

**CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL
COLOR EN EL FACTOR DE
PROTECCIÓN A LA RADIACIÓN
ULTRAVIOLETA**

4.1. INTRODUCCIÓN

Entre los procesos a los que se someten los artículos textiles, no cabe duda que la coloración de las materias es uno de los más importantes. Este proceso se realiza casi sobre todos los artículos textiles, sea cual sea su origen y sea cual sea su uso final.

Se puede definir la tintura como el proceso durante el cual una materia textil puesta en contacto con la solución o dispersión de un colorante, absorbe a éste de tal forma que el cuerpo teñido tiene alguna resistencia a devolver la materia colorante al baño del cual la absorbió ⁽⁵¹⁾.

El color particular que se percibe en un tejido teñido se fundamenta en la absorción selectiva, por parte de las moléculas del colorante, de la luz blanca 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 ⁽⁵²⁾.

Región de luz absorbida por el colorante		Color percibido
λ (nm)	Color de la luz	
400-430	Violeta-azul	Amarillo
430-470	Azul	Naranja
470-500	Azul-verde	Naranja-rojo
500-540	Verde	Rojo-púrpura
540-570	Amarillo-verde	Púrpura
570-590	Amarillo	Violeta
590-610	Naranja	Azul
610-700	Naranja-rojo	Azul verdoso

Tabla 4.1. Longitudes de onda absorbidas y color observado

En átomos y moléculas los electrones están dispuestos en orbitales alrededor del núcleo. Cuando los electrones más externos de dos átomos forman un “par” estable, el resultado es un enlace químico y la formación de una molécula. En algunas moléculas los electrones no están en un orbital concreto sino que pueden moverse a través de mayores áreas en la superficie de la molécula. Este comportamiento puede dar lugar a estímulos de color.

Los colorantes y pigmentos orgánicos son moléculas basadas en C, O y N. El carbono (igual que el nitrógeno en algunas circunstancias) se une con otros átomos de carbono y forma cadenas con enlaces simples y dobles, alternados. A pesar de que la molécula se representa con enlaces dobles y simples alternados, los electrones que forman los dobles enlaces no están localizados en un lugar específico sino que recorren toda la molécula. Estos enlaces se llaman conjugados y las moléculas que tienen estos tipos de enlaces conjugados se llaman cromóforos ⁽⁵³⁾.



Cuando se habla de colorantes generalmente se asume que la absorción de luz se produce en 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.

Esta parte de la tesis se centra en el estudio de la influencia del color en los valores del UPF de los tejidos. Son varios los parámetros relativos al color que pueden producir una mejora de la protección proporcionada por los tejidos: la familia de colorantes, el tipo de colorante y su estructura química, el matiz de la coloración y su intensidad. Evidentemente, la combinación de todos estos factores da lugar a posibilidades infinitas que este estudio no puede abarcar completamente. Por ello, se ha acotado al estudio de la influencia del matiz de la coloración y su intensidad, utilizando colorantes de una única familia, los colorantes directos y que por su estructura se clasifican dentro del tipo de colorantes azoicos.

Para situar los colorantes utilizados en el presente trabajo experimental, se exponen a continuación las diferentes clasificaciones que se contemplan dentro de la industria química textil. Hay varias formas de clasificar los colorantes. Por ejemplo se pueden clasificar según el tipo de fibra que tiñan (colorantes para algodón, colorantes para nylon, etc.). También se pueden clasificar según su método de aplicación (colorantes directos, colorantes reactivos, colorantes dispersos, etc.). Estas formas de clasificación son muy apropiadas desde el punto de vista tecnológico y de aplicación.

El fenómeno del color radica en la presencia de grupos cromóforos dentro de la molécula del colorante. No es extraño, pues, que una de las formas de clasificación de los diferentes colorantes existentes en el mercado se realice según el tipo de cromóforo utilizado en su producción y, por lo tanto, según su estructura química.

El sistema de clasificación que rápidamente se convirtió en el catálogo de colorantes y pigmentos más internacionalmente aceptado es el Colour Index publicado por la Society of Dyers and Colourists ⁽⁵⁴⁾. El Colour Index es un índice de colorantes que contiene información sobre cada materia colorante incluyendo clase química, constitución del colorante, nombres genéricos y comerciales, fabricantes, fórmulas, características tintóreas, aplicación, propiedades etc.

En el Colour Index se propone una forma de nomenclatura de los colorantes, que será la que se utilizará en esta parte de la tesis:



C.I. (Colour Index) + tipo de colorante según su aplicación (nombre genérico) + matiz + número

Ejemplos: C.I. Acid Blue 87 C.I. Direct Red 1 C.I. Disperse Yellow 23

Los nombres genéricos (Ácido, Directo, etc.) se deben a la clasificación de los colorantes según su forma de aplicación.

El Colour Index propone también dos sistemas de clasificación de los colorantes:

- Según la aplicación del colorante: más adecuada para usuarios que requieren información sobre productos comerciales, propiedades tintóreas, etc.
- Según la constitución del colorante: más adecuada para quienes requieren información sobre estructuras químicas, métodos de síntesis, etc.

Según la aplicación	Según la constitución
Colorantes Ácidos	Nitroso
Colorantes Azoicos	Nitro
Colorantes Básicos	Azo
Colorantes Desarrollables	Azoico
Colorantes Directos	Estilbénico
Colorantes Dispersos	Carotenoide
Blanqueadores ópticos	Difenilmetano
Colorantes Alimentarios	Triarilmetano
Colorantes Ingrain	Xanteno
Colorantes Piel	Acridina
Colorantes Mordentables	Quinolina
Colorantes Naturales	Metina
Bases de oxidación	Tiazol
Pigmentos	Indamina
Colorantes Reactivos	Indofenol
Agentes reductores	Azina
Colorantes Solvent	Oxacina
Colorantes Sulfurosos	Tiazina
Colorantes Tina	Sulfuro
	Lactona
	Aminocetona
	Hidroxicetona
	Antraquinona
	Indigoideo
	Oftalocianina
	Materias colorantes orgánicas naturales
	Bases de oxidación
	Materias colorantes inorgánicas

Tabla 4.2. Clasificación de colorantes según el Colour Index

Las fibras celulósicas, que son las que se estudian en la presente tesis, se pueden teñir con varias familias de colorantes: colorantes directos, colorantes desarrollables y copulables, colorantes azoicos insolubles, colorantes sulfurosos, colorantes tina, colorantes indigsoles, colorantes catiónicos y colorantes reactivos.



Los colorantes directos reciben este nombre porque tiñen la celulosa sin necesidad de mordiente. También se les llama colorantes substantivos porque poseen la propiedad de teñir la fibra y no ser eliminados en un lavado posterior. Dentro de los colorantes directos se pueden encontrar estructuras pertenecientes principalmente a dos familias químicas: los colorantes azo y los colorantes tiazólicos.

- Colorantes azo: se caracterizan por poseer uno o varios grupos cromóforos “azo”. Su estructura es generalmente, del tipo

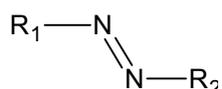


Figura 4.1. Estructura general de los colorantes azo

Donde el radical R_1 contiene grupos aceptantes de electrones (grupos nitro, ciano, etc.), mientras que el radical R_2 contiene grupos donantes de electrones (muy habitualmente grupos hidroxilo y amino).

Los colorantes directos con el grupo azo se subdividen en dos grupos principalmente:

- Derivados de aminas del difenilo, como es el caso del colorante que se presenta en la Figura 4.2.

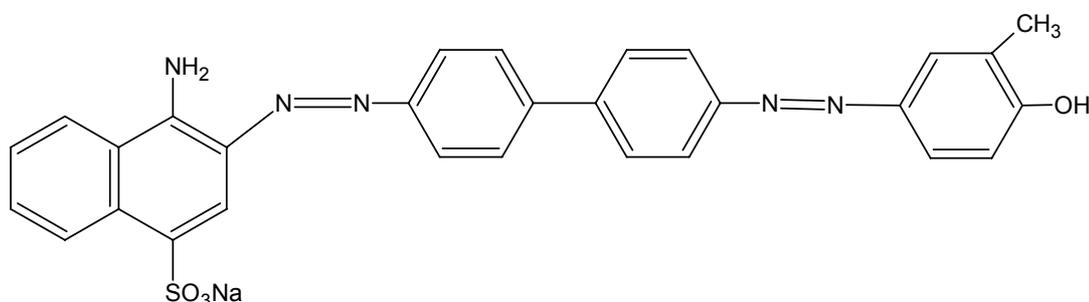


Figura 4.2. Colorante de tipo azoico, derivado de amina del difenilo (C.I. Direct Orange 25)

- Derivados del ácido “J”, como el colorante que se muestra en la Figura 4.3.

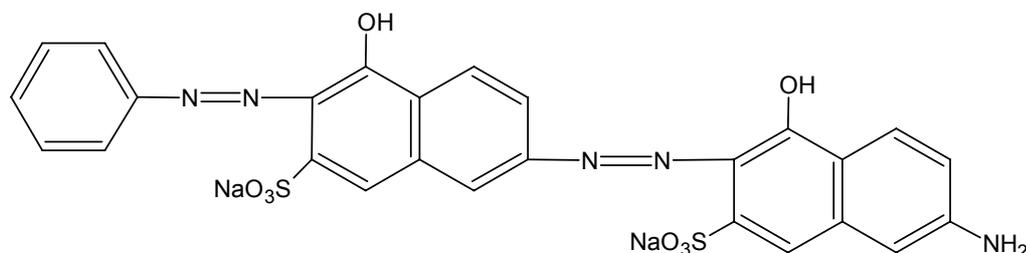


Figura 4.3. Colorante de tipo azoico, derivado del ácido “J” (C.I. Direct Red 16)



- Colorantes tiazólicos: se caracterizan por poseer el anillo tiazólico en su estructura.

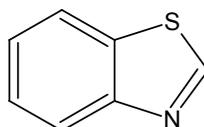


Figura 4.4. Estructura general de los colorantes tiazólicos

Un ejemplo de este tipo de colorantes sería el que se presenta en la Figura 4.5 ⁽⁵¹⁾.

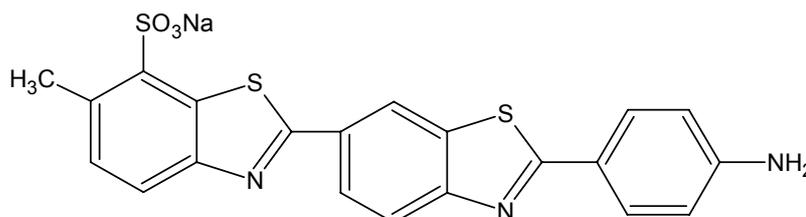


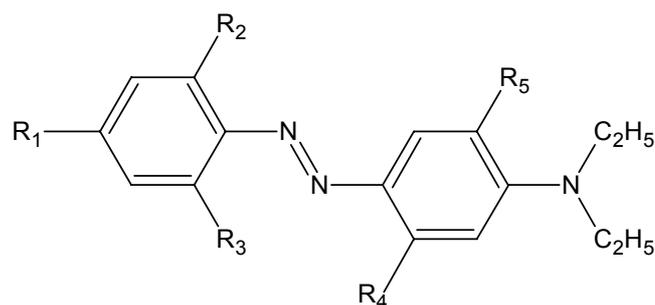
Figura 4.5. Colorante de tipo tiazólico (C.I. Direct Yellow 59)

Como se ha indicado anteriormente, los colorantes de la tricromía utilizada en este estudio son de tipo azo. Estos colorantes son, con diferencia, el grupo más importante desde el punto de vista comercial, se producen en gran escala y se utilizan en muchas áreas de aplicación. Se sintetizan tratando una amina aromática (llamada el componente diazo) con ácido nitroso, en un proceso denominado diazotación y a continuación se hace reaccionar el derivado diazo con un fenol aromático o heteroaromático, con una amina o un grupo metileno activo, proceso que se denomina copulación, para producir el colorante monoazo. Si el colorante monoazo contiene un grupo amino, éste puede ser de nuevo diazotado y copulado para obtener un colorante disazo. El proceso se puede repetir para obtener colorantes triazo, tetrazo, etc.

El cromóforo azo es uno de los que caen dentro del grupo de donantes-aceptantes de electrones. La parte donante de electrones de la molécula contiene grupos como amino y alquilamino, hidroxilo y alcoxi. La parte aceptante de electrones contiene grupos como nitro, ciano, etc. El efecto de los sustituyentes en el color de los colorantes azo es a menudo constante y aditivo, dando lugar a la producción de tablas como la que se muestra en el ejemplo para un colorante monoazo de la Figura 4.6 ⁽⁵²⁾.

Parece lógico pensar que la presencia de grupos sustituyentes puede influir asimismo en la absorción de radiación ultravioleta y éste sería también un tema de interés en relación al efecto que el colorante podría tener sobre el UPF de los tejidos. Este estudio sería muy amplio y sobrepasa el objetivo de esta tesis.





R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	λ _{máx} (nm)	Color
Cl	H	H	H	H	422	Amarillo
CN	H	H	H	H	466	Naranja
NO ₂	H	H	H	H	486	Naranja-rojo
NO ₂	H	H	H	OCH ₃	488	Naranja-rojo
NO ₂	H	H	OCH ₃	H	501	Rojo-púrpura
NO ₂	H	H	NHCOCH ₃	H	511	Rojo-púrpura
NO ₂	H	H	NHCOCH ₃	OCH ₃	530	Rojo-púrpura
NO ₂	NO ₂	H	NHCOCH ₃	H	543	Púrpura
NO ₂	NO ₂	Br	NHCOCH ₃	OCH ₃	608	Azul
NO ₂	NO ₂	CN	NHCOCH ₃	H	613	Azul verdoso
NO ₂	CN	CN	NHCOCH ₃	H	619	Azul verdoso

Figura 4.6. Influencia de la sustitución en el color de los colorantes monoazos

El estudio de la influencia del color sobre la protección contra la radiación ultravioleta proporcionada por tejidos de fibras celulósicas, se ha realizado sobre tejidos escogidos entre los de cada serie correspondiente a las tres fibras estudiadas (Algodón, Modal y Modal Sun). Se han considerado los tejidos adecuados para el estudio ya que permitirán comprobar si la adición de los colorantes es suficiente para que los tejidos proporcionen protección, sin menoscabo de la confortabilidad de las prendas.

Los colorantes elegidos son los colorantes base de una tricromía de colorantes directos azoicos, la formada por los colorantes C.I. Direct Yellow 98, C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89. La elección de los colorantes base de una tricromía se debe a que permitirá dilucidar la influencia del matiz en el factor de protección a la radiación ultravioleta.

Para comprobar el efecto de la intensidad de la coloración sobre el UPF se han efectuado tinturas con cada colorante a diferentes concentraciones.

La valoración del efecto protector proporcionado por la coloración se ha realizado mediante las mediciones de la transmitancia difusa de la radiación ultravioleta, determinando el UPF en cada tejido. Se analiza estadísticamente la influencia del color en los valores del UPF de los tejidos estableciendo las relaciones entre ambos parámetros.



4.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

4.2.1. Materia

El estudio de la influencia del color sobre el UPF de los tejidos se ha llevado a cabo sobre tejidos fabricados a partir de las tres fibras utilizadas en esta tesis: Algodón, Modal y Modal Sun. Con ello, se pretende comparar si el efecto producido por el color es diferente en función de la fibra en estudio. Se han utilizado para este estudio 3 tejidos de cada una de las series descritas en el apartado 2.2.1. que tienen valores bajos de UPF, con el objetivo de determinar si la influencia de color es diferente en función del UPF inicial del tejido antes de la tintura.

Debido a las grandes diferencias obtenidas entre el UPF de los tejidos de cada serie, ha sido imposible escoger 3 tejidos con el mismo UPF inicial para las 3 fibras en estudio. En las series de Algodón y Modal, casi todos los tejidos obtenidos en la primera parte de la tesis han resultado ser no protectores. Para estudiar la influencia del color se han escogido, entre los tejidos disponibles, aquéllos cuyo UPF inicial sea aproximadamente el mínimo, medio y máximo de su serie. En el caso de la serie de Modal Sun los valores de UPF son mucho mayores, pudiéndose clasificar la mayoría de los tejidos como protectores. En este caso, no tendría sentido el estudio de la influencia del color sobre tejidos cuyo UPF ya sea superior al máximo contemplado en la norma para clasificarlo como “excelente protección” (UPF > 40). Por ello, se han escogido 3 tejidos con UPF relativamente bajos, con los que se podrá comprobar si la tintura de los mismos puede aumentar su UPF lo suficiente como para mejorar su rango de clasificación.

En la Tabla 4.3 se expone el UPF inicial de los tejidos escogidos para ser utilizados en el estudio de la influencia del color sobre la protección a la radiación ultravioleta proporcionada por los artículos textiles.

Materia	UPF inicial (UPFi)		
	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
Algodón	4,06 (10)	5,33 (3)	6,66 (18)
Modal	4,72 (1)	11,03 (17)	14,06 (24)
Modal Sun	11,48 (1)	16,63 (4)	26,72 (11)

Tabla 4.3. UPF inicial de las muestras (entre paréntesis referencia de la muestra en la serie)

4.2.2. Colorantes

Como se ha indicado en la introducción del capítulo, para el estudio de la influencia del color sobre el UPF de los tejidos se ha decidido aplicar una tricromía de colorantes de la familia de los directos, que son apropiados para la tintura de las tres fibras en estudio. La utilización de los mismos colorantes para las tres fibras permitirá distinguir las diferencias



que se producen debido a la propia fibra. Se han aplicado colorantes de la gama comercial Directo Solar u Optisal de Clariant. Estos colorantes son apropiados para la tintura por agotamiento de fibras celulósicas y sus mezclas ⁽⁵⁵⁾. La tricromía está formada por los colorantes siguientes:

- El matiz amarillo, se ha obtenido mediante el producto comercial Amarillo Solar 3LG 160%, cuya referencia en el Colour Index es C.I. Direct Yellow 98 ⁽⁵⁴⁾.
- El matiz azul de la coloración, se ha obtenido con el producto comercial Azul Solar 2GLN 370%, cuya referencia en el Colour Index es C.I. Direct Blue 77 ⁽⁵⁴⁾.
- Para obtener el matiz rojo de color se ha utilizado el colorante comercial Escarlata Optisal BL, cuya referencia en el Colour Index es C.I. Direct Red 89 ⁽⁵⁴⁾.

4.2.3. Planificación experimental y fórmula de tintura

Al planificar las experiencias para el estudio de la influencia del color en el UPF de los tejidos se han debido tener en cuenta algunas consideraciones.

- a) El estudio se ha de llevar a cabo sobre cada tipo de tejido (de cada una de las tres fibras) que se analizan por separado. Es decir, se planifica un diseño experimental para cada una de las fibras.
- b) Al utilizar tres colorantes diferentes una posibilidad sería el análisis de cada colorante por separado, partiendo de tres modelos iniciales, independientes para cada colorante. Esta solución, aunque sencilla, presenta un inconveniente. Se obtendrían los coeficientes significativos que relacionarían el UPF con las diferentes variables para cada uno de los colorantes. Pero no se podría deducir si la diferencia entre los coeficientes de los modelos obtenidos para cada colorante es significativa o no.

Por ello se ha decido realizar un análisis estadístico que, aunque es algo más complicado, permite analizar los tres colorantes conjuntamente. Esta solución consiste en introducir el tipo colorante como una variable cualitativa en un único modelo inicial. Para ello se añaden dos variables categóricas con diferentes niveles en función del tipo de colorante. En función de si en el modelo definitivo aparecen o no coeficientes significativos en los términos en los que se incluyen las variables categóricas, se podrá deducir si existen diferencias estadísticamente significativas debidas al uso de uno u otro colorante. Posteriormente, se podrá separar el modelo conjunto para obtener el modelo individual para cada colorante.

- c) Otra consideración se refiere a la intensidad de tintura. Para conseguir diferentes intensidades se varía la concentración inicial de colorante en el baño de tintura. Sin embargo, el utilizar una misma concentración inicial de los tres colorantes no significa que la intensidad que se logre en cada uno de ellos sea equivalente. Por ello, los



resultados de UPF obtenidos no serían comparables. La solución adoptada ha sido el uso de la Intensidad Estándar de Color como variable del sistema en lugar de la concentración de colorante.

La norma B.S. 2661: Standard Depths Matt ⁽⁵⁶⁾, proporciona muestras de tejidos coloreados a diferentes Intensidades Estándar, para varios matices de coloración. Tomando como base uno de los tejidos de Algodón, se han realizado tinturas con los tres colorantes y comparado el color obtenido con las muestras de Intensidad Estándar 1/1 proporcionadas por la norma. Se han realizado las correcciones necesarias hasta encontrar las concentraciones adecuadas de cada colorante. A partir de la concentración adecuada para obtener la Intensidad Estándar 1/1, se han calculado las concentraciones equivalentes a las Intensidades Estándar 1/25, 1/6 y 2/1. Con ello, se consigue tener sobre el tejido una gama de intensidad de coloración equivalente para los tres colores, lo que permite comparar los resultados obtenidos para las diferentes fibras y colorantes.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, en la Tabla 4.4 se exponen las concentraciones de cada colorante necesarias para obtener las cuatro Intensidades Estándar de Color 1/25, 1/6, 1/1 y 2/1, que se han utilizado como variables del sistema.

