaje de cobertura.

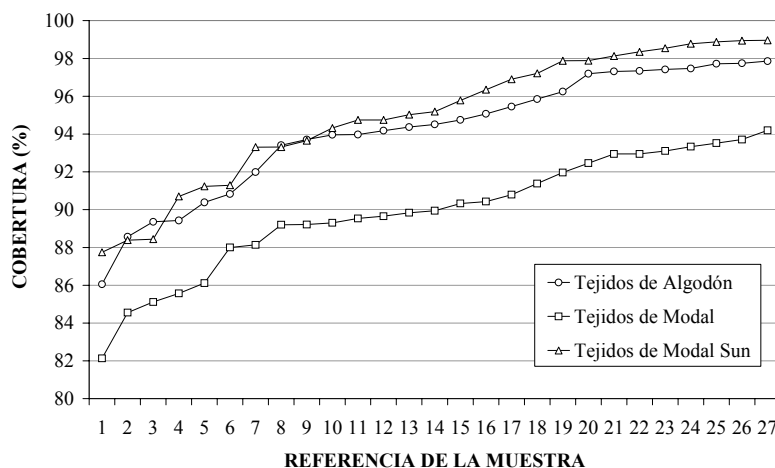


FIGURA 2: Porcentaje de cobertura.

3.2. UPF y porcentaje de cobertura

La Figura 3 muestra el valor calculado de UPF en función del porcentaje de cobertura para

cada serie de tejidos (Algodón, Modal y Modal Sun).

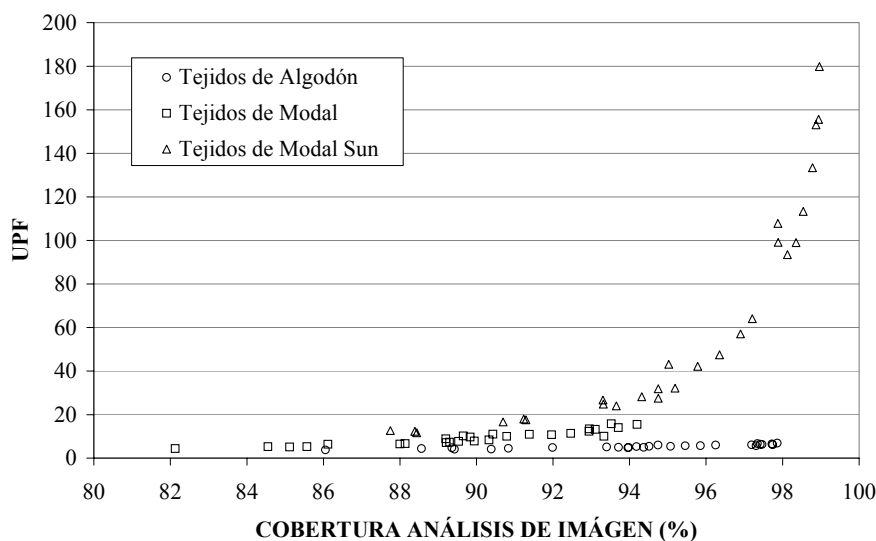


FIGURA 3: UPF v. Porcentaje de cobertura.

Se puede observar una relación directa entre el UPF y el porcentaje de cobertura. Como se esperaba el UPF de los tejidos aumenta cuando se incrementa el porcentaje de cobertura. Sin embargo, la influencia del porcentaje de cobertura es diferente en función del tipo de fibra. En la Figura 3 se puede observar que la influencia del tipo de fibra es muy significativa. Consecuentemente, se podrá desarrollar un modelo predictivo para cada tipo de fibra individualmente, pero no para una aplicación universal. Con un análisis adicional, podría ser posible desarrollar un índice de transmisión para cada tipo de fibra, que se podría incorporar en el análisis para estimar un modelo predictivo universal.

