

MODELIZACIÓN DE LOS EFECTOS DEL COLOR EN LA PROTECCIÓN UV EJERCIDA POR TEJIDOS DE ALGODÓN¹⁾

A. Riva^I, I. Algaba^{II}, M. Pepió^{III}, R. Prieto^{III}

0.1. Resumen

El color es una de las variables más influyentes en la protección frente a la radiación ultravioleta que puede proporcionar un tejido. Dicha protección se expresa cuantitativamente mediante el UPF (Ultraviolet Protection Factor).

El presente artículo presenta los resultados de un estudio sobre la influencia del color en el UPF que ejercen tejidos de algodón adecuados para prendas de verano. Se establece la influencia del matiz y de la intensidad del color de tres colorantes azoicos y su interacción con el UPF inicial de los tejidos. Mediante el análisis estadístico de los resultados se obtienen modelos matemáticos que relacionan el UPF final de los tejidos con los factores indicados, analizando los tres colorantes conjuntamente. Los modelos obtenidos permitirán programar y optimizar el valor del UPF mediante el adecuado ajuste de las variables.

Palabras clave: UPF, tejidos, algodón, color, matiz, intensidad de color, modelización.

0.2. Summary: MODELING THE EFFECTS OF COLOR ON THE UV PROTECTION PROVIDED BY COTTON WOVEN FABRICS

Color is one of the most influential variables on the protection against ultraviolet radiation provided by a fabric. The protection against UV radiation of a fabric is expressed quantitatively by means of its UPF (ultraviolet protection factor).

The present paper shows the results of a study about the influence of the color on the UPF of cotton woven fabrics appropriate for summer articles. Through statistical models, the research seeks to relate the level of protection achieved in dyeing with three azo dyes to the factors governing the process, the shade, and the color intensity, as well as their interaction with the initial UPF of the fabrics. The obtained models will allow the programming and optimization of the value of the UPF of a fabric by means of adequate adjustment of the variables.

Key words: UPF, fabrics, cotton, colour, shade, color intensity, modeling.

0.3. Résumé: MODÉLISATION DES EFFETS DE COULEUR DANS LA PROTECTION UV EXERCÉE PAR TISSUS DE COTON

La couleur est l'une des plus influents variables de la protection contre le rayonnement ultraviolet qu'un tissu peut fournir. Une telle protection est exprimée quantitativement par l'UPF (Ultraviolet Protection Factor).

Cet article présente les résultats d'une étude sur l'influence de la couleur dans l'UPF exercée par les vêtements en coton appropriés pour l'été.

On établit l'influence de la teinte et l'intensité des couleurs de colorants azoïques, et leur interaction avec les UPF initiales des tissus.

Moyennant une analyse statistique des résultats, on a obtenu des modèles mathématiques qui rapportent les finales UPF des tissus avec les facteurs indiqués, en analysant des trois couleurs en même temps.

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

** 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.)

**** Ing. Téc. Remedios Prieto Fuentes. Laboratorio de Físico-Química de la Tintura y Acabados del INTEXTER (U.P.C.)

·) Industrial & Engineering Chemistry Research, vol. 48, núm. 22, Pág. 9817-9822, 2009

Les modèles obtenus permettent de programmer et d'optimiser la valeur de la UPF moyennant un réglage approprié des variables.

Mots clés: UPF, tissus, coton, teinte, l'intensité des couleurs, modélisation.

1. INTRODUCCIÓN

Hace ya unos años se viene hablando de la protección que ejercen los tejidos contra al paso de la radiación ultravioleta, pero existe aún un gran desconocimiento sobre el tema. Se asume que los artículos textiles proporcionan protección y se cree que ésta es la adecuada. Sin embargo, numerosos estudios han concluido que la mayor parte de las prendas ligeras de verano o para uso deportivo, no proporcionan una protección suficiente.

El UPF (Ultraviolet Protection Factor) de un tejido es una forma cuantitativa de expresar la efectividad de dicho tejido de proteger la piel humana frente a los efectos dañinos de la radiación solar. La protección que ejerce un tejido depende de diversos factores como el tipo de fibra, características estructurales del tejido, color, presencia de productos de acabado absorbentes de radiación UV, etc. (Pailthorpe 1996; Hilfiker et al. 1996; Reinert et al. 1997; Riva 1999; Crews et al. 1999; Srinivasan and Gatewood 2000; Algaba et al. 2004; Algaba et al. 2006; Riva and Algaba 2006).

Una de las variables que influyen de forma importante en el UPF de un tejido es el color. La coloración se realiza en la mayoría de los artículos textiles, sea cual sea su origen y su uso final. El color que se percibe en un tejido teñido se fundamenta en la absorción selectiva, por parte de las moléculas del colorante, de la radiación visible que incide sobre la superficie del material. Los componentes de la luz no absorbidos son reflejados por el material, llegando al ojo, donde son recibidos por los fotorreceptores e interpretados por nuestro cerebro.