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

Tabla 4.4. Concentración de colorantes

En resumen, para cada fibra 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 para cada una de las fibras.

En la Tabla 4.5 se exponen las 36 tinturas y sus correspondientes fórmulas. La fórmula de tintura para cada una de las experiencias es la misma para todas las fibras (Algodón, Modal y Modal Sun) y se expone en la siguiente tabla:



Características de la muestra		Concentración de colorante (% s.p.f.)	Concentración de Sulfato de Sodio (g/l)	Relación de baño	
C.I. Direct Yellow 98	UPF bajo	IE 1/25	0,03	3	1/20
		IE 1/6	0,14	6	1/20
		IE 1/1	0,80	6	1/20
		IE 2/1	1,60	9	1/20
	UPF medio	IE 1/25	0,03	3	1/20
		IE 1/6	0,14	6	1/20
		IE 1/1	0,80	6	1/20
		IE 2/1	1,60	9	1/20
	UPF alto	IE 1/25	0,03	3	1/20
		IE 1/6	0,14	6	1/20
		IE 1/1	0,80	6	1/20
		IE 2/1	1,60	9	1/20
C.I. Direct Blue 77	UPF bajo	IE 1/25	0,05	6	1/20
		IE 1/6	0,20	9	1/20
		IE 1/1	1,20	12	1/20
		IE 2/1	2,40	15	1/20
	UPF medio	IE 1/25	0,05	6	1/20
		IE 1/6	0,20	9	1/20
		IE 1/1	1,20	12	1/20
		IE 2/1	2,40	15	1/20
	UPF alto	IE 1/25	0,05	6	1/20
		IE 1/6	0,20	9	1/20
		IE 1/1	1,20	12	1/20
		IE 2/1	2,40	15	1/20
C.I. Direct Red 89	UPF bajo	IE 1/25	0,07	3	1/20
		IE 1/6	0,28	3	1/20
		IE 1/1	1,70	9	1/20
		IE 2/1	3,40	12	1/20
	UPF medio	IE 1/25	0,07	3	1/20
		IE 1/6	0,28	3	1/20
		IE 1/1	1,70	9	1/20
		IE 2/1	3,40	12	1/20
	UPF alto	IE 1/25	0,07	3	1/20
		IE 1/6	0,28	3	1/20
		IE 1/1	1,70	9	1/20
		IE 2/1	3,40	12	1/20

Tabla 4.5. Fórmulas de tintura



- d) Una última consideración se refiere al diferente comportamiento tintóreo de cada una de las fibras. Se ha constatado que existen diferencias perceptibles en el agotamiento de un mismo colorante cuando se tiñen las diferentes fibras. Por otra parte, aún en una misma fibra, no todo el colorante inicial en el baño se ha agotado en todas las tinturas. Por tanto, si se relacionara el valor de UPF con la Intensidad Estándar “teórica” se cometería un error. Para subsanar este problema se ha decidido 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:

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

El colorante necesario para obtener una Intensidad Estándar de Color 1/1 es diferente para cada colorante, según se expuso en la Tabla 4.4.

El colorante real sobre la fibra se calcula a partir de la concentración inicial de colorante en el baño de tintura y la concentración final en el baño residual de la tintura, según el método descrito en el apartado 8.4. del Capítulo 8 de la tesis.

A modo de resumen de las variables y niveles de las variables que se utilizarán en el análisis estadístico, se presenta la Tabla 4.6. Para cada serie de tejidos de diferente fibra y para cada colorante utilizado, el sistema consta de una primera variable, el UPF inicial de los tejidos (UPFi) con 3 niveles diferentes, y una segunda variable, la Intensidad Estándar de Color corregida en función del agotamiento real de colorante (IEC) con 5 niveles diferentes, al incluirse los 4 tejidos teñidos y el tejido no teñido.



Muestra n°	Características de la muestra			Algodón		Modal		Modal Sun	
				UPFi _a	IEC _a	UPFi _m	IEC _m	UPFi _{ms}	IEC _{ms}
1	No teñido	UPFi bajo	IE 0	4,06	0,0000	11,48	0,0000	11,48	0,0000
2	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/25	4,06	0,0353	11,48	0,0373	11,48	0,0368
3	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/6	4,06	0,1658	11,48	0,1651	11,48	0,1641
4	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/1	4,06	0,9434	11,48	0,7477	11,48	0,8595
5	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 2/1	4,06	1,8732	11,48	1,3752	11,48	1,5678
6	No teñido	UPFi medio	IE 0	5,33	0,0000	16,63	0,0000	16,63	0,0000
7	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/25	5,33	0,0350	16,63	0,0373	16,63	0,0358
8	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/6	5,33	0,1675	16,63	0,1651	16,63	0,1634
9	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/1	5,33	0,9657	16,63	0,7477	16,63	0,8473
10	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 2/1	5,33	1,9308	16,63	1,3752	16,63	1,4992
11	No teñido	UPFi alto	IE 0	6,66	0,0000	26,72	0,0000	26,72	0,0000
12	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/25	6,66	0,0354	26,72	0,0373	26,72	0,0369
13	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/6	6,66	0,1649	26,72	0,1651	26,72	0,1661
14	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/1	6,66	0,9294	26,72	0,7477	26,72	0,8873
15	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 2/1	6,66	1,8128	26,72	1,3752	26,72	1,5839
16	No teñido	UPFi bajo	IE 0	4,06	0,0000	11,48	0,0000	11,48	0,0000
17	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/25	4,06	0,0422	11,48	0,0408	11,48	0,0418
18	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/6	4,06	0,1642	11,48	0,1589	11,48	0,1612
19	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/1	4,06	0,9097	11,48	0,9319	11,48	0,9764
20	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 2/1	4,06	1,7532	11,48	1,7283	11,48	1,9091
21	No teñido	UPFi medio	IE 0	5,33	0,0000	16,63	0,0000	16,63	0,0000
22	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/25	5,33	0,0422	16,63	0,0408	16,63	0,0412
23	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/6	5,33	0,1650	16,63	0,1589	16,63	0,1598
24	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/1	5,33	0,9110	16,63	0,9319	16,63	0,9864
25	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 2/1	5,33	1,7636	16,63	1,7283	16,63	1,9305
26	No teñido	UPFi alto	IE 0	6,66	0,0000	26,72	0,0000	26,72	0,0000
27	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/25	6,66	0,0422	26,72	0,0408	26,72	0,0429
28	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/6	6,66	0,1632	26,72	0,1589	26,72	0,1630
29	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/1	6,66	0,9089	26,72	0,9319	26,72	0,9477
30	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 2/1	6,66	1,7435	26,72	1,7283	26,72	1,8544
31	No teñido	UPFi bajo	IE 0	4,06	0,0000	11,48	0,0000	11,48	0,0000
32	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/25	4,06	0,0324	11,48	0,0408	11,48	0,0385
33	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/6	4,06	0,1594	11,48	0,1506	11,48	0,1518
34	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/1	4,06	0,9223	11,48	0,8078	11,48	0,8067
35	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 2/1	4,06	1,6941	11,48	1,3920	11,48	1,4455
36	No teñido	UPFi medio	IE 0	5,33	0,0000	16,63	0,0000	16,63	0,0000
37	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/25	5,33	0,0329	16,63	0,0408	16,63	0,0413
38	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/6	5,33	0,1618	16,63	0,1506	16,63	0,1507
39	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/1	5,33	0,9340	16,63	0,8078	16,63	0,7920
40	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 2/1	5,33	1,7218	16,63	1,3920	16,63	1,3802
41	No teñido	UPFi alto	IE 0	6,66	0,0000	26,72	0,0000	26,72	0,0000
42	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/25	6,66	0,0382	26,72	0,0408	26,72	0,0380
43	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/6	6,66	0,1546	26,72	0,1506	26,72	0,1516
44	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/1	6,66	0,9038	26,72	0,8078	26,72	0,8410
45	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 2/1	6,66	1,6253	26,72	1,3920	26,72	1,5757

Tabla 4.6. Variables y niveles del análisis estadístico (Influencia del color)



4.2.4. Proceso de tintura

El proceso de tintura es el convencional por agotamiento: subida de temperatura desde 40°C hasta 100°C, adición de sulfato de sodio, tiempo de tintura de 60 minutos a la temperatura máxima y enfriamiento del baño. Las tinturas se han realizado en un aparato de laboratorio Linitest.

El esquema del proceso se muestra en la Figura 4.7.

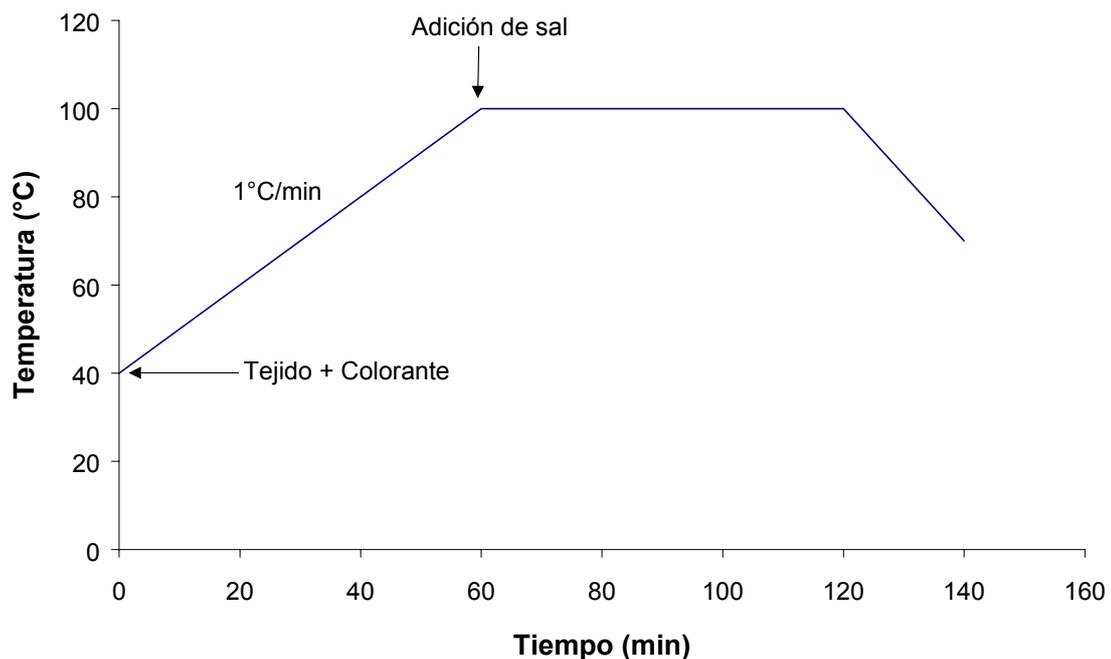


Figura 4.7. Proceso de tintura

4.2.5. Parámetros determinados

Se han determinado los siguientes parámetros, en los tejidos no teñidos y teñidos de cada serie de Algodón, Modal y Modal Sun:

1. Espectros de absorción en el ultravioleta-visible de los baños de tintura
2. Espectros de transmisión de radiación ultravioleta a través de los tejidos
3. Factor de Protección a la Radiación Ultravioleta de los tejidos

La descripción de las normas empleadas y métodos operativos para la evaluación de los parámetros determinados puede consultarse en el Capítulo 8 de la tesis.



4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se exponen los resultados obtenidos en la parte de la tesis dedicada al estudio de la influencia del color del tejido sobre el factor de protección a la radiación ultravioleta UPF que proporcionará dicho tejido. Se estudia la respuesta UPF del tejido en función de la Intensidad Estándar de color Corregida que, como ya se expuso en el apartado 4.2.3., proporciona niveles comparables de la intensidad de tintura entre todos los colorantes utilizados.

En el apartado 4.3.1.1 se exponen los resultados obtenidos en las medidas de los tejidos teñidos a las diferentes intensidades de coloración. Se analizan las diferencias entre los espectros de transmisión en el ultravioleta y entre el UPF de los tejidos. A continuación, en el apartado 4.3.1.2, se presenta el estudio estadístico de los resultados y se obtienen los modelos estadísticos que relacionan el UPF con la Intensidad Estándar Corregida. Se analizan las diferencias entre los colorantes utilizados, así como entre las tres fibras que se han estudiado.

4.3.1. Estudio de la Respuesta UPF del tejido en función de la Intensidad Estándar de color corregida

4.3.1.1. Resultados en la determinación de los parámetros

4.3.1.1.1. Espectros de absorción en el ultravioleta-visible de las disoluciones de colorante

La Figura 4.8 muestra los espectros de absorción de disoluciones de concentración 0,2 g/l de los tres colorantes C.I. Direct Yellow 98, C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89 en las regiones visible (400-700 nm) y ultravioleta (190-400 nm) del espectro electromagnético.

En la zona del espectro visible se pueden distinguir los máximos de absorción correspondientes a cada coloración, localizados en las longitudes de onda correspondientes a cada uno de los colores. Para el colorante C.I. Direct Yellow 98 la longitud de onda de máxima absorción se sitúa en 415 nm, para el colorante C.I. Direct Blue 77 en 596 nm y para el colorante C.I. Direct Red en 495 nm.

En la zona del espectro ultravioleta, la figura muestra que existe una absorción similar entre los tres colorantes en las longitudes de onda bajas del ultravioleta, correspondientes a la radiación UVC (190 – 290 nm). Esta absorción no tiene ninguna influencia en el valor del UPF de un tejido, ya que su fórmula de cálculo únicamente incluye la radiación en las zonas UVB y UVA, debido a que la radiación solar correspondiente a la región UVC no afecta a la piel al ser filtrada por la atmósfera y no llegar a la superficie de la Tierra. Por ello, lo realmente relevante para el estudio que se



ha realizado es el análisis de la absorción que presentan los colorantes en la zona UVA (315 – 400 nm) y, aún más especialmente, en la zona UVB (290 – 315 nm) que es la más perjudicial para la piel.

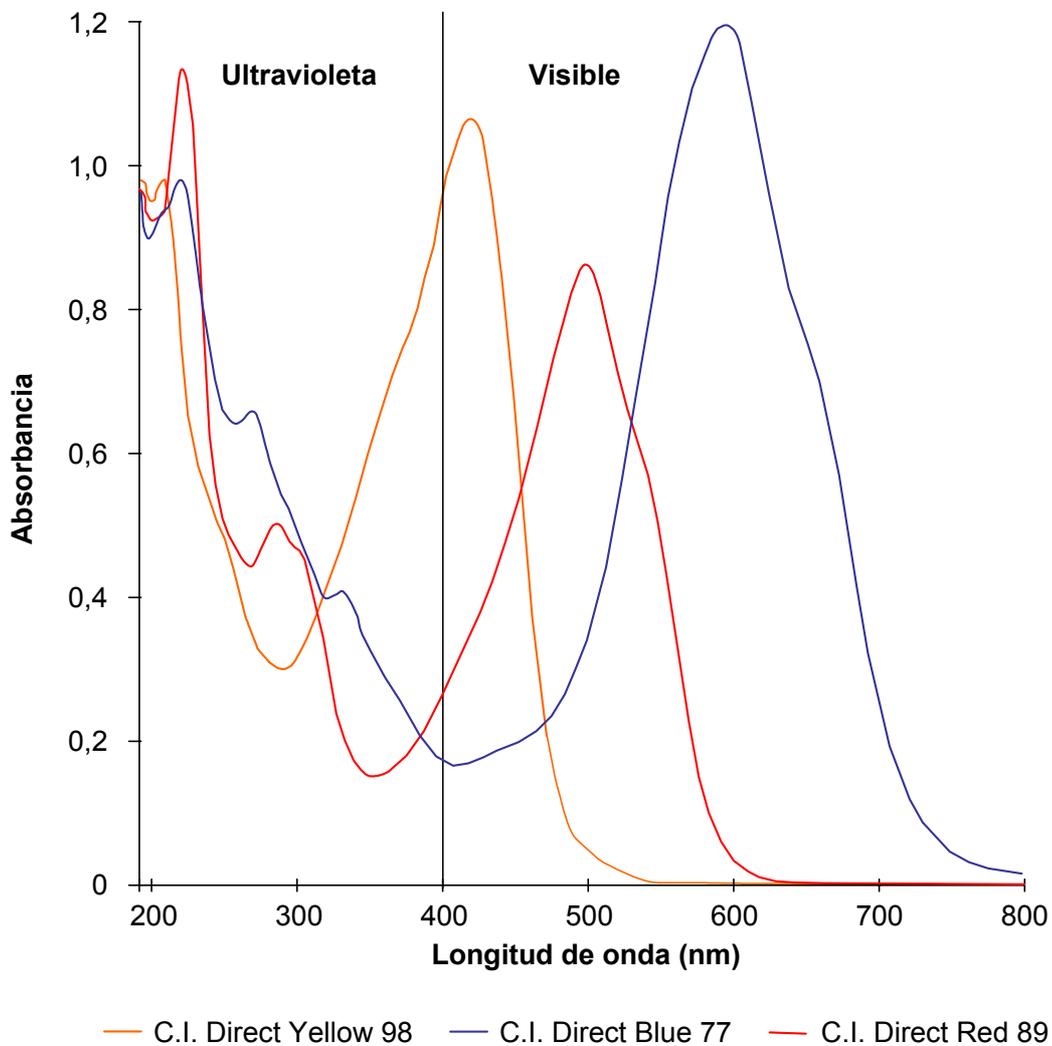


Figura 4.8. Espectros de absorción en el ultravioleta y visible

Para el colorante C.I. Direct Yellow 98 se observa que la absorbancia a 290 nm es de 0,30 y se va incrementando hasta un máximo de 1,06 a 400 nm. En el límite entre las regiones UVA y UVB (315 nm) la absorbancia es del 0,32. La disolución de este colorante absorbe una mayor cantidad de radiación a medida que crece la longitud de onda, es decir, absorbe mayor cantidad de radiación UVA que de radiación UVB.

El colorante C.I. Direct Blue 77, en cambio, presenta una mayor absorbancia en las zonas del UVB con un valor de 0,53 a 290 nm que va decreciendo hasta 0,17 en el límite entre la región ultravioleta y visible a 400 nm. A 315 nm (límite entre zonas UVA y UVB) la absorbancia es del 0,4. Por lo tanto, este colorante parece a priori una mejor elección que el colorante C.I. Direct Yellow 98 para intentar mejorar la protección proporcionada por



los tejidos, ya que absorbe más cantidad de radiación ultravioleta en la zona del UVB más perjudicial para la piel humana y que más incidencia tiene en la fórmula de cálculo del UPF.

El colorante C.I. Direct Red 89, en el inicio de la zona UVB (290 nm) tiene una absorbancia de 0,48 que decrece hasta un mínimo de 0,15 a 350 nm, longitud de onda a partir de la cual se incrementa hasta llegar a 0,26 a 400 nm. Este colorante también absorbe una mayor cantidad de radiación UVB que de radiación UVA por lo que igualmente se puede estimar a priori que será más adecuado que el colorante C.I. Direct Yellow 98 para intentar mejorar el UPF de los tejidos, si bien sus absorbancias son algo menores que las obtenidas para el colorante C.I. Direct Blue 77.

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

4.3.1.1.2.1. Tejidos de Algodón

La Figura 4.9 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Algodón no teñidos utilizados en esta parte de la tesis (tejidos con UPF inicial bajo, medio y alto), así como los espectros de dichos tejidos teñidos en las diferentes intensidades estándar con los tres colorantes aplicados.

Se puede observar que los tejidos de Algodón no teñidos presentan una curva característica de transmitancia siempre creciente y sin inflexiones. Las transmitancias van aproximadamente del 19% a 290 nm hasta el 34% a 400 nm, en el caso del tejido con UPF inicial bajo, y disminuyen a medida que aumenta la compacidad de los tejidos (y, por lo tanto, su UPF inicial), situándose entre el 15 y 25% para el tejido con UPF inicial medio y entre el 10 y 23% para el tejido con UPF inicial alto.

La adición de cualquiera de los colorantes estudiados a cualquiera de las intensidades de tintura hace disminuir las transmitancias en todas las longitudes de onda del espectro ultravioleta, y varía la forma de la curva característica de los tejidos de Algodón. Es decir, el efecto sobre la transmisión producido por la fibra se combina con el efecto producido por la absorción de radiación propia del colorante.

El colorante C.I. Direct Yellow 98 hace disminuir en mayor grado la transmitancia en la zona del UVA, mientras que en la zona del UVB la diferencia de transmisión entre las curvas de los tejidos teñidos y no teñidos es menor. Estos resultados coinciden con las apreciaciones observadas en el espectro de absorción de la disolución de este colorante, en el que se observa una menor absorbancia en la zona del UVB que va creciendo en la zona del UVA.



