

# ACCIÓN DE UN PRODUCTO DE ACABADO ESPECÍFICO EN LA MEJORA DEL FACTOR DE PROTECCIÓN A LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA DE TEJIDOS MODAL Y MODAL SUN. MODELIZACIÓN DE LOS EFECTOS <sup>·)</sup>

A, Riva\*, I. Algaba\*\* y M. Pepió\*\*\*

## 0. 1. Resumen

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. La protección de un tejido celulósico sin teñir es, en general, muy baja, pero se puede mejorar mediante un acabado con productos absorbentes de la radiación ultravioleta.

En este trabajo se tratan tejidos de Modal y Modal Sun de diferente estructura, y en consecuencia con diferente UPF inicial, con un producto de acabado a diferentes concentraciones de acuerdo con un plan experimental previamente establecido. Se ha modelizado el valor de la respuesta UPF en función de las variables del plan experimental.

**Palabras clave:** Factor de Protección ultravioleta, fibras celulósicas, Modal, Modal Sun, tejidos de calada, producto absorbente de radiación UV, acabado, modelización.

## 0.2. Summary: ACTION OF A SPECIFIC FINISHED PRODUCT IN THE IMPROVEMENT OF ULTRAVIOLET PROTECTION FACTOR OF MODAL AND MODAL SUN FABRICS

The Ultraviolet Protection Factor of a fabric is a quantitative measurement of the effectiveness of the fabric to protect the human skin against ultraviolet radiation. The protection provided by uncoloured cellulosic fabrics is, in general, too

low, but can be improved by the finishing treatment with UV-absorbers. In the present paper Modal and Modal Sun fabrics with different compactness, and hence with different initial Ultraviolet Protection Factor values, are treated with several concentrations of an UV-absorber, according to a predefined experimental plan. The influence of each variable as well as their interaction on the response Ultraviolet Protection Factor is analysed and a statistical model for predictions is proposed.

**Key words:** Ultraviolet Protection Factor, cellulosic fibres, Modal, Modal Sun, woven fabrics, UV-absorber, finishing, modelisation.

## 0.3. Résumé: ACTION D'UN PRODUIT DE FINISSAGE SPÉCIFIQUE DANS L'AMÉLIORATION DU FACTEUR DE PROTECTION À LA RADIATION ULTRAVIOLETTE DE TISSUS DE MODAL ET MODAL SUN

Le Facteur de Protection Ultraviolette (UPF) d'un tissu est une mesure quantitative du caractère effectif du tissu pour protéger la peau humaine contre la radiation ultraviolette. La protection d'un tissu cellulosique sans teindre est, en général, très basse, mais peut être amélioré moyennant un finissage avec des produits absorbants de la radiation ultraviolette.

Dans ce travail des tissus de Modal et Modal Sun de différente structure sont traités, et en conséquence avec différent UPF initial, avec un produit de finissage à de différentes concentrations en accord avec un plan expérimental au préalable établi. On a modelé la valeur de la réponse UPF en fonction des variables du plan expérimental.

**Mots clé:** Facteur de Protection Ultraviolette, fibres cellulosiques, Modal, Modal Sun, tissus de trempage, produit absorbant de radiation UV, finissage, modélisation.

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

\*\* Inés Algaba Joaquín, Departamento de Estadística de Investigación Operativa, E.T.S.E.I.A.T. (U.P.C.)

\*\*\* Dra. Ing. Montserrat Pepió Viñals, Catedrática de Universidad del Departamento de Estadística de Investigación Operativa. Responsable de Estadística en la E.T.S.E.I.A.T. (U.P.C.)

·) Publicado en *Fibres and Polymers*, 8 (2), 205-211 (2007)

## 1. INTRODUCCIÓN

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. 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.<sup>(1-8)</sup>.

En la industria textil se han venido utilizando numerosos productos con el objetivo de proteger las fibras de la fotodegradación o de evitar la degradación del color en artículos teñidos o el deterioro del grado de blanco en artículos blanqueados, todo ello causado por la incidencia de la radiación ultravioleta sobre los artículos textiles. Estos productos absorbentes de radiación ultravioleta actúan preferentemente absorbiendo la radiación perjudicial y disipándola como energía térmica. Son compuestos no coloreados con coeficientes de extinción elevados en el rango espectral entre 300 y 400 nm aproximadamente<sup>9)</sup>. Actualmente, algunos de estos productos y otras formulaciones nuevas se han propuesto también para mejorar el bloqueo del paso de la radiación a través de los textiles, es decir, para mejorar su UPF.

