

**CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LAS  
CONDICIONES DE USO DE LAS  
PRENDAS EN EL FACTOR DE  
PROTECCIÓN A LA RADIACIÓN  
ULTRAVIOLETA**

### 3.1. INTRODUCCIÓN

Un aspecto a tener en cuenta cuando se habla de la protección que las prendas proporcionan contra la radiación ultravioleta es el hecho de que las normas existentes, en general, contemplan la medida del UPF en tejidos secos y no estirados.

Sin embargo, algunas aplicaciones de tejidos implican que reciban radiación ultravioleta en estado mojado (bañadores) y en estado de estiramiento (prendas ajustadas). La medida del UPF de muestras secas y relajadas de estos tejidos puede llevar a errores ya que el factor de protección puede disminuir considerablemente por las características de uso, en estado estirado y/o húmedo, de dichas prendas <sup>(34)</sup>. Entonces la cuestión es si es apropiado etiquetar una prenda como un UPF determinado si dicha prenda se va a llevar en un estado estirado o si se va a llevar cuando esté mojada.

El efecto de apertura de los tejidos causado por la tensión cuando las prendas se llevan ajustadas al cuerpo, es especialmente notable en los tejidos de punto, así como en los tejidos que contienen elastano. El uso de las prendas en este estado ajustado es bastante habitual actualmente, principalmente entre mujeres jóvenes y adolescentes. Incluso en este sector de población se tiende a adquirir prendas de tallas inferiores para potenciar este efecto. Moon et al. (1995) <sup>(49)</sup> midieron el estirado de varias prendas que contenían elastano (en mezcla con poliéster, poliamida o algodón) disponibles comercialmente y que 50 individuos, hombres y mujeres, eligieron como de su talla. Encontraron que, en contacto con el cuerpo, se producían estirados en un rango entre el 2% y el 52%, con una media de 15,5%. Fijando varios niveles de estirado, midieron el UPF de las prendas y concluyeron que se producía una notable reducción en la protección que las prendas proporcionaban.

Los mismos autores midieron también el UPF de los tejidos no estirados y estirados cuando eran mojados. En los tejidos ensayados se producía un notable descenso del factor de protección UPF. A la misma conclusión, llegó Jevtic (1990) <sup>(50)</sup> en un estudio *in vivo* en el que se ensayaron prendas habitualmente utilizadas en la playa.

La International Testing Association for Applied UV Protection, formada por varios institutos de financiación privada de Alemania, Suiza, Austria, Turquía y China, promulgó en el año 2001 la utilización de un documento normativo denominado UV Standard 801 <sup>(36)</sup>. El objetivo del documento es definir los requisitos generales y específicos para poder etiquetar los productos textiles con la etiqueta UV-Standard 801. Según el UV-Standard 801 es necesario medir el UPF del tejido en varios estados. Según esta norma se debe realizar la medida del UPF del tejido original en seco y en húmedo, así como en estado estirado en seco y en húmedo. A continuación se mide el UPF del tejido estirado y del tejido húmedo, después de someterlo a ensayos de abrasión, de lavado doméstico y de lavado en seco. El factor de protección mostrado en la etiqueta de las prendas es el menor UPF de los obtenidos en las diferentes medidas.



El objetivo de esta parte de la tesis doctoral es el establecimiento de modelos matemáticos que relacionen el valor de UPF con las propiedades más representativas de las condiciones de uso de las prendas, la tensión a la que son sometidas en contacto con el cuerpo y su utilización cuando están mojadas.

El estudio de la influencia de las condiciones de uso de las prendas sobre la protección contra la radiación ultravioleta proporcionada por tejidos de fibras celulósicas, se ha realizado sobre tres tejidos escogidos entre los de cada serie correspondiente a las tres fibras estudiadas (Algodón, Modal y Modal Sun). Son adecuados en el estudio para ver si la tensión y humedad puede disminuir la clasificación en función de la protección contra la radiación ultravioleta alcanzada por cada uno de los tejidos. Se pretende establecer un modelo matemático para cada fibra estudiada, que permita la predicción del UPF en función del UPF del tejido original (relajado y seco), de la tensión y de la humedad.



## 3.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 3.2.1. Materia

El análisis de la influencia de las condiciones de uso de las prendas sobre el UPF de los tejidos se ha llevado a cabo sobre 3 tejidos de cada una de las series descritas en el apartado 2.2, fabricadas a partir de fibras de Algodón, Modal y Modal Sun. El objetivo es determinar si la tensión a la que se somete al tejido, así como la humedad tienen una diferente influencia sobre el valor del UPF en función de la estructura del tejido.