Cuando hablamos de color nos referimos a la zona del espectro electromagnético comprendida entre 400 y 700 nm de longitud de onda, que corresponde al espectro visible y que es el intervalo importante para la definición del color. Sin embargo, la absorción de energía por parte del colorante se extiende también, en mayor o menor grado, a otras regiones del espectro electromagnético, como la zona de radiación ultravioleta. Por ello se puede presumir que la aplicación de colorantes sobre los tejidos, podría ser un medio válido para aumentar la protección que proporcionen los tejidos contra este último tipo de radiación.

Son numerosos los parámetros relativos al color, que pueden influir en la mejora de la protección proporcionada por los tejidos: el tipo de colorante y su estructura química, el matiz de la

coloración y su intensidad. Evidentemente, la combinación de todos estos factores unida a diferentes tipos de tejido puede dar lugar a infinitas posibilidades que no pueden ser abordadas en un solo estudio.

El presente estudio trata sobre la influencia del color en el factor de protección a la radiación ultravioleta que ejercen tejidos de algodón adecuados para prendas de verano. Se establece la influencia del matiz y de la intensidad del color de tres colorantes azoicos y su interacción con el UPF inicial de los tejidos. Mediante el análisis estadístico de los resultados se obtienen modelos matemáticos que relacionan el UPF final de los tejidos con los factores indicados, analizando los tres colorantes conjuntamente. Los modelos obtenidos pueden ser de gran utilidad industrial ya que permiten programar y optimizar el valor del UPF mediante el ajuste de las variables.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materia

Se han utilizado tejidos ligeros de Algodón 100%. Partiendo de tejidos de UPF bajo, seleccionados de un estudio previo (Riva and Algaba 2006) se eligen 3 tejidos con tres niveles de UPF (bajo, medio y alto) ya que se parte de la hipótesis de que la acción de los colorantes puede ser diferente según el UPF inicial del tejido, es decir, de su factor de protección antes de la tintura.

En la 0 se expone el UPF inicial de los tejidos escogidos.

TABLA 1

UPF inicial de los tejidos elegidos para el estudio del color

Materia	UPF inicial (UPFi)		
	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
Algodón	4,06	5,33	6,66

2.2. Colorantes

Se han utilizado los colorantes correspondientes a una tricromía de colorantes directos apropiados para la tintura de Algodón. La tricromía está formada por los colorantes azoicos siguientes: C.I. Direct Yellow 98, C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89.

2.3. Planificación experimental y fórmula de tintura

El estudio estadístico de la influencia del color en el UPF de los tejidos es complejo y por ello

al planificar las experiencias se han establecido los siguientes criterios:

- a) Realizar un análisis estadístico que permita analizar los tres colorantes conjuntamente: se introduce el tipo de colorante como una variable cualitativa en un único modelo inicial y se añaden dos variables categóricas con diferentes niveles en función del tipo de colorante.
- b) Utilizar la Intensidad Estándar de Color como variable del sistema en lugar de la concentración de colorante. Se seleccionan como variables del sistema cuatro Intensidades Estándar de Color: 1/25, 1/6, 1/1 y 2/1. En la 0 se presentan las concentraciones iniciales de cada colorante necesarias para obtener las cuatro Intensidades Estándar de Color.

TABLA 2
Concentración de colorantes

Intensidad Estándar	Concentración de colorante (% s.p.f.)		
	C.I. Direct Yellow 98	C.I. Direct Blue 77	C.I. Direct Red 89
1/25	0,03	0,05	0,07
1/6	0,14	0,20	0,28
1/1	0,80	1,20	1,70
2/1	1,60	2,40	3,40

En resumen, se parte de 3 tejidos con UPF iniciales diferentes; cada uno de ellos se tiñe con 3 colorantes diferentes a 4 intensidades de tintura, resultando un total de 36 tinturas.

- c) Introducir una corrección en la variable Intensidad Estándar en función del agotamiento real del colorante en los baños de tintura, dando lugar a la variable Intensidad Estándar Corregida (IEC) que es la utilizada finalmente en el análisis estadístico de los datos.

La fórmula de corrección utilizada es la siguiente:

$$IEC = \frac{\text{Colorante sobre la fibra (\% s.p.f.)}}{\text{Colorante para IE 1/1 (\% s.p.f.)}}$$

2.4. Proceso de tintura

El proceso de tintura es el convencional por agotamiento de acuerdo con las recomendaciones técnicas para los colorantes utilizados. La relación de baño utilizada en todos los casos fue 1/20.

2.5. Parámetros determinados

Se han determinado los siguientes parámetros:

1. Espectros de absorción de los colorantes en la región UV.

Los espectros de absorción en la región UV de las disoluciones de cada colorante se han determinado utilizando un espectrofotómetro Shimadzu 256 FS/FW.

2. Espectros de transmitancia ultravioleta.

Los espectros de transmitancia difusa de los tejidos teñidos y no teñidos se han determinado utilizando el Ultraviolet Transmittance Analyser UV 1000F de Labsphere. Los espectros mostrados son el promedio de diez medidas.

3. Factor de protección ultravioleta.

El UPF de los tejidos teñidos y no teñidos se ha calculado de acuerdo con las indicaciones de la norma AS/NZ 4399:1996

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Espectros de absorción de los colorantes

La figura 1 muestra los espectros de absorción de las disoluciones de cada colorante en las regiones visible y ultravioleta del espectro electromagnético.