Los tejidos ligeros de algodón blanqueados tejidos para este estudio, incluso aquello con valores de porcentaje de cobertura altos, han obtenido valores de UPF muy bajos (máximo de 7). Ninguno de los tejidos de algodón tiene un índice UPF lo suficientemente alto para poder ser clasificados como protectores del sol (los tejidos deben tener un UPF mínimo de 15 para ser clasificados como protectores del sol), a pesar de que algunos de ellos tienen una estructura muy compacta (hasta el 98% de cobertura). Este resultado está de acuerdo con trabajos anteriores de otros autores⁴⁻⁶⁾ quienes encontraron que los tejidos no teñidos de algodón proporcionan UPF muy bajos, excepto si se trata de tejidos muy compactos y pesados, que no serían adecuados para su uso en prendas de verano.

Los tejidos de Modal tejidos para este estudio presentan una protección solar mayor que los de algodón para los mismos valores de porcentaje de cobertura. Algunos tejidos proporcionan valores de 15 o mayores, lo que significa que pueden clasificarse como tejidos con “buena protección” contra la radiación UVR. Sin embargo, sus bajos valores de porcentaje de cobertura no les permiten alcanzar niveles de “muy buena” o “excelente protección” (UPF 25 - 50). Ha sido algo sorprendente encontrar que los tejidos de Modal proporcionan mayor UPF que los de algodón ya que ambas son fibras celulósicas. Además, los tejidos de Modal tienen valores de porcentaje de cobertura menores y mayores grados de blanco que los tejidos de algodón, por lo que son más abiertos y blancos. Anteriores investigadores han mostrado que, en general, las fibras que tienen algo de color (como algodón no blanqueado o teñido) tienen UPF mayores (bloquean más radiación UVR) que aquellos que son más blancos⁶⁾. Una posible explicación para los mayores valores de UPF obtenidos en Modal, podría ser que se hubiera añadido algún mateante o aditivo de acabado en la hilatura de esta fibra que podría disminuir la transmisión UVR.

Los tejidos de Modal Sun tejidos para este estudio han demostrado ser muy protectores, como era de esperar ya que contienen un aditivo absorbente de UVR en su composición. Casi todos los tejidos de Modal Sun proporcionan al menos “buena protección” incluso cuando el porcentaje de cobertura es bajo ($\leq 90\%$), mientras que una

“excelente protección” puede ser alcanzada con porcentajes de cobertura de tan sólo el 95%.

3.3. Análisis de regresión del UPF v. porcentaje de cobertura para cada tipo de fibra individual

Los datos se han analizado mediante regresión simple. Los gráficos de UPF en función

del porcentaje de cobertura sugieren que los datos no se ajustan al modelo lineal ($Y=a+b \cdot X$), por lo que se han utilizado varias transformaciones en busca de la linealidad y la normalidad. Para definir el modelo que se ajusta mejor a los datos, se han estudiado tres transformaciones: multiplicativa ($Y=a \cdot X^b$), exponencial ($Y=ea+b \cdot X$) y recíproca ($1/Y=a+b \cdot X$).

TABLA 3
Análisis de regresión

		Lineal	Multiplicativa	Exponencial	Recíproca
Algodón	Error estándar	0,3257	0,0569	0,0558	0,0102
	Coef. Correlación	0,9256	0,9374	0,9401	-0,9479
	R- squared (%)	85,67	87,87	88,37	89,85
Modal	Error estándar	1,2614	0,1039	0,1003	1,0106
	Coef. Correlación	0,9265	0,9598	0,9626	-0,9430
	R- squared (%)	85,84	92,11	92,66	94,68
Modal Sun	Error estándar	29,0471	0,2707	0,2575	0,0032
	Coef. Correlación	0,9280	0,9511	0,9559	-0,9915
	R- squared (%)	68,56	90,47	91,37	98,31

El análisis de los modelos estimados ha mostrado:

- Todas las transformaciones promueven la linealidad
- El modelo recíproco alcanza el mejor ajuste lineal para las tres series de tejidos (Algodón, Modal y Modal Sun)
- Sólo el modelo recíproco presenta homogeneidad de variancias para todas las fibras. Una de las hipótesis básicas que se hacen para poder utilizar estos modelos es la homogeneidad de variancias. Para comprobar si el requisito se cumple, se deben representar los residuos y compararlos con los valores ajustados. La representación gráfica de los residuos para el modelo lineal y para las

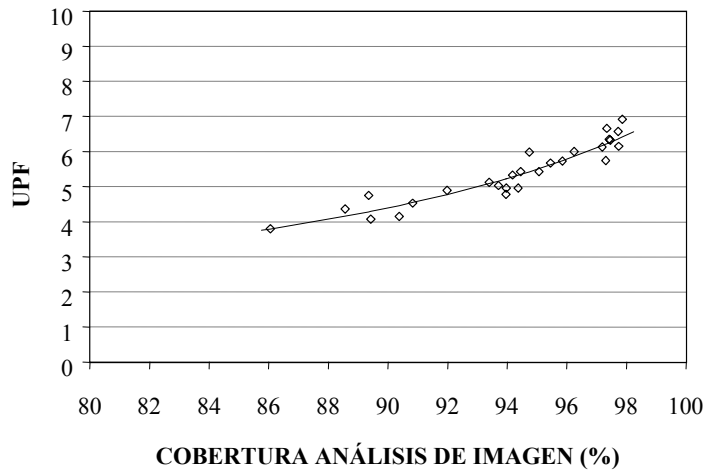
transformaciones multiplicativa y exponencial ha revelado que no se cumple la hipótesis de homogeneidad de variancias, por lo que estos modelos no pueden ser utilizados. En cambio, el gráfico de residuos para el modelo recíproco ha demostrado que la hipótesis de homogeneidad de variancia se cumple para los tres tipos de fibras.

Por lo anteriormente expuesto, se puede concluir que el modelo recíproco es el que mejor se ajusta a los datos experimentales. La Tabla 4 muestra el modelo obtenido y el valor R^2 para cada serie de tejidos (Algodón, Modal y Modal Sun). La Figura 4 muestra la curva ajustada para el modelo recíproco, así como el gráfico de residuos.

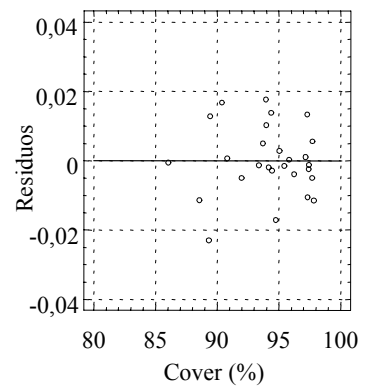
TABLA 4
Análisis de regresión UPF v. Cobertura (%): modelo y R^2

	Modelo	R^2
Algodón	$UPF = \frac{1}{-9,1245 \cdot 10^{-3} \cdot C(\%) + 1,01489}$	89,9
Modal	$UPF = \frac{1}{-1,4050 \cdot 10^{-2} \cdot C(\%) + 1,3814}$	94,7
Modal Sun	$UPF = \frac{1}{-6,9351 \cdot 10^{-3} \cdot C(\%) + 0,6901}$	98,3