Para que un producto de este tipo sea adecuado en su uso para aumentar el factor de protección a la radiación ultravioleta, es importante que su espectro de absorción en dicha región presente bandas de alta absorción prioritariamente en las longitudes de onda correspondientes a la zona del UVB. La radiación en esta zona es la más perjudicial para la piel y, por tanto, se le da un mayor peso en la fórmula de cálculo del UPF. Si el producto químico añadido bloquea la radiación de la zona UVB se mostrará muy eficiente para ser usado en prendas que deban ser etiquetadas como protectoras.

En este trabajo se estudia la acción de un producto de acabado específico, cuya base

química es la oxalanilida, en la mejora de los valores del UPF de tejidos celulósicos de Modal y Modal Sun. Experiencias preliminares habían puesto de manifiesto que la mejora del UPF obtenida por la aplicación de productos químicos no es la misma si los tejidos tienen diferentes compacidades y consecuentemente diferentes UPF iniciales. Por ello, se han efectuado tratamientos con el producto absorbente de radiación UV a diferentes concentraciones sobre tejidos de Modal y Modal Sun de diferente estructura y, por lo tanto, con diferentes UPF iniciales, de acuerdo con un plan experimental predeterminado. Se ha determinado la transmitancia difusa de la radiación UV y se ha calculado el UPF de cada tejido. Se ha modelizado el valor de la respuesta UPF en función de las variables del plan experimental: UPF inicial (que depende de la compacidad inicial del tejido) y concentración del producto de acabado.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1. Materia

El estudio se ha llevado a cabo sobre tejidos fabricados a partir de dos fibras celulósicas diferentes: Modal y Modal Sun (fibra de Modal que incorpora un absorbente de radiación UV en el fluido de hilatura).

Para cada una de las fibras, se han tomado como base para los tratamientos 3 tejidos diferentes, para determinar si la influencia del producto de acabado es diferente en función de la estructura del tejido original. Como variable representativa de la estructura de estos tejidos originales se ha tomado su UPF inicial (UPFi), cuya relación con la estructura de los tejidos ha sido modelizada por los autores<sup>10,11)</sup>. Las características de cada uno de ellos se muestran en la tabla 1.

**TABLA 1**  
UPF inicial y características de los tejidos originales

	Tejidos utilizados						
	Modal			Modal Sun			
Nivel de UPF inicial	UPFi bajo	UPFi medio	UPFi alto	UPFi bajo	UPFi medio	UPFi alto	
Valor de UPF inicial	5,12	11,39	15,76	12,66	17,61	27,54	
Masa laminar (g/m <sup>2</sup> )	106,63	192,75	225,03	102,43	129,02	156,24	
Espesor (mm)	0,292	0,367	0,390	0,273	0,290	0,346	
Cobertura (%)	85,12	92,46	93,52	87,75	91,29	94,75	
Título hilo (tex)	urdimbre	14,3	20	25	14,3	14,3	14,3
	trama	14,3	25	25	14,3	20	29,4
Densidad (hilos/cm)	urdimbre	40	40	40	40	40	40
	trama	25	27	27	25	27	25

## 2.2. Producto de acabado específico y tratamiento

El producto de acabado absorbente de radiación ultravioleta utilizado es el Tinofast CEL (Ciba). Según la información técnica, es un producto que presenta débil absorción en la zona de longitud de onda larga de UVA, fuerte absorción en la zona de longitud de onda corta de UVA y máxima absorción en la zona de UVB. Sobre su composición química se indica que es un producto con base oxalanilida, de carácter aniónico<sup>12</sup>.

El producto se ha aplicado sobre cada una de las muestras de tejido a 4 concentraciones diferentes: 1, 2, 3 y 4% s.p.f. Como producto auxiliar del tratamiento se ha utilizado el sulfato de sodio, a diferentes concentraciones según la concentración del producto (9 g/l de sulfato de sodio para las concentraciones de 1 y 2% s.p.f. del producto de acabado, 12 g/l para el 3% s.p.f. y 15 g/l para el 4% s.p.f.). La relación de baño fue de 1/20.

El proceso seguido para el tratamiento con el producto de acabado específico es un proceso convencional por agotamiento con subida de temperatura desde 30°C hasta 96°C, adición de sulfato de sodio, tiempo de tratamiento de 60 minutos a la temperatura máxima y enfriamiento del baño. Los tratamientos se han realizado en un aparato Linitest.

