

MODELIZACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE USO DE LAS PRENDAS EN EL FACTOR DE PROTECCIÓN A LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA¹⁾

I. Algaba*, M. Pepió** y A. Riva***

0.1. Resumen

El objetivo de este trabajo es la modelización de la influencia sobre el UPF de las propiedades más representativas relacionadas con las condiciones de uso de las prendas, la tensión producida en contacto con el cuerpo y el estado de humedad. El estudio se ha llevado a cabo a partir de tejidos fabricados con tres fibras celulósicas diferentes (Algodón, Modal y Modal Sun) y con tres estructuras diferentes. Se ha formulado un modelo estadístico para cada tipo de fibra, que permite la estimación del UPF en función del UPF inicial del tejido original (relajado y seco), de la tensión y de la humedad.

Palabras clave: Factor de protección, ultravioleta, fibras celulósicas, tejidos de calada, condiciones de uso, tensión, seco, mojado.

0.2. Summary: MODELIZATION OF THE INFLUENCE OF THE WEARING CONDITIONS OF THE GARMENTS ON THE ULTRAVIOLET PROTECTION FACTOR

The aim of the paper is the modelisation of the influence on the UPF of the more representative properties of the wearing conditions of the garments, the tension produced in contact with the body and the wetness. The study is carried out on fabrics manufactured with three different cellulosic fibres (Cotton, Modal and Modal Sun) and with three different structures. A statistical model for each fibre type is formulated, which allows the

prediction of the UPF according to the UPF of the original fabric (unstretched and dry), the tension and the wetness.

Key words: Ultraviolet Protection Factor, cellulosic fibres, woven fabrics, wearing conditions, stretch, dry, wet.

0.3. Résumé: MODÉLISATION DE L'INFLUENCE DES CONDITIONS D'USAGE DES VÊTEMENTS SUR LE FACTEUR DE PROTECTION DES RAYONS ULTRAVIOLETS

Ce travail porte sur la modélisation de l'influence sur l'UPF des propriétés les plus représentatives liées aux conditions d'usage des vêtements, à la tension produite en contact avec le corps et à leur état d'humidité. L'étude a été réalisée à partir de tissus fabriqués avec trois fibres cellulósiques différentes (Coton, Modal et Modal Sun) et avec trois structures différentes. Un modèle statistique a été défini pour chaque type de fibre, permettant d'évaluer l'UPF en fonction de l'UPF initial du tissu original (détendu et sec), de sa tension et de son humidité.

Mots clé: Facteur de protection ultraviolet, fibres cellulósiques, tissus tissés, conditions d'usage, tension, sec, mouillé.

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 tejido, 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 tinte, la presencia de blanqueadores ópticos, pigmentos o productos de acabado, las condiciones de lavado de las prendas, etc.¹⁻⁸⁾.

Un aspecto a tener en cuenta cuando se habla de la protección que las prendas proporcionan contra la radiación ultravioleta es el hecho de que las normas existentes, en general, contemplan la medida del UPF en tejidos secos y

* Dra. Ing. Inés Algaba Joaquín, Profesora del Departamento de Estadística e Investigación Operativa, E.T.S.E.I.A.T. (U.P.C.)

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

*** 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.)

·) Publicado en Textile Research Journal, 77,11, 826-836 (2007)

no estirados. Sin embargo, algunas aplicaciones de tejidos implican que reciban radiación ultravioleta en estado mojado (bañadores) y en estado de estiramiento (prendas ajustadas). La medida del UPF de muestras secas y relajadas de estos tejidos puede llevar a errores ya que el factor de protección puede disminuir considerablemente por las características de uso, en estado estirado y/o húmedo, de dichas prendas⁹⁾. Entonces la cuestión es si es apropiado etiquetar una prenda como un UPF determinado si dicha prenda se va a llevar en un estado estirado o si se va a llevar cuando esté mojada.

El efecto de apertura de los tejidos causado por la tensión cuando las prendas se llevan ajustadas al cuerpo, es especialmente notable en los tejidos de punto, así como en los tejidos que contienen elastano. El uso de las prendas en este estado ajustado es bastante habitual actualmente, principalmente entre mujeres jóvenes y adolescentes. Incluso en este sector de población se tiende a adquirir prendas de tallas inferiores para potenciar este efecto. Moon et al. (1995)¹⁰⁾ midieron el estirado de varias prendas que contenían elastano (en mezcla con poliéster, poliamida o algodón) disponibles comercialmente y que 50 individuos, hombres y mujeres, eligieron como de su talla. Encontraron que, en contacto con el cuerpo, se producían estirados en un rango entre el 2% y el 52%, con una media de 15,5%. Fijando varios niveles de estirado, midieron el UPF de las prendas y concluyeron que se producía una notable reducción en la protección que las prendas proporcionaban. Los mismos autores midieron también el UPF de los tejidos no estirados y estirados cuando eran mojados. En los tejidos ensayados se producía un notable descenso del factor de protección UPF. A la misma conclusión, llegó Jevtic (1990)¹¹⁾ en un estudio in vivo en el que se ensayaron prendas habitualmente utilizadas en la playa.

La International Testing Association for Applied UV Protection, formada por varios institutos de financiación privada propuso en el año 2001 la utilización de un documento normativo cuyo objetivo es definir los requisitos generales y específicos para poder etiquetar los productos textiles con la etiqueta UV-Standard 801¹²⁾. Según este documento se debe realizar la medida del UPF del tejido original en seco y en húmedo, así como en estado estirado en seco y en húmedo. También se requiere la medida del UPF del tejido estirado y del tejido húmedo, después de someterlo a ensayos de abrasión, de lavado doméstico y de lavado en seco. El factor de protección mostrado en la etiqueta de las prendas es el menor UPF de los obtenidos en las diferentes medidas.

El objetivo del presente trabajo es el estudio de la influencia sobre el UPF de las

propiedades más representativas de las condiciones de uso de las prendas, la tensión a la que son sometidas en contacto con el cuerpo y su utilización cuando están mojadas. El estudio se ha realizado sobre tres tejidos de diferente estructura y fabricados con tres fibras celulósicas diferentes (Algodón, Modal y Modal Sun). Se establece un modelo matemático para cada fibra estudiada, que permita la predicción del UPF en función del UPF del tejido original (relajado y seco), de la tensión y de la humedad.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Materia

El estudio se ha llevado a cabo sobre tejidos descrudados fabricados a partir de tres fibras celulósicas diferentes: Algodón, 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 ha partido de 3 tejidos diferentes. Como variable representativa de la estructura de estos tejidos originales se ha tomado su UPF (UPF inicial). Las características de cada uno de ellos se muestran en la tabla 1.

2.2. Plan experimental para la simulación de las condiciones de uso de las prendas

Se ha construido un diseño experimental para cada fibra (Algodón, Modal y Modal Sun) por separado¹³⁾. Para cada serie de tejidos de diferente fibra, el sistema consta de una primera variable cualitativa, el estado de humedad del tejido (H) y de dos variables cuantitativas, el UPF inicial de los tejidos (UPFi) y la tensión (T) a la que se somete al tejido en Newtons. La variable cualitativa tiene dos niveles diferentes, en función de si el tejido se mide en estado seco o si se mide en estado mojado. La variable cuantitativa UPF inicial de los tejidos (UPFi) tiene 3 niveles, bajo, medio y alto, y la variable tensión 4 niveles diferentes. Estos 4 niveles incluyen el tejido sin estirar y los tejidos estirados con una tensión de 2, 4 y 6 N, que entran dentro del rango de las típicas a las que son sometidas las prendas durante su uso como indumentaria. De la combinación de las variables y sus niveles resultan 24 experiencias que corresponden a una gama de tejidos con una gradación en su compacidad y en los estados que tendrían bajo diferentes condiciones de uso de las prendas.

En la tabla 2 se presentan las variables y sus niveles en cada una de las experiencias del plan.

TABLA 1
 UPF inicial y características de los tejidos originales

| Nivel de UPF inicial | | Algodón | | | Modal | | | Modal Sun | | |
|----------------------------------|----------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | | UPF _i Bajo | UPF _i Medio | UPF _i Alto | UPF _i Bajo | UPF _i Medio | UPF _i Alto | UPF _i Bajo | UPF _i Medio | UPF _i Alto |
| Valor de UPF inicial | | 4,06 | 4,78 | 6,92 | 5,12 | 11,39 | 15,53 | 12,66 | 17,61 | 27,54 |
| Masa laminar (g/m ²) | | 94,93 | 122,09 | 180,04 | 106,63 | 192,75 | 216,09 | 102,43 | 129,02 | 156,24 |
| Espesor (mm) | | 0,318 | 0,339 | 0,400 | 0,292 | 0,367 | 0,402 | 0,273 | 0,290 | 0,346 |
| Cobertura (%) | | 89,42 | 93,96 | 97,86 | 85,12 | 92,46 | 94,20 | 87,75 | 91,29 | 94,75 |
| Título hilo (tex) | urdimbre | 14,3 | 14,3 | 25 | 14,3 | 20 | 25 | 14,3 | 14,3 | 14,3 |
| | trama | 14,3 | 20 | 25 | 14,3 | 25 | 25 | 14,3 | 20 | 29,4 |
| Densidad (hilos/cm) | urdimbre | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| | trama | 25 | 27 | 27 | 25 | 27 | 25 | 25 | 27 | 25 |

TABLA 2
 Variables y sus niveles en cada experiencia del plan experimental

| Muestra n° | Características de la muestra | | | Algodón | | Modal | | Modal Sun | |
|------------|-------------------------------|------------|-------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|--------------------------------|-----------------|
| | | | | UPF _i _a | T _a | UPF _i _m | T _m | UPF _i _{ms} | T _{ms} |
| 1 | En seco | UPFi bajo | Sin tensión | 4,24 | 0 | 4,95 | 0 | 19,74 | 0 |
| 2 | En seco | UPFi bajo | Tensión 2 N | 4,24 | 2 | 4,95 | 2 | 19,74 | 2 |
| 3 | En seco | UPFi bajo | Tensión 4 N | 4,24 | 4 | 4,95 | 4 | 19,74 | 4 |
| 4 | En seco | UPFi bajo | Tensión 6 N | 4,24 | 6 | 4,95 | 6 | 19,74 | 6 |
| 5 | En seco | UPFi medio | Sin tensión | 4,86 | 0 | 8,15 | 0 | 57,68 | 0 |
| 6 | En seco | UPFi medio | Tensión 2 N | 4,86 | 2 | 8,15 | 2 | 57,68 | 2 |
| 7 | En seco | UPFi medio | Tensión 4 N | 4,86 | 4 | 8,15 | 4 | 57,68 | 4 |
| 8 | En seco | UPFi medio | Tensión 6 N | 4,86 | 6 | 8,15 | 6 | 57,68 | 6 |
| 9 | En seco | UPFi alto | Sin tensión | 5,69 | 0 | 10,59 | 0 | 78,15 | 0 |
| 10 | En seco | UPFi alto | Tensión 2 N | 5,69 | 2 | 10,59 | 2 | 78,15 | 2 |
| 11 | En seco | UPFi alto | Tensión 4 N | 5,69 | 4 | 10,59 | 4 | 78,15 | 4 |
| 12 | En seco | UPFi alto | Tensión 6 N | 5,69 | 6 | 10,59 | 6 | 78,15 | 6 |
| 13 | En mojado | UPFi bajo | Sin tensión | 4,24 | 0 | 4,95 | 0 | 19,74 | 0 |
| 14 | En mojado | UPFi bajo | Tensión 2 N | 4,24 | 2 | 4,95 | 2 | 19,74 | 2 |
| 15 | En mojado | UPFi bajo | Tensión 4 N | 4,24 | 4 | 4,95 | 4 | 19,74 | 4 |
| 16 | En mojado | UPFi bajo | Tensión 6 N | 4,24 | 6 | 4,95 | 6 | 19,74 | 6 |
| 17 | En mojado | UPFi medio | Sin tensión | 4,86 | 0 | 8,15 | 0 | 57,68 | 0 |
| 18 | En mojado | UPFi medio | Tensión 2 N | 4,86 | 2 | 8,15 | 2 | 57,68 | 2 |
| 19 | En mojado | UPFi medio | Tensión 4 N | 4,86 | 4 | 8,15 | 4 | 57,68 | 4 |
| 20 | En mojado | UPFi medio | Tensión 6 N | 4,86 | 6 | 8,15 | 6 | 57,68 | 6 |
| 21 | En mojado | UPFi alto | Sin tensión | 5,69 | 0 | 10,59 | 0 | 78,15 | 0 |
| 22 | En mojado | UPFi alto | Tensión 2 N | 5,69 | 2 | 10,59 | 2 | 78,15 | 2 |
| 23 | En mojado | UPFi alto | Tensión 4 N | 5,69 | 4 | 10,59 | 4 | 78,15 | 4 |
| 24 | En mojado | UPFi alto | Tensión 6 N | 5,69 | 6 | 10,59 | 6 | 78,15 | 6 |