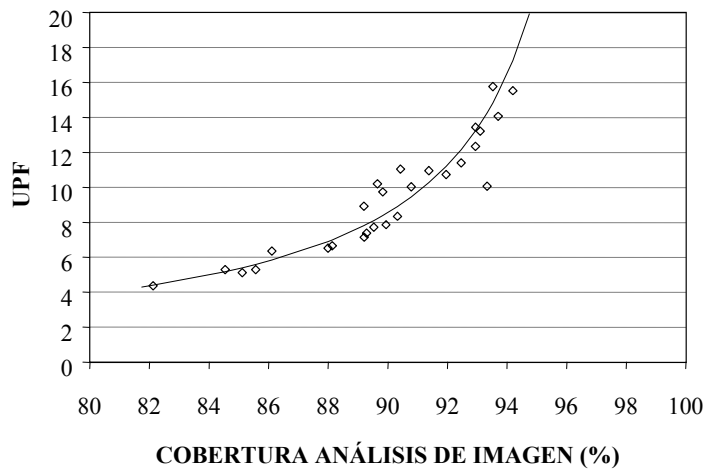
Tejidos de Algodón



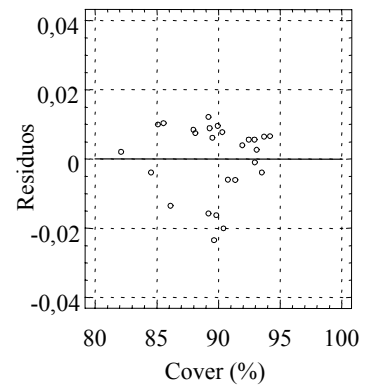
Residuos de UPF v. Cobertura (%)



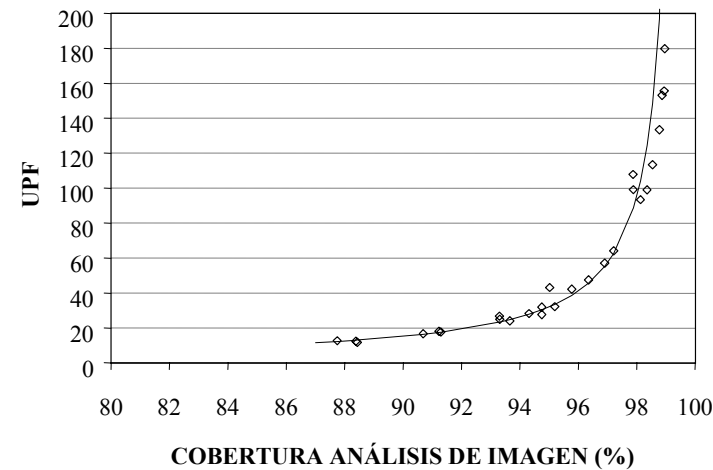
Tejidos de Modal



Residuos de UPF v. Cobertura (%)



Tejidos de Modal Sun



Residuos de UPF v. Cobertura (%)

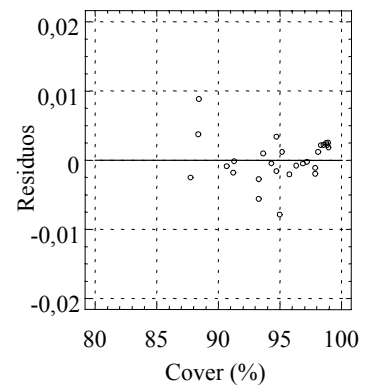


FIGURA 4: Análisis de regresión UPF v. Cobertura (%): curva ajustada y gráfico de residuos.

Los resultados muestran un alto coeficiente de correlación entre el UPF y la porosidad de los tejidos. Los gráficos de residuos no muestran ninguna irregularidad, por lo que se cumplen las

hipótesis de linealidad y homogeneidad de variancias.

A partir de los modelos obtenidos que describen el UPF en función del porcentaje de cobertura (Tabla 4) es posible calcular una

estimación del porcentaje de cobertura mínimo que se necesita para alcanzar, buena, muy buena o excelente protección solar en los tejidos fabricados

para este estudio. La Tabla 5 muestra los resultados:

TABLA 5

Estimación del porcentaje de cobertura necesario para obtener un valor UPF de al menos 15, 25 o 40 (El porcentaje de cobertura se estima a partir del modelo para el UPF basado en la línea de mejor ajuste a los datos mediante transformación recíproca)

Protección	UPF	Cobertura (%)		
		Algodón	Modal	Modal Sun
Buena protección	15	>100	94	90
Muy buena protección	25	>100	96	94
Excelente protección	40	>100	97	96