## 2.3. Plan experimental

Se ha construido un diseño experimental para cada fibra (Modal y Modal Sun) por separado<sup>13</sup>. En la tabla 2 se presentan las variables y sus niveles en cada una de las experiencias del plan. Para cada serie de tejidos de diferente fibra, el sistema consta de una primera variable, el UPF inicial de los tejidos (UPF<sub>i</sub>) con 3 niveles diferentes, y una segunda variable, la concentración del producto de acabado en % s.p.f. (C) con 5 niveles diferentes (incluyendo el tejido sin tratar).

## 2.4. Parámetros determinados

Los parámetros determinados son los siguientes:

### 2.4.1. Espectros de absorción en el ultravioleta de una disolución del producto de acabado

Se ha determinado el espectro de absorción en la región del ultravioleta, de una disolución de 2 g/l del producto de acabado en agua, utilizando un espectrofotómetro Shimadzu 256 FS/FW.

### 2.4.2. Transmisión de radiación a través de los tejidos en la región del ultravioleta

Los espectros de transmisión se han obtenido mediante un aparato Analizador de transmitancia difusa en el ultravioleta, modelo UV-1000F de Labsphere. Las curvas que se presentan son el resultado medio de 10 medidas.

La transmitancia media UVR a través del tejido se calcula como la media aritmética de las transmitancias en las longitudes de onda entre 290 y 400 nm (tomadas en incrementos de 5 nm). La transmitancia media UVA será la media aritmética de las transmitancias entre 315 y 400 nm y la transmitancia media UVB entre 290 y 315 nm.

### 2.4.3. Factor de protección a la radiación ultravioleta de los tejidos, UPF

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 4399:1996 (14). El UPF de un espécimen se calcula con la siguiente fórmula:

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

Donde:

$E_{\lambda}$ : Espectro eritemal relativo CIE

$S_{\lambda}$ : Irradiancia espectral solar

$T_{\lambda}$ : Transmitancia espectral del tejido

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

El UPF de la muestra se obtiene introduciendo una corrección estadística, consistente en calcular el extremo inferior del intervalo de probabilidad del 99%, de forma que se asegura que el verdadero valor del UPF es igual o superior al calculado con una probabilidad del 99,5%.

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

Donde:

$\overline{UPF}$ : UPF medio

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

SD: desviación estándar del UPF medio  
UPF

Este valor 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.

El valor se redondea hasta el menor múltiplo de cinco más cercano para obtener el índice UPF. A partir de 50 el índice siempre se señala como 50+.

Cuando el objetivo es el etiquetado, las prendas protectoras deben ser clasificadas de acuerdo con su índice UPF, según se muestra en la Tabla 3.

**TABLA 3**

Sistema de clasificación del UPF, AS/NZ 4399: 1996 (14)

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+

#### 2.4.4. Modelización del UPF en función de UPF inicial y concentración del producto de acabado

##### 2.4.4.1. Codificación de las variables

El análisis estadístico y la modelización del UPF se han llevado a cabo partiendo de variables codificadas. El hecho de que el modelo además de incluir los efectos de los factores, incorpore también efectos cuadráticos e interacciones dobles o triples hace casi seguro que se puedan presentar problemas, en el cálculo matricial inherente, debidos a la envergadura de los valores y/o a su disparidad. Para evitarlo se recurre a la codificación con lo que se utilizan niveles similares de las diferentes variables y, además, el peso de esos niveles es el mismo en los efectos y las interacciones. Ello facilita la observación del efecto

de cada variable en el valor de la respuesta y la comparación entre los efectos e interacciones para determinar cual tiene una mayor influencia en la misma.

El requisito para poder realizar la codificación de las variables es que los niveles de cada variable sean equidistantes. Los niveles de la variable C (concentración del producto de acabado) no presentan ningún problema para su codificación ya que lo son. Sin embargo, los niveles de la variable UPFi (UPF inicial) no permiten una codificación, al no ser valores equidistantes (11). La solución adoptada ha sido realizar una pseudocodificación de las variables, en la que se ha aplicado a cada nivel de cada variable las fórmulas que se exponen en la tabla 4.

**TABLA 4**

Fórmulas de codificación de las variables

Materia	Variables codificadas	
	cUPFi	cC
Modal	$cUPFi = \frac{UPFi - 10,441}{5,317}$	$cC = \frac{C - 2}{1}$
Modal Sun	$cUPFi = \frac{UPFi - 20,0975}{7,4385}$	$cC = \frac{C - 2}{1}$

##### 2.4.4.2. Modelo inicial y estimación de los coeficientes significativos

El análisis estadístico de los resultados para la modelización de la respuesta UPF se

realiza por modelo lineal. El modelo inicial comprende los términos correspondientes a los efectos simples UPFi y C, así como su interacción y sus términos cuadráticos, y la interacción de los términos cuadráticos con los efectos simples.