El proceso seguido para la preparación de las muestras se inicia con el estirado de los tejidos en las cuatro direcciones con la tensión definida mediante un aparato especialmente diseñado para la realización de los ensayos de certificación del UV-Standard 801. Las medidas en mojado se realizan tras mantener las muestras (estiradas o no) en agua hasta que queden completamente empapadas.

2.3. Parámetros determinados

2.3.1. 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.

2.3.2. 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_{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)

Tras calcular el UPF medio, el UPF de la muestra se obtiene introduciendo una corrección estadística, que 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. En caso contrario, el UPF de la muestra será el menor de los especímenes. El UPF 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+ |

2.3.3. Procedimiento para el análisis estadístico de los resultados

2.3.3.1. Codificación de las variables

El análisis estadístico y modelización del UPF se ha 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, 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 efectos e 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 ¹³⁾.

El requisito para poder realizar la codificación de las variables es que los niveles de cada variable sean equidistantes. Los niveles de las variables no permiten una codificación, al no

serlo. La solución 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 | cT |
| Algodón | $cUPFi = \frac{UPFi - 4,965}{0,725}$ | $cT = \frac{T - 3}{3}$ |
| Modal | $cUPFi = \frac{UPFi - 7,77}{2,82}$ | $cT = \frac{T - 3}{3}$ |
| Modal Sun | $cUPFi = \frac{UPFi - 48,945}{29,205}$ | $cT = \frac{T - 3}{3}$ |

2.3.3.2. Modelo inicial y estimación de los coeficientes significativos

Al haberse utilizado variables aleatorias y niveles no equidistantes de las variables, el análisis estadístico de los resultados, para la modelización de la respuesta UPF, se debe realizar por modelo lineal.

Se han analizado por separado los resultados correspondientes a cada una de las fibras (Algodón, Modal y Modal Sun), pero conjuntamente los resultados obtenidos en las medidas en seco y en mojado. La humedad del tejido es así una variable cualitativa con dos niveles y se introduce en el modelo mediante la variable categórica H. Esta variable adquiere diferentes

niveles en función de la característica cualitativa en cada experiencia: 0 para las medidas en seco (muestras 1 a 12) y 1 para las medidas en mojado (muestras 13 a 24).

El modelo inicial comprende los términos correspondientes a los efectos simples UPFi y T, su interacción y sus términos cuadráticos. La variable categórica se introduce sola y multiplicándola por todos los términos del modelo, para evaluar si el comportamiento de la respuesta frente a los otros factores cambia con el nivel de la categórica.

$$UPF = \beta_0 + \beta_1 \cdot cUPFi + \beta_2 \cdot cT + \beta_3 \cdot cUPFi \cdot cT + \beta_4 \cdot cUPFi^2 + \beta_5 \cdot cT^2 + \beta_6 \cdot H + \beta_7 \cdot H \cdot cUPFi + \beta_8 \cdot H \cdot cT + \beta_9 \cdot H \cdot cUPFi \cdot cT + \beta_{10} \cdot H \cdot cUPFi^2 + \beta_{11} \cdot H \cdot cT^2 + \varepsilon$$

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 α predeterminado del 5%.

Con este análisis se obtienen los coeficientes β_i significativos del modelo en función de UPFi, T y H. Posteriormente se debe separar el modelo conjunto en dos modelos, según los niveles de la variable categórica H. Así, sustituyendo en el modelo obtenido H = 0 se obtiene el modelo correspondiente a los tejidos medidos en seco, y substituyendo H = 1 se obtiene el modelo correspondiente a los tejidos medidos en mojado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Transmisión de radiación UV de los tejidos

La figura 1 muestra, como ejemplo, los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun originales correspondientes al nivel medio de la variable UPF inicial, así como los obtenidos tras ser sometidos a varias tensiones, medidos todos ellos en seco y en mojado. En la tabla 5 se exponen las transmisiones medias en el UVA, UVB y UVR.

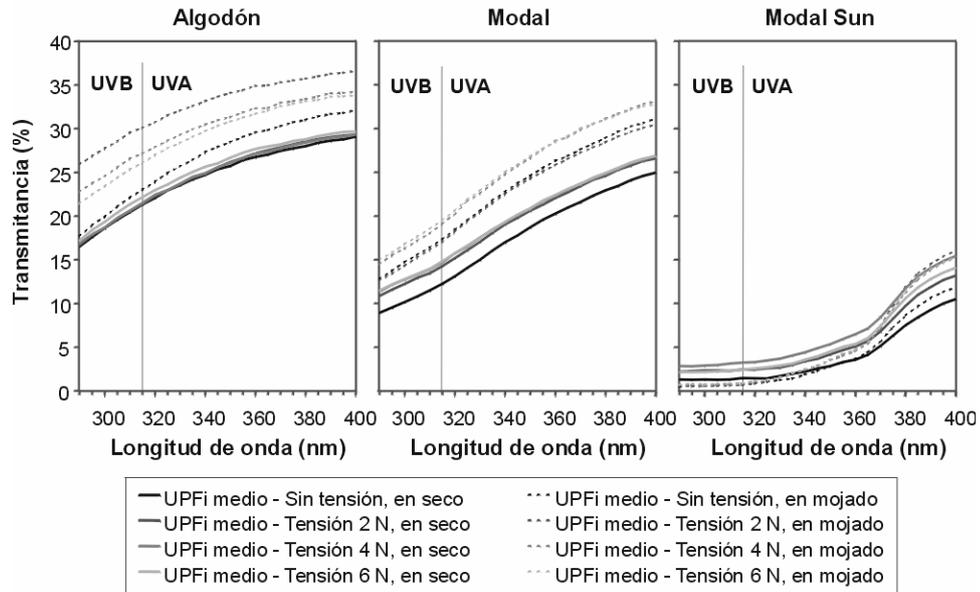


FIGURA 1: Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun originales y después de ser sometidos a tensión, medidos en seco y en mojado

TABLA 5

Transmisiones medias de los tejidos originales y tras ser sometidos a tensión, medidos en seco y en mojado
 (T_{UVA} : 315-400 nm, T_{UVB} : 290-315 nm, T_{UVR} : 290-400 nm)

| Muestra | | | | Algodón | | | Modal | | | Modal Sun | | |
|---------|--------|-------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Nº | H | UPFi | T | T_{UVA} | T_{UVB} | T_{UVR} | T_{UVA} | T_{UVB} | T_{UVR} | T_{UVA} | T_{UVB} | T_{UVR} |
| 1 | seco | bajo | 0 | 28,72 | 21,37 | 27,04 | 26,93 | 18,56 | 25,02 | 9,72 | 3,93 | 8,45 |
| 2 | seco | bajo | 2 N | 30,29 | 22,95 | 28,60 | 28,02 | 19,84 | 26,14 | 12,03 | 6,07 | 10,72 |
| 3 | seco | bajo | 4 N | 30,69 | 23,67 | 29,08 | 27,49 | 19,66 | 25,71 | 12,17 | 6,21 | 10,87 |
| 4 | seco | bajo | 6 N | 31,23 | 24,02 | 29,56 | 28,46 | 20,63 | 26,67 | 11,33 | 5,81 | 10,12 |
| 5 | seco | medio | 0 | 26,00 | 19,00 | 24,38 | 19,36 | 10,52 | 17,37 | 4,64 | 1,31 | 3,91 |
| 6 | seco | medio | 2 N | 26,30 | 19,14 | 24,64 | 21,22 | 12,55 | 19,26 | 6,28 | 2,30 | 5,41 |
| 7 | seco | medio | 4 N | 26,28 | 19,22 | 24,65 | 21,52 | 13,01 | 19,60 | 7,74 | 2,97 | 6,69 |
| 8 | seco | medio | 6 N | 26,81 | 19,80 | 25,18 | 21,59 | 13,10 | 19,67 | 6,73 | 2,22 | 5,75 |
| 9 | seco | alto | 0 | 22,80 | 15,30 | 21,08 | 15,30 | 7,37 | 13,51 | 3,91 | 0,92 | 3,26 |
| 10 | seco | alto | 2 N | 22,70 | 15,24 | 20,98 | 15,38 | 7,85 | 13,68 | 4,34 | 1,10 | 3,63 |
| 11 | seco | alto | 4 N | 23,49 | 15,88 | 21,73 | 14,79 | 8,02 | 13,26 | 4,56 | 1,28 | 3,84 |
| 12 | seco | alto | 6 N | 23,59 | 16,30 | 21,90 | 16,40 | 8,91 | 14,71 | 4,56 | 1,31 | 3,84 |
| 13 | mojado | bajo | 0 | 37,34 | 31,06 | 35,89 | 28,52 | 19,45 | 26,45 | 8,97 | 1,85 | 7,41 |
| 14 | mojado | bajo | 2 N | 35,59 | 30,22 | 34,34 | 32,88 | 23,60 | 30,76 | 9,46 | 2,05 | 7,84 |
| 15 | mojado | bajo | 4 N | 34,30 | 28,17 | 32,88 | 29,76 | 20,78 | 27,71 | 9,56 | 2,35 | 7,99 |
| 16 | mojado | bajo | 6 N | 36,44 | 31,21 | 35,22 | 31,57 | 22,76 | 29,56 | 9,38 | 2,52 | 7,88 |
| 17 | mojado | medio | 0 | 28,62 | 20,47 | 26,73 | 25,22 | 15,10 | 22,92 | 4,92 | 0,64 | 3,99 |
| 18 | mojado | medio | 2 N | 34,10 | 28,12 | 32,71 | 24,83 | 14,79 | 22,55 | 6,54 | 0,62 | 5,25 |
| 19 | mojado | medio | 4 N | 31,53 | 25,06 | 30,03 | 27,28 | 16,77 | 24,89 | 6,30 | 0,72 | 5,08 |
| 20 | mojado | medio | 6 N | 30,94 | 23,86 | 29,31 | 27,36 | 17,22 | 25,06 | 6,40 | 0,80 | 5,18 |
| 21 | mojado | alto | 0 | 27,60 | 18,89 | 25,59 | 20,03 | 11,11 | 18,01 | 5,05 | 0,43 | 4,08 |
| 22 | mojado | alto | 2 N | 27,92 | 20,06 | 26,11 | 25,60 | 14,66 | 23,12 | 5,06 | 0,41 | 4,09 |
| 23 | mojado | alto | 4 N | 32,17 | 25,28 | 30,64 | 25,06 | 13,90 | 22,50 | 5,02 | 0,39 | 4,01 |
| 24 | mojado | alto | 6 N | 31,85 | 26,06 | 30,51 | 25,55 | 14,70 | 23,06 | 5,17 | 0,52 | 4,15 |

El efecto producido por la tensión en los tejidos, es, en general, un aumento de la transmitancia en todas las longitudes de onda del ultravioleta independientemente del tipo de fibra. El aumento de la transmisión debido a la tensión se produce tanto cuando el ensayo se realiza con el tejido en seco como cuando se realiza en mojado. Al someterse al tejido a una tensión de estirado se produce una mayor apertura de los poros, permitiendo un mayor paso de la radiación ultravioleta.