La extrapolación de los resultados muestra que un porcentaje de cobertura del 100% no sería suficiente para alcanzar una "buena protección" (UPF 15-24) en los tejidos de algodón blanqueados (fabricados dentro del rango de títulos de hilo y densidad de hilos utilizados en este estudio). Para alcanzar un UPF de 15 (el UPF mínimo para que el tejido sea considerado protector solas) en tejidos de algodón blanqueador, sería necesario incrementar el título del hilo o la densidad de pasadas o ambos, lo que conduciría a un aumento en el peso del tejido y disminución de la permeabilidad al aire, que serían inaceptables para prendas ligeras de verano. Este resultado es consistente con los obtenidos por otros investigadores que han informado que los polímeros de celulosa transmiten la mayor parte de radiación UVA y UVB. Reinert et al. (5) encontraron en sus estudios que sólo un tejido pesado de algodón (367 g/m²) alcanzó un índice UPF por encima de 15 y, además, su valor era únicamente de UPF 17. Por otra parte, es posible alcanzar "muy buena protección" (UPF 25-39) y "excelente protección" (UPF 40-50+) con las fibras de Modal y Modal Sun, a porcentajes de cobertura de 96 y 94 y de 97 y 96%, respectivamente. Como era de esperar, los tejidos de Modal Sun han demostrado ser los más protectores (mayores índices UPF, la mayoría de ellos por encima de 30) de entre las fibras que se han estudiado.

4. CONCLUSIONES

4.1. En el Factor de Protección Ultravioleta (UPF) de los tejidos tiene influencia la porosidad de los mismos. Este resultado es consistente con los obtenidos en varias investigaciones anteriores ^{8, 9}). Los valores de UPF aumentan cuando se incrementa el porcentaje de cobertura (es decir, cuando la porosidad disminuye). El hecho de que los datos experimentales se ajustan mejor al modelo recíproco muestra que este parámetro (el porcentaje de cobertura o la porosidad) tiene una

influencia cada vez más notable a medida que aumenta el UPF de los tejidos. Aunque no se ha podido desarrollar un modelo predictivo teniendo en cuenta únicamente el porcentaje de cobertura, ya que el tipo de fibra y el rango UPF afectan al grado de influencia que la porosidad de los tejidos tiene sobre el UPF, podría ser posible formular un índice para la transmitancia en función del tipo de fibra que permitiera desarrollar un modelo predictivo que incorporara este factor para una aplicación universal. Esto, sin embargo, requerirá más investigación y análisis.

4.2. El tipo de fibra influye notablemente en el valor del UPF. De nuevo este resultado confirma trabajos anteriores de Crews et al. ⁶) y Reinert et al. ⁵) quienes mostraron que, aunque el porcentaje de cobertura era un parámetro clave en la transmisión UVR en tejidos no teñidos, el tipo de fibra también era un parámetro importante. Entre las fibras estudiadas:

4.2.1. Los tejidos de algodón blanqueados utilizados en este estudio han demostrado ser muy transparentes a la radiación ultravioleta incluso para estructuras muy compactas.

Para los tejidos de algodón con bajos UPF, un incremento en la porosidad de los tejidos tiene muy poco efecto. Aumentando el porcentaje de cobertura de 86% a 98%, y por lo tanto haciendo los tejidos de verano más compactos y menos permeables, sólo se consigue un incremento de 4 puntos en el UPF. Extrapolando los resultados, un porcentaje de cobertura del 100% en los tejidos de algodón blanqueados tejidos dentro de los intervalos de título de hilo y densidad de pasadas utilizados en este estudio, no sería suficiente para alcanzar un valor de UPF de al menos 15, el mínimo valor requerido para poder etiquetar a un tejido como de "buena protección". Para alcanzar este UPF mínimo en tejidos de algodón blanqueados sería necesario incrementar los valores de las especificaciones de fabricación, lo que consecuentemente produciría un aumento en

el peso de los tejidos no deseable para prendas ligeras de verano.

4.2.2. El Modal no teñido proporciona algo mayor protección solar que el algodón blanqueado, aunque los valores de UPF han sido insuficientes para que la mayoría de las muestras alcancen "buena protección" ($UPF \geq 15$).