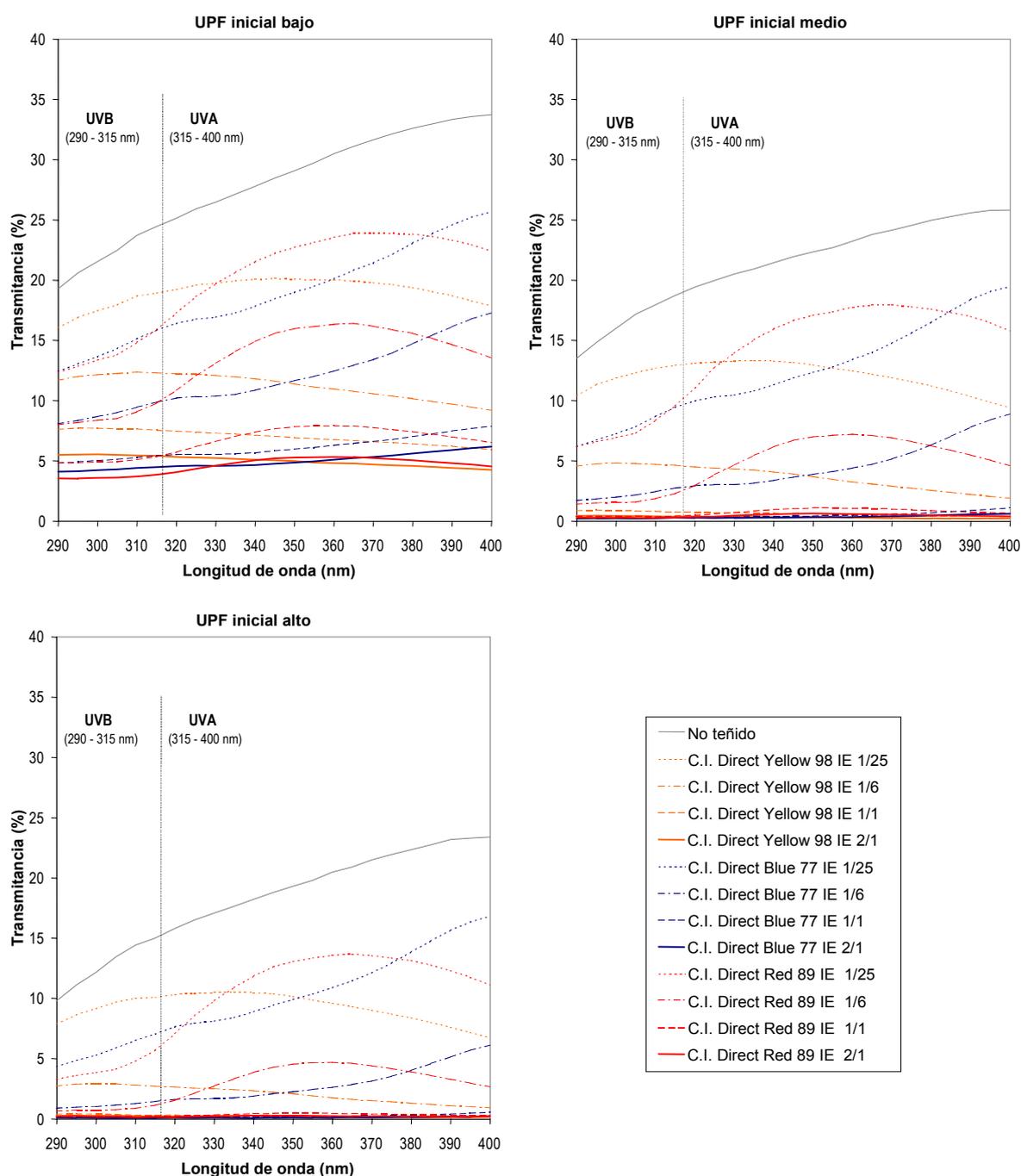


Figura 4.9. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Algodón teñidos

La aplicación del colorante C.I. Direct Blue 77 provoca una mayor disminución de la transmitancia en la zona del UVB y el efecto va haciéndose menor a medida que aumenta la longitud de onda, de forma que las curvas son continuamente de transmisión creciente. También coincide con los resultados observados en el espectro de absorción de este colorante, con una absorbancia mayor en la zona del UVB y que va decreciendo hasta los 400 nm.



El colorante C.I. Direct Red 89 provoca una mayor disminución de transmitancia a los 290 nm haciéndose menor el efecto hasta los 350 – 360 nm, para luego volver a disminuir en mayor grado hasta los 400 nm. Esto provoca una ondulación de las curvas con un máximo a 350 – 360 nm, que coincide con la zona de mínima absorción del colorante observada en su espectro de absorción.

En todos los casos, se produce una mayor diferencia en las formas de las curvas de transmisión correspondientes a cada colorante cuando las intensidades de tintura son bajas (IE 1/25 y IE 1/6) y cuando es bajo asimismo el UPF inicial del tejido. A medida que aumenta la intensidad de la tintura, las curvas de transmitancia de los tejidos teñidos se van haciendo más planas, obteniéndose parecidas transmitancias medias en UVA y UVB. El mismo efecto produce el aumento del UPF inicial del tejido.

Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 4.7.

En la mayoría de los tejidos teñidos se consigue una disminución de la transmisión media T_{UVR} hasta valores inferiores al 6,7% que, según, la norma AS/NZ 4399:1996, es la transmisión orientativa mínima para que el tejido se pueda considerar protector. También se consiguen en muchos casos transmisiones inferiores al 4,1% (muy buena protección) y al 2,5% (excelente protección). Es decir, la adición de colorantes se muestra un medio muy efectivo para aumentar el UPF de los tejidos.

En el efecto producido por los diferentes colorantes se puede observar alguna diferencia. Mientras que en la transmisión UVR media las diferencias entre los tres colorantes son muy pequeñas, se producen variaciones más importantes cuando se observan las transmisiones medias en el UVA y en el UVB. El colorante C.I. Direct Yellow 98 produce un menor bloqueo en la transmisión UVB que en la UVA, a diferencia de los otros dos colorantes, C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89. Las transmisiones medias en el UVB de los tejidos teñidos con estos últimos colorantes son notablemente menores, por lo que se puede estimar que serán más eficaces para mejorar el UPF de los tejidos.



Muestra nº	Características de la muestra			T _{UVA} media (315 - 400 nm)	T _{UVB} media (290 - 315 nm)	T _{UVR} media (290 - 400 nm)
1	No teñido	UPFi bajo	IE 0	29,76	22,01	27,97
2	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/25	20,15	18,32	19,70
3	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/6	10,82	11,94	11,06
4	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/1	6,99	7,87	7,19
5	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 2/1	4,74	5,35	4,88
6	No teñido	UPFi medio	IE 0	22,84	16,36	21,33
7	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/25	12,23	12,01	12,14
8	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/6	3,37	4,73	3,67
9	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/1	0,54	0,81	0,60
10	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 2/1	0,31	0,44	0,34
11	No teñido	UPFi alto	IE 0	19,89	12,66	18,21
12	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/25	9,17	9,19	9,14
13	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/6	1,78	2,75	2,00
14	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/1	0,27	0,40	0,30
15	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 2/1	0,20	0,27	0,22
16	No teñido	UPFi bajo	IE 0	29,76	22,01	27,97
17	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/25	20,26	14,17	18,86
18	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/6	13,16	9,24	12,27
19	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/1	6,52	5,25	6,23
20	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 2/1	4,86	4,03	4,67
21	No teñido	UPFi medio	IE 0	22,84	16,36	21,33
22	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/25	13,82	7,76	12,42
23	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/6	4,96	2,17	4,32
24	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/1	0,56	0,29	0,50
25	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 2/1	0,38	0,24	0,35
26	No teñido	UPFi alto	IE 0	19,89	12,66	18,21
27	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/25	11,09	5,58	9,83
28	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/6	3,02	1,13	2,59
29	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/1	0,27	0,15	0,24
30	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 2/1	0,15	0,10	0,14
31	No teñido	UPFi bajo	IE 0	29,76	22,01	27,97
32	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/25	21,97	13,89	20,12
33	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/6	14,40	8,71	13,11
34	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/1	7,06	4,97	6,59
35	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 2/1	4,88	3,65	4,60
36	No teñido	UPFi medio	IE 0	22,84	16,36	21,33
37	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/25	15,65	7,40	13,77
38	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/6	5,61	1,71	4,74
39	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/1	0,86	0,41	0,76
40	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 2/1	0,47	0,29	0,43
41	No teñido	UPFi alto	IE 0	19,89	12,66	18,21
42	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/25	11,40	4,14	9,76
43	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/6	3,47	0,84	2,88
44	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/1	0,36	0,22	0,33
45	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 2/1	0,23	0,19	0,22

Tabla 4.7. Transmisiones medias de los tejidos de algodón teñidos



4.3.1.1.2.2. Tejidos de Modal

La Figura 4.10 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Modal no teñidos utilizados en esta parte del proyecto de investigación (tejidos con UPF inicial bajo, medio y alto), así como los espectros de dichos tejidos teñidos a las diferentes intensidades estándar con los tres colorantes analizados.

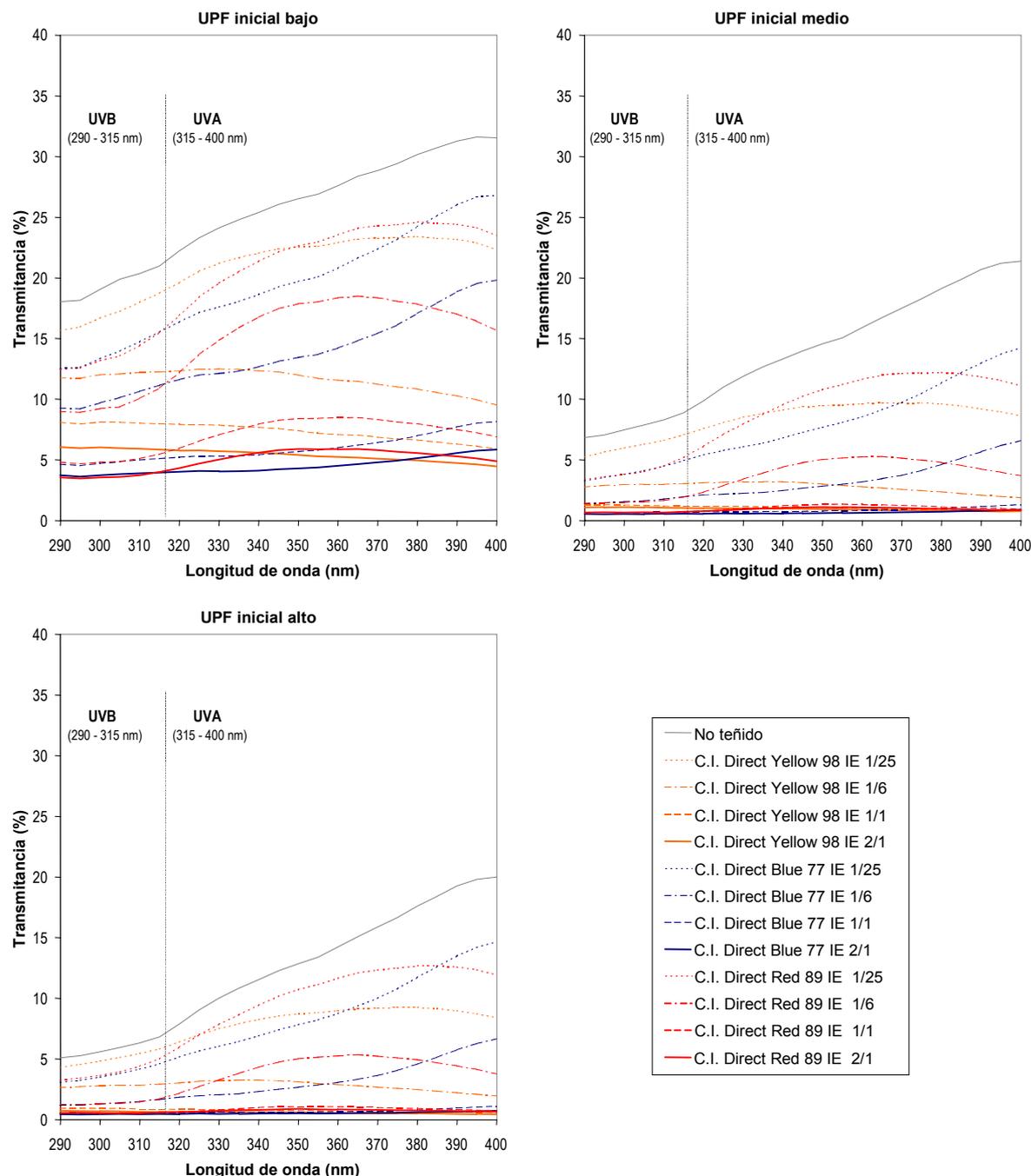


Figura 4.10. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal teñidos

La figura muestra que los tejidos de Modal no teñidos presentan una curva característica de transmitancia siempre creciente, similar a la obtenida para los tejidos de Algodón,



aunque con mayor pendiente y con valores ligeramente más bajos. Las transmitancias van aproximadamente del 18% a 290 nm hasta el 32% a 400 nm, en el caso del tejido con UPF inicial bajo, y disminuyen a medida que aumenta el UPF inicial del tejido (y, por lo tanto, su compacidad), situándose entre el 7 y 21% para el tejido con UPF inicial medio y entre el 5 y 20% para el tejido con UPF inicial alto.

El efecto producido por la aplicación de los diferentes colorantes sobre los tejidos de Modal es equiparable al obtenido sobre los tejidos de Algodón, si bien la disminución en los valores de transmitancia de los tejidos teñidos con respecto a los no teñidos, en general, es menor en el caso de los tejidos de Modal. Es decir, la adición de colorantes es un medio muy efectivo para aumentar el bloqueo de la radiación ultravioleta de los tejidos de Modal, aunque se muestra menos efectivo que en el caso de los tejidos de Algodón.

Para todos los colorantes, se produce una mayor diferencia entre las curvas de transmisión de los tejidos teñidos y las curvas de transmisión del tejido no teñido correspondiente, cuando las intensidades de tintura son bajas (IE 1/25 y IE 1/6) y cuando también es bajo el UPF inicial del tejido. A medida que aumenta la intensidad de la tintura y/o el UPF inicial del tejido, las curvas de transmitancia de los tejidos teñidos se van haciendo más horizontales, obteniéndose parecidas transmitancias medias en UVA y UVB.

Los tejidos teñidos con el colorante C.I. Direct Yellow 98 presentan una curva de transmisión con una mayor distancia a la curva del tejido no teñido a medida que aumenta la longitud de onda. Es decir, la aplicación de este colorante hace disminuir en mayor grado la transmitancia en la zona del UVA, mientras que en la zona del UVB la diferencia de transmisión entre las curvas de los tejidos teñidos y no teñidos es menor.

La adición del colorante C.I. Direct Blue 77 a los tejidos de Modal provoca una disminución más o menos similar en todas las longitudes de onda de la radiación ultravioleta, presentando curvas de transmitancia bastante paralelas a las del tejido original cuando las intensidades de tintura y el UPF inicial del tejido son bajos.

El colorante C.I. Direct Red 89 provoca una mayor disminución de transmitancia a los 290 nm, haciéndose menor su efecto hasta los 350 – 360 nm, para luego volver a disminuir en mayor grado hasta los 400 nm. Es decir, se produce una ondulación de las curvas, más apreciable cuando las intensidades de tintura y el UPF inicial del tejido son bajos, con un máximo a 350 – 360 nm que coincide con la zona de mínima absorción del colorante observada en su espectro de absorción.

Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 4.8.



Muestra nº	Características de la muestra			T _{UVA} media (315 - 400 nm)	T _{UVB} media (290 - 315 nm)	T _{UVR} media (290 - 400 nm)
1	No teñido	UPFi bajo	IE 0	27,21	19,42	25,45
2	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/25	22,10	17,06	20,93
3	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/6	11,52	12,05	11,62
4	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/1	7,20	8,12	7,41
5	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 2/1	5,07	5,76	5,23
6	No teñido	UPFi medio	IE 0	15,66	7,73	13,89
7	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/25	8,89	6,04	8,23
8	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/6	2,68	2,93	2,73
9	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/1	1,04	1,29	1,10
10	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 2/1	0,89	1,07	0,93
11	No teñido	UPFi alto	IE 0	13,97	5,84	12,16
12	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/25	8,30	4,98	7,54
13	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/6	2,79	2,79	2,79
14	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/1	0,72	0,90	0,76
15	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 2/1	0,54	0,66	0,56
16	No teñido	UPFi bajo	IE 0	27,21	19,42	25,45
17	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/25	21,14	13,87	19,48
18	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/6	14,70	9,96	13,62
19	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/1	6,08	4,67	5,76
20	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 2/1	4,63	3,77	4,44
21	No teñido	UPFi medio	IE 0	15,66	7,73	13,89
22	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/25	9,04	4,06	7,91
23	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/6	3,57	1,64	3,14
24	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/1	0,90	0,67	0,84
25	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 2/1	0,69	0,57	0,66
26	No teñido	UPFi alto	IE 0	13,97	5,84	12,16
27	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/25	9,05	3,69	7,84
28	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/6	3,56	1,41	3,08
29	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/1	0,70	0,51	0,66
30	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 2/1	0,55	0,45	0,52
31	No teñido	UPFi bajo	IE 0	27,21	19,42	25,45
32	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/25	22,30	13,89	20,39
33	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/6	16,06	9,28	14,53
34	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/1	7,50	4,87	6,90
35	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 2/1	5,45	3,74	5,06
36	No teñido	UPFi medio	IE 0	15,66	7,73	13,89
37	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/25	10,25	4,12	8,87
38	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/6	4,16	1,57	3,58
39	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/1	1,18	0,72	1,08
40	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 2/1	0,94	0,67	0,88
41	No teñido	UPFi alto	IE 0	13,97	5,84	12,16
42	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/25	10,30	3,92	8,87
43	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/6	4,27	1,40	3,63
44	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/1	0,90	0,54	0,82
45	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 2/1	0,76	0,56	0,71

Tabla 4.8. Transmisiones medias de los tejidos de Modal teñidos



La tabla muestra que se produce una disminución en el valor de las transmisiones medias al aplicar un colorante sobre los tejidos fabricados con la fibra de Modal, si bien los valores son algo más altos que los obtenidos para los tejidos de Algodón. También para esta fibra, las transmisiones disminuyen al aumentar la intensidad de tintura con todos los colorantes y al aumentar el UPF inicial del tejido y se produce un efecto sinérgico de estas dos variables que hace que el bloqueo de la radiación se acelere al aumentar intensidad de tintura y UPF inicial a la vez.

En muchos casos mediante la tintura de los tejidos se consigue una disminución de las transmisiones medias T_{UVR} hasta valores inferiores al 6,7%. Asimismo, se consiguen transmisiones inferiores al 4,1% y al 2,5%. Estos valores son los señalados por la norma australiano / neocelandesa como los mínimos orientativos para conseguir tejidos con buena protección, muy buena protección y excelente protección, respectivamente.

Al igual que se indicó para los tejidos de Algodón, la transmisión UVR media de los tejidos teñidos con los tres colorantes presenta valores bastante similares. En cambio, se producen variaciones más importantes en el efecto producido por cada colorante cuando se analizan las transmisiones medias en el UVA y en el UVB. El colorante C.I. Direct Yellow 98 hace disminuir más notablemente la transmisión en el UVA a medida que aumenta la intensidad de coloración, llegando a presentar en algunas muestras teñidas menor transmisión en el UVA que en el UVB. En cambio, los otros dos colorantes, C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89, presentan siempre una mayor transmisión en el UVA que en el UVB.

4.3.1.1.2.3. Tejidos de Modal Sun

La Figura 4.11 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Modal Sun no teñidos utilizados en esta parte del trabajo experimental (tejidos con UPF inicial bajo, medio y alto), así como los espectros de dichos tejidos teñidos con los tres colorantes analizados a las diferentes intensidades estándar.