En general, la transmisión aumenta a medida que aumenta la tensión aplicada (2, 4 o 6 N) cuando las medidas se realizan con el tejido en estado seco. Sin embargo, no se observa una correlación clara entre el aumento de la transmisión de radiación ultravioleta y el valor de la tensión aplicada al tejido, cuando los tejidos se miden mojados.

Los tejidos no estirados de Algodón y Modal muestran un aumento de la transmisión en todas las longitudes de onda del ultravioleta cuando se miden en mojado. El mismo comportamiento se aprecia en todos los tejidos sometidos a tensión y medidos en mojado.

En cambio, cuando los tejidos de Modal Sun se miden en mojado, se observa una disminución de la transmisión en las longitudes de onda bajas del espectro ultravioleta y un aumento en las más altas, de forma que las curvas correspondientes a la medida en seco y en mojado se cruzan. Este cruce de las curvas se produce en zonas del espectro UVA, de forma que cuando se moja el tejido siempre se produce una menor transmisión de radiación UVB y una mayor transmisión de radiación UVA. Teniendo en cuenta que la radiación en la zona UVB es la más perjudicial para la piel y, por lo tanto, tiene un mayor peso en la fórmula de cálculo del UPF, en el caso de los tejidos de Modal Sun la absorción de agua favorece el bloqueo de radiación ultravioleta y mejora las propiedades protectoras de los tejidos.

La transmisión de radiación ultravioleta en los tejidos se produce tanto a través de los poros del tejido como a través de la propia fibra. Pero la fibra de Modal Sun es muy poco transparente al paso de la radiación ultravioleta, efecto que se consigue mediante la adición del pigmento de dióxido de titanio a la masa de la hilatura durante su fabricación. Debido a esta característica, la transmisión de radiación ultravioleta en los tejidos de Modal Sun se debe en un alto porcentaje a su paso a través de los poros del tejido y no a través de las fibras que lo constituyen.

Cuando se moja un tejido celulósico, la fibra absorbe una notable proporción de agua y se hincha, de forma que el tamaño de los poros en el tejido disminuye. En los tejidos de Modal Sun la disminución del tamaño de poros hace que la transmisión de radiación ultravioleta disminuya considerablemente al ser éstos prácticamente el único medio a través del cual se produce la

transmisión. En los tejidos de Modal y Algodón también disminuye el tamaño de poros pero, a la vez, aumenta considerablemente la transparencia de la fibra al permitir una mayor difusión de la radiación por las gotas de agua, de forma que el balance es un aumento de la transmisión de radiación ultravioleta a través de los tejidos.

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

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación Ultravioleta de los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun sometidos a estirado y medidos en seco y en mojado, se exponen en la tabla 6.

La tabla permite concluir que no hay cambios muy notables en el UPF de los tejidos de Algodón y de Modal utilizados en el estudio cuando son sometidos a las tensiones habituales que soportan durante su uso como prendas de vestir. Los tejidos de calada son construcciones poco elásticas por lo que el estirado con pequeñas tensiones no producirá una diferencia muy apreciable en la estructura inicial del tejido. Además, si se tienen en cuenta los resultados de estudios anteriores de los autores (15, 16) en los que se concluyó que el UPF de los tejidos de Algodón y Modal varía muy poco en función de su estructura, se explica que el UPF de estos tejidos no varíe notablemente al ser sometidos a tensión. alguna diferencia más notable se produce cuando los tejidos son mojados. El UPF de todos los tejidos es menor cuando se mide después de sumergirlos en agua hasta su saturación.

Al contrario de lo que ocurre con los tejidos de Algodón y Modal, en estudios anteriores se dedujo que el UPF de los tejidos de Modal Sun es muy sensible a pequeñas variaciones en su estructura. Así, las pequeñas tensiones a las que las prendas de vestir se ven sometidas en su uso habitual provocarán cambios en la estructura de los tejidos que, aunque muy pequeños al tratarse de tejidos de calada, serán suficientes para provocar un cambio notable en los valores de UPF de estos tejidos, tal como se confirma con los resultados expuestos en la tabla.

La disminución del factor de protección de los tejidos de Modal Sun sometidos a tensión es en algunos casos suficiente como para proporcionar una protección inferior a la que le correspondería al tejido no usado según la norma AS/NZ 4399:1996. Este hecho es especialmente notable en los tejidos secos. El tejido con el UPF inicial más bajo tiene un valor de 19,74 que lo etiquetaría como buen protector contra la radiación ultravioleta. Pero si se somete a una ligera tensión (es suficiente con 2 N), el UPF disminuye por debajo de 15, con lo que pasa a no proporcionar protección. Algo similar ocurre con el tejido con UPF inicial medio. En estado relajado este tejido tiene un UPF de 57,68

que lo clasifica como tejido con protección excelente. Al ser sometido a tensión entre 2 y 6 N, su UPF disminuye por debajo de 40, con lo que pasa a proporcionar únicamente una muy buena protección.

La humectación de los tejidos, en cambio, no presenta ningún problema en cuanto a la protección que la prenda proporciona. El UPF de los tejidos fabricados con Modal Sun aumenta perceptiblemente cuando los tejidos están

mojados. Así, al mojarse el tejido con el UPF inicial más bajo pasa de un UPF de 19,74 a tener un UPF de 40,45 con lo que en vez de buena protección está proporcionando una protección excelente. Y aún cuando se someta a tensión al menos mantendrá una muy buena protección. De igual forma, el tejido con UPF inicial medio, sensible a la tensión cuando el tejido está seco, mantiene su excelente protección cuando el tejido estirado está mojado.

TABLA 6

UPF de los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun originales y después de ser sometidos a tensión, medidos en seco y en mojado

| Muestra | | | | Algodón | | Modal | | Modal Sun | |
|---------|--------|-------|-----|---------|------------|-------|------------|-----------|------------|
| Nº | H | UPFi | T | UPF | Índice UPF | UPF | Índice UPF | UPF | Índice UPF |
| 1 | seco | bajo | 0 | 4,24 | 1 | 4,95 | 1 | 19,74 | 15 |
| 2 | seco | bajo | 2 N | 4,01 | 1 | 4,67 | 1 | 14,13 | 10 |
| 3 | seco | bajo | 4 N | 3,99 | 1 | 4,67 | 1 | 14,31 | 10 |
| 4 | seco | bajo | 6 N | 3,84 | 1 | 4,49 | 1 | 15,52 | 15 |
| 5 | seco | medio | 0 | 4,86 | 1 | 8,15 | 5 | 57,68 | 50+ |
| 6 | seco | medio | 2 N | 4,58 | 1 | 7,03 | 5 | 37,22 | 35 |
| 7 | seco | medio | 4 N | 4,73 | 1 | 6,82 | 5 | 28,52 | 25 |
| 8 | seco | medio | 6 N | 4,48 | 1 | 6,81 | 5 | 32,15 | 30 |
| 9 | seco | alto | 0 | 5,69 | 5 | 10,59 | 10 | 78,15 | 50+ |
| 10 | seco | alto | 2 N | 5,54 | 5 | 10,64 | 10 | 71,73 | 50+ |
| 11 | seco | alto | 4 N | 5,40 | 5 | 10,68 | 10 | 62,91 | 50+ |
| 12 | seco | alto | 6 N | 5,51 | 5 | 9,42 | 5 | 58,40 | 50+ |
| 13 | mojado | bajo | 0 | 3,02 | 1 | 4,57 | 1 | 40,45 | 40 |
| 14 | mojado | bajo | 2 N | 3,12 | 1 | 3,83 | 1 | 34,42 | 30 |
| 15 | mojado | bajo | 4 N | 3,16 | 1 | 4,20 | 1 | 32,56 | 30 |
| 16 | mojado | bajo | 6 N | 3,01 | 1 | 3,98 | 1 | 31,73 | 30 |
| 17 | mojado | medio | 0 | 4,24 | 1 | 5,91 | 5 | 94,50 | 50+ |
| 18 | mojado | medio | 2 N | 3,23 | 1 | 5,97 | 5 | 86,38 | 50+ |
| 19 | mojado | medio | 4 N | 3,47 | 1 | 5,28 | 5 | 78,89 | 50+ |
| 20 | mojado | medio | 6 N | 3,51 | 1 | 4,97 | 1 | 74,64 | 50+ |
| 21 | mojado | alto | 0 | 4,39 | 1 | 6,64 | 5 | 124,53 | 50+ |
| 22 | mojado | alto | 2 N | 4,23 | 1 | 5,83 | 5 | 107,18 | 50+ |
| 23 | mojado | alto | 4 N | 3,52 | 1 | 6,17 | 5 | 109,94 | 50+ |
| 24 | mojado | alto | 6 N | 3,48 | 1 | 5,89 | 5 | 106,85 | 50+ |

3.3. Modelización del UPF en función de las variables

En la tabla 7 se presentan los modelos que estiman la respuesta UPF en función de las variables codificadas del UPF inicial (cUPFi) y de la

tensión (cT) y de la variable cualitativa humedad (H). Asimismo se exponen los modelos separados para reflejar el UPF de las medidas en seco y en mojado.