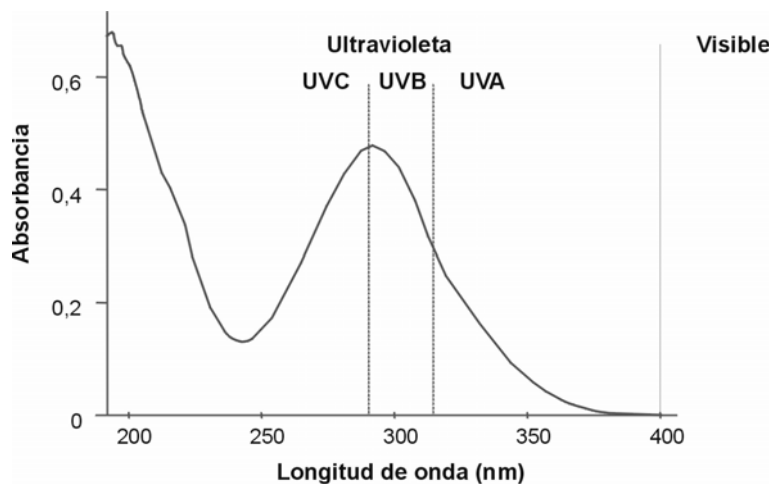
$$UPF = \beta_0 + \beta_1 \cdot cUPFi + \beta_2 \cdot cC + \beta_3 \cdot cUPFi \cdot cC + \beta_4 \cdot cUPFi^2 + \beta_5 \cdot cC^2 + \beta_6 \cdot cUPFi^2 \cdot cC + \beta_7 \cdot cUPFi \cdot cC^2$$

La estimación de los coeficientes significativos del modelo para cada respuesta se realiza mediante el método de regresión paso a paso (Stepwise Regression), en su modalidad hacia delante (forward). La significación de los coeficientes y del modelo se comprueba para un error  $\alpha$  predeterminado del 5%.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Espectros de absorción en el ultravioleta-visible del baño de tratamiento

La figura 1 muestra los espectros de absorción de disoluciones de concentración 0,2 g/l del producto de acabado Tinofast CEL en la región del ultravioleta (190-400 nm) del espectro electromagnético.



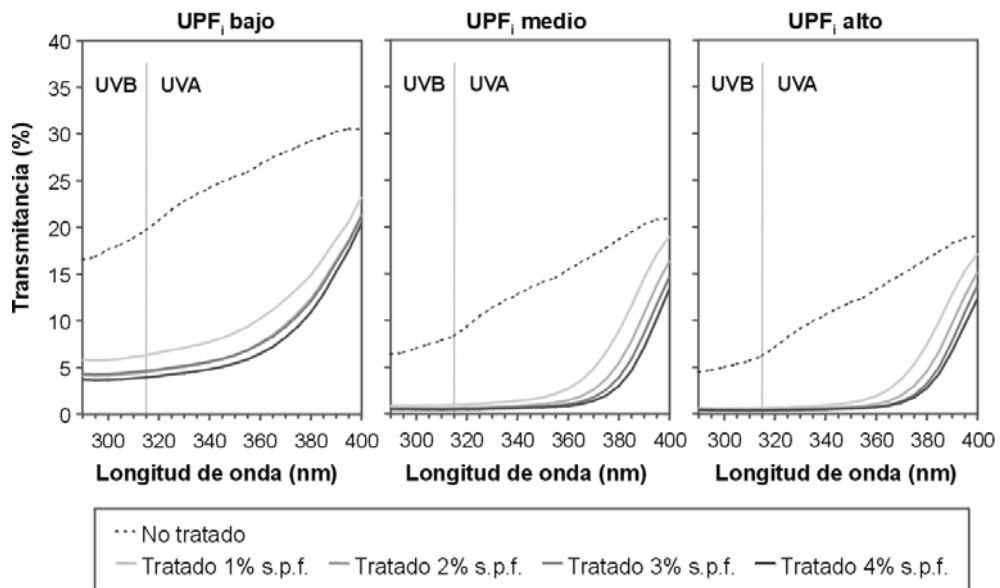
**FIGURA 1:** Espectro de absorción en el ultravioleta

En el intervalo de longitud de onda entre 290 y 400 nm, que es el que se tiene en cuenta en la fórmula de cálculo del UPF, se sitúa un máximo de absorción a 290 nm, en el inicio de la región del UVB. A partir de este máximo la absorción va decreciendo a medida que aumenta la longitud de onda, hasta hacerse nula en el límite entre la región ultravioleta y la visible, a 400 nm. Aunque la absorción en la zona del UVA es baja, el producto de acabado absorbe una gran cantidad de radiación en la zona del UVB, lo que lo hace muy indicado para la mejora del factor de protección al absorber preferente la radiación en la zona más perjudicial para la piel y que mayor influencia tiene