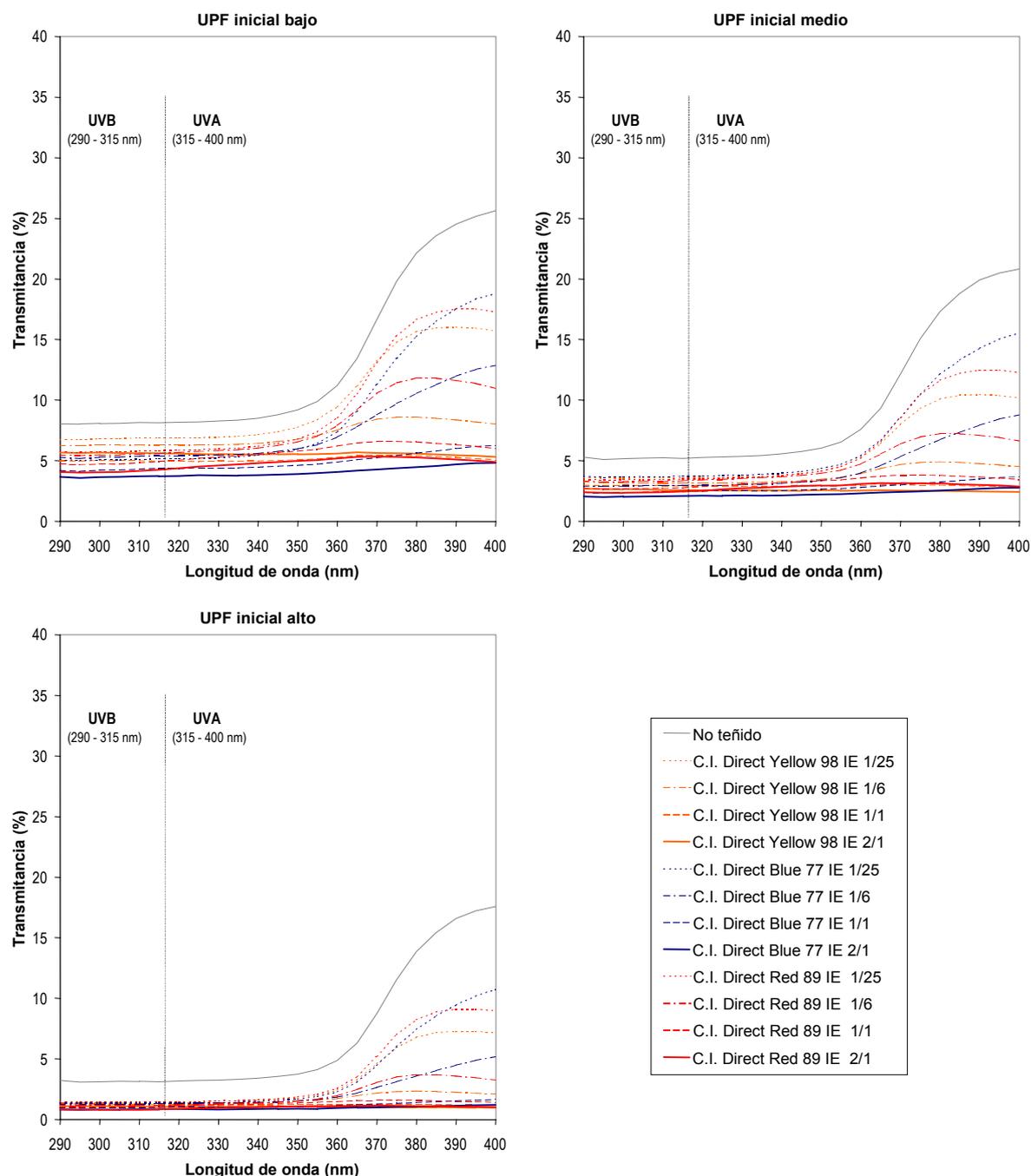


Figura 4.11. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal Sun teñidos

La figura muestra que los tejidos de Modal Sun no teñidos presentan una curva característica de transmitancia de forma casi plana hasta una longitud de onda de 350 – 360 nm, punto de inflexión a partir del cual la transmisión aumenta rápidamente. Esta curva característica es muy diferente de las obtenidas para Algodón y Modal, e indica que la fibra de Modal Sun bloquea una mayor proporción de radiación ultravioleta en la zona UVB y en longitudes de onda bajas del UVA en comparación con las otras fibras estudiadas. Las transmitancias van aproximadamente del 8% a 290 nm hasta el 26% a 400 nm, en el caso del tejido con UPF inicial bajo, y disminuyen a medida que aumenta la



compacidad de los tejidos (y, por lo tanto, su UPF inicial), situándose entre el 5 y 20% para el tejido con UPF inicial medio y entre el 3 y 17% para el tejido con UPF inicial alto.

El efecto producido por la adición de los colorantes sobre los tejidos de Modal Sun es menos evidente que el producido sobre los tejidos de Algodón y Modal, aunque igualmente se produce una disminución de la transmitancia a todas las longitudes de onda del espectro ultravioleta cuando se aplica cualquiera de los colorantes estudiados a cualquiera de las intensidades de color.

Para la serie de Modal Sun es más difícil apreciar diferencias entre las formas de las curvas de transmisión correspondientes a los tejidos teñidos con cada uno de los diferentes colorantes. Hasta 350 – 360 nm de longitud de onda el efecto bloqueador de la propia fibra es muy importante y enmascara las posibles diferencias en la forma de las curvas producidas por la mayor o menor absorción de radiación de cada colorante en cada longitud de onda de dicho intervalo. Sí que se puede apreciar que la transmisión es mayor, en general, para el colorante C.I. Direct Yellow 98, seguido del colorante C.I. Direct Red 89 y del C.I. Direct Blue 77. También se observa que la transmisión es menor a medida que aumenta la intensidad de tintura con todos los colorantes.

En las longitudes de onda altas de la zona UVA la fibra absorbe menos cantidad de radiación ultravioleta y permite observar una inflexión en las curvas que se va suavizando a medida que aumenta la intensidad de color. En esta pequeña zona entre 360 y 400 nm, se pueden apreciar las diferencias en la forma de las curvas de transmitancia debidas a la adición de cada colorante. El colorante C.I. Direct Yellow 98 y C.I. Direct Red 89 presentan un máximo de transmitancia que disminuye a medida que aumenta la longitud de onda hasta la zona visible del espectro. Este comportamiento coincide con la observación de los espectros de absorción de estos colorantes que, entre 360 y 400 nm, absorben una radiación creciente a medida que aumenta la longitud de onda. En cambio, el colorante C.I. Direct Blue 77 presenta una curva siempre creciente, comportamiento que también está en consonancia con lo observado en el espectro de absorción de dicho colorante, con una absorción siempre decreciente en la zona UVA.

Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, de los tejidos de Modal Sun no teñidos y teñidos con los tres colorantes a las diferentes intensidades estándar de tintura, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 4.9.



Muestra nº	Características de la muestra			T _{UVA} media (315 - 400 nm)	T _{UVB} media (290 - 315 nm)	T _{UVR} media (290 - 400 nm)
1	No teñido	UPFi bajo	IE 0	14,42	8,09	13,04
2	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/25	10,80	6,86	9,94
3	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/6	7,39	6,28	7,14
4	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/1	5,62	5,44	5,58
5	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 2/1	5,68	5,77	5,70
6	No teñido	UPFi medio	IE 0	10,66	5,20	9,47
7	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/25	6,27	3,48	5,66
8	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/6	4,10	3,30	3,93
9	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/1	2,97	2,99	2,98
10	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 2/1	2,48	2,58	2,51
11	No teñido	UPFi alto	IE 0	7,94	3,13	6,90
12	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/25	3,54	1,38	3,07
13	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/6	1,78	1,35	1,69
14	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/1	1,15	1,17	1,15
15	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 2/1	1,04	1,10	1,05
16	No teñido	UPFi bajo	IE 0	14,42	8,09	13,04
17	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/25	9,99	5,21	8,95
18	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/6	7,86	5,19	7,28
19	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/1	4,95	4,16	4,77
20	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 2/1	4,37	3,87	4,26
21	No teñido	UPFi medio	IE 0	10,66	5,20	9,47
22	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/25	7,48	3,59	6,64
23	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/6	4,81	2,89	4,39
24	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/1	2,95	2,44	2,84
25	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 2/1	2,53	2,22	2,46
26	No teñido	UPFi alto	IE 0	7,94	3,13	6,90
27	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/25	4,22	1,38	3,60
28	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/6	2,47	1,26	2,21
29	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/1	1,18	0,95	1,13
30	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 2/1	1,00	0,86	0,97
31	No teñido	UPFi bajo	IE 0	14,42	8,09	13,04
32	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/25	10,61	5,80	9,56
33	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/6	8,38	5,47	7,75
34	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/1	5,84	4,72	5,59
35	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 2/1	4,94	4,11	4,75
36	No teñido	UPFi medio	IE 0	10,66	5,20	9,47
37	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/25	6,99	3,47	6,22
38	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/6	5,11	3,31	4,72
39	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/1	3,39	2,70	3,24
40	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 2/1	2,93	2,41	2,81
41	No teñido	UPFi alto	IE 0	7,94	3,13	6,90
42	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/25	4,23	1,41	3,62
43	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/6	2,37	1,24	2,12
44	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/1	1,38	1,04	1,30
45	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 2/1	1,04	0,83	1,00

Tabla 4.9. Transmisiones medias de los tejidos de Modal Sun teñidos



De igual forma que para los tejidos de Algodón y Modal, la adición de colorantes sobre los tejidos de Modal Sun se muestra un medio bastante efectivo para aumentar el UPF de los tejidos. En la tabla se observa una disminución de todas las transmisiones medias al aplicar un colorante, aunque las diferencias entre los tejidos teñidos y no teñidos no son tan notables como las obtenidas para los tejidos de Algodón y Modal. También para esta fibra, las transmisiones disminuyen al aumentar la intensidad de tintura con cualquiera de los colorantes y al aumentar el UPF inicial del tejido, produciéndose un efecto sinérgico de estas dos variables que hace que el bloqueo de la radiación se acelere al aumentar intensidad de tintura y UPF inicial a la vez.

En los tejidos de Modal Sun, la tintura consigue disminuir la transmisión de radiación hasta valores inferiores a los mínimos orientativos necesarios para obtener tejidos clasificables en todos los rangos contemplados en la norma AS/NZ 4399: 1996: inferiores al 6,7% (buena protección), al 4,1% (muy buena protección) y al 2,5% (excelente protección).

A diferencia que para los tejidos de Algodón y Modal, todos los colorantes hacen disminuir más notablemente la transmisión UVA que la UVB al ser aplicados sobre tejidos de Modal Sun. Probablemente, la gran absorción de la propia fibra en las longitudes de onda de la zona UVB enmascara el mayor efecto los colorantes, C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89, con respecto al C.I. Direct Yellow 98, como bloqueadores de la transmitancia en esta zona.

Sin embargo, al igual que se observó para los tejidos de Algodón y Modal y a pesar de que la transmisión UVR media de los tejidos teñidos con los tres colorantes presenta valores bastante similares, también algunos de los tejidos teñidos con el colorante C.I. Direct Yellow 98 exhiben mayor transmisión en el UVB que en el UVA, al contrario que los teñidos con los colorantes C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89 que muestran siempre una mayor transmisión en el UVA que en el UVB.

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

4.3.1.1.3.1. Tejidos de Algodón

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Algodón teñidos se exponen en la Tabla 4.10.

En la tabla 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.



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+
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+
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+

Tabla 4.10. UPF de los tejidos de Algodón teñidos



Cuando se parte del tejido de Algodón más ligero, con un UPF inicial muy bajo de valor $UPF_i = 4,06$ (tejido con aproximadamente 95 g/m^2 y 89% de cobertura) es necesario que la intensidad de la tintura sea muy alta para poder conseguir que la mejora del UPF sea suficiente para considerar al tejido protector ($UPF >15$). Para el colorante C.I. Direct Yellow 98 se necesita una intensidad 2/1, mientras que para los colorantes C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89 es suficiente con una intensidad 1/1 de color, para obtener tejidos con buena protección. Partiendo de este tejido muy poco compacto no se han conseguido niveles de protección más elevados mediante la tintura.

Sin embargo, al incrementar ligeramente el UPF inicial del tejido hasta $UPF_i = 5,33$ (tejido con aproximadamente 138 g/m^2 y 94% de cobertura) el efecto producido por la tintura crece muy rápidamente. Los tejidos proporcionan una protección suficiente cuando son teñidos con cualquiera de los colorantes estudiados a partir de una intensidad estándar de color 1/6. A dicha intensidad, con el colorante C.I. Direct Yellow 98 se obtiene buena protección, con el colorante C.I. Direct Blue 77 se consigue muy buena protección y excelente protección si se utiliza el colorante C.I. Direct Red 89. Cuando la intensidad de color es del 1/1 o el 2/1, se consigue una protección excelente en los tejidos teñidos con cualquiera de los colorantes.

Incrementando aún más el UPF inicial hasta un valor de $UPF_i = 6,66$ (tejido con aproximadamente 178 g/m^2 y 97% de cobertura), la tintura con el colorante C.I. Direct Yellow 98 produce tejidos que proporcionan muy buena protección con una intensidad 1/6 y protección excelente para mayores intensidades, mientras que con los demás colorantes se obtiene ya una protección excelente a partir de una intensidad 1/6. Con el colorante C.I. Direct Red 89 se consigue incluso buena protección con la más baja intensidad de tintura (1/25).

Resumiendo, 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. En el caso de los tejidos de Algodón el obtener un ligero aumento del UPF del tejido crudo implica aumentar considerablemente su compactidad y su peso, como se dedujo en el capítulo de esta tesis dedicado a la estructura.

4.3.1.1.3.2. Tejidos de Modal

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Modal teñidos se exponen en la Tabla 4.11.



Muestra nº	Características de la muestra			Factor de Protección Ultravioleta (UPF _m)	Índice UPF
1	No teñido	UPFi bajo	IE 0	4,72	1
2	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/25	5,33	5
3	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/6	7,93	5
4	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/1	12,00	10
5	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 2/1	16,43	15
6	No teñido	UPFi medio	IE 0	11,03	10
7	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/25	14,48	10
8	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/6	32,19	30
9	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/1	73,58	50+
10	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 2/1	89,24	50+
11	No teñido	UPFi alto	IE 0	14,06	10
12	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/25	17,59	15
13	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/6	33,90	30
14	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/1	108,84	50+
15	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 2/1	144,40	50+
16	No teñido	UPFi bajo	IE 0	4,72	1
17	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/25	6,43	5
18	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/6	8,96	5
19	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/1	19,20	15
20	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 2/1	24,08	20
21	No teñido	UPFi medio	IE 0	11,03	10
22	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/25	20,77	20
23	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/6	51,43	50+
24	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/1	136,38	50+
25	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 2/1	161,44	50+
26	No teñido	UPFi alto	IE 0	14,06	10
27	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/25	22,34	20
28	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/6	56,19	50+
29	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/1	174,33	50+
30	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 2/1	194,15	50+
31	No teñido	UPFi bajo	IE 0	4,72	1
32	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/25	6,34	5
33	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/6	9,07	5
34	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/1	17,64	15
35	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 2/1	22,56	20
36	No teñido	UPFi medio	IE 0	11,03	10
37	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/25	19,42	15
38	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/6	50,93	50
39	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/1	116,22	50+
40	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 2/1	130,14	50+
41	No teñido	UPFi alto	IE 0	14,06	10
42	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/25	20,17	20
43	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/6	54,61	50
44	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/1	156,58	50+
45	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 2/1	161,52	50+

Tabla 4.11. UPF de los tejidos de Modal teñidos



Según los resultados obtenidos, la aplicación de cualquiera de los colorantes estudiados a cualquiera de las intensidades de tintura, produce una mejora del UPF de los tejidos de Modal.

Cuando se parte del tejido más ligero de Modal, con el UPF inicial más bajo, $UPF_i = 4,72$ (tejido con aproximadamente 100 g/m^2 y 82% de cobertura), es necesario que la intensidad de la tintura sea muy alta para poder conseguir que la mejora del UPF sea suficiente para considerar al tejido como buen protector ($UPF > 15$). Para el colorante C.I. Direct Yellow 98 se necesita una intensidad estándar de color 2/1, mientras que para los colorantes C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89 es suficiente con una intensidad 1/1 de color. La tintura de este tejido de estructura muy poco compacta con los colorantes y a las intensidades de color estudiadas, no es suficiente para lograr mejores niveles de protección contra la radiación ultravioleta.

Un incremento del UPF inicial del tejido hasta $UPF_i = 11,03$ (tejido con aproximadamente 179 g/m^2 y 90% de cobertura) produce una notable mejora del efecto producido por la tintura. Con una intensidad estándar de color de 1/6, los tejidos teñidos con el colorante C.I. Direct Yellow 98 proporcionan muy buena protección y protección excelente a partir de la intensidad 1/1. Con el colorante C.I. Direct Blue 77 o con el colorante C.I. Direct Red 89 se consigue buena protección ya con la intensidad más baja (1/25) y excelente protección a partir de la intensidad estándar de color 1/6.

Incrementando el UPF inicial hasta su nivel más alto de valor $UPF_i = 14,06$ (tejido con aproximadamente 204 g/m^2 y 94% de cobertura) en comparación con el nivel medio de esta variable, no se producen diferencias muy significativas a efectos prácticos de clasificación según la norma AS/NZ 4399:1996. La única mejora que aporta este aumento de compacidad del tejido es el poder obtener tejidos protectores teñidos con el colorante C.I. Direct Yellow 98 a la intensidad estándar de color más baja (1/25).

Resumiendo, la aplicación de un colorante sobre los tejidos de Modal 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. Aumentando ligeramente el UPF inicial de los tejidos se puede obtener buena protección con colores pastel o bien niveles de protección más elevados. Tal como se dedujo en el capítulo 2, se puede conseguir el aumento necesario en el UPF inicial de los tejidos de Modal crudos con niveles de compacidad menos elevados que para los tejidos de Algodón, aunque su peso por unidad de superficie será mayor.

4.3.1.1.3.3. Tejidos de Modal Sun

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Modal Sun teñidos se exponen en la Tabla 4.12.



Muestra nº	Características de la muestra			Factor de Protección Ultravioleta (UPF _{ms})	Índice UPF
1	No teñido	UPFi bajo	IE 0	11,48	10
2	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/25	13,55	10
3	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/6	14,87	10
4	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/1	16,31	15
5	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 2/1	16,00	15
6	No teñido	UPFi medio	IE 0	16,63	15
7	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/25	24,90	20
8	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/6	26,65	25
9	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/1	31,52	30
10	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 2/1	35,42	35
11	No teñido	UPFi alto	IE 0	26,72	25
12	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/25	59,36	50+
13	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/6	66,95	50+
14	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/1	75,85	50+
15	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 2/1	83,81	50+
16	No teñido	UPFi bajo	IE 0	11,48	10
17	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/25	16,39	15
18	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/6	17,30	15
19	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/1	22,18	20
20	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 2/1	22,94	20
21	No teñido	UPFi medio	IE 0	16,63	15
22	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/25	24,84	20
23	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/6	31,81	30
24	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/1	36,19	35
25	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 2/1	39,07	35
26	No teñido	UPFi alto	IE 0	26,72	25
27	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/25	59,24	50+
28	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/6	69,19	50+
29	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/1	93,93	50+
30	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 2/1	102,55	50+
31	No teñido	UPFi bajo	IE 0	11,48	10
32	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/25	15,34	15
33	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/6	16,62	15
34	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/1	18,24	15
35	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 2/1	22,21	20
36	No teñido	UPFi medio	IE 0	16,63	15
37	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/25	24,21	20
38	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/6	27,31	25
39	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/1	33,15	30
40	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 2/1	35,97	35
41	No teñido	UPFi alto	IE 0	26,72	25
42	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/25	60,08	50+
43	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/6	69,27	50+
44	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/1	87,63	50+
45	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 2/1	112,14	50+

Tabla 4.12. UPF de los tejidos de Modal Sun teñidos



Los resultados obtenidos indican 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 Modal Sun. Sin embargo, la mejora en el UPF no es tan significativa como la obtenida con la tintura de los tejidos de Modal y, sobretodo, de Algodón.

Cuando se parte del tejido más ligero de Modal Sun, con el UPF inicial más bajo de esta serie de valor $UPF_i = 11,48$ (tejido con aproximadamente 101 g/m^2 y 88% de cobertura) se consigue obtener tejidos protectores con cualquiera de las intensidades de tintura cuando se utilizan los colorantes C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89. Cuando se utiliza el colorante C.I. Direct Yellow 98, únicamente se han obtenido tejidos protectores para las intensidades estándar de color 1/1 y 2/1. La adición de los colorantes no ha sido suficiente para conseguir que el tejido proporcione muy buena o excelente protección.

Un incremento del UPF inicial del tejido hasta $UPF_i = 16,63$ (tejido con aproximadamente 121 g/m^2 y 91% de cobertura) significa que se parte de un tejido no teñido que ya es protector ($UPF > 15$). La tintura de este tejido con cualquiera de los colorantes produce un aumento de la clasificación hasta la categoría de muy buena protección, a partir de una intensidad estándar de color 1/6. Sin embargo, tampoco se consigue que el tejido proporcione una protección excelente con ninguno de los colorantes y a ninguna de las intensidades estándar de color.

Incrementando aún más el UPF inicial hasta un valor $UPF_i = 26,72$ (tejido con aproximadamente 133 g/m^2 y 93% de cobertura) y, por tanto, partiendo de un tejido clasificado como muy buen protector, la tintura a cualquier intensidad y con cualquiera de los colorantes utilizados proporciona tejidos con protección excelente.

Resumiendo, la aplicación de un colorante sobre los tejidos de Modal Sun es un medio para aumentar la protección contra la radiación ultravioleta proporcionada por el mismo, si bien menos efectivo que cuando se aplica sobre los tejidos de Algodón o Modal. Es posible obtener tejidos con todos los niveles de protección incluso a intensidades de tintura muy bajas, aunque el nivel de protección dependerá notablemente del UPF inicial de los tejidos antes de la tintura. Sin embargo, según se dedujo de los resultados expuestos en el capítulo 2, los UPF iniciales necesarios para obtener una protección excelente en los tejidos teñidos, alrededor de $UPF_i = 25$, se pueden obtener con tejidos siempre muy ligeros fabricados con Modal Sun.

Si se tiene en cuenta que los UPF iniciales de partida son bastante mayores para los tejidos de Modal Sun que para los tejidos de Algodón y de Modal, se puede concluir que el aumento de la protección contra la radiación ultravioleta producido por la aplicación de colorantes es inferior en esta serie de Modal Sun que el que se consigue para las otras dos fibras en estudio.