TABLA 7
 Modelos estimados de la respuesta UPF en función de las condiciones de uso

| | |
|--|---|
| Algodón: R ² = 98,08% | $UPF = 4,7758 + 0,7578 \cdot cUPFi - 0,1621 \cdot cT -$ $- 1,2810 \cdot H - 0,3445 \cdot H \cdot cUPFi - 0,2687 \cdot H \cdot cUPFi \cdot cT$ |
| Seco: H = 0 | $UPF = 4,7758 + 0,7578 \cdot cUPFi - 0,1621 \cdot cT$ |
| Mojado: H = 1 | $UPF = 3,4948 + 0,4132 \cdot cUPFi - 0,1621 \cdot cT - 0,2687 \cdot cUPFi \cdot cT$ |
| Modal: R ² = 96,89% | $UPF = 7,2848 + 2,7879 \cdot cUPFi - 0,3975 \cdot cT -$ $- 2,0599 \cdot H - 1,7825 \cdot H \cdot cUPFi$ |
| Seco: H = 0 | $UPF = 7,2848 + 2,7879 \cdot cUPFi - 0,3975 \cdot cT$ |
| Mojado: H = 1 | $UPF = 5,2248 + 1,0054 \cdot cUPFi - 0,3975 \cdot cT$ |
| Modal Sun: R ² = 99,60% | $UPF = 24,3284 + 25,9363 \cdot cUPFi - 6,5189 \cdot cT - 3,0875 \cdot cUPFi \cdot cT +$ $+ 15,2706 \cdot cUPFi^2 + 4,0722 \cdot cT^2 + 45,3071 \cdot H + 12,7313 \cdot H \cdot cUPFi -$ $- 13,7109 \cdot H \cdot cUPFi^2$ |
| Seco: H = 0 | $UPF = 24,3284 + 25,9363 \cdot cUPFi - 6,5189 \cdot cT$ $- 3,0875 \cdot cUPFi \cdot cT + 15,2706 \cdot cUPFi^2 + 4,0722 \cdot cT^2$ |
| Mojado: H = 1 | $UPF = 69,6355 + 38,6675 \cdot cUPFi - 6,5189 \cdot cT$ $- 3,0875 \cdot cUPFi \cdot cT + 1,5597 \cdot cUPFi^2 + 4,0722 \cdot cT^2$ |

En la figura 2 se muestra la representación gráfica de las superficies de respuesta estimadas según los modelos para los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun, en función de las variables del sistema, UPF inicial y Tensión, para las medidas en seco y en mojado. Se han dibujado las curvas correspondientes a valores de UPF múltiplos de 5, 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 ≤ UPF < 25), las de muy buena protección (25 ≤ UPF < 40) y las de protección excelente (UPF ≥ 40).

Se puede apreciar que se han obtenido coeficientes de determinación del modelo de valor muy elevado (Algodón 98,1%, Modal 96,9% y Modal Sun 99,6%). Con pocos términos se consigue explicar en un elevado porcentaje el valor de la respuesta, y, por lo tanto, se tiene una alta seguridad sobre el valor estimado con los modelos.

Los modelos demuestran que, para todos los tipos de fibras, todas las variables utilizadas en este estudio tienen una influencia significativa sobre el valor de la respuesta UPF del tejido.

En los tejidos de Algodón y Modal el signo negativo del efecto simple de la variable humedad corrobora que esta variable tendrá una influencia

significativamente negativa. Y siendo significativa y también negativa la interacción con la variable UPF inicial, la disminución en el UPF cuando el tejido se moja será mayor a medida que aumente su compactación. El modelo para los tejidos de Modal Sun también confirma el efecto positivo de la humedad en el UPF. En este caso es significativa la interacción entre las variables humedad y UPF inicial del tejido que causa una aceleración en el aumento del UPF a medida que aumenta la compacidad. Sin embargo, esta aceleración es algo frenada para valores altos de UPF inicial, como indica el signo negativo de la interacción entre humedad y el término cuadrático del UPF inicial.

La variable tensión tiene también una influencia significativa en el UPF de los tejidos. Para todas las fibras estudiadas, los coeficientes negativos de esta variable en los modelos indican que el valor de la respuesta UPF disminuye significativamente cuando aumenta la tensión a la que se someten los tejidos. En los tejidos de Algodón y Modal, la relación entre la respuesta UPF y la tensión es lineal. Únicamente en el caso de la medida en mojado de los tejidos de Algodón se da una interacción significativa de esta variable y el UPF inicial, de forma que la influencia negativa de la tensión será mayor a medida que aumenta la compacidad del tejido. En los tejidos de Modal

Sun, la relación entre la respuesta UPF y la tensión es cuadrática. El coeficiente significativo del término cuadrático de esta variable produce una curvatura fácilmente apreciable en la figura y su signo positivo indica que la disminución de la respuesta es más rápida para tensiones pequeñas y se ve frenada a medida que aumenta el valor de la variable. También es significativa la interacción de la tensión con el UPF inicial del tejido, de forma que el efecto negativo de la tensión se ve incrementado cuando aumenta la compacidad del tejido.

La influencia de tensión y humedad tiene un efecto mayor en los tejidos fabricados con Modal Sun, más sensibles a pequeñas variaciones en la estructura, como queda confirmado por el mayor número de coeficientes significativos en el modelo y sus valores más altos, en valor absoluto. Se ha comprobado que tensión y humedad pueden alterar muy notablemente el UPF de los tejidos fabricados con Modal Sun, mientras que tienen una menor incidencia en los tejidos fabricados con Algodón y Modal.

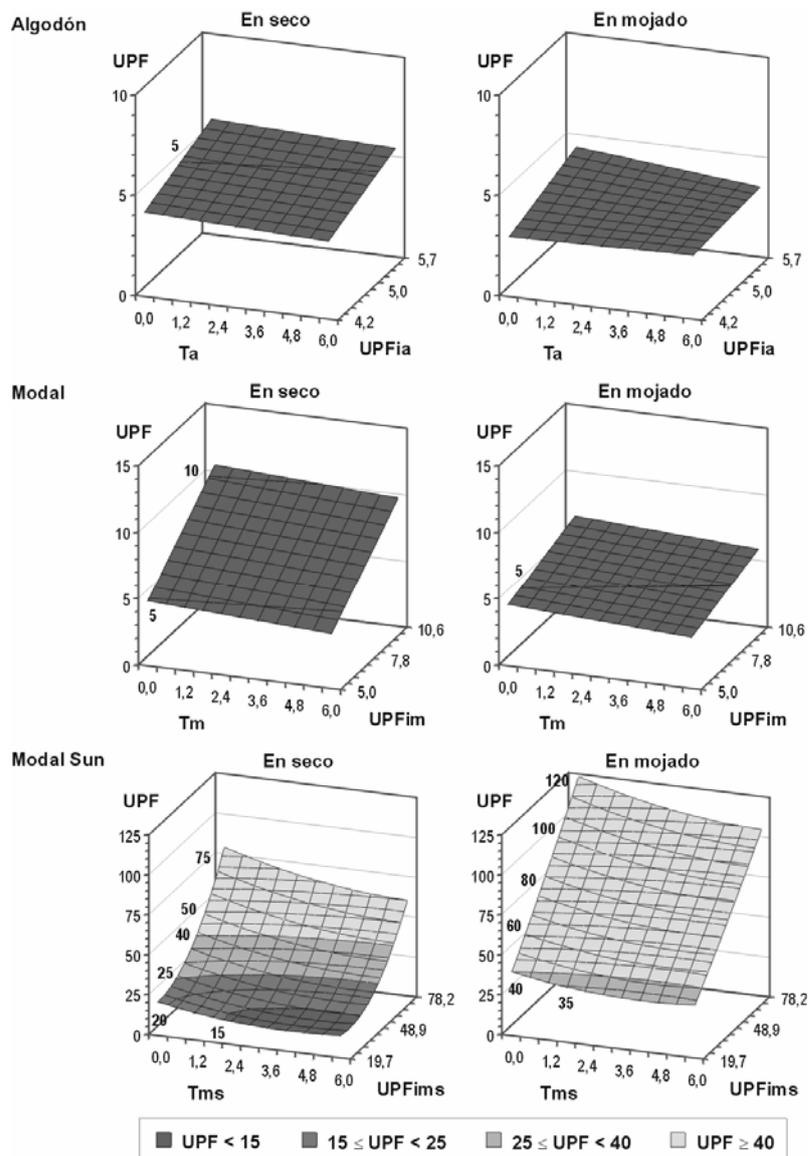


FIGURA 2: Superficies de respuesta estimadas según los modelos que relacionan el UPF del tejido en función del UPF inicial del tejido y de la tensión a la que se somete

4. CONCLUSIONES

La utilización de los tejidos en prendas que se llevan en estado estirado y/o húmedo puede hacer variar el nivel de protección contra la radiación ultravioleta proporcionado por los mismos. Teniendo en cuenta que el etiquetado de las prendas protectoras se lleva a cabo a partir de los valores obtenidos en la medida del tejido en estado relajado y seco, la variación en el UPF causada por la tensión y humedad puede hacer que la protección real proporcionada por la prenda no alcance el valor declarado en su etiquetado. Por ello, en el diseño de prendas protectoras contra la radiación ultravioleta, se deberían tener en cuenta las condiciones de tensión y humedad a las que la prenda será sometida, si se quiere garantizar que la protección se mantendrá en cualquier circunstancia durante su uso.

Mediante el análisis estadístico de los datos, se ha obtenido un modelo para cada tipo de fibra que cuantifica el UPF en función del UPF inicial de los tejidos y de las condiciones de uso de las prendas, humedad y tensión.

4.1. Los modelos demuestran que, para todos los tipos de fibras la tensión y la humedad de los tejidos tienen una influencia significativa sobre el factor de protección a la radiación ultravioleta.

4.2. La influencia de la humedad depende notablemente del tipo de fibra con el que están fabricados los tejidos. El UPF es significativamente menor en los tejidos de Algodón y Modal mojados que en sus correspondientes tejidos secos. En el caso de Modal Sun, sin embargo, se produce un aumento en el valor de la respuesta UPF al mojar los tejidos. En todos los casos, la relación entre el UPF y la humedad es lineal y el efecto positivo o negativo de la variable aumenta con la compactación de los tejidos.

4.3. El UPF de los tejidos disminuye significativamente cuando aumenta la tensión a la que se someten los tejidos. En los tejidos de Algodón y Modal, la relación entre UPF y tensión es lineal, mientras que en Modal Sun sigue una tendencia cuadrática, de forma que un incremento en el valor de la variable produce mayores disminuciones en el UPF cuando las tensiones son bajas, y cambios menores a medida que la tensión va creciendo. En los tejidos de Algodón mojados y en los tejidos de Modal Sun secos o mojados, la influencia negativa de la tensión sobre el valor de la respuesta UPF será mayor a medida que aumenta la compacidad de los tejidos.

4.4. El efecto de tensión y humedad sobre el UPF de los tejidos es mucho más apreciable en los tejidos de Modal Sun. Cabe destacar que, aunque la influencia de las variables tensión y humedad es significativa desde el punto de vista estadístico, las variaciones en el UPF que causan sobre los tejidos de Algodón y Modal dentro del rango experimental de este estudio son poco

apreciables desde el punto de vista de su aplicación práctica textil. Si que lo es, en cambio, en el caso de los tejidos de Modal Sun.

4.5. Los modelos obtenidos permiten estimar el UPF a priori según las variables del sistema, aunque siempre dentro del rango experimental, es decir, con valores de las variables entre los niveles mínimo y máximo que se han utilizado para hallar el modelo. Los modelos también facilitan la elección del valor de las variables, con numerosas posibilidades de distintas combinaciones, para obtener un UPF determinado.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) la financiación del proyecto MAT 99-0996 y al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte la concesión de una beca para la realización de la tesis doctoral y de una beca para estancias breves en el extranjero, dentro de su programa de Formación de Profesorado Universitario.

Asimismo quieren manifestar su gratitud al Forschungsinstitut Hohenstein por poner a su disposición sus instalaciones y a su personal por las amables explicaciones.