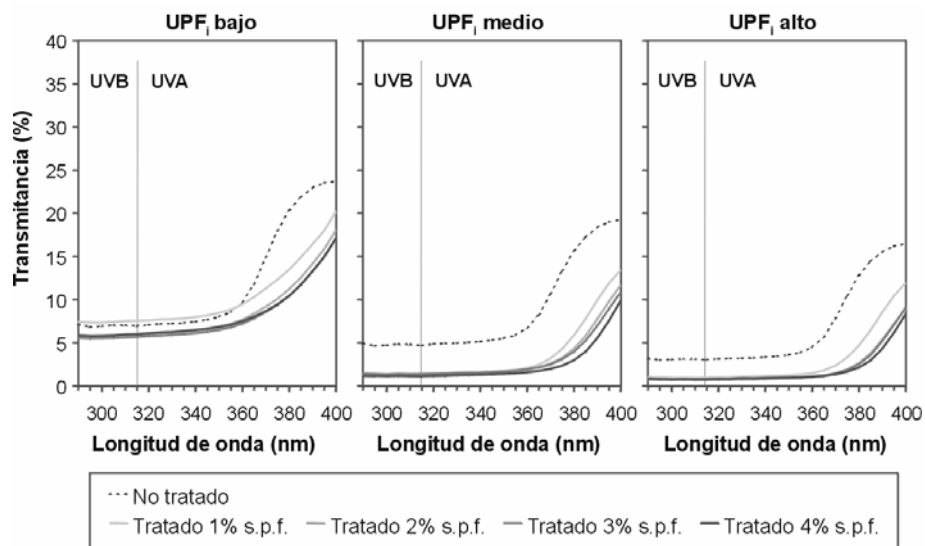
en el cálculo del Factor de Protección de los tejidos.

#### 3.2. Transmisión de radiación de los tejidos en la región del ultravioleta

Las figuras 2 y 3 muestran los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Modal y Modal Sun no tratados (tejidos con UPF inicial bajo, medio y alto), así como los espectros de dichos tejidos tratados con el producto de acabado a las diferentes concentraciones.



**FIGURA 2:** Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal no tratados y tratados con el producto de acabado absorbente de radiación ultravioleta



**FIGURA 3:** Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal Sun no tratados y tratados con el producto de acabado absorbente de radiación ultravioleta

Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, 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 no tratados y tratados a las diferentes concentraciones ( $T_{UVA}$ : 315-400 nm,  $T_{UVB}$ : 290-315 nm,  $T_{UVR}$ : 290-400 nm)

Muestra			Modal			Modal Sun		
Nº	UPFi	C	$T_{UVA}$	$T_{UVB}$	$T_{UVR}$	$T_{UVA}$	$T_{UVB}$	$T_{UVR}$
1	bajo	0	26,12	17,95	24,27	13,02	6,99	11,71
2	bajo	1	11,75	6,00	10,48	10,57	7,06	9,81
3	bajo	2	9,38	4,23	8,25	9,41	6,11	8,69
4	bajo	3	9,07	4,18	8,00	8,53	5,48	7,86
5	bajo	4	8,74	4,03	7,71	8,50	5,58	7,86
6	medio	0	15,16	7,26	13,40	9,72	4,79	8,65
7	medio	1	5,61	0,87	4,58	4,25	1,42	3,63
8	medio	2	3,93	0,60	3,20	3,58	1,38	3,10
9	medio	3	3,13	0,51	2,56	3,39	1,42	2,96
10	medio	4	2,73	0,50	2,24	2,77	1,18	2,43
11	alto	0	13,05	5,23	11,30	7,45	3,10	6,51
12	alto	1	4,67	0,60	3,79	3,33	0,95	2,81
13	alto	2	3,40	0,44	2,76	2,31	0,74	1,97
14	alto	3	2,83	0,38	2,30	2,22	0,74	1,90
15	alto	4	2,48	0,39	2,03	2,06	0,82	1,79

La adición del producto de acabado hace disminuir las transmitancias en todas las longitudes de onda del espectro ultravioleta, y varía la forma de la curva característica de los tejidos de Modal. Particularmente en la zona del UVB, la disminución de la transmisión es muy notable, las curvas presentan una forma prácticamente plana en el UVB y hasta 350 – 360 nm en la zona UVA, aumentando progresivamente a partir de esta longitud de onda y hasta la zona del visible. Es decir, se da una mayor disminución de transmisión en la zona en que se produce una mayor absorción de radiación por parte del producto de acabado.