Al mismo tiempo, una posible causa de la menor influencia del color en la serie de tejidos de Modal Sun pueda ser debida a la estructura de los tejidos escogidos para realizar el estudio sobre la influencia del color. Los tejidos de Modal Sun escogidos tienen UPF iniciales bastante mayores que los de Algodón y Modal, aunque con valores lo suficientemente bajos para determinar si la tintura puede mejorar el nivel de protección de los tejidos, que es el objetivo principal de la presente parte de la tesis. Pero, en comparación con los tejidos de Algodón y Modal escogidos para este estudio, los tejidos de Modal Sun tienen una estructura menos compacta y un peso por unidad de superficie menor. Es posible que al teñir estructuras más compactas se pudieran encontrar incrementos en la protección más equiparables a los obtenidos para las series de Modal y Algodón y ello podría ser un tema a estudiar en un nuevo trabajo de investigación.

4.3.1.2. Análisis estadístico de los resultados

4.3.1.2.1. Diseño experimental: variables y niveles de las variables

Para cada serie de tejidos de diferente fibra, 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 en función del agotamiento real de colorante (IEC) con 5 niveles diferentes, al incluirse los 4 tejidos teñidos y el tejido no teñido.

Los experimentos de que consta el diseño, con las variables y niveles de las variables correspondientes a cada punto experimental que se utilizarán en el análisis estadístico, son los anteriormente expuestos en la Tabla 4.6. Ahora se repiten en la Tabla 4.13, para facilitar el seguimiento del texto.



Muestra n°	Características de la muestra			Algodón		Modal		Modal Sun	
				UPFi _a	IEC _a	UPFi _m	IEC _m	UPFi _{ms}	IEC _{ms}
1	No teñido	UPFi bajo	IE 0	4,06	0,0000	4,72	0,0000	11,48	0,0000
2	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/25	4,06	0,0353	4,72	0,0373	11,48	0,0368
3	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/6	4,06	0,1658	4,72	0,1651	11,48	0,1641
4	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 1/1	4,06	0,9434	4,72	0,7477	11,48	0,8595
5	C.I. Direct Yellow 98	UPFi bajo	IE 2/1	4,06	1,8732	4,72	1,3752	11,48	1,5678
6	No teñido	UPFi medio	IE 0	5,33	0,0000	11,03	0,0000	16,63	0,0000
7	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/25	5,33	0,0350	11,03	0,0373	16,63	0,0358
8	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/6	5,33	0,1675	11,03	0,1651	16,63	0,1634
9	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 1/1	5,33	0,9657	11,03	0,7477	16,63	0,8473
10	C.I. Direct Yellow 98	UPFi medio	IE 2/1	5,33	1,9308	11,03	1,3752	16,63	1,4992
11	No teñido	UPFi alto	IE 0	6,66	0,0000	14,06	0,0000	26,72	0,0000
12	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/25	6,66	0,0354	14,06	0,0373	26,72	0,0369
13	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/6	6,66	0,1649	14,06	0,1651	26,72	0,1661
14	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 1/1	6,66	0,9294	14,06	0,7477	26,72	0,8873
15	C.I. Direct Yellow 98	UPFi alto	IE 2/1	6,66	1,8128	14,06	1,3752	26,72	1,5839
16	No teñido	UPFi bajo	IE 0	4,06	0,0000	4,72	0,0000	11,48	0,0000
17	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/25	4,06	0,0422	4,72	0,0408	11,48	0,0418
18	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/6	4,06	0,1642	4,72	0,1589	11,48	0,1612
19	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 1/1	4,06	0,9097	4,72	0,9319	11,48	0,9764
20	C.I. Direct Blue 77	UPFi bajo	IE 2/1	4,06	1,7532	4,72	1,7283	11,48	1,9091
21	No teñido	UPFi medio	IE 0	5,33	0,0000	11,03	0,0000	16,63	0,0000
22	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/25	5,33	0,0422	11,03	0,0408	16,63	0,0412
23	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/6	5,33	0,1650	11,03	0,1589	16,63	0,1598
24	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 1/1	5,33	0,9110	11,03	0,9319	16,63	0,9864
25	C.I. Direct Blue 77	UPFi medio	IE 2/1	5,33	1,7636	11,03	1,7283	16,63	1,9305
26	No teñido	UPFi alto	IE 0	6,66	0,0000	14,06	0,0000	26,72	0,0000
27	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/25	6,66	0,0422	14,06	0,0408	26,72	0,0429
28	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/6	6,66	0,1632	14,06	0,1589	26,72	0,1630
29	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 1/1	6,66	0,9089	14,06	0,9319	26,72	0,9477
30	C.I. Direct Blue 77	UPFi alto	IE 2/1	6,66	1,7435	14,06	1,7283	26,72	1,8544
31	No teñido	UPFi bajo	IE 0	4,06	0,0000	4,72	0,0000	11,48	0,0000
32	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/25	4,06	0,0324	4,72	0,0408	11,48	0,0385
33	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/6	4,06	0,1594	4,72	0,1506	11,48	0,1518
34	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 1/1	4,06	0,9223	4,72	0,8078	11,48	0,8067
35	C.I. Direct Red 89	UPFi bajo	IE 2/1	4,06	1,6941	4,72	1,3920	11,48	1,4455
36	No teñido	UPFi medio	IE 0	5,33	0,0000	11,03	0,0000	16,63	0,0000
37	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/25	5,33	0,0329	11,03	0,0408	16,63	0,0413
38	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/6	5,33	0,1618	11,03	0,1506	16,63	0,1507
39	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 1/1	5,33	0,9340	11,03	0,8078	16,63	0,7920
40	C.I. Direct Red 89	UPFi medio	IE 2/1	5,33	1,7218	11,03	1,3920	16,63	1,3802
41	No teñido	UPFi alto	IE 0	6,66	0,0000	14,06	0,0000	26,72	0,0000
42	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/25	6,66	0,0382	14,06	0,0408	26,72	0,0380
43	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/6	6,66	0,1546	14,06	0,1506	26,72	0,1516
44	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 1/1	6,66	0,9038	14,06	0,8078	26,72	0,8410
45	C.I. Direct Red 89	UPFi alto	IE 2/1	6,66	1,6253	14,06	1,3920	26,72	1,5757

Tabla 4.13. Variables y niveles de las variables en el análisis estadístico (Influencia del color)



4.3.1.2.2. Codificación de las variables

Tal como se indicó en el apartado 2.3.1.2.1. 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.

4.3.1.2.2.1. Algodón

Para la pseudocodificación de las variables que intervienen en el modelo para los tejidos de Algodón, se han utilizado las siguientes fórmulas de codificación:

$$cUPF_{ia} = \frac{UPF_{ia} - 5,36}{1,3} \quad cIEC_a = \frac{IEC_a - 0,9654}{0,9654}$$

Aplicando las fórmulas de codificación anteriores se obtienen los niveles codificados de las variables para los tejidos de Algodón que se exponen en la tabla siguiente:

Muestra nº	cUPF _{ia}	cIEC _a	Muestra nº	cUPF _{ia}	cIEC _a	Muestra nº	cUPF _{ia}	cIEC _a
1	-1,0000	-1,0000	16	-1,0000	-1,0000	31	-1,0000	-1,0000
2	-1,0000	-0,9635	17	-1,0000	-0,9563	32	-1,0000	-0,9664
3	-1,0000	-0,8283	18	-1,0000	-0,8299	33	-1,0000	-0,8349
4	-1,0000	-0,0227	19	-1,0000	-0,0577	34	-1,0000	-0,0446
5	-1,0000	0,9403	20	-1,0000	0,8160	35	-1,0000	0,7548
6	-0,0231	-1,0000	21	-0,0231	-1,0000	36	-0,0231	-1,0000
7	-0,0231	-0,9637	22	-0,0231	-0,9563	37	-0,0231	-0,9659
8	-0,0231	-0,8265	23	-0,0231	-0,8291	38	-0,0231	-0,8324
9	-0,0231	0,0003	24	-0,0231	-0,0564	39	-0,0231	-0,0326
10	-0,0231	1,0000	25	-0,0231	0,8268	40	-0,0231	0,7835
11	1,0000	-1,0000	26	1,0000	-1,0000	41	1,0000	-1,0000
12	1,0000	-0,9633	27	1,0000	-0,9563	42	1,0000	-0,9604
13	1,0000	-0,8292	28	1,0000	-0,8309	43	1,0000	-0,8398
14	1,0000	-0,0373	29	1,0000	-0,0586	44	1,0000	-0,0638
15	1,0000	0,8777	30	1,0000	0,8060	45	1,0000	0,6836

Tabla 4.14. Variables codificadas Algodón



4.3.1.2.2.2. Modal

Se han utilizado las siguientes fórmulas de codificación:

$$cUPFim = \frac{UPFim - 9,39}{4,67} \quad cIECm = \frac{IECm - 0,86415}{0,86415}$$

Aplicando las fórmulas de codificación anteriores se obtienen los niveles codificados de las variables para los tejidos de Modal que se exponen en la tabla siguiente:

Muestra nº	cUPFi _m	cIEC _m	Muestra nº	cUPFi _m	cIEC _m	Muestra nº	cUPFi _m	cIEC _m
1	-1,0000	-1,0000	16	-1,0000	-1,0000	31	-1,0000	-1,0000
2	-1,0000	-0,9568	17	-1,0000	-0,9528	32	-1,0000	-0,9528
3	-1,0000	-0,8090	18	-1,0000	-0,8161	33	-1,0000	-0,8258
4	-1,0000	-0,1347	19	-1,0000	0,0783	34	-1,0000	-0,0652
5	-1,0000	0,5914	20	-1,0000	1,0000	35	-1,0000	0,6108
6	0,3512	-1,0000	21	0,3512	-1,0000	36	0,3512	-1,0000
7	0,3512	-0,9568	22	0,3512	-0,9528	37	0,3512	-0,9528
8	0,3512	-0,8090	23	0,3512	-0,8161	38	0,3512	-0,8258
9	0,3512	-0,1347	24	0,3512	0,0783	39	0,3512	-0,0652
10	0,3512	0,5914	25	0,3512	1,0000	40	0,3512	0,6108
11	1,0000	-1,0000	26	1,0000	-1,0000	41	1,0000	-1,0000
12	1,0000	-0,9568	27	1,0000	-0,9528	42	1,0000	-0,9528
13	1,0000	-0,8090	28	1,0000	-0,8161	43	1,0000	-0,8258
14	1,0000	-0,1347	29	1,0000	0,0783	44	1,0000	-0,0652
15	1,0000	0,5914	30	1,0000	1,0000	45	1,0000	0,6108

Tabla 4.15. Variables codificadas Modal

4.3.1.2.2.3. Modal Sun

Se han utilizado las siguientes fórmulas de codificación:

$$cUPFims = \frac{UPFims - 19,1}{7,62} \quad cIECms = \frac{IECms - 0,96525}{0,96525}$$

Aplicando las fórmulas de codificación anteriores se obtienen los niveles codificados de las variables para los tejidos de Modal Sun que se exponen en la tabla siguiente:



Muestra nº	cUPFi _{ms}	cIEC _{ms}	Muestra nº	cUPFi _{ms}	cIEC _{ms}	Muestra nº	cUPFi _{ms}	cIEC _{ms}
1	-1,0000	-1,0000	16	-1,0000	-1,0000	31	-1,0000	-1,0000
2	-1,0000	-0,9619	17	-1,0000	-0,9567	32	-1,0000	-0,9602
3	-1,0000	-0,8299	18	-1,0000	-0,8330	33	-1,0000	-0,8427
4	-1,0000	-0,1095	19	-1,0000	0,0116	34	-1,0000	-0,1643
5	-1,0000	0,6242	20	-1,0000	0,9778	35	-1,0000	0,4975
6	-0,3241	-1,0000	21	-0,3241	-1,0000	36	-0,3241	-1,0000
7	-0,3241	-0,9629	22	-0,3241	-0,9573	37	-0,3241	-0,9572
8	-0,3241	-0,8307	23	-0,3241	-0,8345	38	-0,3241	-0,8439
9	-0,3241	-0,1222	24	-0,3241	0,0219	39	-0,3241	-0,1795
10	-0,3241	0,5531	25	-0,3241	1,0000	40	-0,3241	0,4299
11	1,0000	-1,0000	26	1,0000	-1,0000	41	1,0000	-1,0000
12	1,0000	-0,9617	27	1,0000	-0,9556	42	1,0000	-0,9606
13	1,0000	-0,8279	28	1,0000	-0,8311	43	1,0000	-0,8430
14	1,0000	-0,0808	29	1,0000	-0,0182	44	1,0000	-0,1287
15	1,0000	0,6409	30	1,0000	0,9211	45	1,0000	0,6324

Tabla 4.16. Variables codificadas Modal Sun

4.3.1.2.3. Modelo inicial

Al haberse utilizado factores de control con niveles no equidistantes de las variables, el análisis estadístico de los resultados, para la modelización de la respuesta UPF en función de las variables del sistema, se debe realizar por modelo lineal.

En la presente experimentación se han obtenido 39 puntos experimentales distintos que intervendrán en el modelo estimado para cada una de las fibras Algodón, Modal y Modal Sun. Así pues, el modelo puede tener hasta 39 sumandos. Las dos variables tienen un mínimo de 3 niveles distintos, por lo que se pueden incluir términos cuadráticos.

La estimación del modelo para cada fibra se ha realizado conjuntamente para los tres colorantes utilizados en el estudio, con el objetivo de determinar si las diferencias obtenidas entre ellos son significativas. El colorante utilizado es, en este caso, una variable cualitativa con tres niveles, correspondientes al colorante C.I. Direct Yellow 98, C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89.

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 Tabla 4.17, para definir cada nivel de la variable cualitativa.

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

Tabla 4.17. Niveles de las variables categóricas Q2 y Q3 en función del colorante

El modelo inicial comprende los términos correspondientes a los efectos simples UPFi y IEC, así como sus interacciones, sus términos cuadráticos e interacciones de los efectos simples con los términos cuadráticos. Las variables categóricas se introducen en el modelo individualmente y multiplicando cada una de ella por todos los términos antes mencionados. El modelo inicial es, pues, el siguiente:

$$\begin{aligned}
 UPF = & \beta_0 + \beta_1 \cdot cUPFi + \beta_2 \cdot cIEC + \beta_3 \cdot cUPFi \cdot cIEC + \beta_4 \cdot cUPFi^2 + \beta_5 \cdot cIEC^2 + \\
 & + \beta_6 \cdot cUPFi^2 \cdot cIEC + \beta_7 \cdot cUPFi \cdot cIEC^2 + \beta_8 \cdot Q2 + \beta_9 \cdot Q2 \cdot cUPFi + \beta_{10} \cdot Q2 \cdot cIEC + \\
 & + \beta_{11} \cdot Q2 \cdot cUPFi \cdot cIEC + \beta_{12} \cdot Q2 \cdot cUPFi^2 + \beta_{13} \cdot Q2 \cdot cIEC^2 + \beta_{14} \cdot Q2 \cdot cUPFi^2 \cdot cIEC + \\
 & + \beta_{15} \cdot Q2 \cdot cUPFi \cdot cIEC^2 + \beta_{16} \cdot Q3 + \beta_{17} \cdot Q3 \cdot cUPFi + \beta_{18} \cdot Q3 \cdot cIEC + \beta_{19} \cdot Q3 \cdot cUPFi \cdot cIEC + \\
 & + \beta_{20} \cdot Q3 \cdot cUPFi^2 + \beta_{21} \cdot Q3 \cdot cIEC^2 + \beta_{22} \cdot Q3 \cdot cUPFi^2 \cdot cIEC + \beta_{23} \cdot Q3 \cdot cUPFi \cdot cIEC^2 + \varepsilon
 \end{aligned}$$

Con el análisis estadístico se obtienen los coeficientes β_i significativos del modelo en función de UPFi, IEC, Q2 y Q3, que es común para los tres colorantes. Posteriormente, se separa el modelo conjunto en tres modelos, uno por colorante, según los niveles de las variables categóricas Q2 y Q3 definidos para cada uno de ellos. Así, sustituyendo en el modelo Q2 = Q3 = 0 se obtendrá el modelo correspondiente al colorante C.I. Direct Yellow 98. Sustituyendo Q2 = 1 y Q3 = 0 se obtendrá el modelo correspondiente al colorante C.I. Direct Blue 77. Y, por último, sustituyendo Q2 = 0 y Q3 = 1 se obtendrá el modelo correspondiente al colorante C.I. Direct Red 89.

4.3.1.2.4. Procedimiento de análisis para la estimación del modelo significativo y coeficiente de determinación del ajuste

La estimación de los coeficientes significativos de los modelos que relacionan el UPF con las diferentes variables de las series de tejidos fabricados con las distintas fibras se realiza mediante el método denominado regresión paso a paso, según el procedimiento descrito es el capítulo 2 de esta tesis.



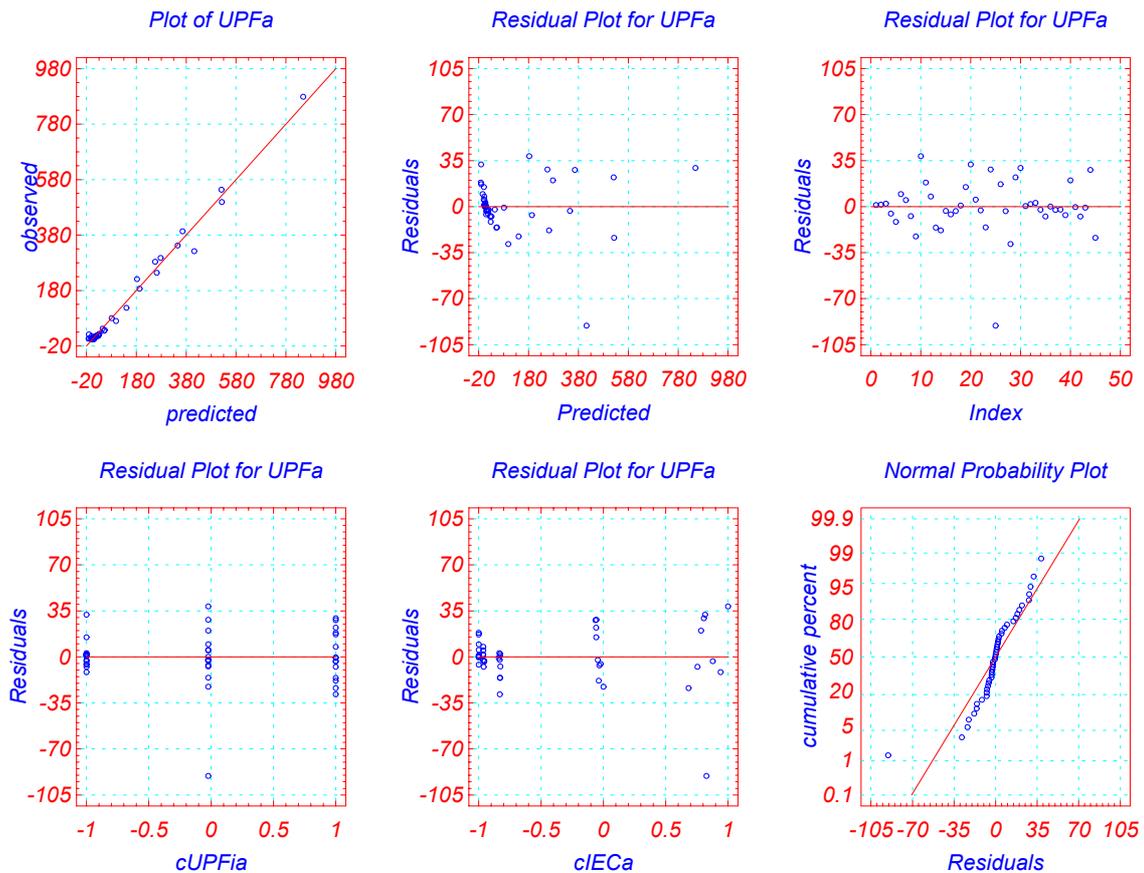


Figura 4.12. Gráficos de residuos y probabilístico normal de la respuesta UPF, tejidos de Algodón teñidos

A partir del análisis de los gráficos de residuos, se observa alguna anomalía en uno de los puntos experimentales, en concreto el punto de orden 25. Se puede observar claramente que su comportamiento se desvía considerablemente con respecto a los demás puntos experimentales, obteniendo residuos de valor muy elevado. Por ello se debe comprobar el intervalo de probabilidad de los valores individuales del punto 25, ya que parece que pueda tratarse de un punto anómalo o “punto loco”.

Muestra nº	Valor experimental	Intervalo de probabilidad de valores individuales (95%)	
		Inferior	Superior
25	321,86	385,446	439,335

Tabla 4.18. Estudio de posibles puntos anómalos

El valor del UPF obtenido para este punto no se encuentra entre el intervalo de probabilidad para el 95%. Se trata de un punto anómalo que debe eliminarse del análisis.

Una vez extraído el punto anómalo, se debe recalcular de nuevo el modelo, obteniéndose los coeficientes significativos y el ANOVA de la regresión que se muestran a continuación. Se obtiene una explicación del modelo muy alta, con una $R^2 = 99,54\%$.