También desean expresar su especial agradecimiento a 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. Pailthorpe, M., Sun Protective Clothing, *Textile Horizons*, 16(5): 11-14 (1996).
2. 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).
3. Crews, P.; Kachman, S.; Beyer, A., Influences on UVR transmission of undyed woven fabrics. *Textile Chemist and Colorist*, 31(6): 17-26 (1999).
4. 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).
5. Haerri, H.P.; Haenzi, D.; Donzé, J.J., The application of ultraviolet absorbers for sun protective fabrics. Conferencia presentada en el 39th International Man-Made Fibres Congress, Dornbirn (Austria) 13-15 septiembre (2000).
6. 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).
7. 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).
 8. 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).
 9. ASTM D6544-00. *Standard Practice for Preparation of Textiles Prior to UV Transmission Testing*.
 10. Moon, R.; Pailthorpe, M., Effect of stretch and wetting on the UPF of elastane fabrics, *Australasian Textiles*, 15(5): 39-42 (1995).
 11. Jevtic, A.P., The sun protective effect of clothing, including beachwear, *Australasian Journal of Dermatology*, 31(1): 5-7. (1990).
 12. *UV-Standard 801*, Bönningheim: Secretariat of the International Testing Association for Applied UV-Protection (2001).
 13. Pepió, M.; Polo C., *Disseny i optimització de processos*. Terrassa: Laboratori d'Estadística ETSEIT-UPC (1996).
 14. AS/NZS 4399:1996. *Sun protective clothing – Evaluation and classification*.
 15. 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*.
 16. Algaba I., Pepió M., Riva A. Modelisation of the influence of structural parameters on the Ultraviolet Protection Factor provided by cellulosic woven fabrics, presentado para publicación en *Journal of the Textile Institute*.

no estirados. Sin embargo, algunas aplicaciones de tejidos implican que reciban radiación ultravioleta en estado mojado (bañadores) y en estado de estiramiento (prendas ajustadas). La medida del UPF de muestras secas y relajadas de estos tejidos puede llevar a errores ya que el factor de protección puede disminuir considerablemente por las características de uso, en estado estirado y/o húmedo, de dichas prendas⁹⁾. Entonces la cuestión es si es apropiado etiquetar una prenda como un UPF determinado si dicha prenda se va a llevar en un estado estirado o si se va a llevar cuando esté mojada.

El efecto de apertura de los tejidos causado por la tensión cuando las prendas se llevan ajustadas al cuerpo, es especialmente notable en los tejidos de punto, así como en los tejidos que contienen elastano. El uso de las prendas en este estado ajustado es bastante habitual actualmente, principalmente entre mujeres jóvenes y adolescentes. Incluso en este sector de población se tiende a adquirir prendas de tallas inferiores para potenciar este efecto. Moon et al. (1995)¹⁰⁾ midieron el estirado de varias prendas que contenían elastano (en mezcla con poliéster, poliamida o algodón) disponibles comercialmente y que 50 individuos, hombres y mujeres, eligieron como de su talla. Encontraron que, en contacto con el cuerpo, se producían estirados en un rango entre el 2% y el 52%, con una media de 15,5%. Fijando varios niveles de estirado, midieron el UPF de las prendas y concluyeron que se producía una notable reducción en la protección que las prendas proporcionaban. Los mismos autores midieron también el UPF de los tejidos no estirados y estirados cuando eran mojados. En los tejidos ensayados se producía un notable descenso del factor de protección UPF. A la misma conclusión, llegó Jevtic (1990)¹¹⁾ en un estudio in vivo en el que se ensayaron prendas habitualmente utilizadas en la playa.

La International Testing Association for Applied UV Protection, formada por varios institutos de financiación privada propuso en el año 2001 la utilización de un documento normativo cuyo objetivo es definir los requisitos generales y específicos para poder etiquetar los productos textiles con la etiqueta UV-Standard 801¹²⁾. Según este documento se debe realizar la medida del UPF del tejido original en seco y en húmedo, así como en estado estirado en seco y en húmedo. También se requiere la medida del UPF del tejido estirado y del tejido húmedo, después de someterlo a ensayos de abrasión, de lavado doméstico y de lavado en seco. El factor de protección mostrado en la etiqueta de las prendas es el menor UPF de los obtenidos en las diferentes medidas.

El objetivo del presente trabajo es el estudio de la influencia sobre el UPF de las

propiedades más representativas de las condiciones de uso de las prendas, la tensión a la que son sometidas en contacto con el cuerpo y su utilización cuando están mojadas. El estudio se ha realizado sobre tres tejidos de diferente estructura y fabricados con tres fibras celulósicas diferentes (Algodón, Modal y Modal Sun). Se establece un modelo matemático para cada fibra estudiada, que permita la predicción del UPF en función del UPF del tejido original (relajado y seco), de la tensión y de la humedad.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Materia

El estudio se ha llevado a cabo sobre tejidos descrudados fabricados a partir de tres fibras celulósicas diferentes: Algodón, 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 ha partido de 3 tejidos diferentes. Como variable representativa de la estructura de estos tejidos originales se ha tomado su UPF (UPF inicial). Las características de cada uno de ellos se muestran en la tabla 1.

2.2. Plan experimental para la simulación de las condiciones de uso de las prendas

Se ha construido un diseño experimental para cada fibra (Algodón, Modal y Modal Sun) por separado¹³⁾. Para cada serie de tejidos de diferente fibra, el sistema consta de una primera variable cualitativa, el estado de humedad del tejido (H) y de dos variables cuantitativas, el UPF inicial de los tejidos (UPFi) y la tensión (T) a la que se somete al tejido en Newtons. La variable cualitativa tiene dos niveles diferentes, en función de si el tejido se mide en estado seco o si se mide en estado mojado. La variable cuantitativa UPF inicial de los tejidos (UPFi) tiene 3 niveles, bajo, medio y alto, y la variable tensión 4 niveles diferentes. Estos 4 niveles incluyen el tejido sin estirar y los tejidos estirados con una tensión de 2, 4 y 6 N, que entran dentro del rango de las típicas a las que son sometidas las prendas durante su uso como indumentaria. De la combinación de las variables y sus niveles resultan 24 experiencias que corresponden a una gama de tejidos con una gradación en su compacidad y en los estados que tendrían bajo diferentes condiciones de uso de las prendas.

En la tabla 2 se presentan las variables y sus niveles en cada una de las experiencias del plan.

TABLA 1
 UPF inicial y características de los tejidos originales

| Nivel de UPF inicial | | Algodón | | | Modal | | | Modal Sun | | |
|----------------------------------|----------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | | UPF _i Bajo | UPF _i Medio | UPF _i Alto | UPF _i Bajo | UPF _i Medio | UPF _i Alto | UPF _i Bajo | UPF _i Medio | UPF _i Alto |
| Valor de UPF inicial | | 4,06 | 4,78 | 6,92 | 5,12 | 11,39 | 15,53 | 12,66 | 17,61 | 27,54 |
| Masa laminar (g/m ²) | | 94,93 | 122,09 | 180,04 | 106,63 | 192,75 | 216,09 | 102,43 | 129,02 | 156,24 |
| Espesor (mm) | | 0,318 | 0,339 | 0,400 | 0,292 | 0,367 | 0,402 | 0,273 | 0,290 | 0,346 |
| Cobertura (%) | | 89,42 | 93,96 | 97,86 | 85,12 | 92,46 | 94,20 | 87,75 | 91,29 | 94,75 |
| Título hilo (tex) | urdimbre | 14,3 | 14,3 | 25 | 14,3 | 20 | 25 | 14,3 | 14,3 | 14,3 |
| | trama | 14,3 | 20 | 25 | 14,3 | 25 | 25 | 14,3 | 20 | 29,4 |
| Densidad (hilos/cm) | urdimbre | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| | trama | 25 | 27 | 27 | 25 | 27 | 25 | 25 | 27 | 25 |

TABLA 2
 Variables y sus niveles en cada experiencia del plan experimental

| Muestra n° | Características de la muestra | | | Algodón | | Modal | | Modal Sun | |
|------------|-------------------------------|------------|-------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|--------------------------------|-----------------|
| | | | | UPF _i _a | T _a | UPF _i _m | T _m | UPF _i _{ms} | T _{ms} |
| 1 | En seco | UPFi bajo | Sin tensión | 4,24 | 0 | 4,95 | 0 | 19,74 | 0 |
| 2 | En seco | UPFi bajo | Tensión 2 N | 4,24 | 2 | 4,95 | 2 | 19,74 | 2 |
| 3 | En seco | UPFi bajo | Tensión 4 N | 4,24 | 4 | 4,95 | 4 | 19,74 | 4 |
| 4 | En seco | UPFi bajo | Tensión 6 N | 4,24 | 6 | 4,95 | 6 | 19,74 | 6 |
| 5 | En seco | UPFi medio | Sin tensión | 4,86 | 0 | 8,15 | 0 | 57,68 | 0 |
| 6 | En seco | UPFi medio | Tensión 2 N | 4,86 | 2 | 8,15 | 2 | 57,68 | 2 |
| 7 | En seco | UPFi medio | Tensión 4 N | 4,86 | 4 | 8,15 | 4 | 57,68 | 4 |
| 8 | En seco | UPFi medio | Tensión 6 N | 4,86 | 6 | 8,15 | 6 | 57,68 | 6 |
| 9 | En seco | UPFi alto | Sin tensión | 5,69 | 0 | 10,59 | 0 | 78,15 | 0 |
| 10 | En seco | UPFi alto | Tensión 2 N | 5,69 | 2 | 10,59 | 2 | 78,15 | 2 |
| 11 | En seco | UPFi alto | Tensión 4 N | 5,69 | 4 | 10,59 | 4 | 78,15 | 4 |
| 12 | En seco | UPFi alto | Tensión 6 N | 5,69 | 6 | 10,59 | 6 | 78,15 | 6 |
| 13 | En mojado | UPFi bajo | Sin tensión | 4,24 | 0 | 4,95 | 0 | 19,74 | 0 |
| 14 | En mojado | UPFi bajo | Tensión 2 N | 4,24 | 2 | 4,95 | 2 | 19,74 | 2 |
| 15 | En mojado | UPFi bajo | Tensión 4 N | 4,24 | 4 | 4,95 | 4 | 19,74 | 4 |
| 16 | En mojado | UPFi bajo | Tensión 6 N | 4,24 | 6 | 4,95 | 6 | 19,74 | 6 |
| 17 | En mojado | UPFi medio | Sin tensión | 4,86 | 0 | 8,15 | 0 | 57,68 | 0 |
| 18 | En mojado | UPFi medio | Tensión 2 N | 4,86 | 2 | 8,15 | 2 | 57,68 | 2 |
| 19 | En mojado | UPFi medio | Tensión 4 N | 4,86 | 4 | 8,15 | 4 | 57,68 | 4 |
| 20 | En mojado | UPFi medio | Tensión 6 N | 4,86 | 6 | 8,15 | 6 | 57,68 | 6 |
| 21 | En mojado | UPFi alto | Sin tensión | 5,69 | 0 | 10,59 | 0 | 78,15 | 0 |
| 22 | En mojado | UPFi alto | Tensión 2 N | 5,69 | 2 | 10,59 | 2 | 78,15 | 2 |
| 23 | En mojado | UPFi alto | Tensión 4 N | 5,69 | 4 | 10,59 | 4 | 78,15 | 4 |
| 24 | En mojado | UPFi alto | Tensión 6 N | 5,69 | 6 | 10,59 | 6 | 78,15 | 6 |

El proceso seguido para la preparación de las muestras se inicia con el estirado de los tejidos en las cuatro direcciones con la tensión definida mediante un aparato especialmente diseñado para la realización de los ensayos de certificación del UV-Standard 801. Las medidas en mojado se realizan tras mantener las muestras (estiradas o no) en agua hasta que queden completamente empapadas.