La curva característica de los tejidos de Modal Sun no tratados es muy diferente de la obtenidas para Modal, e indica que los tejidos no tratados de esta fibra bloquean una mayor proporción de radiación ultravioleta en la zona UVB y en longitudes de onda bajas del UVA que el resto de las fibras estudiadas. La aplicación del producto de acabado no produce un cambio tan notable en la forma de las curvas, pero, en general, también disminuye la transmitancia de radiación ultravioleta (excepto para el tejido con UPF inicial bajo y tratado con Tinofast CEL al 1% s.p.f. que presenta una mayor transmisión que el tejido no tratado

hasta aproximadamente 360 nm de longitud de onda).

Los resultados numéricos corroboran la general disminución de las transmisiones medias al aplicar el producto de acabado sobre los tejidos. Las transmisiones disminuyen al aumentar la concentración del producto de acabado. Se produce un efecto sinérgico de las dos variables (concentración de producto y UPF inicial) que hace que el bloqueo de la radiación se acelere al aumentar simultáneamente la concentración de producto y el UPF inicial de los tejidos.

En un buen número de los tejidos tratados se consigue una disminución de la transmisión media  $T_{UVR}$  hasta valores inferiores al 6,7%, al 4,1% y al 2,5%, valores orientativos según la norma AS/NZ 4399:1996, para obtener buena, muy buena y excelente protección respectivamente.

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

Los resultados del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos tratados con el producto de acabado se exponen en la tabla 6.

TABLA 6

Factor de Protección a la Radiación Ultravioleta UPF e Índice UPF de los tejidos de Modal y Modal Sun no tratados y tratados con el producto absorbente de radiación ultravioleta

Muestra			Modal		Modal Sun	
Nº	UPFi	C	UPF	Índice UPF	UPF	Índice UPF
1	bajo	0	5,12	5	12,66	10
2	bajo	1	14,71	10	12,22	10
3	bajo	2	20,12	20	14,48	10
4	bajo	3	20,02	20	15,99	15
5	bajo	4	20,25	20	15,65	15
6	medio	0	11,39	10	17,61	15
7	medio	1	84,37	50+	59,60	50+
8	medio	2	124,18	50+	62,75	50+
9	medio	3	150,91	50+	62,73	50+
10	medio	4	161,53	50+	74,33	50+
11	alto	0	15,76	15	27,54	25
12	alto	1	121,08	50+	88,89	50+
13	alto	2	163,86	50+	116,82	50+
14	alto	3	193,54	50+	115,88	50+
15	alto	4	198,68	50+	104,00	50+

En la tabla se puede observar que la aplicación del producto de acabado a cualquiera de las concentraciones estudiadas produce una mejora del UPF de los tejidos en general.

Cuando se tratan los tejidos más ligeros, es necesaria una concentración mayor del producto de acabado para conseguir una buena protección ( $UPF \geq 15$ ) y aunque la concentración sea elevada no se alcanzan niveles de muy buena protección ( $UPF \geq 25$ ). En cambio, si los tejidos son suficientemente compactos con la concentración más baja del producto ya se obtienen niveles de protección excelente ( $UPF \geq 40$ ). Cabe remarcar que, aunque parezca que el producto de acabado sea menos efectivo para aumentar la protección cuando se aplica sobre los tejidos de Modal Sun, los tejidos de esta fibra que se han utilizado como base para este estudio son más livianos que los de Modal.

### 3.4. Modelización del UPF en función de UPF inicial y concentración del producto de acabado absorbente de radiación ultravioleta

Los modelos obtenidos (en variables codificadas) y sus coeficientes de determinación son los siguientes:

Modal:  $R^2 = 99,94\%$

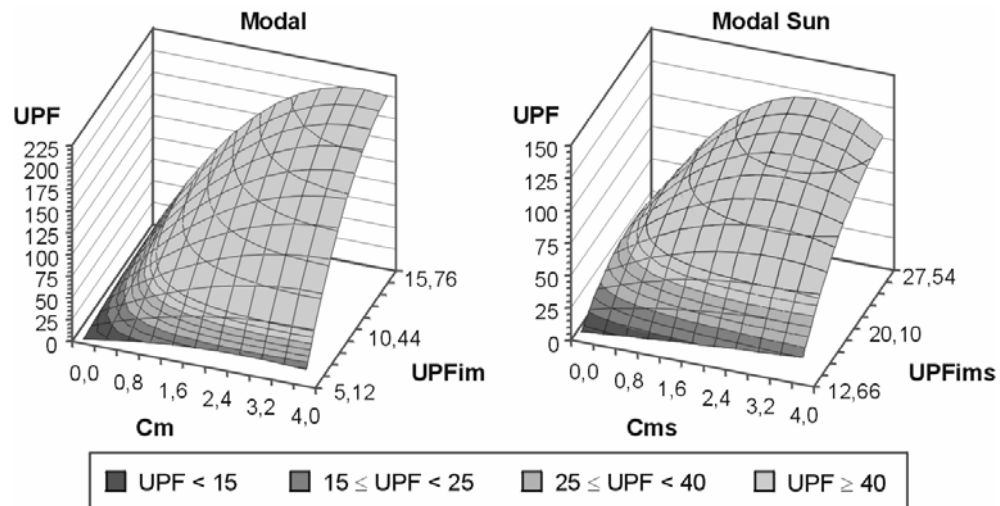
$$UPF = 112,8395 + 71,9614 \cdot cUPFi + 33,2117 \cdot cC + 20,9913 \cdot cUPFi \cdot cC - 20,9061 \cdot cUPFi^2 - 8,1640 \cdot cC^2 - 6,1998 \cdot cUPFi \cdot cC^2 - 8,6633 \cdot cUPFi^2 \cdot cC$$

Modal Sun:  $R^2 = 97,82\%$

$$UPF = 82,9881 + 50,6153 \cdot cUPFi + 11,0970 \cdot cC + 7,9677 \cdot cUPFi \cdot cC - 17,7710 \cdot cUPFi^2 - 6,4024 \cdot cC^2 - 6,2020 \cdot cUPFi \cdot cC^2$$

En la figura 4 se muestra la representación gráfica de las superficies de respuesta estimadas según los modelos para los tejidos de Modal y Modal Sun, en función de las variables del sistema, UPF inicial y Concentración del producto de acabado. Se han dibujado las curvas correspondientes a valores de UPF múltiplos de 5 hasta alcanzar el valor de 50 y múltiplos de 25 a partir de ese valor. Según los intervalos de UPF a efectos de clasificación y etiquetado contemplados en la norma AS/NZ 4339:1996, se distinguen las zonas de UPF que no proporcionan protección ( $UPF < 15$ ), las que proporcionan buena protección ( $15 \leq UPF < 25$ ), las de muy buena protección ( $25 \leq UPF < 40$ ) y las de protección excelente ( $UPF \geq 40$ ).





**FIGURA 4:** Superficies de respuesta estimadas según los modelos que relacionan la respuesta UPF del tejido en función del UPF inicial del tejido y de la concentración de producto absorbente de radiación ultravioleta

Los modelos demuestran que, para todos los tipos de fibras, el tratamiento de los tejidos con el producto de acabado tiene influencia sobre el factor de protección a la radiación ultravioleta proporcionado por los mismos, produciendo un incremento en el valor del UPF. Tanto la concentración del producto de acabado, como la compacidad del tejido (representada por su UPF inicial) tienen una influencia significativa sobre la respuesta UPF. La mejora en el UPF producida por la adición del producto es más notable en los tejidos de Modal. El salto en el UPF es menos notable cuando el acabado se aplica sobre los tejidos de Modal Sun.

El aumento de la concentración del producto de acabado tiene un efecto positivo sobre el factor de protección y, además, la tendencia de las curvas permite deducir que existe una contribución muy importante en el incremento del UPF debida al efecto de la interacción de esta variable con el UPF inicial. Para tejidos con UPF inicial bajo (estructura más abierta) la concentración del producto de acabado produce muy pequeños incrementos en el UPF final, mientras que a medida que el UPF inicial de los tejidos aumenta (tejidos más compactos) también se va haciendo más notable el efecto de la concentración y pequeños incrementos en ésta producen muy notables mejoras en la protección que los tejidos proporcionan contra la radiación ultravioleta. De igual forma, para concentraciones bajas del producto de acabado, un aumento en el UPF inicial del tejido no proporcionará un elevado incremento del UPF del mismo, mientras que cuando la concentración es alta, un pequeño aumento en la compacidad del tejido producirá un gran incremento en el UPF del tejido.

También cabe destacar el signo negativo de los términos cuadráticos de la concentración, que produce una notable curvatura de las superficies de respuesta. La tendencia es a llegar a la saturación aproximadamente con una concentración del 3% s.p.f. del producto de acabado y aunque se aumente más la concentración no se producirá una mejora del UPF.