4.3.1.2.5.2. 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 corregida de color, para la serie de tejidos de Algodón, es el siguiente, en variables codificadas:

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

La discusión de los resultados se referirá siempre al modelo en variables codificadas, ya 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 término en el valor de la respuesta y el comparar cuales de los efectos e interacciones tiene una mayor influencia en la misma.

En primer lugar, se observa que existen términos significativos que incluyen a las variables categóricas $Q2_a$ y $Q3_a$, lo que manifiesta que la respuesta será significativamente diferente en función del colorante utilizado en las tinturas.

En el modelo han resultado significativos los efectos simples $cUPFia$ e $cIECa$ y la interacción de los mismos $cUPFia \cdot cIECa$, con signo positivo todos ellos, por lo que se puede afirmar que el UPF de los tejidos crece al aumentar cualquiera de los efectos y que el incremento producido se ve acelerado debido a la interacción de las dos variables. Todos estos términos se hallan en el modelo también multiplicados por el coeficiente $Q2_a$ y por el coeficiente $Q3_a$, de forma que el efecto producido será diferente en función del colorante.

Asimismo ha resultado significativo el término cuadrático $cIECa^2$ con un coeficiente de signo negativo que producirá una deceleración en el incremento del valor de la respuesta más acusada a medida que aumenta el valor de la variable $cIECa$. También tiene un coeficiente significativo de signo negativo el término $cUPFia \cdot cIECa^2$, que provocará el mismo efecto pero aumentado para valores mayores de $cUPFia$. El efecto producido por estos dos términos es independiente del colorante utilizado, al no resultar significativos los términos multiplicados por $Q2_a$ y $Q3_a$ correspondientes.

Al separar el modelo conjunto según los valores de $Q2_a$ y $Q3_a$, se obtienen los siguientes modelos individuales para cada colorante:



- C.I. Direct Yellow 98: $Q_{2a} = 0$ $Q_{3a} = 0$

$$UPFa = 137,146981 + 125,571722 \cdot cUPFia + 96,409933 \cdot cIECa + 82,778566 \cdot cUPFia \cdot cIECa - 43,097589 \cdot cIECa^2 - 50,000589 \cdot cUPFia \cdot cIECa^2$$
- C.I. Direct Blue 77: $Q_{2a} = 1$ $Q_{3a} = 0$

$$UPFa = 286,456959 + 273,647920 \cdot cUPFia + 245,966113 \cdot cIECa + 233,695475 \cdot cUPFia \cdot cIECa - 43,097589 \cdot cIECa^2 - 50,000589 \cdot cUPFia \cdot cIECa^2$$
- C.I. Direct Red 89: $Q_{2a} = 0$ $Q_{3a} = 1$

$$UPFa = 197,528197 + 181,535161 \cdot cUPFia + 147,498595 \cdot cIECa + 129,825283 \cdot cUPFia \cdot cIECa - 43,097589 \cdot cIECa^2 - 50,000589 \cdot cUPFia \cdot cIECa^2$$

Al observar los modelos separados para cada colorante, se puede concluir que, en todos los casos, en la mejora del valor del UPF la variable que tiene más influencia es el UPF inicial del tejido, ya que su efecto simple presenta siempre coeficientes positivos mayores y se encuentra implicada en menos términos significativos de coeficiente negativo. Además también es significativa la interacción del UPFi con la Intensidad Estándar de Color corregida, lo que indica que el efecto sobre el UPF de la intensidad tintura no es independiente de la estructura de los tejidos. El signo positivo de esta interacción pone de manifiesto que la tintura será cada vez más efectiva para proporcionar protección contra la radiación ultravioleta a medida que la estructura de los tejidos se va haciendo más compacta.

Entre todos los colorantes, el más efectivo para la mejora del UPF de los tejidos será el C.I. Direct Blue 77 (al tener todos sus coeficientes de valor positivo valores significativamente más altos, mientras que sus términos negativos son de igual valor), seguido por el C.I. Direct Red 89 y, por último, el C.I. Direct Yellow 98.

Al descodificar, se obtienen los modelos en variables originales que se exponen a continuación:

- C.I. Direct Yellow 98:

$$UPFa = 27,356260 - 5,544179 \cdot UPFia - 591,474864 \cdot IECa + 145,638909 \cdot UPFia \cdot IECa + 174,956204 \cdot IECa^2 - 41,268357 \cdot UPFia \cdot IECa^2$$
- C.I. Direct Blue 77:

$$UPFa = 38,822528 - 7,729341 \cdot UPFia - 1081,101801 \cdot IECa + 265,88951 \cdot UPFia \cdot IECa + 174,956204 \cdot IECa^2 - 41,268357 \cdot UPFia \cdot IECa^2$$
- C.I. Direct Red 89:

$$UPFa = -0,118217 + 1,314838 \cdot UPFia - 739,484571 \cdot IECa + 183,125736 \cdot UPFia \cdot IECa + 174,956204 \cdot IECa^2 - 41,268357 \cdot UPFia \cdot IECa^2$$



4.3.1.2.5.3. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 4.14 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, $cUPF_i$ y $cIEC_a$, 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. Por razones de espacio en las figuras, únicamente en el intervalo de UPF entre 0 y 50 se han dibujado las curvas cada 5 puntos (que correspondería al intervalo del índice UPF contemplado en la norma AS/NZ 4339:1996). Entre 50 y 1000, cada curva representa un incremento de 50 puntos en el valor del UPF.

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.

En la figura se puede observar la gran influencia de ambas variables ($cUPF_i$ y $cIEC_a$) 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 $cUPF_i$ 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 $cIEC_a$, debido al efecto de la fuerte interacción entre las dos variables.

En el eje de la variable $cIEC_a$ la superficie de respuesta presenta una forma parabólica, debida al término cuadrático negativo. A medida que aumenta $cUPF_i$, la forma curvilínea es cada vez más marcada, de manera que, para determinados valores de $cUPF_i$, un mismo incremento en el valor de $cIEC_a$ 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.



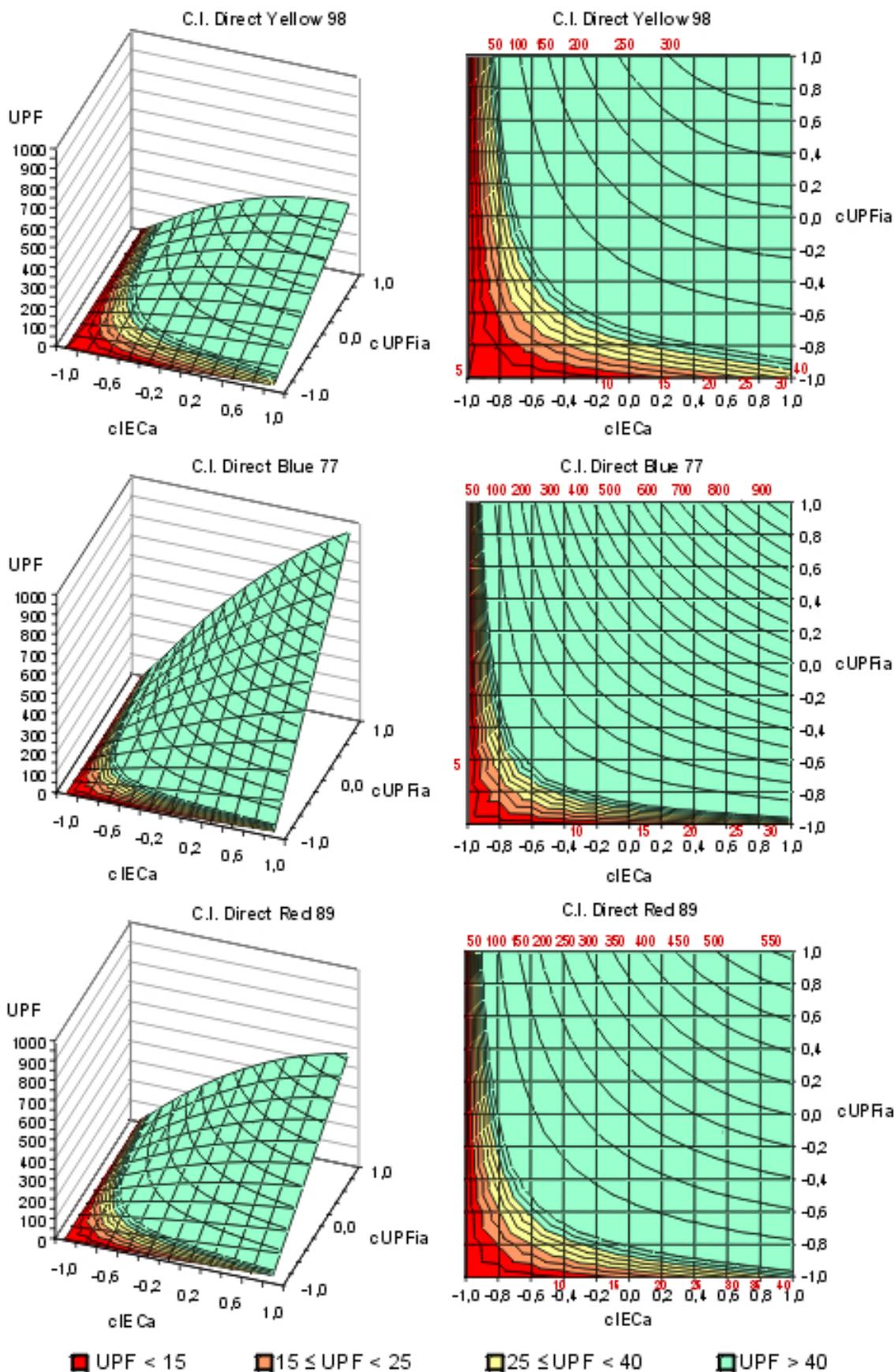


Figura 4.14. Superficies de respuesta y curvas de nivel, tejidos de Algodón teñidos



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.

4.3.1.2.6. Modelización de la respuesta UPF en los tejidos de Modal teñidos

4.3.1.2.6.1. Estimación de los coeficientes del modelo, significación del modelo y gráficos de residuos de la respuesta y probabilístico normal

En la tabla siguiente se presentan los términos que resultan significativos y sus coeficientes, una vez realizada la regresión paso a paso en el análisis estadístico de los resultados obtenidos en la medida de los tejidos de Modal teñidos.

Model fitting results for: UPFm				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	63.561633	2.216842	28.6722	0.0000
cUPFim	54.703098	2.040771	26.8051	0.0000
cIECm	34.191256	1.986836	17.2089	0.0000
cUPFim*cIECm	25.333287	2.04582	12.3829	0.0000
cIECm ²	-20.228336	3.990087	-5.0696	0.0000
cUPFim*cIECm ²	-27.210934	2.885076	-9.4316	0.0000
Q2m	45.275278	3.941593	11.4865	0.0000
Q2m*cUPFim	18.196348	2.303157	7.9006	0.0000
Q2m*cIECm	25.871081	3.566184	7.2546	0.0000
Q2m*cUPFim*cIECm	15.034589	2.649112	5.6753	0.0000
Q2m*cUPFim ²	-14.760461	3.022316	-4.8838	0.0000
Q2m*cIECm ²	-14.558021	4.99117	-2.9168	0.0070
Q2m*cIECm*cUPFim ²	-10.599541	3.57177	-2.9676	0.0062
Q3m	34.489524	3.640768	9.4731	0.0000
Q3m*cUPFim	16.49776	3.400456	4.8516	0.0000
Q3m*cUPFim ²	-7.58415	2.770569	-2.7374	0.0108
Q3m*cIECm ²	-27.751203	4.386249	-6.3269	0.0000
Q3m*cUPFim*cIECm ²	-15.301147	4.718616	-3.2427	0.0031

Analysis of Variance for the Full Regression					
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	142549.	17	8385.26	443.935	.0000
Error	509.989	27	18.8885		

Total (Corr.)	143059.	44			
R-squared = 0.996435			Std. error of est. = 4.34609		

Se obtiene un coeficiente de determinación del modelo de valor muy alto (99,64%).



Los gráficos de residuos de la respuesta y el gráfico probabilístico normal obtenidos para el modelo estimado, se presentan en la Figura 4.15.

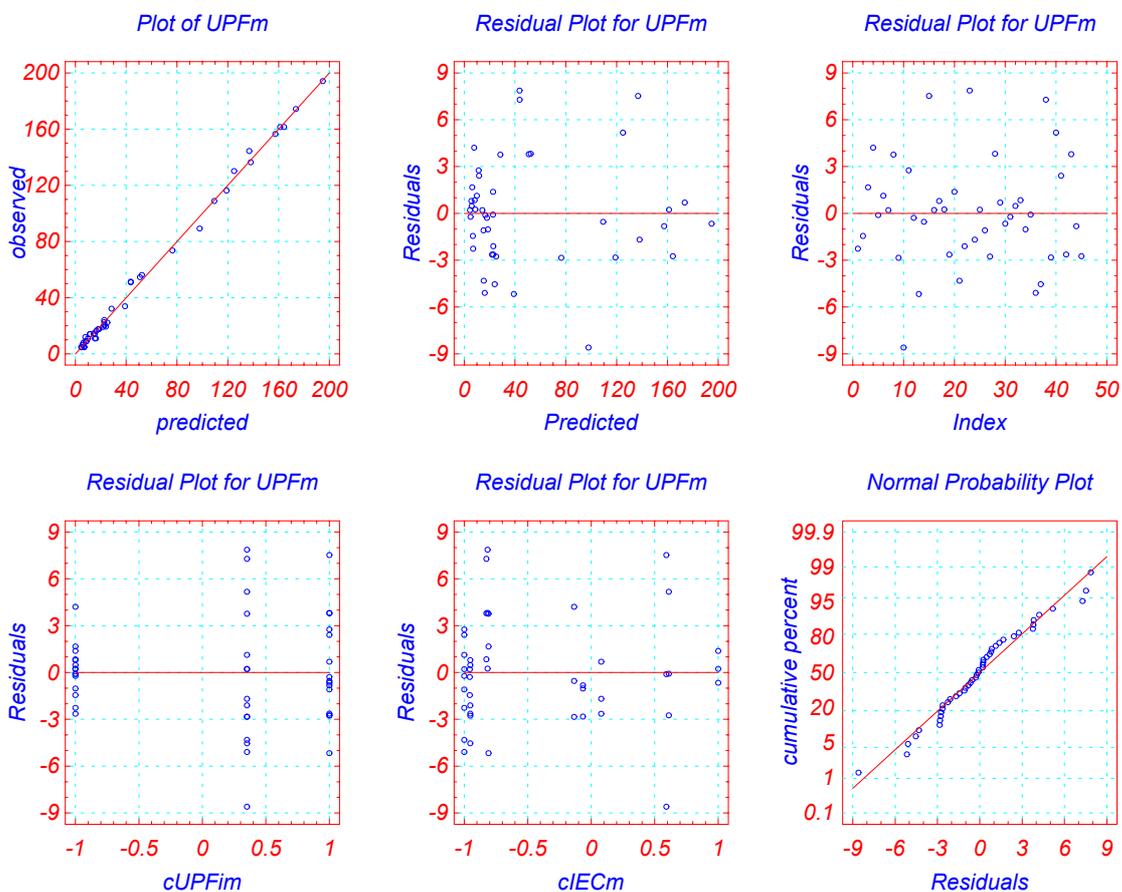


Figura 4.15. Gráficos de residuos y probabilístico normal de la respuesta UPF, tejidos de Modal teñidos

No se observa ninguna anomalía en los gráficos de residuos ni en el gráfico probabilístico normal, por lo que se considera que el modelo obtenido es correcto.

4.3.1.2.6.2. Modelo definitivo

El modelo definitivo en variables codificadas que estima el valor de la respuesta UPF en función del UPF inicial del tejido y de la Intensidad Estándar corregida de color, conjuntamente para los tres colorantes estudiados, es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 UPF_m = & 63,561633 + 45,275278 \cdot Q_{2m} + 34,489524 \cdot Q_{3m} + \\
 & + 54,703098 \cdot cUPF_{im} + 18,196348 \cdot Q_{2m} \cdot cUPF_{im} + 16,497760 \cdot Q_{3m} \cdot cUPF_{im} + \\
 & + 34,191256 \cdot cIEC_m + 25,871081 \cdot Q_{2m} \cdot cIEC_m \\
 & + 25,333287 \cdot cUPF_{im} \cdot cIEC_m + 15,034589 \cdot Q_{2m} \cdot cUPF_{im} \cdot cIEC_m - \\
 & - 14,760461 \cdot Q_{2m} \cdot cUPF_{im}^2 - 7,584150 \cdot Q_{3m} \cdot cUPF_{im}^2 - \\
 & - 20,228336 \cdot cIEC_m^2 - 14,558021 \cdot Q_{2m} \cdot cIEC_m^2 - 27,751203 \cdot Q_{3m} \cdot cIEC_m^2 - \\
 & - 27,210934 \cdot cUPF_{im} \cdot cIEC_m^2 - 15,301147 \cdot Q_{3m} \cdot cUPF_{im} \cdot cIEC_m^2 - \\
 & - 10,599541 \cdot Q_{2m} \cdot cUPF_{im}^2 \cdot cIEC_m
 \end{aligned}
 \qquad R^2 = 99,64\%$$



Se puede observar que existen términos significativos que incluyen a las variables categóricas Q_{2m} y Q_{3m} , por lo que la respuesta será significativamente diferente en función del colorante utilizado en las tinturas.

En el modelo han resultado significativos los efectos simples $cUPFi_m$ y $cIEC_m$ y la interacción de los mismos $cUPFi_m \cdot cIEC_m$, con signo positivo todos ellos. Con ello, se puede afirmar que el UPF de los tejidos aumenta al aumentar cualquiera de los efectos y que el incremento producido se ve acelerado por la interacción de las dos variables.

El efecto simple $cUPFi_m$ también aparece en el modelo multiplicado por el coeficiente Q_{2m} y por el coeficiente Q_{3m} , ambos con signo positivo, de forma que el incremento en la respuesta producido por este efecto será diferente en función del colorante utilizado. El menor efecto de esta variable se produce en la tintura con el colorante C.I. Direct Yellow 98 y el mayor efecto se produce en la tintura con el C.I. Direct Blue 77.

Los términos correspondientes al efecto simple $cIEC_m$ y la interacción $cUPFi_m \cdot cIEC_m$ aparecen en el modelo multiplicados por el coeficiente Q_{2m} con signo positivo, pero no por el Q_{3m} . Ello significa que el incremento causado por este efecto simple y la aceleración causada por la interacción serán iguales para los colorantes C.I. Direct Yellow 98 y el C.I. Direct Red 89, y mayores en la tintura con el C.I. Direct Blue 77.

Asimismo ha resultado significativo el término cuadrático $cUPFi_m^2$ para los colorantes C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89 y el $cIEC_m^2$ para todos los colorantes, con coeficientes de signo negativo que producirán una deceleración en el aumento del valor de la respuesta más acusada a medida que aumenta el valor de la variable correspondiente.

También tiene un coeficiente de signo negativo el término $cUPFi_m \cdot cIEC_m^2$, significativo para el colorante C.I. Direct Yellow 98 y el C.I. Direct Red 89, que influirá en el efecto de deceleración causado por $cIEC_m^2$ aumentándolo para valores crecientes de $cUPFi_m$. De igual forma, el coeficiente de signo negativo del término $cUPFi_m^2 \cdot cIEC_m$, significativo para el colorante C.I. Direct Blue 77 influirá en el efecto de deceleración causado por $cUPFi_m^2$ aumentándolo para valores crecientes de $cIEC_m$.

Al separar los modelos en función de las variables categóricas Q_{2m} y Q_{3m} , se obtienen los modelos individuales para cada colorante que se presentan a continuación:

- C.I. Direct Yellow 98: $Q_{2m} = 0$ $Q_{3m} = 0$

$$UPF_m = 63,561633 + 54,703098 \cdot cUPFim + 34,191256 \cdot cIECm + 25,333287 \cdot cUPFim \cdot cIECm - 20,228336 \cdot cIECm^2 - 27,210934 \cdot cUPFim \cdot cIECm^2$$

- C.I. Direct Blue 77: $Q_{2m} = 1$ $Q_{3m} = 0$

$$UPF_m = 108,836911 + 72,899446 \cdot cUPFim + 60,062337 \cdot cIECm + 40,367876 \cdot cUPFim \cdot cIECm - 14,760461 \cdot cUPFim^2 - 34,786357 \cdot cIECm^2 - 27,210934 \cdot cUPFim \cdot cIECm^2 - 10,599541 \cdot cUPFim^2 \cdot cIECm$$



- C.I. Direct Red 89: $Q_{2m} = 0$ $Q_{3m} = 1$

$$UPF_m = 98,051157 + 71,200858 \cdot cUPF_{im} + 34,191256 \cdot cIEC_m + 25,333287 \cdot cUPF_{im} \cdot cIEC_m - 7,584150 \cdot cUPF_{im}^2 - 47,979539 \cdot cIEC_m^2 - 42,512081 \cdot cUPF_{im} \cdot cIEC_m^2$$

Los coeficientes de los modelos individuales de cada colorante en el caso de la tintura de los tejidos de Modal no permiten dilucidar fácilmente ni qué variables ni qué colorantes tienen un mayor efecto sobre la mejora del UPF de los tejidos.