2.3. Parámetros determinados

2.3.1. 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.

2.3.2. 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_{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)

Tras calcular el UPF medio, el UPF de la muestra se obtiene introduciendo una corrección estadística, que 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. En caso contrario, el UPF de la muestra será el menor de los especímenes. El UPF 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+ |

2.3.3. Procedimiento para el análisis estadístico de los resultados

2.3.3.1. Codificación de las variables

El análisis estadístico y modelización del UPF se ha 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, 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 efectos e 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 ¹³⁾.

El requisito para poder realizar la codificación de las variables es que los niveles de cada variable sean equidistantes. Los niveles de las variables no permiten una codificación, al no

serlo. La solución 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 | cT |
| Algodón | $cUPFi = \frac{UPFi - 4,965}{0,725}$ | $cT = \frac{T - 3}{3}$ |
| Modal | $cUPFi = \frac{UPFi - 7,77}{2,82}$ | $cT = \frac{T - 3}{3}$ |
| Modal Sun | $cUPFi = \frac{UPFi - 48,945}{29,205}$ | $cT = \frac{T - 3}{3}$ |

2.3.3.2. Modelo inicial y estimación de los coeficientes significativos

Al haberse utilizado variables aleatorias y niveles no equidistantes de las variables, el análisis estadístico de los resultados, para la modelización de la respuesta UPF, se debe realizar por modelo lineal.

Se han analizado por separado los resultados correspondientes a cada una de las fibras (Algodón, Modal y Modal Sun), pero conjuntamente los resultados obtenidos en las medidas en seco y en mojado. La humedad del tejido es así una variable cualitativa con dos niveles y se introduce en el modelo mediante la variable categórica H. Esta variable adquiere diferentes

niveles en función de la característica cualitativa en cada experiencia: 0 para las medidas en seco (muestras 1 a 12) y 1 para las medidas en mojado (muestras 13 a 24).

El modelo inicial comprende los términos correspondientes a los efectos simples UPFi y T, su interacción y sus términos cuadráticos. La variable categórica se introduce sola y multiplicándola por todos los términos del modelo, para evaluar si el comportamiento de la respuesta frente a los otros factores cambia con el nivel de la categórica.

$$UPF = \beta_0 + \beta_1 \cdot cUPFi + \beta_2 \cdot cT + \beta_3 \cdot cUPFi \cdot cT + \beta_4 \cdot cUPFi^2 + \beta_5 \cdot cT^2 + \beta_6 \cdot H + \beta_7 \cdot H \cdot cUPFi + \beta_8 \cdot H \cdot cT + \beta_9 \cdot H \cdot cUPFi \cdot cT + \beta_{10} \cdot H \cdot cUPFi^2 + \beta_{11} \cdot H \cdot cT^2 + \varepsilon$$

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 α predeterminado del 5%.

Con este análisis se obtienen los coeficientes β_i significativos del modelo en función de UPFi, T y H. Posteriormente se debe separar el modelo conjunto en dos modelos, según los niveles de la variable categórica H. Así, sustituyendo en el modelo obtenido H = 0 se obtiene el modelo correspondiente a los tejidos medidos en seco, y substituyendo H = 1 se obtiene el modelo correspondiente a los tejidos medidos en mojado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Transmisión de radiación UV de los tejidos

La figura 1 muestra, como ejemplo, los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun originales correspondientes al nivel medio de la variable UPF inicial, así como los obtenidos tras ser sometidos a varias tensiones, medidos todos ellos en seco y en mojado. En la tabla 5 se exponen las transmisiones medias en el UVA, UVB y UVR.

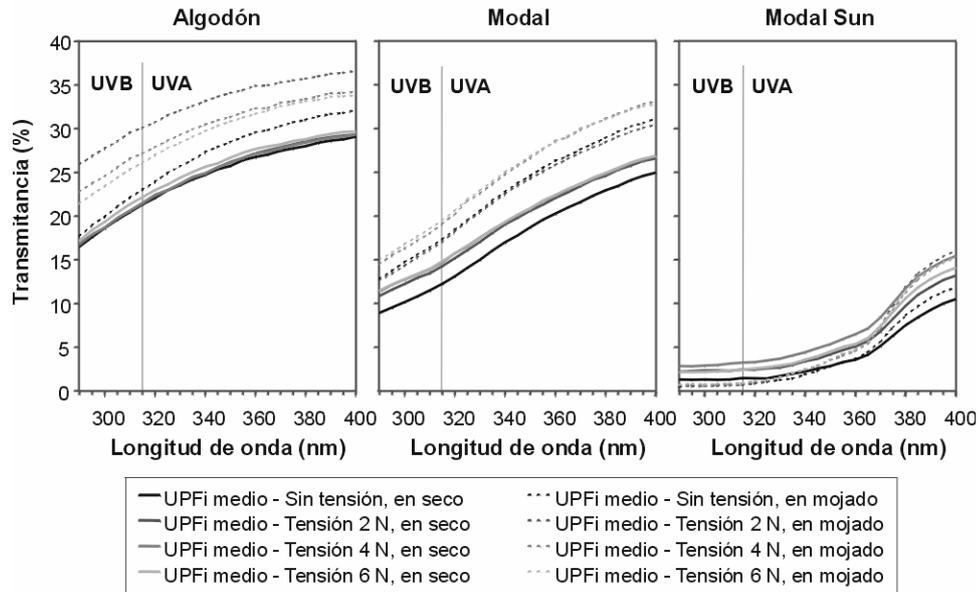


FIGURA 1: Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun originales y después de ser sometidos a tensión, medidos en seco y en mojado

TABLA 5

Transmisiones medias de los tejidos originales y tras ser sometidos a tensión, medidos en seco y en mojado
 (T_{UVA} : 315-400 nm, T_{UVB} : 290-315 nm, T_{UVR} : 290-400 nm)

| Muestra | | | | Algodón | | | Modal | | | Modal Sun | | |
|---------|--------|-------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Nº | H | UPFi | T | T_{UVA} | T_{UVB} | T_{UVR} | T_{UVA} | T_{UVB} | T_{UVR} | T_{UVA} | T_{UVB} | T_{UVR} |
| 1 | seco | bajo | 0 | 28,72 | 21,37 | 27,04 | 26,93 | 18,56 | 25,02 | 9,72 | 3,93 | 8,45 |
| 2 | seco | bajo | 2 N | 30,29 | 22,95 | 28,60 | 28,02 | 19,84 | 26,14 | 12,03 | 6,07 | 10,72 |
| 3 | seco | bajo | 4 N | 30,69 | 23,67 | 29,08 | 27,49 | 19,66 | 25,71 | 12,17 | 6,21 | 10,87 |
| 4 | seco | bajo | 6 N | 31,23 | 24,02 | 29,56 | 28,46 | 20,63 | 26,67 | 11,33 | 5,81 | 10,12 |
| 5 | seco | medio | 0 | 26,00 | 19,00 | 24,38 | 19,36 | 10,52 | 17,37 | 4,64 | 1,31 | 3,91 |
| 6 | seco | medio | 2 N | 26,30 | 19,14 | 24,64 | 21,22 | 12,55 | 19,26 | 6,28 | 2,30 | 5,41 |
| 7 | seco | medio | 4 N | 26,28 | 19,22 | 24,65 | 21,52 | 13,01 | 19,60 | 7,74 | 2,97 | 6,69 |
| 8 | seco | medio | 6 N | 26,81 | 19,80 | 25,18 | 21,59 | 13,10 | 19,67 | 6,73 | 2,22 | 5,75 |
| 9 | seco | alto | 0 | 22,80 | 15,30 | 21,08 | 15,30 | 7,37 | 13,51 | 3,91 | 0,92 | 3,26 |
| 10 | seco | alto | 2 N | 22,70 | 15,24 | 20,98 | 15,38 | 7,85 | 13,68 | 4,34 | 1,10 | 3,63 |
| 11 | seco | alto | 4 N | 23,49 | 15,88 | 21,73 | 14,79 | 8,02 | 13,26 | 4,56 | 1,28 | 3,84 |
| 12 | seco | alto | 6 N | 23,59 | 16,30 | 21,90 | 16,40 | 8,91 | 14,71 | 4,56 | 1,31 | 3,84 |
| 13 | mojado | bajo | 0 | 37,34 | 31,06 | 35,89 | 28,52 | 19,45 | 26,45 | 8,97 | 1,85 | 7,41 |
| 14 | mojado | bajo | 2 N | 35,59 | 30,22 | 34,34 | 32,88 | 23,60 | 30,76 | 9,46 | 2,05 | 7,84 |
| 15 | mojado | bajo | 4 N | 34,30 | 28,17 | 32,88 | 29,76 | 20,78 | 27,71 | 9,56 | 2,35 | 7,99 |
| 16 | mojado | bajo | 6 N | 36,44 | 31,21 | 35,22 | 31,57 | 22,76 | 29,56 | 9,38 | 2,52 | 7,88 |
| 17 | mojado | medio | 0 | 28,62 | 20,47 | 26,73 | 25,22 | 15,10 | 22,92 | 4,92 | 0,64 | 3,99 |
| 18 | mojado | medio | 2 N | 34,10 | 28,12 | 32,71 | 24,83 | 14,79 | 22,55 | 6,54 | 0,62 | 5,25 |
| 19 | mojado | medio | 4 N | 31,53 | 25,06 | 30,03 | 27,28 | 16,77 | 24,89 | 6,30 | 0,72 | 5,08 |
| 20 | mojado | medio | 6 N | 30,94 | 23,86 | 29,31 | 27,36 | 17,22 | 25,06 | 6,40 | 0,80 | 5,18 |
| 21 | mojado | alto | 0 | 27,60 | 18,89 | 25,59 | 20,03 | 11,11 | 18,01 | 5,05 | 0,43 | 4,08 |
| 22 | mojado | alto | 2 N | 27,92 | 20,06 | 26,11 | 25,60 | 14,66 | 23,12 | 5,06 | 0,41 | 4,09 |
| 23 | mojado | alto | 4 N | 32,17 | 25,28 | 30,64 | 25,06 | 13,90 | 22,50 | 5,02 | 0,39 | 4,01 |
| 24 | mojado | alto | 6 N | 31,85 | 26,06 | 30,51 | 25,55 | 14,70 | 23,06 | 5,17 | 0,52 | 4,15 |

El efecto producido por la tensión en los tejidos, es, en general, un aumento de la transmitancia en todas las longitudes de onda del ultravioleta independientemente del tipo de fibra. El aumento de la transmisión debido a la tensión se produce tanto cuando el ensayo se realiza con el tejido en seco como cuando se realiza en mojado. Al someterse al tejido a una tensión de estirado se produce una mayor apertura de los poros, permitiendo un mayor paso de la radiación ultravioleta.

En general, la transmisión aumenta a medida que aumenta la tensión aplicada (2, 4 o 6 N) cuando las medidas se realizan con el tejido en estado seco. Sin embargo, no se observa una correlación clara entre el aumento de la transmisión de radiación ultravioleta y el valor de la tensión aplicada al tejido, cuando los tejidos se miden mojados.