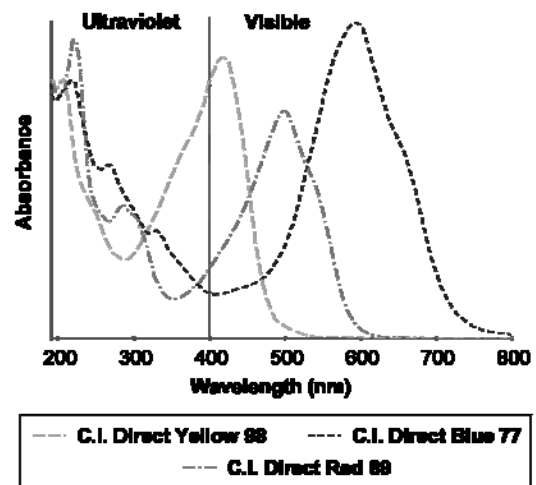


FIGURA 1: Espectros de absorción en las regiones visible y ultravioleta.

En el intervalo de longitudes de onda de 290 a 400 nm, que es el considerado para el cálculo del UPF, la máxima absorción de la radiación UV se localiza en la zona UVB (290 – 315 nm) para los colorantes C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89 y la absorción disminuye para longitudes de onda mayores. Comparativamente, el C.I. Direct Yellow 98 presenta una menor absorción en la zona UVB, aumentando para longitudes de onda mayores y alcanzando su máximo en las longitudes de onda más largas de la zona UVA (alrededor de 400 nm). Este hecho hace previsible que el colorante amarillo dará valores de

UPF más bajos ya que absorbe menos radiación en la zona UVB. Siendo la radiación de la zona UVB más dañina que la radiación de la zona UVA, tiene un mayor peso en la fórmula de cálculo del UPF de los tejidos.

3.2. Espectros de transmisión de radiación de los tejidos en la región del ultravioleta

La 0 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta, obtenidos para los tres colorantes estudiados.