En principio, se puede observar que los coeficientes positivos del modelo para el colorante C.I. Direct Blue 77 tienen valores más elevados, por lo que sería el colorante más efectivo. Sin embargo, también posee más términos con coeficientes negativos, por lo que será necesario recurrir a la representación gráfica del modelo en las superficies de respuesta y las curvas de nivel para poder analizar si estos coeficientes negativos son lo suficientemente fuertes como para hacer que este colorante sea menos eficaz en la mejora del UPF de los tejidos que el resto de colorantes.

De igual forma, también parece que la variable más influyente en la mejora del UPF sería el UPF inicial del tejido $cUPF_{im}$, que tiene los coeficientes positivos de mayor valor. Esta afirmación es clara para el modelo correspondiente a la tintura con el colorante C.I. Direct Yellow 98. Pero en los modelos correspondientes a los otros dos colorantes, el coeficiente negativo del término cuadrático de esta variable y su interacción con $cIEC_m$, no permiten realizar esta misma afirmación. Se deberá recurrir a la representación gráfica del modelo para analizar si el efecto de los coeficientes negativos es mayor que el de los coeficientes positivos del modelo.

Una vez descodificados, los modelos para cada colorante en variables originales son los siguientes:

- C.I. Direct Yellow 98:

$$UPF_m = 4,801173 + 0,462286 \cdot UPF_{im} - 99,191450 \cdot IEC_m + 19,762994 \cdot UPF_{im} \cdot IEC_m + 46,179616 \cdot IEC_m^2 - 7,802761 \cdot UPF_{im} \cdot IEC_m^2$$

- C.I. Direct Blue 77:

$$UPF_m = -13,532376 + 4,722358 \cdot UPF_{im} - 120,132659 \cdot IEC_m + 34,050833 \cdot UPF_{im} \cdot IEC_m - 0,190790 \cdot UPF_{im}^2 + 26,684579 \cdot IEC_m^2 - 7,802761 \cdot UPF_{im} \cdot IEC_m^2 - 0,562424 \cdot UPF_{im}^2 \cdot IEC_m$$

- C.I. Direct Red 89:

$$UPF_m = -21,528816 + 7,249355 \cdot UPF_{im} - 106,169208 \cdot IEC_m + 27,346115 \cdot UPF_{im} \cdot IEC_m - 0,347755 \cdot UPF_{im}^2 + 50,21697 \cdot IEC_m^2 - 12,190379 \cdot UPF_{im} \cdot IEC_m^2$$



4.3.1.2.6.3. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 4.16 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, $cUPFi_m$ y $cIEC_m$, 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. Por razones de espacio en las figuras, únicamente en el intervalo de UPF entre 0 y 50 se han dibujado las curvas cada 5 puntos. Entre 50 y 200, cada curva representa un incremento de 10 puntos en el valor del UPF.

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

Las superficies de respuesta y curvas de nivel de los modelos que describen la influencia de la coloración en el UPF de los tejidos de Modal muestran tendencias similares a las obtenidas para los tejidos de Algodón. La figura muestra una muy notable influencia de ambas variables ($cUPFi_m$ y $cIEC_m$) en el valor de la respuesta UPF, aunque los valores obtenidos no son tan elevados como los observados para los tejidos de Algodón teñidos (nótese la diferente escala de UPF en las superficies de respuesta).

En la figura se puede observar que la variable UPF inicial del tejido tiene una influencia siempre positiva sobre el valor de la respuesta UPF. Al aumentar $UPFi$ lo hará también el factor de protección, aunque cada vez más lentamente, debido al efecto del término cuadrático negativo.

En cambio, al aumentar la variable IEC, se produce en principio una mejora en el factor de protección, pero llega un punto a partir del cual el efecto es el inverso. 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 ningún efecto sobre el valor de la respuesta UPF o incluso produciría un efecto negativo. Esta tendencia se puede observar perfectamente en las superficies y curvas obtenidas para la tintura con todos los colorantes.

Sin embargo, nuevamente lo más destacable es que el incremento en los valores del UPF se ve marcadamente acelerado por la interacción de ambas variables, UPF inicial e intensidad de tintura. Así, para valores muy bajos de una de las variables, el efecto de la otra variable en la mejora del UPF es pequeño, mientras que para valores altos, el efecto de la otra variable es muy notable. Esta característica es importante porque, a efectos prácticos, significa que el incremento en la protección producido por la coloración de los tejidos de Modal depende notablemente del valor del UPF inicial del tejido antes de la tintura, es decir, de la estructura del tejido. La mejora del UPF proporcionada por la tintura es menos notoria cuando la estructura del tejido original es más abierta y se va haciendo cada vez mayor a medida que se aumenta la compacidad del tejido original.



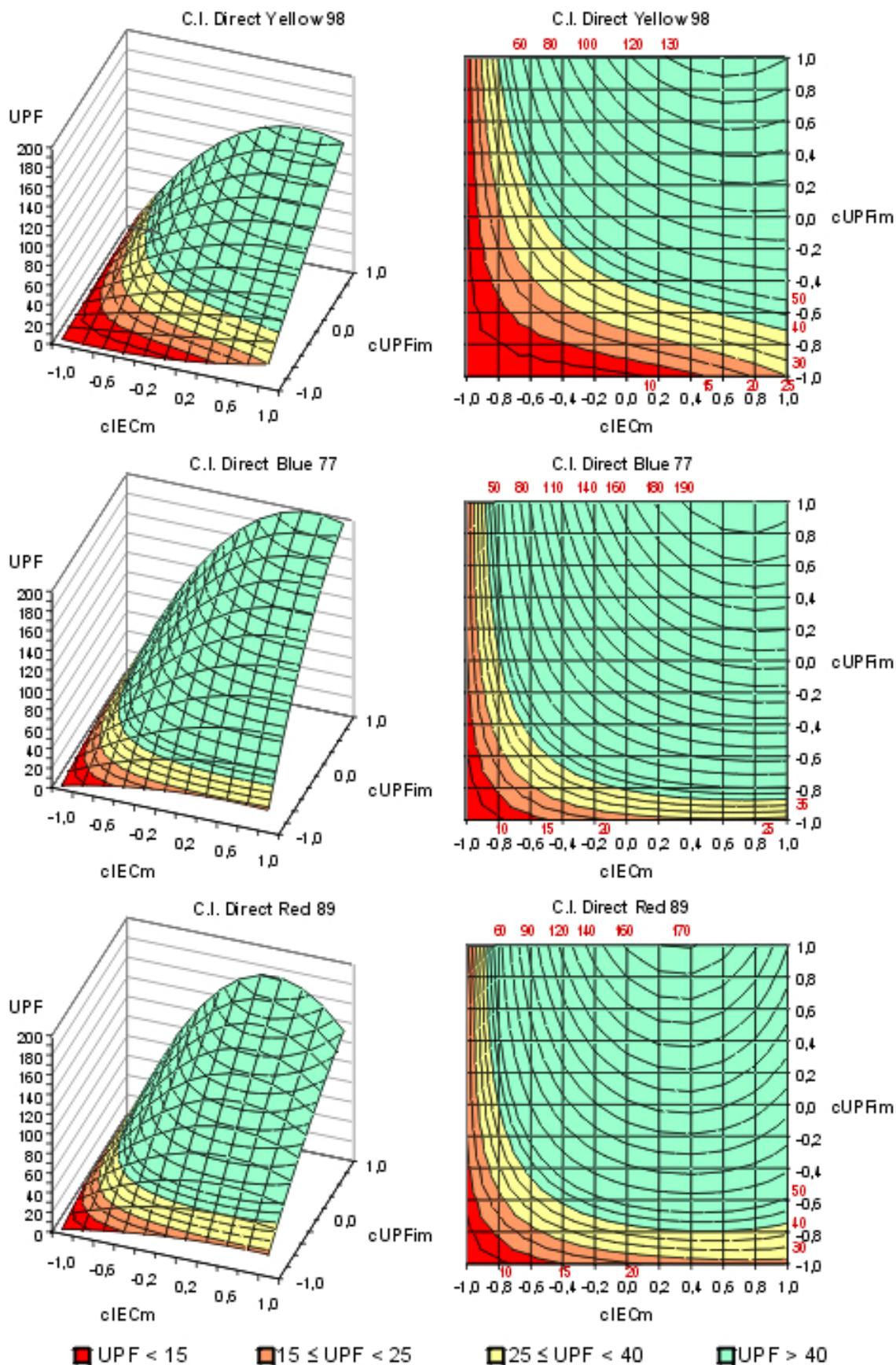


Figura 4.16. Superficies de respuesta y curvas de nivel, tejidos de Modal teñidos

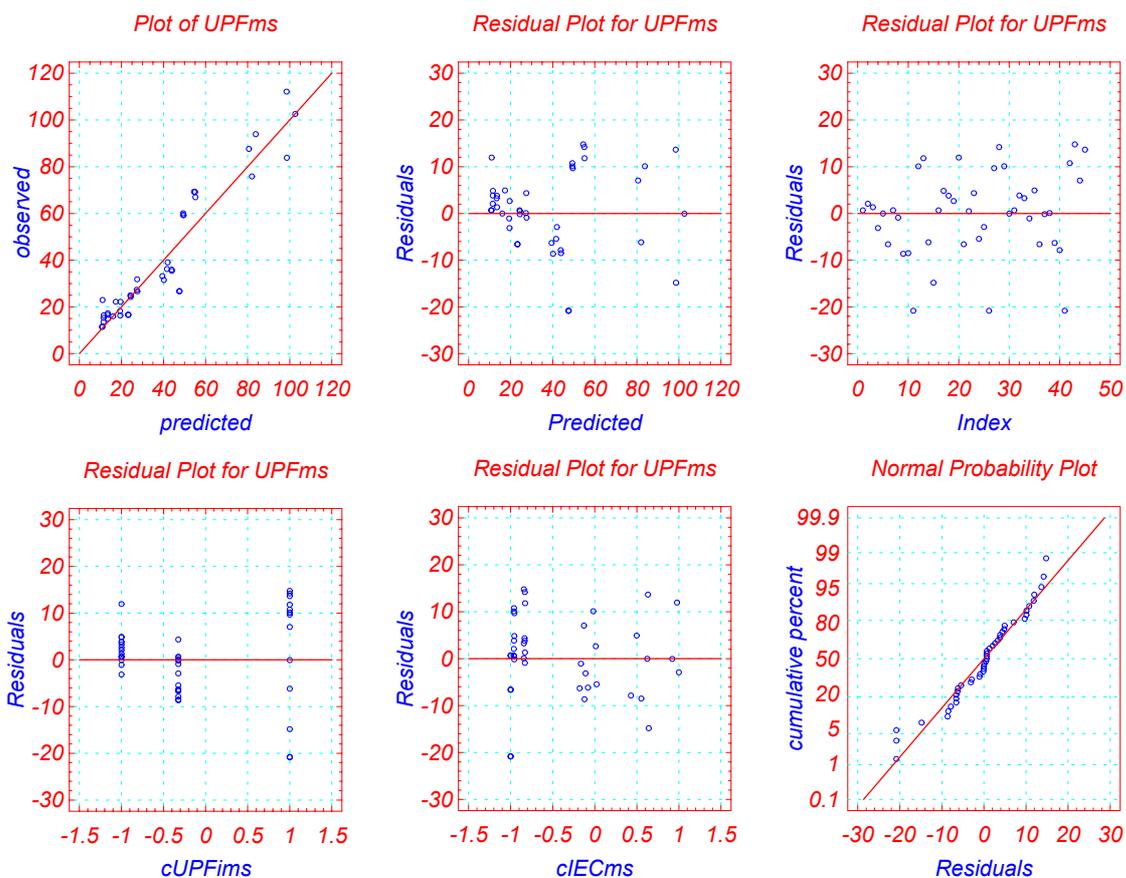


Figura 4.17. Gráficos de residuos y probabilístico normal de la respuesta UPF, tejidos de Modal Sun teñidos

4.3.1.2.7.2. Modelo definitivo

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

$$UPFms = 51,937631 + 32,401064 \cdot cUPFms + 13,926035 \cdot cIECms + 14,03811 \cdot cUPFms \cdot cIECms - 8,83021 \cdot cIECms^2 \quad R^2 = 89,45\%$$

El modelo estimado indica que no existe ningún término significativo que incluya a las variables categóricas Q2_{ms} y Q3_{ms}, por lo que el modelo será exactamente el mismo para todos los colorantes utilizados en las tinturas. Es decir, el tipo de colorante entre los estudiados, no influye en el valor de la respuesta UPF cuando se aplica sobre tejidos de Modal Sun.

En cambio, sí que tienen influencia los efectos simples cUPFi_{ms} y cIEC_{ms} y la interacción de los mismos cUPFi_{ms} · cIEC_{ms}, con signo positivo todos ellos, de forma que se puede afirmar que el UPF de los tejidos aumenta al aumentar cualquiera de los efectos y que el incremento producido se ve acelerado por la interacción de las dos variables. Asimismo ha resultado significativo el término cuadrático cIEC_{ms}² con un coeficiente de signo



negativo que producirá una deceleración en el aumento del valor de la respuesta más acusada a medida que aumenta el valor de la variable.

La variable que presenta una mayor influencia en el incremento del UPF final y, por tanto, en el nivel de protección proporcionado por los tejidos teñidos, es el UPF inicial de los tejidos. Esta variable presenta el efecto simple con el coeficiente positivo de mayor valor, interviene también con un coeficiente positivo en la interacción y no interviene en ningún término con coeficiente negativo.

Al descodificar, se obtiene el siguiente modelo en variables originales:

$$UPF_{ms} = -16,846491 + 2,409836 \cdot UPF_{ims} - 3,730571 \cdot IEC_{ms} + 1,908595 \cdot UPF_{ims} \cdot IEC_{ms} - 9,477448 \cdot IEC_{ms}^2$$

4.3.1.2.7.3. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 4.18 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, $cUPF_{ims}$ y $cIEC_{ms}$, obtenidas según el modelo estimado, único para los tres colorantes en estudio, C.I. Direct Yellow 98, C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89. En este caso sí que ha sido posible representar las curvas de superficie cada 5 puntos, en todo el rango de UPF obtenido (entre 0 y 120).

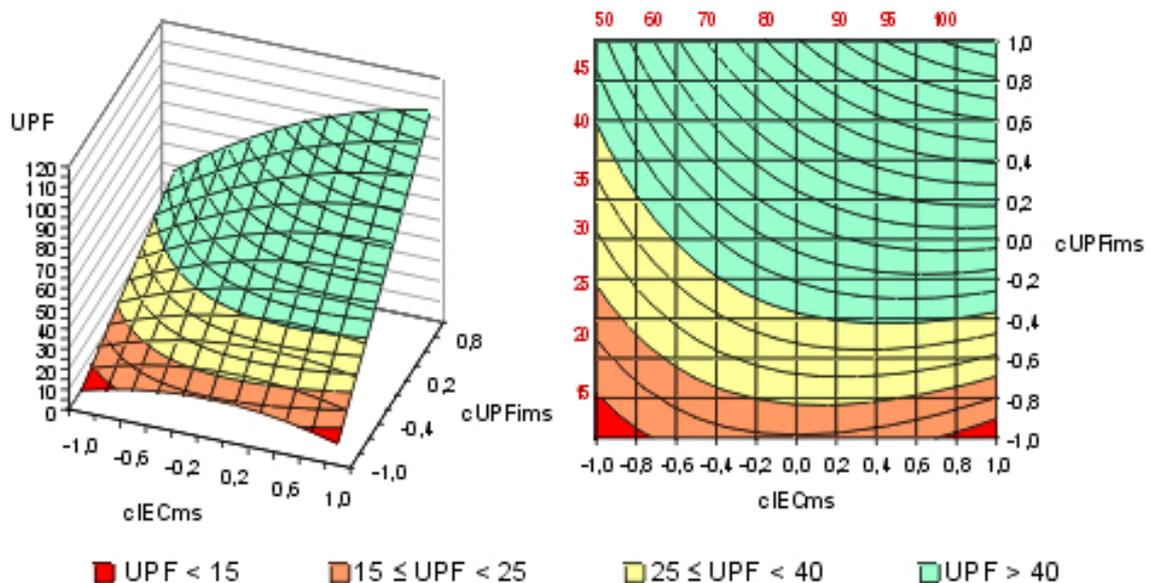


Figura 4.18. Superficies de respuesta y curvas de nivel, tejidos de Modal Sun teñidos

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

Para la serie de tejidos de Modal Sun se sigue observando que el aumento en el valor de ambas variables ($cUPF_{ims}$ y $cIEC_{ms}$) produce un incremento en el valor de la respuesta

UPF, aunque los valores obtenidos no son tan elevados como los observados para los tejidos de Modal y, sobretodo, de Algodón teñidos (nótese la diferente escala de UPF en las superficies de respuesta). Para esta serie de tejidos, sin embargo, se puede observar que la variable $cUPF_{i_{ms}}$ presenta una influencia notablemente mayor en el valor de la respuesta que la variable $cIEC_{ms}$. Un aumento en el valor de la variable $cUPF_{i_{ms}}$ producirá un incremento mayor del UPF que el mismo aumento en el valor de la variable $cIEC_{ms}$. Además, también en la tintura de los tejidos de Modal Sun, se observa perfectamente una tendencia a la saturación, a llegar a un punto a partir del cual un aumento en la intensidad de color no produce ningún efecto sobre el valor de la respuesta UPF.

Debido a estas características, se puede afirmar que la tintura de los tejidos de Modal Sun no es tan efectiva para mejorar el nivel de protección proporcionada por estos tejidos como lo es la tintura de los tejidos de Modal o Algodón. En este caso, para alcanzar determinados niveles de protección, será aún más importante la adecuada selección de los tejidos a teñir, ya que el efecto del uso de colorantes será menor.

Como se ha indicado con anterioridad, en la tintura de los tejidos de Modal Sun no existe ninguna diferencia significativa por el uso en las tinturas de los diferentes colorantes, C.I. Direct Yellow 98, C.I. Direct Blue 77 o C.I. Direct Red 89.

4.3.1.2.8. Comparación entre los modelos obtenidos para las diferentes fibras

Como resumen de los resultados obtenidos y para comparar el efecto del tipo de fibra y el color sobre la protección contra la radiación ultravioleta proporcionada por los tejidos, en este apartado se resumen los modelos que describen el valor del UPF de los tejidos en función del tipo de colorante, la intensidad de tintura y el UPF inicial, obtenidos para los tejidos fabricados con las fibras de Algodón, Modal y Modal Sun.