Debido a las grandes diferencias en el UPF de los tejidos de cada serie, ha sido imposible escoger 3 tejidos con el mismo UPF inicial para todas las fibras (Algodón, Modal y Modal Sun). Se han escogido, entre las muestras aún disponibles, aquellas cuyo UPF se aproxima al mínimo, medio y máximo de su serie. Para la serie de Algodón, todos los tejidos obtenidos en la primera parte del trabajo experimental han resultado ser no protectores y tampoco son protectores la mayoría de los tejidos de la serie de Modal. En el caso de la serie de Modal Sun los valores obtenidos son mucho mayores, pudiéndose clasificar la mayoría de los tejidos como protectores, por lo que esta última serie de tejidos ofrece opciones más interesantes para la elección de los tejidos para el estudio.

En la Tabla 3.1 se expone el UPF inicial de los tejidos escogidos para el estudio realizado en esta parte de la tesis:

Materia	UPF inicial (UPFi)		
	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
Algodón	3,80 (1)	5,12 (25)	6,15 (21)
Modal	5,28 (4)	10,03 (23)	13,44 (9)
Modal Sun	24,88 (2)	93,47 (3)	153,10 (18)

Tabla 3.1. UPF inicial de las muestras (entre paréntesis referencia de la muestra en la serie)

Cabe señalar que el UPF inicial que se expone en la Tabla 3.1 es el que fue medido para parte experimental dedicada al estudio de la influencia de la estructura del tejido en su factor de protección UPF, es decir, el que fue medido casi inmediatamente después de la fabricación de los tejidos. La parte de la tesis de la que se ocupa este capítulo (Influencia de las condiciones de uso en el UPF de los tejidos) se llevó a cabo casi tres años después y utilizando un aparato diferente para la medida de los tejidos, ya que el trabajo experimental se realizó en el Forschungsinstitut Hohenstein, en Alemania, que dispone de los medios necesarios para la determinación del UPF en condiciones de tensión y humedad. Al volver a medir los tejidos originales y secos en dicho Instituto se ha detectado alguna diferencia en el UPF con respecto a la primera medida de los mismos. Las causas pueden ser debidas tanto al uso de un aparato diferente, como al natural envejecimiento de los tejidos durante un periodo tan prolongado de tiempo.



Naturalmente, el estudio de la influencia de la tensión y la humedad en el UPF del tejido se debe llevar a cabo tomando como base los UPF iniciales de los tejidos en el momento del ensayo, que se exponen en la Tabla 3.2.

Materia	UPF inicial (UPFi)		
	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
Algodón	4,24 (1)	4,86 (25)	5,69 (21)
Modal	4,95 (4)	8,15 (23)	10,59 (9)
Modal Sun	19,74 (2)	57,68 (3)	78,15 (18)

Tabla 3.2. UPF inicial de las muestras (medidos tras 3 años en el Forschungsinstitut Hohenstein)

### 3.2.2. Planificación experimental

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

- En primer lugar, el estudio se ha llevado a cabo sobre tejidos de tres fibras diferentes que se ha decidido analizar por separado. Es decir, se planifica un diseño experimental para cada una de las fibras.
- La realización de las medidas en seco o en húmedo es una variable cualitativa, no se puede cuantificar. Una solución para el análisis de los resultados, sería el realizarlo por separado, resultando un modelo para la medida en seco y otro para la medida en mojado. Esta solución, aunque sencilla, presenta un inconveniente y es que no se podría deducir si la diferencia entre los coeficientes de los modelos obtenidos para cada condición es significativa o no. Por ello, se ha decidido realizar un análisis algo más complicado pero que permite obtener un modelo que mostrará las diferencias significativas debidas a la medida en seco o en mojado. Para ello se introducirá en el modelo una variable categórica, que posteriormente permitirá separar el modelo conjunto para obtener el modelo definitivo en seco y en mojado.
- La otra variable en estudio es la tensión a la que se somete al tejido, que no presenta ninguna dificultad para su estudio. Según la experiencia sobre la medida del UPF en tejidos sometidos a tensión que posee el personal del laboratorio del Forschungsinstitut Hohenstein, se ha decidido utilizar 3 tensiones diferentes, 2 N, 4 N y 6 N, que entran dentro del rango de las típicas a las que son sometidas las prendas durante su uso como indumentaria.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, en la Tabla 3.3 se presentan las variables y los niveles de las variables en el total de las experiencias que se utilizan definitivamente en el análisis estadístico. Para cada serie de tejidos de diferente fibra, el sistema consta de una primera variable cualitativa, la medida en seco o en mojado de los tejidos, una segunda variable cuantitativa, el UPF inicial de los tejidos (UPFi) con 3 niveles diferentes,



y una tercera variable también cuantitativa, la tensión a la que se somete al tejido (T) con 4 niveles diferentes (incluyendo el tejido sin tensión).