Así pues, cuando se busque la optimización de las condiciones de tratamiento, será necesaria una mínima concentración de producto de acabado pero aplicada también sobre un tejido con una mínima compacidad, para poder obtener un nivel de protección determinado.

## 4. CONCLUSIONES

**4.1.** El acabado con un producto absorbente de radiación ultravioleta es una alternativa eficaz para mejorar la protección de los tejidos contra los efectos nocivos de dicha radiación.

**4.2.** Los modelos estadísticos indican que, para todos los tipos de fibras, la aplicación del producto de acabado incrementa significativamente el UPF de los tejidos y posibilita la obtención de tejidos ligeros que pueden proporcionar niveles de buena protección ( $15 \leq \text{UPF} < 25$ ), muy buena protección ( $25 \leq \text{UPF} < 40$ ) y protección excelente ( $\text{UPF} \geq 40$ ). El nivel de protección alcanzado, sin embargo, depende de todas las variables que se han considerado en el estudio: del tipo de fibra, de la concentración del producto de acabado y del UPF inicial del tejido, es decir, de la estructura del tejido antes del tratamiento.

**4.3.** La influencia del tratamiento con el producto de acabado es más notable en los tejidos de Modal y menor en los de Modal Sun, que ya de

por sí presentan mayores valores de protección inicial.

**4.4.** El aumento de la concentración del producto absorbente de radiación ultravioleta produce un incremento en el UPF del tejido, para los dos tipos de fibras. La influencia de esta variable sigue una tendencia notablemente parabólica, de forma que el mismo incremento en la concentración produce aumentos en el UPF cada vez más pequeños a medida que aumenta la concentración. Cuando el UPF inicial de los tejidos es alto se hace evidente que existe una tendencia a la saturación, punto a partir del cual un aumento de la concentración no producirá una variación significativa en el UPF.

**4.5.** El aumento en el UPF producido por la concentración del producto de acabado está fuertemente influenciado por la compacidad del tejido. Existe una notable interacción entre el UPF inicial del tejido y concentración del producto de acabado. Para tejidos con UPF inicial bajo, el aumento de la concentración del producto de acabado proporciona incrementos muy pequeños en la respuesta UPF. Pero a medida que el UPF inicial de los tejidos aumenta también se va haciendo más notable el efecto de la concentración del producto y pequeños incrementos producen muy notables mejoras en el UPF.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) 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 una tesis doctoral dentro de su 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 y tratamiento de los tejidos.

## 6. BILIOGRAFÍA

- Pailthorpe, M. Sun Protective Clothing. *Textile Horizons*, 16(5): 11-14 (1996).
- Crews, P.; Kachman, S.; Beyer, A. Influences on UVR transmission of undyed woven fabrics. *Textile Chemist and Colorist*, 31(6): 17-26 (1999).
- Algaba, I.; Riva, A.; Crews P.C., Influence of fiber type and fabric porosity on the Ultraviolet Protection Factor provided by summer fabrics, *AATCC Review*, 4(2): 26-31 (2004).
- 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).
- 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).
- Haerri, H.P.; Haenzi, D.; Donzé, J.J. (2000). The application of ultraviolet absorbers for sun protective fabrics. Conferencia presentada en el 39<sup>th</sup> International Man-Made Fibres Congress, Dornbirn (Austria) 13-15 septiembre.
- Srinivasan, M.; Gatewood, B. Relationship of dye characteristics to UV protection provided by cotton fabrics. *Textile Chemist and Colorist & American Dyestuff Reporter*, 32(4): 36-43 (2000).
- Zhou, Y.; Crews, P.C. Effect of OBAs and Repeated Launderings on UVR Transmission through Fabrics. *Textile Chemist and Colorist*, 30(11): 19-24 (1998).
- Zweifel, H. *Stabilization of Polymeric Materials*, Heidelberg: Springer Verlag, (1998).
- Riva A, Algaba I. Ultraviolet protection provided by woven fabrics made with cellulose fibres: study of the influence of fibre type and structural characteristics of the fabric, aceptado para publicación en *Journal of the Textile Institute*.
- Algaba I., Pepió M., Riva A. Modelisation of the influence of structural parameters on the Ultraviolet Protection Factor provided by cellulosic woven fabrics, aceptado para publicación en *Journal of the Textile Institute*.
- UPF Finishing for Textiles: Technical Data Sheet Ciba TINOFASST CEL*. Basel: Ciba Specialty Chemicals Inc, 10 p. (2000).
- Pepió, M.; Polo C. *Disseny i optimització de processos*. Terrassa: Laboratori d'Estadística ETSEIT-UPC (1996).
- AS/NZS 4399:1996. *Sun protective clothing – Evaluation and classification* (1996)