Los tejidos no estirados de Algodón y Modal muestran un aumento de la transmisión en todas las longitudes de onda del ultravioleta cuando se miden en mojado. El mismo comportamiento se aprecia en todos los tejidos sometidos a tensión y medidos en mojado.

En cambio, cuando los tejidos de Modal Sun se miden en mojado, se observa una disminución de la transmisión en las longitudes de onda bajas del espectro ultravioleta y un aumento en las más altas, de forma que las curvas correspondientes a la medida en seco y en mojado se cruzan. Este cruce de las curvas se produce en zonas del espectro UVA, de forma que cuando se moja el tejido siempre se produce una menor transmisión de radiación UVB y una mayor transmisión de radiación UVA. Teniendo en cuenta que la radiación en la zona UVB es la más perjudicial para la piel y, por lo tanto, tiene un mayor peso en la fórmula de cálculo del UPF, en el caso de los tejidos de Modal Sun la absorción de agua favorece el bloqueo de radiación ultravioleta y mejora las propiedades protectoras de los tejidos.

La transmisión de radiación ultravioleta en los tejidos se produce tanto a través de los poros del tejido como a través de la propia fibra. Pero la fibra de Modal Sun es muy poco transparente al paso de la radiación ultravioleta, efecto que se consigue mediante la adición del pigmento de dióxido de titanio a la masa de la hilatura durante su fabricación. Debido a esta característica, la transmisión de radiación ultravioleta en los tejidos de Modal Sun se debe en un alto porcentaje a su paso a través de los poros del tejido y no a través de las fibras que lo constituyen.

Cuando se moja un tejido celulósico, la fibra absorbe una notable proporción de agua y se hincha, de forma que el tamaño de los poros en el tejido disminuye. En los tejidos de Modal Sun la disminución del tamaño de poros hace que la transmisión de radiación ultravioleta disminuya considerablemente al ser éstos prácticamente el único medio a través del cual se produce la

transmisión. En los tejidos de Modal y Algodón también disminuye el tamaño de poros pero, a la vez, aumenta considerablemente la transparencia de la fibra al permitir una mayor difusión de la radiación por las gotas de agua, de forma que el balance es un aumento de la transmisión de radiación ultravioleta a través de los tejidos.

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

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación Ultravioleta de los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun sometidos a estirado y medidos en seco y en mojado, se exponen en la tabla 6.

La tabla permite concluir que no hay cambios muy notables en el UPF de los tejidos de Algodón y de Modal utilizados en el estudio cuando son sometidos a las tensiones habituales que soportan durante su uso como prendas de vestir. Los tejidos de calada son construcciones poco elásticas por lo que el estirado con pequeñas tensiones no producirá una diferencia muy apreciable en la estructura inicial del tejido. Además, si se tienen en cuenta los resultados de estudios anteriores de los autores (15, 16) en los que se concluyó que el UPF de los tejidos de Algodón y Modal varía muy poco en función de su estructura, se explica que el UPF de estos tejidos no varíe notablemente al ser sometidos a tensión. alguna diferencia más notable se produce cuando los tejidos son mojados. El UPF de todos los tejidos es menor cuando se mide después de sumergirlos en agua hasta su saturación.

Al contrario de lo que ocurre con los tejidos de Algodón y Modal, en estudios anteriores se dedujo que el UPF de los tejidos de Modal Sun es muy sensible a pequeñas variaciones en su estructura. Así, las pequeñas tensiones a las que las prendas de vestir se ven sometidas en su uso habitual provocarán cambios en la estructura de los tejidos que, aunque muy pequeños al tratarse de tejidos de calada, serán suficientes para provocar un cambio notable en los valores de UPF de estos tejidos, tal como se confirma con los resultados expuestos en la tabla.

La disminución del factor de protección de los tejidos de Modal Sun sometidos a tensión es en algunos casos suficiente como para proporcionar una protección inferior a la que le correspondería al tejido no usado según la norma AS/NZ 4399:1996. Este hecho es especialmente notable en los tejidos secos. El tejido con el UPF inicial más bajo tiene un valor de 19,74 que lo etiquetaría como buen protector contra la radiación ultravioleta. Pero si se somete a una ligera tensión (es suficiente con 2 N), el UPF disminuye por debajo de 15, con lo que pasa a no proporcionar protección. Algo similar ocurre con el tejido con UPF inicial medio. En estado relajado este tejido tiene un UPF de 57,68

que lo clasifica como tejido con protección excelente. Al ser sometido a tensión entre 2 y 6 N, su UPF disminuye por debajo de 40, con lo que pasa a proporcionar únicamente una muy buena protección.

La humectación de los tejidos, en cambio, no presenta ningún problema en cuanto a la protección que la prenda proporciona. El UPF de los tejidos fabricados con Modal Sun aumenta perceptiblemente cuando los tejidos están

mojados. Así, al mojarse el tejido con el UPF inicial más bajo pasa de un UPF de 19,74 a tener un UPF de 40,45 con lo que en vez de buena protección está proporcionando una protección excelente. Y aún cuando se someta a tensión al menos mantendrá una muy buena protección. De igual forma, el tejido con UPF inicial medio, sensible a la tensión cuando el tejido está seco, mantiene su excelente protección cuando el tejido estirado está mojado.

TABLA 6

UPF de los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun originales y después de ser sometidos a tensión, medidos en seco y en mojado

| Muestra | | | | Algodón | | Modal | | Modal Sun | |
|---------|--------|-------|-----|---------|------------|-------|------------|-----------|------------|
| Nº | H | UPFi | T | UPF | Índice UPF | UPF | Índice UPF | UPF | Índice UPF |
| 1 | seco | bajo | 0 | 4,24 | 1 | 4,95 | 1 | 19,74 | 15 |
| 2 | seco | bajo | 2 N | 4,01 | 1 | 4,67 | 1 | 14,13 | 10 |
| 3 | seco | bajo | 4 N | 3,99 | 1 | 4,67 | 1 | 14,31 | 10 |
| 4 | seco | bajo | 6 N | 3,84 | 1 | 4,49 | 1 | 15,52 | 15 |
| 5 | seco | medio | 0 | 4,86 | 1 | 8,15 | 5 | 57,68 | 50+ |
| 6 | seco | medio | 2 N | 4,58 | 1 | 7,03 | 5 | 37,22 | 35 |
| 7 | seco | medio | 4 N | 4,73 | 1 | 6,82 | 5 | 28,52 | 25 |
| 8 | seco | medio | 6 N | 4,48 | 1 | 6,81 | 5 | 32,15 | 30 |
| 9 | seco | alto | 0 | 5,69 | 5 | 10,59 | 10 | 78,15 | 50+ |
| 10 | seco | alto | 2 N | 5,54 | 5 | 10,64 | 10 | 71,73 | 50+ |
| 11 | seco | alto | 4 N | 5,40 | 5 | 10,68 | 10 | 62,91 | 50+ |
| 12 | seco | alto | 6 N | 5,51 | 5 | 9,42 | 5 | 58,40 | 50+ |
| 13 | mojado | bajo | 0 | 3,02 | 1 | 4,57 | 1 | 40,45 | 40 |
| 14 | mojado | bajo | 2 N | 3,12 | 1 | 3,83 | 1 | 34,42 | 30 |
| 15 | mojado | bajo | 4 N | 3,16 | 1 | 4,20 | 1 | 32,56 | 30 |
| 16 | mojado | bajo | 6 N | 3,01 | 1 | 3,98 | 1 | 31,73 | 30 |
| 17 | mojado | medio | 0 | 4,24 | 1 | 5,91 | 5 | 94,50 | 50+ |
| 18 | mojado | medio | 2 N | 3,23 | 1 | 5,97 | 5 | 86,38 | 50+ |
| 19 | mojado | medio | 4 N | 3,47 | 1 | 5,28 | 5 | 78,89 | 50+ |
| 20 | mojado | medio | 6 N | 3,51 | 1 | 4,97 | 1 | 74,64 | 50+ |
| 21 | mojado | alto | 0 | 4,39 | 1 | 6,64 | 5 | 124,53 | 50+ |
| 22 | mojado | alto | 2 N | 4,23 | 1 | 5,83 | 5 | 107,18 | 50+ |
| 23 | mojado | alto | 4 N | 3,52 | 1 | 6,17 | 5 | 109,94 | 50+ |
| 24 | mojado | alto | 6 N | 3,48 | 1 | 5,89 | 5 | 106,85 | 50+ |

3.3. Modelización del UPF en función de las variables

En la tabla 7 se presentan los modelos que estiman la respuesta UPF en función de las variables codificadas del UPF inicial (cUPFi) y de la

tensión (cT) y de la variable cualitativa humedad (H). Asimismo se exponen los modelos separados para reflejar el UPF de las medidas en seco y en mojado.

TABLA 7
 Modelos estimados de la respuesta UPF en función de las condiciones de uso

| | |
|--|---|
| Algodón: R ² = 98,08% | $UPF = 4,7758 + 0,7578 \cdot cUPFi - 0,1621 \cdot cT -$ $- 1,2810 \cdot H - 0,3445 \cdot H \cdot cUPFi - 0,2687 \cdot H \cdot cUPFi \cdot cT$ |
| Seco: H = 0 | $UPF = 4,7758 + 0,7578 \cdot cUPFi - 0,1621 \cdot cT$ |
| Mojado: H = 1 | $UPF = 3,4948 + 0,4132 \cdot cUPFi - 0,1621 \cdot cT - 0,2687 \cdot cUPFi \cdot cT$ |
| Modal: R ² = 96,89% | $UPF = 7,2848 + 2,7879 \cdot cUPFi - 0,3975 \cdot cT -$ $- 2,0599 \cdot H - 1,7825 \cdot H \cdot cUPFi$ |
| Seco: H = 0 | $UPF = 7,2848 + 2,7879 \cdot cUPFi - 0,3975 \cdot cT$ |
| Mojado: H = 1 | $UPF = 5,2248 + 1,0054 \cdot cUPFi - 0,3975 \cdot cT$ |
| Modal Sun: R ² = 99,60% | $UPF = 24,3284 + 25,9363 \cdot cUPFi - 6,5189 \cdot cT - 3,0875 \cdot cUPFi \cdot cT +$ $+ 15,2706 \cdot cUPFi^2 + 4,0722 \cdot cT^2 + 45,3071 \cdot H + 12,7313 \cdot H \cdot cUPFi -$ $- 13,7109 \cdot H \cdot cUPFi^2$ |
| Seco: H = 0 | $UPF = 24,3284 + 25,9363 \cdot cUPFi - 6,5189 \cdot cT$ $- 3,0875 \cdot cUPFi \cdot cT + 15,2706 \cdot cUPFi^2 + 4,0722 \cdot cT^2$ |
| Mojado: H = 1 | $UPF = 69,6355 + 38,6675 \cdot cUPFi - 6,5189 \cdot cT$ $- 3,0875 \cdot cUPFi \cdot cT + 1,5597 \cdot cUPFi^2 + 4,0722 \cdot cT^2$ |

En la figura 2 se muestra la representación gráfica de las superficies de respuesta estimadas según los modelos para los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun, en función de las variables del sistema, UPF inicial y Tensión, para las medidas en seco y en mojado. Se han dibujado las curvas correspondientes a valores de UPF múltiples de 5, 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 ≤ UPF < 25), las de muy buena protección (25 ≤ UPF < 40) y las de protección excelente (UPF ≥ 40).