Muestra n°	Características de la muestra			Algodón		Modal		Modal Sun	
				UPFi <sub>a</sub>	T <sub>a</sub>	UPFi <sub>m</sub>	T <sub>m</sub>	UPFi <sub>ms</sub>	T <sub>ms</sub>
1	En seco	UPFi bajo	Sin tensión	4,24	0	4,95	0	19,74	0
2	En seco	UPFi bajo	Tensión 2 N	4,24	2	4,95	2	19,74	2
3	En seco	UPFi bajo	Tensión 4 N	4,24	4	4,95	4	19,74	4
4	En seco	UPFi bajo	Tensión 6 N	4,24	6	4,95	6	19,74	6
5	En seco	UPFi medio	Sin tensión	4,86	0	8,15	0	57,68	0
6	En seco	UPFi medio	Tensión 2 N	4,86	2	8,15	2	57,68	2
7	En seco	UPFi medio	Tensión 4 N	4,86	4	8,15	4	57,68	4
8	En seco	UPFi medio	Tensión 6 N	4,86	6	8,15	6	57,68	6
9	En seco	UPFi alto	Sin tensión	5,69	0	10,59	0	78,15	0
10	En seco	UPFi alto	Tensión 2 N	5,69	2	10,59	2	78,15	2
11	En seco	UPFi alto	Tensión 4 N	5,69	4	10,59	4	78,15	4
12	En seco	UPFi alto	Tensión 6 N	5,69	6	10,59	6	78,15	6
13	En mojado	UPFi bajo	Sin tensión	4,24	0	4,95	0	19,74	0
14	En mojado	UPFi bajo	Tensión 2 N	4,24	2	4,95	2	19,74	2
15	En mojado	UPFi bajo	Tensión 4 N	4,24	4	4,95	4	19,74	4
16	En mojado	UPFi bajo	Tensión 6 N	4,24	6	4,95	6	19,74	6
17	En mojado	UPFi medio	Sin tensión	4,86	0	8,15	0	57,68	0
18	En mojado	UPFi medio	Tensión 2 N	4,86	2	8,15	2	57,68	2
19	En mojado	UPFi medio	Tensión 4 N	4,86	4	8,15	4	57,68	4
20	En mojado	UPFi medio	Tensión 6 N	4,86	6	8,15	6	57,68	6
21	En mojado	UPFi alto	Sin tensión	5,69	0	10,59	0	78,15	0
22	En mojado	UPFi alto	Tensión 2 N	5,69	2	10,59	2	78,15	2
23	En mojado	UPFi alto	Tensión 4 N	5,69	4	10,59	4	78,15	4
24	En mojado	UPFi alto	Tensión 6 N	5,69	6	10,59	6	78,15	6

Tabla 3.3. Variables y niveles del análisis estadístico (Influencia de las condiciones de uso)

### 3.2.3. Parámetros determinados

Para el estudio será necesario determinar diferentes parámetros en los tejidos:

1. Espectros de transmisión de radiación a través de los tejidos en la región del ultravioleta
2. 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.



### **3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este apartado se exponen los resultados obtenidos en esta parte de la tesis, dedicada al estudio de la influencia de las condiciones de uso de las prendas sobre la protección que los tejidos proporcionan contra el paso de la radiación ultravioleta.

En el apartado 3.3.1.1 se exponen los resultados obtenidos en la medida de los parámetros determinados en los diferentes tejidos: espectros de transmisión en el UV y UPF de los tejidos. A continuación, en el apartado 3.3.1.2, se realiza el análisis estadístico de los resultados obteniéndose los modelos matemáticos que relacionan el UPF con las variables del sistema (UPF inicial del tejido, tensión a la que es sometido y medida en seco o en mojado), analizando las diferencias entre las tres fibras que se han estudiado.

#### **3.3.1. Estudio de la Respuesta UPF en función de la tensión y humedad de los tejidos**

##### **3.3.1.1. Resultados en la determinación de los parámetros**

###### **3.3.1.1.1. Espectros de transmisión de radiación en la región del ultravioleta de los tejidos**

###### *3.3.1.1.1.1. Tejidos de Algodón*

La Figura 3.1 muestra comparativamente los espectros de los tejidos de Algodón originales utilizados en el estudio de la influencia de las propiedades de uso de las prendas en el UPF, medidos poco después de su fabricación y después de aproximadamente 3 años, cuando se inició el estudio que se expone en esta parte de la tesis.