Algodón: $R^2 = 99,54\%$

$$\begin{aligned}
 UPF_a = & 137,146981 + 149,309978 \cdot Q_{2a} + 60,378516 \cdot Q_{3a} + \\
 & + 125,571722 \cdot cUPF_{ia} + 148,076198 \cdot Q_{2a} \cdot cUPF_{ia} + 55,963439 \cdot Q_{3a} \cdot cUPF_{ia} + \\
 & + 96,409933 \cdot cIEC_a + 149,556180 \cdot Q_{2a} \cdot cIEC_a + 51,088662 \cdot Q_{3a} \cdot cIEC_a + \\
 & + 82,778566 \cdot cUPF_{ia} \cdot cIEC_a + 150,916909 \cdot Q_{2a} \cdot cUPF_{ia} \cdot cIEC_a + 47,046717 \cdot Q_{3a} \cdot cUPF_{ia} \cdot cIEC_a - \\
 & - 43,097589 \cdot cIEC_a^2 - \\
 & - 50,000589 \cdot cUPF_{ia} \cdot cIEC_a^2
 \end{aligned}$$



Modal: $R^2 = 99,64\%$

$$\begin{aligned} UPFm = & 63,561633 + 45,275278 \cdot Q2m + 34,489524 \cdot Q3m + \\ & + 54,703098 \cdot cUPFim + 18,196348 \cdot Q2m \cdot cUPFim + 16,497760 \cdot Q3m \cdot cUPFim + \\ & + 34,191256 \cdot cIECm + 25,871081 \cdot Q2m \cdot cIECm \\ & + 25,333287 \cdot cUPFim \cdot cIECm + 15,034589 \cdot Q2m \cdot cUPFim \cdot cIECm - \\ & - 14,760461 \cdot Q2m \cdot cUPFim^2 - 7,584150 \cdot Q3m \cdot cUPFim^2 - \\ & - 20,228336 \cdot cIECm^2 - 14,558021 \cdot Q2m \cdot cIECm^2 - 27,751203 \cdot Q3m \cdot cIECm^2 - \\ & - 27,210934 \cdot cUPFim \cdot cIECm^2 - 15,301147 \cdot Q3m \cdot cUPFim \cdot cIECm^2 - \\ & - 10,599541 \cdot Q2m \cdot cUPFim^2 \cdot cIECm \end{aligned}$$

Modal Sun: $R^2 = 89,45\%$

$$\begin{aligned} UPFms = & 51,937631 + 32,401064 \cdot cUPFims + 13,926035 \cdot cIECms + 14,03811 \cdot cUPFims \cdot cIECms - \\ & - 8,83021 \cdot cIECms^2 \end{aligned}$$

Y comparando los resultados obtenidos para cada uno de los colorantes:

- C.I. Direct Yellow 98:

$$\begin{aligned} UPFa = & 137,146981 + 125,571722 \cdot cUPFia + 96,409933 \cdot cIECa + 82,778566 \cdot cUPFia \cdot cIECa - \\ & - 43,097589 \cdot cIECa^2 - 50,000589 \cdot cUPFia \cdot cIECa^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} UPFm = & 63,561633 + 54,703098 \cdot cUPFim + 34,191256 \cdot cIECm + 25,333287 \cdot cUPFim \cdot cIECm - \\ & - 20,228336 \cdot cIECm^2 - 27,210934 \cdot cUPFim \cdot cIECm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} UPFms = & 51,937631 + 32,401064 \cdot cUPFims + 13,926035 \cdot cIECms + 14,03811 \cdot cUPFims \cdot cIECms - \\ & - 8,83021 \cdot cIECms^2 \end{aligned}$$

- C.I. Direct Blue 77:

$$\begin{aligned} UPFa = & 286,456959 + 273,647920 \cdot cUPFia + 245,966113 \cdot cIECa + 233,695475 \cdot cUPFia \cdot cIECa - \\ & - 43,097589 \cdot cIECa^2 - 50,000589 \cdot cUPFia \cdot cIECa^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} UPFm = & 108,836911 + 72,899446 \cdot cUPFim + 60,062337 \cdot cIECm + 40,367876 \cdot cUPFim \cdot cIECm - \\ & - 14,760461 \cdot cUPFim^2 - 34,786357 \cdot cIECm^2 - 27,210934 \cdot cUPFim \cdot cIECm^2 - \\ & - 10,599541 \cdot cUPFim^2 \cdot cIECm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} UPFms = & 51,937631 + 32,401064 \cdot cUPFims + 13,926035 \cdot cIECms + 14,03811 \cdot cUPFims \cdot cIECms - \\ & - 8,83021 \cdot cIECms^2 \end{aligned}$$

- C.I. Direct Red 89:

$$\begin{aligned} UPFa = & 197,528197 + 181,535161 \cdot cUPFia + 147,498595 \cdot cIECa + 129,825283 \cdot cUPFia \cdot cIECa - \\ & - 43,097589 \cdot cIECa^2 - 50,000589 \cdot cUPFia \cdot cIECa^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} UPFm = & 98,051157 + 71,200858 \cdot cUPFim + 34,191256 \cdot cIECm + 25,333287 \cdot cUPFim \cdot cIECm - \\ & - 7,584150 \cdot cUPFim^2 - 47,979539 \cdot cIECm^2 - 42,512081 \cdot cUPFim \cdot cIECm^2 \end{aligned}$$



$$UPFms = 51,937631 + 32,401064 \cdot cUPFims + 13,926035 \cdot cIECms + 14,03811 \cdot cUPFims \cdot cIECms - 8,83021 \cdot cIECms^2$$

Los modelos demuestran que, para todos los tipos de fibras y de colorantes estudiados, la tintura de los tejidos tiene influencia sobre el factor de protección a la radiación ultravioleta proporcionado por los mismos, produciendo un incremento en el valor del UPF. La influencia de la coloración es más notable en la tintura de los tejidos de Algodón, seguida por la tintura de los de Modal y menor en la tintura de los tejidos de Modal Sun.

También es común para todos los tipos de fibras y de colorantes estudiados, que la variable que ha resultado más significativa para la mejora del UPF de los tejidos es el UPF inicial del mismo, es decir, la estructura del tejido original. Esta variable ha obtenido los coeficientes positivos de valor más elevado y los coeficientes negativos de valor menos elevado, a la vez que interviene en menos coeficientes de signo negativo. El incremento causado por el aumento de la variable UPF inicial del tejido sigue una relación lineal, en general. Únicamente en la tintura de los tejidos de Modal con los colorantes C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89 es significativo el término cuadrático de esta variable, con signo negativo, por lo se produce una deceleración en el incremento del valor de la respuesta UPF cuando esta variable aumenta y, por lo tanto, existe la tendencia a llegar a un nivel de la variable UPF inicial a partir del cual un aumento no producirá un cambio notable en el UPF del tejido teñido. La influencia de la variable UPF inicial del tejido es mucho más notable cuando los tejidos teñidos están fabricados con la fibra de Algodón y menos notable en los tejidos fabricados con Modal Sun.

También para todos los tipos de fibras y de colorantes estudiados, el aumento de la intensidad de tintura producirá un incremento en el UPF del tejido. Este incremento no es lineal, produce mayores cambios en el UPF para intensidades de color bajas y cambios menores cuando la intensidad de tintura va creciendo, observándose una tendencia a llegar a un punto a partir del cual un aumento de la intensidad de color no produce una variación significativa en el valor de la respuesta UPF. La influencia de la intensidad de color es mucho más notable en la tintura de los tejidos de Algodón, algo menor en la de los tejidos de Modal y mucho menos notable en la tintura de los tejidos de Modal Sun.

La influencia del tipo de colorante depende notablemente del tipo de fibra con el que están fabricados los tejidos a teñir. El tipo de colorante es una variable significativa cuando las tinturas se realizan sobre tejidos de Algodón o de Modal. En dichos tejidos, la tintura será más efectiva en el aumento del UPF si se realiza con el colorante C.I. Direct Blue 77 y algo menos si se utiliza el C.I. Direct Red 89. El colorante C.I. Direct Yellow 98 no proporcionará una mejora de la protección tan elevada. Sin embargo, el tipo de colorante no es una variable que tenga una influencia significativa cuando la tintura se realiza sobre los tejidos de Modal Sun.



A modo de ejemplo, en la Tabla 4.19, la Tabla 4.20 y Tabla 4.21 se han representado valores de UPF, estimados según el modelo obtenido para cada una de las fibras y colorantes.

- UPF < 15: tejido no protector
- 15 ≤ UPF < 25: tejido que proporciona buena protección
- 25 ≤ UPF < 40: tejido que proporciona muy buena protección
- UPF ≥ 40: tejido que proporciona protección excelente

C.I. Direct Yellow 98		UPF inicial										
		4,06	4,32	4,58	4,84	5,10	5,36	5,62	5,88	6,14	6,40	6,66
Intensidad Estándar Corregida	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	24,7	31,3	37,8	44,3	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	7,4	24,9	42,5	60,0	77,5	95,0	112,5	130,0	147,5	165,0	182,5
	0,79	9,4	31,2	53,1	74,9	96,7	118,6	140,4	162,3	184,1	206,0	227,8
	0,98	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	212,3	240,5	268,7	296,9
	1,36	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		UPF inicial										
		4,06	4,32	4,58	4,84	5,10	5,36	5,62	5,88	6,14	6,40	6,66
Intensidad Estándar corregida	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
	0,39	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
	1,25	17,0	84,5	152,0	219,5	287,1	354,6	422,1	489,6	557,1	624,7	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
	1,59	23,7	104,5	185,3	266,2	347,0	427,8	508,7	589,5	670,3	751,2	832,0
1,76	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 89		UPF inicial										
		4,06	4,32	4,58	4,84	5,10	5,36	5,62	5,88	6,14	6,40	6,66
Intensidad Estándar corregida	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	183,8	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	

Tabla 4.19. Estimación del UPF según el modelo para los tejidos de Algodón teñidos



C.I. Direct		UPF inicial										
Yellow 98		4,72	5,65	6,59	7,52	8,46	9,39	10,32	11,26	12,19	13,13	14,06
Intensidad Estándar corregida	0,04	6,8	7,9	9,0	10,1	11,2	12,3	13,4	14,5	15,7	16,8	17,9
	0,17	6,2	9,6	13,0	16,4	19,8	23,1	26,5	29,9	33,3	36,6	40,0
	0,30	6,1	11,4	16,8	22,2	27,6	33,0	38,3	43,7	49,1	54,5	59,9
	0,44	6,2	13,3	20,4	27,6	34,7	41,8	48,9	56,1	63,2	70,3	77,5
	0,57	6,7	15,3	23,9	32,5	41,1	49,7	58,3	66,9	75,5	84,2	92,8
	0,71	7,5	17,3	27,1	37,0	46,8	56,6	66,5	76,3	86,1	96,0	105,8
	0,84	8,6	19,4	30,2	41,0	51,8	62,6	73,4	84,2	95,0	105,8	116,6
	0,97	10,1	21,6	33,1	44,6	56,1	67,6	79,1	90,6	102,1	113,6	125,1
	1,11	11,9	23,8	35,8	47,7	59,7	71,6	83,5	95,5	107,4	119,3	131,3
	1,24	14,1	26,2	38,3	50,4	62,5	74,6	86,7	98,9	111,0	123,1	135,2
	1,38	16,5	28,6	40,6	52,6	64,7	76,7	88,7	100,8	112,8	124,8	136,9

C.I. Direct		UPF inicial										
Blue 77		4,72	5,65	6,59	7,52	8,46	9,39	10,32	11,26	12,19	13,13	14,06
Intensidad Estándar corregida	0,04	5,6	9,3	12,5	15,4	17,9	20,0	21,8	23,2	24,2	24,8	25,1
	0,21	9,9	17,7	24,9	31,6	37,8	43,4	48,5	53,0	57,0	60,4	63,4
	0,38	13,7	25,2	35,9	46,0	55,4	64,1	72,0	79,3	85,9	91,7	96,9
	0,55	16,8	31,6	45,5	58,6	70,8	82,1	92,6	102,1	110,9	118,7	125,7
	0,72	19,4	37,1	53,7	69,4	83,9	97,5	110,0	121,5	131,9	141,4	149,7
	0,88	21,4	41,6	60,5	78,3	94,9	110,2	124,4	137,4	149,1	159,7	169,1
	1,05	22,8	45,0	65,9	85,4	103,5	120,3	135,7	149,8	162,4	173,7	183,7
	1,22	23,6	47,5	69,9	90,7	110,0	127,7	144,0	158,7	171,8	183,5	193,5
	1,39	23,9	49,0	72,4	94,2	114,2	132,5	149,2	164,1	177,3	188,9	198,7
	1,56	23,6	49,5	73,6	95,8	116,2	134,6	151,3	166,0	178,9	189,9	199,1
	1,73	22,7	49,0	73,3	95,6	115,9	134,1	150,3	164,5	176,6	186,7	194,8

C.I. Direct		UPF inicial										
Red 89		4,72	5,65	6,59	7,52	8,46	9,39	10,32	11,26	12,19	13,13	14,06
Intensidad Estándar corregida	0,04	5,9	10,3	14,1	17,3	19,9	21,9	23,3	24,1	24,3	23,8	22,8
	0,18	8,7	16,3	23,2	29,6	35,3	40,4	44,9	48,8	52,1	54,8	56,9
	0,31	11,4	21,6	31,2	40,3	48,7	56,5	63,7	70,3	76,3	81,7	86,5
	0,45	13,7	26,2	38,2	49,5	60,2	70,3	79,8	88,7	97,0	104,6	111,7
	0,58	15,8	30,2	44,0	57,2	69,7	81,7	93,1	103,8	114,0	123,5	132,5
	0,72	17,6	33,4	48,7	63,3	77,4	90,8	103,6	115,8	127,4	138,5	148,8
	0,85	19,1	36,0	52,3	68,0	83,1	97,5	111,4	124,7	137,3	149,3	160,8
	0,99	20,4	37,9	54,8	71,1	86,8	101,9	116,4	130,3	143,6	156,2	168,3
	1,12	21,4	39,1	56,3	72,8	88,7	104,0	118,7	132,8	146,2	159,1	171,4
	1,26	22,2	39,7	56,6	72,9	88,6	103,7	118,2	132,0	145,3	158,0	170,0
	1,39	22,6	39,5	55,8	71,5	86,6	101,0	114,9	128,1	140,8	152,8	164,3

Tabla 4.20. Estimación del UPF según el modelo para los tejidos de Modal teñidos



Todos los colorantes		UPF inicial										
		11,48	13,00	14,53	16,05	17,58	19,10	20,62	22,15	23,67	25,20	26,72
Intensidad Estándar corregida	0,04	11,5	15,2	19,0	22,8	26,6	30,3	34,1	37,9	41,7	45,4	49,2
	0,19	13,9	18,2	22,4	26,6	30,8	35,1	39,3	43,5	47,8	52,0	56,2
	0,35	16,0	20,6	25,3	30,0	34,7	39,4	44,0	48,7	53,4	58,1	62,7
	0,50	17,5	22,7	27,8	32,9	38,1	43,2	48,3	53,4	58,6	63,7	68,8
	0,66	18,7	24,2	29,8	35,4	41,0	46,6	52,1	57,7	63,3	68,9	74,4
	0,81	19,3	25,4	31,4	37,4	43,4	49,5	55,5	61,5	67,6	73,6	79,6
	0,96	19,5	26,0	32,5	39,0	45,5	51,9	58,4	64,9	71,4	77,8	84,3
	1,12	19,3	26,2	33,2	40,1	47,0	53,9	60,9	67,8	74,7	81,7	88,6
	1,27	18,6	26,0	33,4	40,7	48,1	55,5	62,9	70,2	77,6	85,0	92,4
	1,43	17,4	25,3	33,1	40,9	48,8	56,6	64,4	72,2	80,1	87,9	95,7
	1,58	15,8	24,1	32,4	40,7	49,0	57,2	65,5	73,8	82,1	90,4	98,6

Tabla 4.21. Estimación del UPF según el modelo para los tejidos de Modal Sun teñidos

Para todas las series de tejidos (Algodón, Modal y Modal Sun) las tablas según la estimación proporcionada por el modelo se muestran útiles en la elección de las múltiples posibilidades de combinación de los niveles de las variables para obtener una determinada protección. Dentro de los intervalos estudiados de los valores de las variables del sistema, se pueden obtener tejidos teñidos con UPF estimados que permitirían clasificarlos en todos los niveles de protección contemplados en la norma (tejidos no protectores, tejidos con buena protección, con muy buena protección y con protección excelente), y que a la vez serían tejidos ligeros adecuados para su uso en prendas de verano.



4.4. 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 sobre cualquiera de los tipos de fibras 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.
 - El colorante C.I. Direct Yellow 98 hace disminuir la transmitancia propia de la fibra en mayor grado en la zona del UVA, mientras que en la zona del UVB la diferencia de transmisión entre las curvas de los tejidos teñidos y no teñidos es menor. Estos resultados coinciden con las apreciaciones observadas en el espectro de absorción de la disolución de este colorante, en el que se observa una menor absorbancia en la zona del UVB que va creciendo a medida que aumenta la longitud de onda en la zona del UVA.
 - La adición del colorante C.I. Direct Blue 77 provoca una mayor disminución de la transmitancia en la zona del UVB y el efecto va haciéndose menor a medida que aumenta la longitud de onda, de forma que las curvas son siempre de transmisión creciente. También coincide con los resultados observados en el espectro de absorción de este colorante, con una absorbancia mayor en la zona del UVB y que va decreciendo hasta los 400 nm.
 - El colorante C.I. Direct Red 89 provoca una mayor disminución de transmitancia a los 290 nm haciéndose menor el efecto hasta los 350 – 360 nm, para luego volver a disminuir en mayor grado la transmitancia hasta los 400 nm. Esto provoca una ondulación de las curvas con un máximo a 350 – 360 nm, que coincide con la zona de mínima absorción del colorante observada en su espectro de absorción.
- 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, de Modal o de Modal Sun, permite la obtención de tejidos ligeros para su uso en prendas de verano que pueden proporcionar niveles de buena protección ($15 \leq \text{UPF} < 25$), muy buena protección ($25 \leq \text{UPF} < 40$) y protección excelente ($\text{UPF} \geq 40$).



- El nivel de protección alcanzado depende de todas las variables que se han considerado en el estudio: del tipo de fibra utilizado, 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 estas variables:
 - Cuando se utilizan tejidos con UPF inicial bajo se deberá recurrir a intensidades de color mínimas de valor elevado para obtener buena protección, mientras que si se utilizan tejidos con UPF iniciales más elevados, la mínima intensidad de color necesaria para obtener buena protección será menor.
 - Si se requiere un color pastel sobre el tejido, se deberá utilizar un tejido original más compacto, con un mínimo UPF inicial elevado. Si el color sobre el tejido puede ser intenso, se puede utilizar un mínimo UPF inicial menor, es decir, un tejido menos compacto para obtener buena protección.
 - Con diversas combinaciones de UPF inicial e intensidad de color se podrán obtener niveles de buena, muy buena y excelente protección.
 - Los valores mínimos de UPF inicial e intensidad de color necesarios para obtener protección serán menores cuando se utiliza el colorante C.I. Direct Blue 77, algo mayores cuando se utiliza el C.I. Direct Red 89 y bastante mayores cuando se utiliza el C.I. Direct Yellow 98.
 - También serán menores cuando se utiliza la fibra de Algodón, algo mayores cuando se utiliza la fibra de Modal y bastante mayores cuando se utiliza la de Modal Sun.
- Mediante el análisis estadístico de los datos obtenidos, se ha podido obtener un modelo para cada tipo de fibra estudiado 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.
 - Los modelos estimados para cada una de las fibras estudiadas han obtenido una R^2 de valor muy elevado para las fibras de Algodón (99,5%) y Modal (99,6%) y algo menor (89,5%) en el modelo para Modal Sun. El número de grados de libertad también es elevado, lo que significa que con pocos términos se consigue explicar en un elevado porcentaje el valor de la respuesta.
 - Los modelos demuestran que, para todos los tipos de fibras y de colorantes estudiados, la tintura de los tejidos tiene influencia sobre el factor de protección a la radiación ultravioleta proporcionado por los mismos, produciendo un incremento en el valor del UPF. Los mayores coeficientes en el modelo indican que la influencia de la coloración es más notable en la tintura de los tejidos de Algodón, seguida por la tintura de los de Modal y menor en la tintura de los tejidos de Modal Sun.



- La influencia del tipo de colorante depende notablemente del tipo de fibra con el que están fabricados los tejidos a teñir.
 - El tipo de colorante es una variable significativa cuando las tinturas se realizan sobre tejidos de Algodón o de Modal. En dichos tejidos, la tintura será más efectiva en el aumento del UPF si se realiza con el colorante C.I. Direct Blue 77 y algo menos si se utiliza el C.I. Direct Red 89. El colorante C.I. Direct Yellow 98 no proporcionará una mejora de la protección tan elevada.
 - Sin embargo, el tipo de colorante no es una variable que tenga una influencia significativa cuando la tintura se realiza sobre los tejidos de Modal Sun.
- Para todos los tipos de fibras y de colorantes estudiados, la variable que ha resultado más significativa para la mejora del UPF de los tejidos es el UPF inicial del mismo, es decir, la estructura del tejido original. Es necesaria una compacidad mínima de los tejidos para poder obtener determinados niveles de protección.
 - El incremento causado por el aumento de la variable UPF inicial del tejido sigue una relación lineal en general. Únicamente en la tintura de los tejidos de Modal con los colorantes C.I. Direct Blue 77 y C.I. Direct Red 89 se produce una deceleración en el incremento del valor de la respuesta UPF cuando esta variable aumenta y, por lo tanto, existe la tendencia a llegar a un nivel de la variable UPF inicial a partir del cual un aumento no producirá un cambio notable en el UPF del tejido teñido.
 - La influencia de la variable UPF inicial del tejido es mucho más notable cuando los tejidos teñidos están fabricados con la fibra de Algodón y menos notable en los tejidos fabricados con Modal Sun.
- También para todos los tipos de fibras y de colorantes estudiados, el aumento de la intensidad de tintura producirá un incremento en el UPF del tejido.
 - Este incremento no es lineal, produce mayores cambios en el UPF para intensidades de color bajas y cambios menores cuando la intensidad de tintura va creciendo, observándose una tendencia a llegar a un punto a partir del cual un aumento de la intensidad de color no produce una variación significativa en el valor de la respuesta UPF.
 - La influencia de la intensidad de color es mucho más notable en la tintura de los tejidos de Algodón, algo menor en la de los tejidos de Modal y mucho menos notable en la tintura de los tejidos de Modal Sun.
- La interacción de las dos variables, UPF inicial del tejido e intensidad estándar de color, contribuye en gran medida en el valor de la respuesta UPF.



- Para tejidos con UPF inicial bajo la tintura produce pequeños incrementos en el UPF final, pero a medida que el UPF inicial de los tejidos aumenta 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, pero a medida que aumenta la intensidad de coloración, el mismo aumento en el UPF inicial del tejido irá produciendo mayores incrementos en el UPF del tejido.
- A efectos prácticos, el incremento en la protección producido por la coloración de los tejidos depende notablemente del valor del UPF inicial del tejido antes de la tintura, es decir, de la estructura del tejido. La mejora del UPF proporcionada por la tintura es menos notoria cuando la estructura del tejido original es más abierta y se va haciendo cada vez mayor a medida que se aumenta la compacidad del tejido original. Así, se necesitará tanto un UPF inicial mínimo como una intensidad mínima de coloración para que los tejidos proporcionen un determinado nivel de protección.
- Los modelos obtenidos nos 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 permiten el ajuste de las variables, con numerosas posibilidades de distintas combinaciones, para obtener un UPF determinado.