Se puede apreciar que se han obtenido coeficientes de determinación del modelo de valor muy elevado (Algodón 98,1%, Modal 96,9% y Modal Sun 99,6%). Con pocos términos se consigue explicar en un elevado porcentaje el valor de la respuesta, y, por lo tanto, se tiene una alta seguridad sobre el valor estimado con los modelos.

Los modelos demuestran que, para todos los tipos de fibras, todas las variables utilizadas en este estudio tienen una influencia significativa sobre el valor de la respuesta UPF del tejido.

En los tejidos de Algodón y Modal el signo negativo del efecto simple de la variable humedad corrobora que esta variable tendrá una influencia

significativamente negativa. Y siendo significativa y también negativa la interacción con la variable UPF inicial, la disminución en el UPF cuando el tejido se moja será mayor a medida que aumente su compactación. El modelo para los tejidos de Modal Sun también confirma el efecto positivo de la humedad en el UPF. En este caso es significativa la interacción entre las variables humedad y UPF inicial del tejido que causa una aceleración en el aumento del UPF a medida que aumenta la compacidad. Sin embargo, esta aceleración es algo frenada para valores altos de UPF inicial, como indica el signo negativo de la interacción entre humedad y el término cuadrático del UPF inicial.

La variable tensión tiene también una influencia significativa en el UPF de los tejidos. Para todas las fibras estudiadas, los coeficientes negativos de esta variable en los modelos indican que el valor de la respuesta UPF disminuye significativamente cuando aumenta la tensión a la que se someten los tejidos. En los tejidos de Algodón y Modal, la relación entre la respuesta UPF y la tensión es lineal. Únicamente en el caso de la medida en mojado de los tejidos de Algodón se da una interacción significativa de esta variable y el UPF inicial, de forma que la influencia negativa de la tensión será mayor a medida que aumenta la compacidad del tejido. En los tejidos de Modal

Sun, la relación entre la respuesta UPF y la tensión es cuadrática. El coeficiente significativo del término cuadrático de esta variable produce una curvatura fácilmente apreciable en la figura y su signo positivo indica que la disminución de la respuesta es más rápida para tensiones pequeñas y se ve frenada a medida que aumenta el valor de la variable. También es significativa la interacción de la tensión con el UPF inicial del tejido, de forma que el efecto negativo de la tensión se ve incrementado cuando aumenta la compacidad del tejido.

La influencia de tensión y humedad tiene un efecto mayor en los tejidos fabricados con Modal Sun, más sensibles a pequeñas variaciones en la estructura, como queda confirmado por el mayor número de coeficientes significativos en el modelo y sus valores más altos, en valor absoluto. Se ha comprobado que tensión y humedad pueden alterar muy notablemente el UPF de los tejidos fabricados con Modal Sun, mientras que tienen una menor incidencia en los tejidos fabricados con Algodón y Modal.

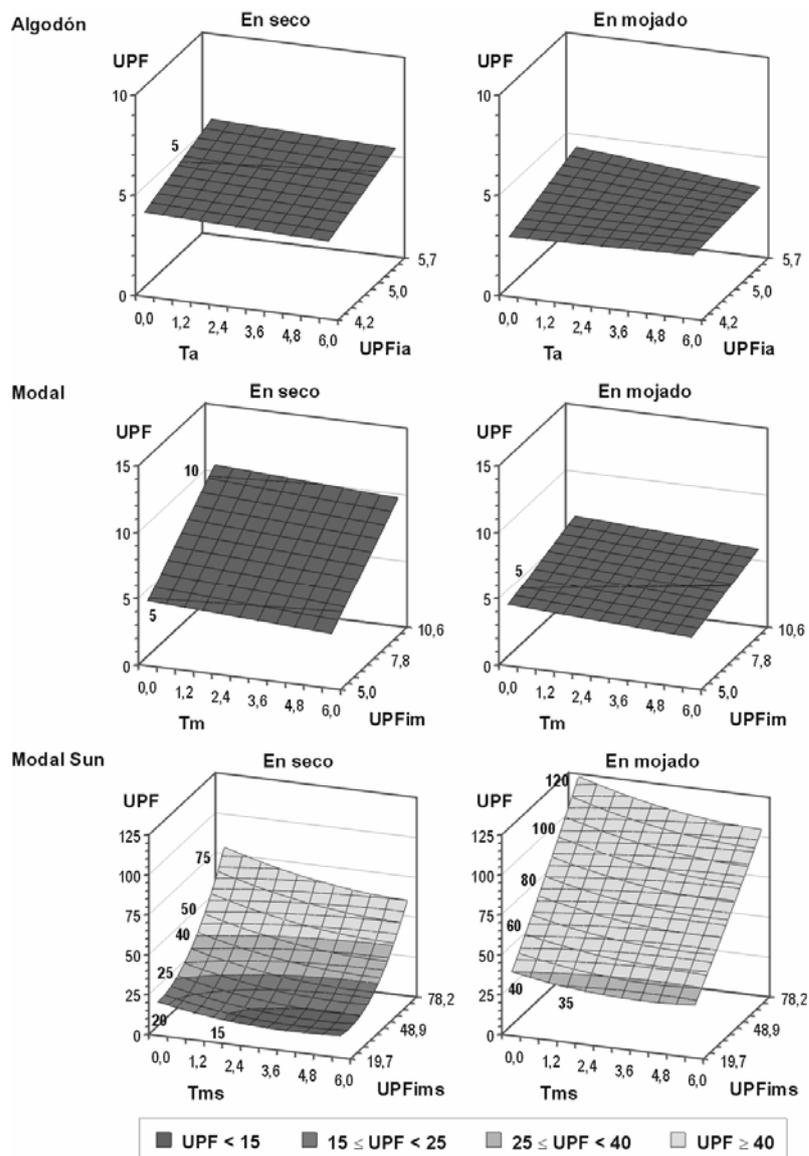


FIGURA 2: Superficies de respuesta estimadas según los modelos que relacionan el UPF del tejido en función del UPF inicial del tejido y de la tensión a la que se somete

4. CONCLUSIONES

La utilización de los tejidos en prendas que se llevan en estado estirado y/o húmedo puede hacer variar el nivel de protección contra la radiación ultravioleta proporcionado por los mismos. Teniendo en cuenta que el etiquetado de las prendas protectoras se lleva a cabo a partir de los valores obtenidos en la medida del tejido en estado relajado y seco, la variación en el UPF causada por la tensión y humedad puede hacer que la protección real proporcionada por la prenda no alcance el valor declarado en su etiquetado. Por ello, en el diseño de prendas protectoras contra la radiación ultravioleta, se deberían tener en cuenta las condiciones de tensión y humedad a las que la prenda será sometida, si se quiere garantizar que la protección se mantendrá en cualquier circunstancia durante su uso.

Mediante el análisis estadístico de los datos, se ha obtenido un modelo para cada tipo de fibra que cuantifica el UPF en función del UPF inicial de los tejidos y de las condiciones de uso de las prendas, humedad y tensión.

4.1. Los modelos demuestran que, para todos los tipos de fibras la tensión y la humedad de los tejidos tienen una influencia significativa sobre el factor de protección a la radiación ultravioleta.

4.2. La influencia de la humedad depende notablemente del tipo de fibra con el que están fabricados los tejidos. El UPF es significativamente menor en los tejidos de Algodón y Modal mojados que en sus correspondientes tejidos secos. En el caso de Modal Sun, sin embargo, se produce un aumento en el valor de la respuesta UPF al mojar los tejidos. En todos los casos, la relación entre el UPF y la humedad es lineal y el efecto positivo o negativo de la variable aumenta con la compactación de los tejidos.

4.3. El UPF de los tejidos disminuye significativamente cuando aumenta la tensión a la que se someten los tejidos. En los tejidos de Algodón y Modal, la relación entre UPF y tensión es lineal, mientras que en Modal Sun sigue una tendencia cuadrática, de forma que un incremento en el valor de la variable produce mayores disminuciones en el UPF cuando las tensiones son bajas, y cambios menores a medida que la tensión va creciendo. En los tejidos de Algodón mojados y en los tejidos de Modal Sun secos o mojados, la influencia negativa de la tensión sobre el valor de la respuesta UPF será mayor a medida que aumenta la compactación de los tejidos.

4.4. El efecto de tensión y humedad sobre el UPF de los tejidos es mucho más apreciable en los tejidos de Modal Sun. Cabe destacar que, aunque la influencia de las variables tensión y humedad es significativa desde el punto de vista estadístico, las variaciones en el UPF que causan sobre los tejidos de Algodón y Modal dentro del rango experimental de este estudio son poco

apreciables desde el punto de vista de su aplicación práctica textil. Si que lo es, en cambio, en el caso de los tejidos de Modal Sun.

4.5. Los modelos obtenidos permiten estimar el UPF a priori según las variables del sistema, aunque siempre dentro del rango experimental, es decir, con valores de las variables entre los niveles mínimo y máximo que se han utilizado para hallar el modelo. Los modelos también facilitan la elección del valor de las variables, con numerosas posibilidades de distintas combinaciones, para obtener un UPF determinado.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) la financiación del proyecto MAT 99-0996 y al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte la concesión de una beca para la realización de la tesis doctoral y de una beca para estancias breves en el extranjero, dentro de su programa de Formación de Profesorado Universitario.

Asimismo quieren manifestar su gratitud al Forschungsinstitut Hohenstein por poner a su disposición sus instalaciones y a su personal por las amables explicaciones.

También desean expresar su especial agradecimiento a 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. Pailthorpe, M., Sun Protective Clothing, *Textile Horizons*, 16(5): 11-14 (1996).
2. 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).
3. Crews, P.; Kachman, S.; Beyer, A., Influences on UVR transmission of undyed woven fabrics. *Textile Chemist and Colorist*, 31(6): 17-26 (1999).
4. 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).
5. Haerri, H.P.; Haenzi, D.; Donzé, J.J., The application of ultraviolet absorbers for sun protective fabrics. Conferencia presentada en el 39th International Man-Made Fibres Congress, Dornbirn (Austria) 13-15 septiembre (2000).
6. 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).
7. 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).
 8. 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).
 9. ASTM D6544-00. *Standard Practice for Preparation of Textiles Prior to UV Transmission Testing*.
 10. Moon, R.; Pailthorpe, M., Effect of stretch and wetting on the UPF of elastane fabrics, *Australasian Textiles*, 15(5): 39-42 (1995).
 11. Jevtic, A.P., The sun protective effect of clothing, including beachwear, *Australasian Journal of Dermatology*, 31(1): 5-7. (1990).
 12. *UV-Standard 801*, Bönningheim: Secretariat of the International Testing Association for Applied UV-Protection (2001).
 13. Pepió, M.; Polo C., *Disseny i optimització de processos*. Terrassa: Laboratori d'Estadística ETSEIT-UPC (1996).
 14. AS/NZS 4399:1996. *Sun protective clothing – Evaluation and classification*.
 15. 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*.
 16. Algaba I., Pepió M., Riva A. Modelisation of the influence of structural parameters on the Ultraviolet Protection Factor provided by cellulosic woven fabrics, presentado para publicación en *Journal of the Textile Institute*.