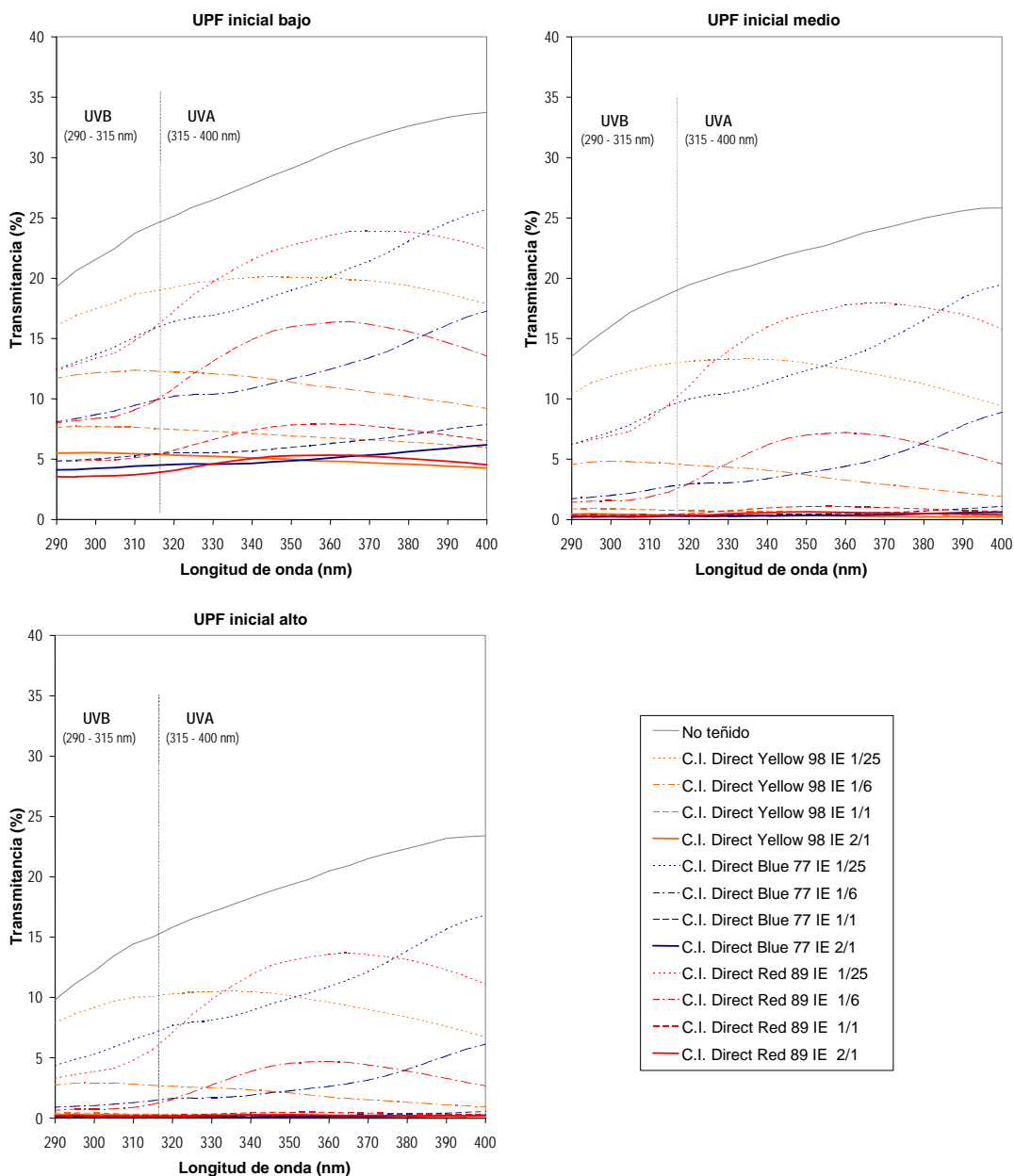


FIGURA 2: Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Algodón teñidos

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

Las Tablas 2, 3 y 4 muestran los resultados obtenidos en el cálculo del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos no teñidos y teñidos.

TABLA 2

UPF de los tejidos de Algodón teñidos (C.I. Direct Yellow 98)

Muestra nº	Características de la muestra			Factor de Protección Ultravioleta (UPF _a)	Índice UPF
1	No teñido	UPFi bajo	IE 0	4,06	1
2	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/25	4,94	1
3	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/6	7,87	5
4	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/1	11,80	10
5	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 2/1	16,59	15
6	No teñido	UPFi medio	IE 0	5,33	5
7	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/25	7,74	5
8	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/6	20,86	20
9	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/1	117,53	50+
10	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 2/1	221,08	50+
11	No teñido	UPFi alto	IE 0	6,66	5
12	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/25	9,92	5
13	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/6	34,76	30
14	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/1	243,88	50+
15	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 2/1	342,51	50+

TABLA 3

UPF de los tejidos de Algodón teñidos (C.I. Direct Blue 77)

Muestra nº	Características de la muestra			Factor de Protección Ultravioleta (UPF _a)	Índice UPF
16	No teñido	UPFi bajo	IE 0	4,06	1
17	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/25	6,26	5
18	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/6	9,30	5
19	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/1	15,58	15
20	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 2/1	21,58	20
21	No teñido	UPFi medio	IE 0	5,33	5
22	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/25	11,04	10
23	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/6	37,23	35
24	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/1	283,78	50+
25	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 2/1	321,86	50+
26	No teñido	UPFi alto	IE 0	6,66	5
27	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/25	14,90	10
28	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/6	70,02	50+
29	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/1	543,61	50+
30	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 2/1	878,87	50+

TABLA 4

UPF de los tejidos de Algodón teñidos (C.I. Direct Red 89)

Muestra nº	Características de la muestra			Factor de Protección Ultravioleta (UPF _a)	Índice UPF
31	No teñido	UPFi bajo	IE 0	4,06	1
32	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/25	6,22	5
33	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/6	9,53	5
34	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/1	17,50	15
35	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 2/1	23,62	20
36	No teñido	UPFi medio	IE 0	5,33	5
37	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/25	11,04	10
38	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/6	42,43	40
39	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/1	186,74	50+
40	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 2/1	297,52	50+
41	No teñido	UPFi alto	IE 0	6,66	5
42	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/25	18,27	15
43	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/6	80,36	50+
44	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/1	393,61	50+
45	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 2/1	499,18	50+

En las tablas se puede observar que la aplicación de cualquiera de los colorantes estudiados a cualquiera de las intensidades de tintura, produce una mejora del UPF de los tejidos de Algodón.

Los resultados obtenidos muestran que la aplicación de un colorante sobre los tejidos de algodón es un buen medio para aumentar la protección contra la radiación ultravioleta proporcionada por el mismo. Se pueden obtener tejidos muy ligeros con buena protección tiñendo el tejido original a intensidades de tintura muy altas. Sin embargo, si se requiere un color pastel sobre el tejido o bien niveles de protección más elevados, se deberá recurrir a aumentar el UPF inicial del tejido.

3.3. Análisis estadístico de los resultados

3.3.1. Diseño experimental: variables y niveles de las variables

Recordemos que el diseño experimental consta de una primera variable cualitativa, el tipo de colorante utilizado (con 3 niveles diferentes) y dos variables cuantitativas. La primera de las variables cuantitativas es el UPF inicial de los tejidos (UPFi) con 3 niveles diferentes, y la segunda la Intensidad Estándar de Color corregida (IEC) con 5 niveles diferentes (los 4 tejidos teñidos y el tejido no teñido).

3.3.2. Codificación de las variables

La codificación de las variables del sistema es un factor importante para la correcta estimación de los coeficientes significativos en los modelos que describen el comportamiento de la respuesta en función de las variables, así como para la posterior interpretación de los resultados.

Los niveles de las variables del sistema en el estudio de la influencia del color sobre el valor de la respuesta UPF, no permiten su codificación al no ser valores equidistantes. 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 muestran a continuación.

$$cUPFi_a = \frac{UPFi_a - 5,36}{1,3}$$

$$cIECa = \frac{IECa - 0,9654}{0,9654}$$

Para poder introducir la variable cualitativa "colorante utilizado", en el análisis estadístico se deben definir variables categóricas. Estas variables adquieren diferentes niveles (0 o 1) en función del colorante que se haya utilizado en cada experiencia. Al ser 3 los colorantes utilizados, los niveles de la variable cualitativa "colorante utilizado" también son 3 y se requieren 2 variables categóricas, Q2 y Q3, para definir los niveles.