La porosidad de los tejidos tiene una influencia ligeramente superior en el UPF de los tejidos de Modal que en el de los tejidos de algodón. El modelo predictivo muestra que se puede alcanzar "buena protección" en los tejidos de Modal con un porcentaje de cobertura superior al 94%, mientras que un porcentaje de cobertura del 99% no proporciona valores de UPF mayores que 7 para los tejidos de algodón. Extrapolando los resultados en los tejidos de Modal se podría alcanzar "muy buena protección" ($UPF = 25$ a 35) e incluso "excelente protección" ($UPF = 40$ a $50+$) a porcentajes de cobertura del 95 y 97% respectivamente.

4.2.3. Los tejidos de Modal Sun han demostrado ser muy protectores, como se esperaba en esta fibra especialmente diseñada para este fin, que lleva incorporado un absorbente de radiación UVR. El uso de este tipo de fibra permite a los fabricantes el producir artículos protectores del sol con un relativamente bajo porcentaje de cobertura, haciéndolos muy confortables para su uso en prendas de verano.

La porosidad de los tejidos tiene un efecto en el valor de UPF de los tejidos de Modal Sun muy significativo. Como los valores de UPF obtenidos para la serie de Modal Sun cubren un rango muy amplio, el modelo predictivo permite estimar (sin necesidad de extrapolación) el porcentaje de cobertura mínimo necesario para alcanzar un UPF específico en todo el rango considerado en las normas AS/NZ y ASTM (0 a 50+).

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido financiado en parte por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (Proyecto de investigación CICYT MAT 99-0996), y una beca del Ministerio de Educación,

Cultura y Deporte, dentro del programa de Formación de Profesorado Universitario. También ha sido financiado en parte por la University of Nebraska, Agricultural Research Division (Journal Series No. 13932) y el U.S. Department of Agriculture Multi-state Research Project S-1002. Agradecemos la experta asistencia en la recogida de datos y el análisis de imágenes del Dr. Joe Zhou, director de la University of Nebraska Microscopy Research Facility.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. T.D. Tenkate, *Environmental Health*, Vol. 61, no. 2, September, pp. 9-15 (1998)
2. Anónimo, ABC 16-6-98, pp. 54-55
3. A.C. Tedesco, L. Martínez, S. González, *Braz. Journal of Medical and Biological Research*, Vol. 30, No. 5, May, pp. 561-575 (1997).
4. R. Hilfiker, W. Kaufmann, G. Reinert, E. Schmidt, *Textile Research. Journal*, Vol. 66, No. 2, pp. 61-70 (1996).
5. G. Reinert, F. Fusco, R.Hilfiker, E. Schmidt, *Textile Chemist and Colorist*, Vol. 29, No. 12, pp. 36- 43 (1997).
6. P.C. Crews, S. Kachman, A.G. Beyer, *Text. Chem. Colorist*, Vol. 31, No. 6, 1999, pp. 17-26 (1999).
7. M. Pailthorpe, *Textile Horizons*, Vol. 16, No. 5, pp. 11-14 (1996).
8. M.T. Pailthorpe, Proceeding of the Textiles and Sun Protection Mini-Conference, Kensington (NSW), May, pp. 32, (1993).
9. H.P. Haeri, D. Haenzi, J.J. Donzé, 39th International Man-Made Fibres Congress, Dornbirn, Austria, (2000).
10. D.G. Stanford, K.E. Georgouras, M.T. Pailthorpe, *Medical Journal of Australia*, Vol. 162, No. 8, pp. 422-425, (1995).
11. Y. Zhou, P.C. Crews, *Textile Chemist and Colorist*, Vol. 30, No. 11, pp. 19-24 (1998).
12. Standards Australia/Standards New Zealand, AS/NZS 4399, pp. 4-13 (1996).
13. *Annual Book of ASTM Standards*, pp. 1179-1182 (2001).