Los valores de Q2 y Q3 se asignan tal como se muestra en la 0, para definir cada nivel de la variable cualitativa.

TABLA 5

Niveles de las variables categóricas Q2 y Q3 en función del colorante

Colorante	Muestras nº	Q2	Q3
C.I. Direct Yellow 98	1 a 15	0	0
C.I. Direct Blue 77	16 a 30	1	0
C.I. Direct Red 89	31 a 45	0	1

3.3.3. Modelización de la respuesta UPF: modelo definitivo

El modelo definitivo que estima el valor de la respuesta UPF en función del UPF inicial del tejido y de la Intensidad Estándar de Color corregida, para la serie de tejidos de Algodón, es el siguiente, en variables codificadas:

$$\begin{aligned}
 UPFa = & 137,146981 + 149,309978 \cdot Q2a + 60,378516 \cdot Q3a + \\
 & + 125,571722 \cdot cUPFi_a + 148,076198 \cdot Q2a \cdot cUPFi_a + 55,963439 \cdot Q3a \cdot cUPFi_a + \\
 & + 96,409933 \cdot cIECa + 149,556180 \cdot Q2a \cdot cIECa + 51,088662 \cdot Q3a \cdot cIECa + \\
 & + 82,778566 \cdot cUPFi_a \cdot cIECa + 150,916909 \cdot Q2a \cdot cUPFi_a \cdot cIECa + 47,046717 \cdot Q3a \cdot cUPFi_a \cdot cIECa - \\
 & - 43,097589 \cdot cIECa^2 - 50,000589 \cdot cUPFi_a \cdot cIECa^2
 \end{aligned}
 \qquad R^2=99,54\%$$

3.3.4. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 3 se han representado las superficies de respuesta y las curvas de nivel de la respuesta UPF en función de las dos variables codificadas del sistema, $cUPFi_a$ y $cIECa$, obtenidas según el modelo estimado para cada uno de los colorantes C.I. Direct Yellow 98, C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89. Los colores distinguen entre las zonas que no presentan protección en rojo, las de buena protección en rosa, las de muy buena protección en color amarillo y las de protección excelente en color azul.

La figura muestra que, dentro del rango experimental, se pueden conseguir tejidos con niveles de protección dentro de todas las categorías de la norma AS/NZ 4339:1996.

Se puede observar la gran influencia de ambas variables ($cUPFi_a$ y $cIECa$) en el valor de la respuesta UPF_a . Al aumentar el valor de cualquiera de las variables se produce un incremento en el valor de la respuesta.

En el eje de la variable $cUPFi_a$ la superficie de respuesta presenta una forma siempre lineal creciente (el término cuadrático no es significativo) y con pendientes de valor cada vez más elevado a medida que aumenta la otra variable $cIECa$, debido al efecto de la fuerte interacción entre las dos variables.

En el eje de la variable $cIECa$ la superficie de respuesta presenta una forma parabólica,

debida al término cuadrático negativo. A medida que aumenta $cUPFi_a$, la forma curvilínea es cada vez más marcada, de manera que, para determinados valores de $cUPFi_a$, un mismo incremento en el valor de $cIECa$ produce un incremento en el valor de la respuesta UPF más elevado cuando la intensidad de color es baja que cuando la intensidad de color es alta. Es decir, se observa una tendencia a una saturación, a llegar a un punto de equilibrio a partir del cual un aumento en la intensidad de color no produciría un efecto significativo sobre el valor de la respuesta UPF.

También es muy destacable la gran contribución de la interacción de ambas variables en el incremento del UPF. Para tejidos con UPF inicial bajo (estructura más abierta) la tintura produce menores 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 coloración y pequeños incrementos en la intensidad de tintura producen muy notables mejoras en la protección que los tejidos proporcionan contra la radiación ultravioleta. De igual forma, para intensidades de tintura pálidas un aumento en el UPF inicial del tejido no proporcionará un elevado incremento del UPF del mismo, mientras que cuando la intensidad de coloración es alta, un pequeño aumento en la compacidad del tejido producirá un gran incremento en el UPF del tejido.

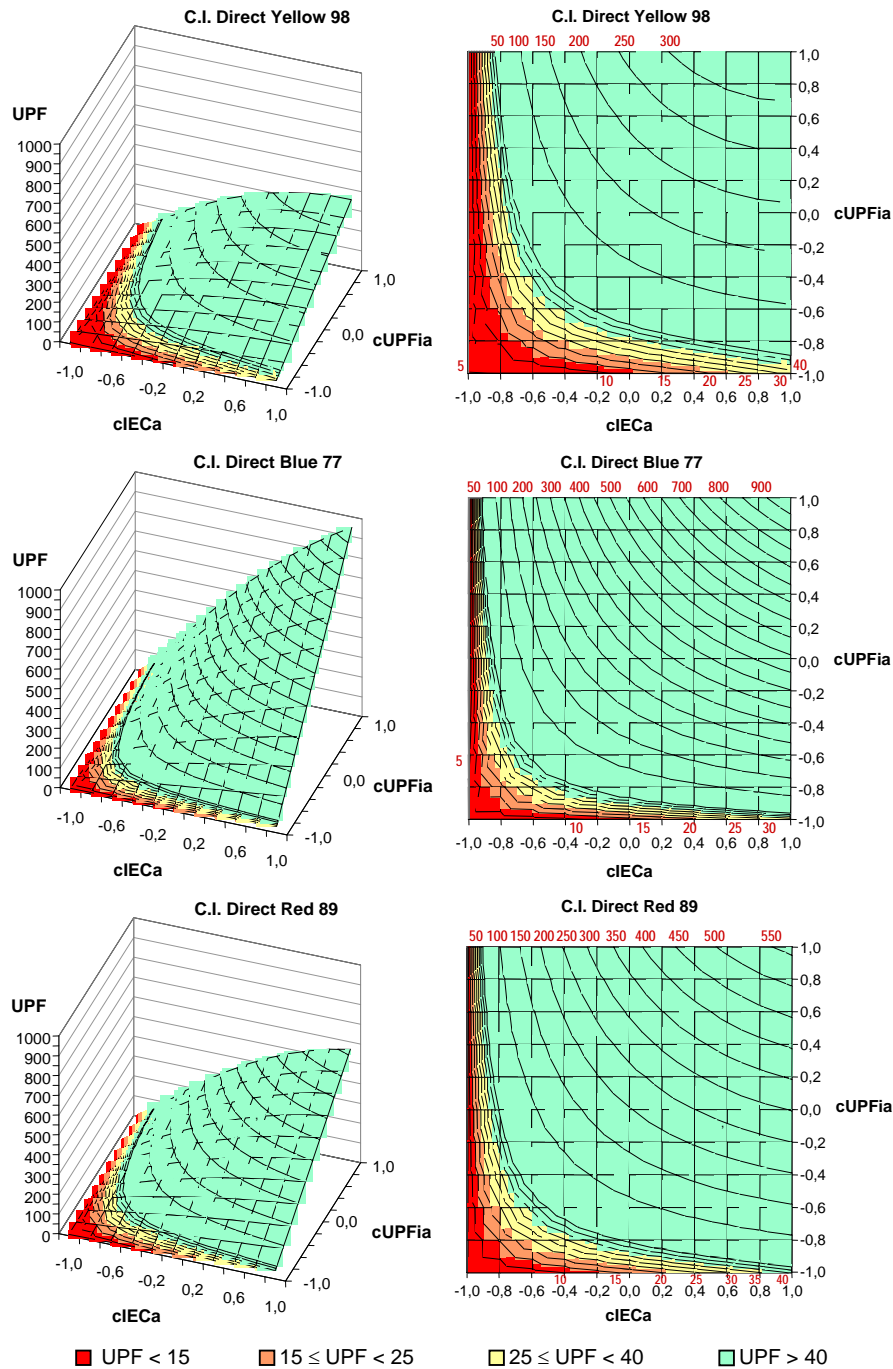


FIGURA 3: Superficies de respuesta y curvas de nivel. UPF en función del UPF_i del tejido y de la Intensidad Estándar de Color

También se observa en las figuras que, para el mismo valor de las variables, el colorante utilizado produce diferencias muy notables en el valor del UPF estimado, obteniéndose una mayor protección si se utiliza el C.I. Direct Blue 77 en la tintura, seguido del C.I. Direct Red 89 y, por último, el C.I. Direct Yellow 98.

Para alcanzar determinados niveles de protección debe aplicarse cada uno de los

colorantes en intensidades adecuadas sobre tejidos con un UPF inicial (compacidad) mínimo. A partir de las curvas de nivel, se pueden encontrar las múltiples posibilidades de combinación de las diferentes variables para obtener un determinado UPF estimado. Las posibilidades son numerosas y permitirán optimizar el diseño del tejido para conseguir las propiedades protectoras necesarias,

renunciando lo menos posible al color o la compacidad deseados.

Como ejemplo de las múltiples combinaciones en la figura 4 se muestran los valores de UPF estimados según los modelos obtenidos para cada colorante. Se diferencian, con diferente sombreado, los valores numéricos estimados de UPF que no dan protección ($UPF < 15$), los que dan buena protección, ($15 \leq UPF < 25$), muy buena protección ($25 \leq UPF < 40$) y excelente protección ($UPF \geq 40$).

 UPF < 15
 15 ≤ UPF < 25
 25 ≤ UPF < 40
 UPF ≥ 40

C.I. Direct Yellow 98		UPFI										
		4,08	4,32	4,55	4,84	5,10	5,36	5,62	5,88	6,14	6,40	6,66
abc	0,04	4,8	4,7	4,6	4,5	4,3	4,2	4,1	3,9	3,8	3,7	3,6
	0,22	5,2	11,7	18,2	21,7	31,3	37,8	41,3	50,8	57,4	63,9	70,4
	0,41	6,0	18,4	30,8	43,2	55,6	68,0	80,4	92,8	105,2	117,6	130,0
	0,60	7,1	21,9	42,5	60,0	77,5	95,0	112,5	130,0	147,5	165,0	182,5
	0,78	9,4	31,2	53,1	74,9	96,7	118,6	140,4	162,3	184,1	206,0	227,8
	0,96	11,8	37,2	62,6	88,1	113,5	138,9	164,3	189,7	215,1	240,5	265,9
	1,17	14,8	43,0	71,2	99,4	127,6	155,8	184,0	212,2	240,5	268,7	296,9
	1,38	18,3	48,6	78,8	109,0	139,3	169,5	199,7	229,9	260,2	290,4	320,6
	1,55	22,4	53,9	85,4	116,8	148,3	179,8	211,3	242,8	274,2	305,7	337,2
	1,74	27,0	58,9	90,9	122,9	154,8	186,8	218,8	250,7	282,7	314,6	346,6
1,93	32,1	63,8	95,4	127,1	158,8	190,5	222,1	253,8	285,5	317,1	348,8	

C.I. Direct Blue 77		UPFI										
		4,08	4,32	4,55	4,84	5,10	5,36	5,62	5,88	6,14	6,40	6,66
abc	0,04	7,4	8,3	9,2	10,1	10,9	11,8	12,7	13,6	14,5	15,4	16,3
	0,21	7,4	19,8	32,1	44,4	56,7	69,0	81,3	93,6	106,0	118,3	130,6
	0,38	7,9	31,0	54,1	77,2	100,4	123,5	146,6	169,7	192,8	215,9	239,0
	0,56	8,9	42,1	75,4	108,6	141,9	175,2	208,4	241,7	274,9	308,2	341,5
	0,73	10,2	53,0	95,8	138,6	181,4	224,1	266,9	309,7	352,5	395,2	438,0
	0,90	12,0	63,7	115,4	167,0	218,7	270,4	322,0	373,7	425,3	477,0	528,7
	1,08	14,3	74,2	134,1	194,0	253,9	313,8	373,7	433,7	493,6	553,5	613,4
	1,26	17,0	84,5	152,0	219,5	287,1	354,6	422,1	489,6	557,1	624,6	692,2
	1,42	20,1	94,6	169,1	243,6	318,1	392,6	467,1	541,6	616,1	690,6	765,1
	1,58	23,7	104,5	185,3	266,2	347,0	427,8	508,7	589,5	670,3	751,2	832,0
1,73	27,7	114,2	200,7	287,3	373,8	460,4	546,9	633,4	720,0	806,5	893,0	

C.I. Direct Red 83		UPFI										
		4,08	4,32	4,55	4,84	5,10	5,36	5,62	5,88	6,14	6,40	6,66
abc	0,03	5,4	7,2	9,1	11,0	12,9	14,7	16,6	18,5	20,3	22,2	24,1
	0,20	6,3	15,8	25,3	34,8	44,3	53,8	63,3	72,8	82,3	91,8	101,3
	0,37	7,7	24,2	40,7	57,2	73,7	90,2	106,7	123,2	139,7	156,2	172,7
	0,54	9,5	32,4	55,3	78,2	101,1	124,0	146,9	169,8	192,7	215,6	238,5
	0,71	11,8	40,4	69,1	97,8	126,5	155,2	183,9	212,5	241,2	269,9	298,6
	0,88	14,4	48,3	82,1	116,0	149,8	183,7	217,5	251,4	285,2	319,1	352,9
	1,05	17,5	55,9	94,3	132,7	171,1	209,5	248,0	286,4	324,8	363,2	401,6
	1,21	21,0	63,4	105,7	148,1	190,4	232,8	275,1	317,5	359,8	402,2	444,5
	1,38	24,9	70,6	116,3	162,0	207,7	253,4	299,1	344,7	390,4	436,1	481,8
	1,55	29,3	77,7	126,1	174,5	222,9	271,3	319,7	368,1	416,5	464,9	513,3
1,72	34,1	84,6	135,1	185,6	236,1	286,6	337,1	387,7	438,2	488,7	539,2	

FIGURA 4: Estimación de los valores de UPF según los modelos estadísticos

4. CONCLUSIONES

- El color de los tejidos es un factor que tiene una notable influencia sobre la protección proporcionada por los mismos contra la radiación ultravioleta.
- La transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos disminuye al aplicar cualquiera de los colorantes estudiados. La forma de los espectros de transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos teñidos viene determinada, como era de esperar, por la combinación de los espectros de transmisión de la fibra y de absorción de los colorantes. Para todos los colorantes estudiados, la transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos disminuye cuando aumenta la intensidad del color de los tejidos. Al disminuir la transmisión, el factor de

protección a la radiación ultravioleta UPF aumenta al incrementarse la intensidad de color en la tintura.

- La tintura de los tejidos de Algodón permite la obtención de tejidos ligeros para su uso en prendas de verano que pueden proporcionar niveles de buena protección ($15 \leq UPF < 25$), muy buena protección ($25 \leq UPF < 40$) y protección excelente ($UPF \geq 40$).
- El nivel de protección alcanzado depende de todas las variables que se han considerado en el estudio: del tipo de colorante utilizado, de la intensidad de color y del UPF inicial del tejido antes de la tintura (es decir, de la estructura del tejido no teñido). Para obtener tejidos protectores, será necesario combinar valores mínimos de las variables.
- Mediante el análisis estadístico de los datos obtenidos, se ha podido obtener un modelo que cuantifica el UPF en función de los parámetros que intervienen en el estudio de la influencia del color: tipo de colorante, intensidad de color y UPF inicial de los tejidos.
- El modelo obtenido nos permite 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. El modelo también permite el ajuste de las variables, con numerosas posibilidades de distintas combinaciones, para obtener un UPF determinado, pudiendo optimizar dicho UPF. Ello permitirá diseñar tejidos de algodón con valores de UPF preestablecidos.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. Müller, I. (1997). Sun and Men: an Ambivalent Relationship in the History of Medicine. En: Altmeyer, P.; Hoffmann, K.; Stucher, M. (ed.). *Skin Cancer and UV Radiation*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin
2. Raab, W. (1997). History of Therapeutic UV Radiation. En: Altmeyer, P.; Hoffmann, K.; Stucher, M. (ed.). *Skin Cancer and UV Radiation*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin
3. Werner Voss M.D., *Sun Protection: Dermatological and Cosmological Aspects*
4. United States Environmental Protection Agency, *The sun, UV and you. A guide for sunwise behaviour*, <http://www.epa.gov>
5. World Health Organisation, *Protection Against Exposure to Ultraviolet Radiation*, Intersun – The global UV Project, WHO/EHG/95.17, <http://www.who.int>

6. National Cancer Institute, *Melanoma*, <http://cancernet.nci.nih.gov>
7. Tenkate T.D., *Ultraviolet Radiation: Human Exposure and Health Risks*, Environmental Health, Vol. 61, nº 2, 1998, 9-15
8. Ferrini R.L., Perlman M, Hill L., *Skin Protection from Ultraviolet Light Exposure American College of Preventive Medicine Practice Policy Statement*, <http://www.acpm.org>
9. Pailthorpe M., *Sun Protective Clothing*, Textile Horizons, Vol. 16, nº 5, 1996, 11-14
10. Riva A., *¿Qué es el UPF de un tejido?*, Revista de Química Textil, nº 144, 1999, 72-78
11. Kaspar K., Altmeyer P., Hoffmann K., *Bestimmung des UV-Schutzes von leichten Sommergeweben in vitro und in vivo*, Melliand Textilberichte, nº 6/1999, 1999, 536-539
12. Labsphere, *SPF Analysis of Textiles*, Labsphere Technical Note
13. Crews P., Kachman S., Beyer A., *Influences on UVR transmission of undyed fabrics*, Textile Chemist and Colorist, vol 31, nº 6, 1999, 17-26
14. Reinert G., Fuso F., Hilfiker R., Schmidt E., *UV-protecting properties of textile fabrics and their improvement*, Textile Chemist and Colorist, vol 29, nº 12, 1997, 36-43
15. Srinivasan M., Gatewood B., *Relationship of dye characteristics to UV protection provided by cotton fabrics*, Textile Chemist and Colorist & American Dyestuff Reporter, vol 32, nº 4, 2000, 36-43
16. AS/NZS 4399:1996: *Sun protective clothing – Evaluation and classification*
17. AATCC Test Method 183-2000: *Transmittance of Blocking of Erythemally Weighted Ultraviolet Radiation Through Fabrics*
18. BS 7914:1998: *Method of test for penetration of erythemally weighted solar ultraviolet radiation through clothing fabrics*
19. pr EN 13758: *Textiles – Solar UV protective properties – Method of test for apparel fabrics*
20. CEN – European Committee for Standardization. *Protective clothing against ultraviolet light* [En línea]. Página web, URL <<http://www.cenorm.be/CENORM/news/pressnotices/uv+clothing.asp>>
21. ISO – International Organisation for Standardization [En línea]. Página web, URL <<http://www.iso.org/iso/en/stdsdevelopment/techprog/workprog/TechnicalProgrammeProjectDetailPage.TechnicalProgrammeProjectDetail?csnumber=36361>>
22. ASTM D6544-00. *Standard Practice for Preparation of Textiles Prior to UV Transmission Testing*
23. Pailthorpe M., *Apparel textiles and sun protection: a marketing opportunity or a quality control nightmare?*, Mutation Research, nº 422, 1998, 175-183
24. *UV-Standard 801* (2001). Bönningheim: Secretariat of the International Testing Association for Applied UV-Protection.
25. Galcerán V., *Tecnología del tejido. Tomo primero: Teoría de tejidos*, ETSIT, 1960
26. Pepió M., Polo C., *Disseny i optimització de processos*, Laboratori d'Estadística, ETSEIT-UPC, 1996
27. Cegarra J., Puente P., Valldeperas J., *Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materias textiles*, Cátedra de Tintorería, ETSIT, 1981
28. Bamfield P., *Chromic phenomena: technological application of colour chemistry*, Royal Society of Chemistry, 2001
29. Riva A., *Apuntes de Luz y Color*, ETSEIT, 2002
30. Society of Dyers and Colourists Bradford, *Colour Index International*, 3rd Edition, 1999
31. Clariant International AG: *Catálogo técnico de colorantes Solar y Optisal*
32. B.S. 2661: *Standard Depths Matt*