En la figura se puede observar que se ha producido algún pequeño cambio en la transmisión de la radiación ultravioleta a través de los tejidos de Algodón. Estas diferencias pueden ser debidas tanto al tiempo transcurrido, con el consecuente envejecimiento de las muestras, como al uso de un aparato de medida diferente para la obtención de los espectros.

La forma de las curvas no ha variado notablemente, con una subida progresiva de la transmitancia a medida que aumenta la longitud de onda. Se produce una disminución de la transmitancia en el tejido con el UPF más bajo, y un aumento en los tejidos con el UPF medio y alto, pero a efectos prácticos el UPF de los tejidos no ha variado sensiblemente.



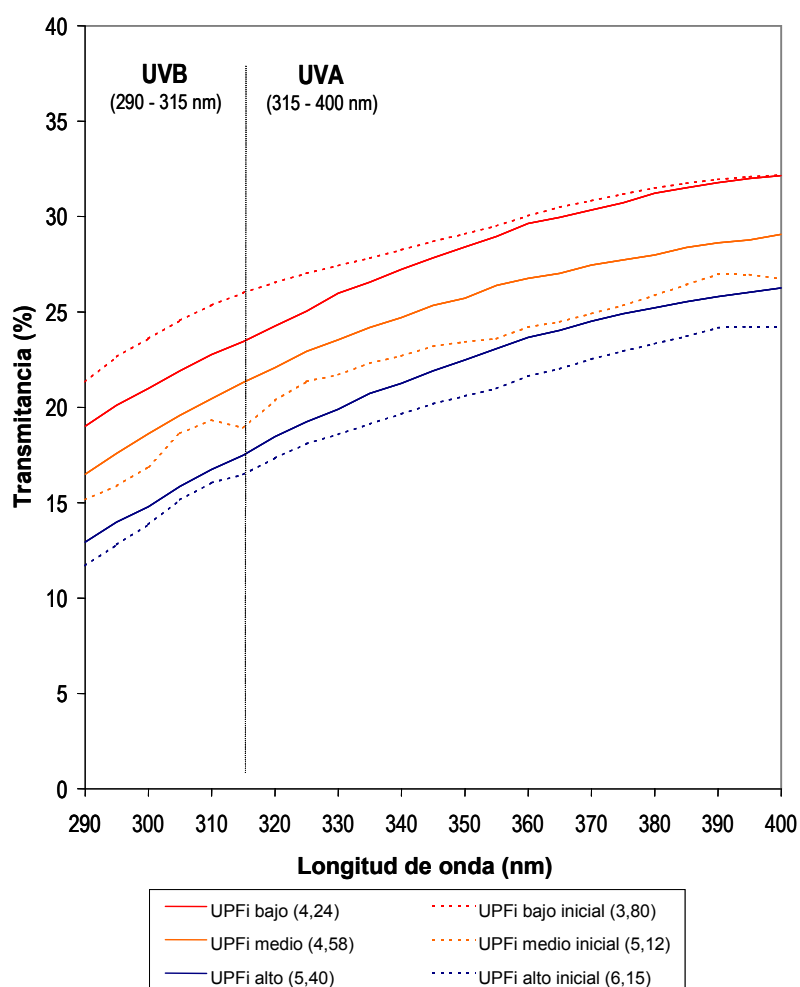


Figura 3.1. Espectros de transmitancia los tejidos de Algodón utilizados en el estudio: cambios en los espectros y el UPF de los tejidos debidos al envejecimiento de los tejidos y/o al uso de un aparato diferente

La Figura 3.2 muestra compara los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Algodón utilizados en esta parte del estudio (tejidos con UPF inicial bajo, medio y alto), con los espectros de dichos tejidos después de ser sometidos a varias tensiones, medidos todos ellos tanto en seco como en mojado.

Las transmitancias medidas en los tejidos originales secos van aproximadamente del 19% a 290 nm hasta el 32% 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 16 y 29% para el tejido con UPF inicial medio y entre el 13 y 26% para el tejido con UPF inicial alto.

Al obtener el espectro de transmisión de los tejidos originales en mojado se observa un aumento de la transmisión en todas las longitudes de onda del espectro ultravioleta, con valores que se sitúan aproximadamente entre 29% y 40% para el tejido con UPFi bajo, entre 18% y 32% para el tejido con UPFi medio y entre 16% y 32% para el tejido con UPFi alto.





El mismo comportamiento se aprecia en todos los tejidos sometidos a tensión y medidos en mojado. Todos los tejidos permiten un mayor paso de la radiación ultravioleta cuando están mojados que cuando están secos. Ello podría explicarse porque la presencia de agua en los intersticios del tejido reduce los efectos de dispersión de la luz, particularmente en la región ultravioleta, y por tanto aumenta la transmisión de la radiación a través del tejido.

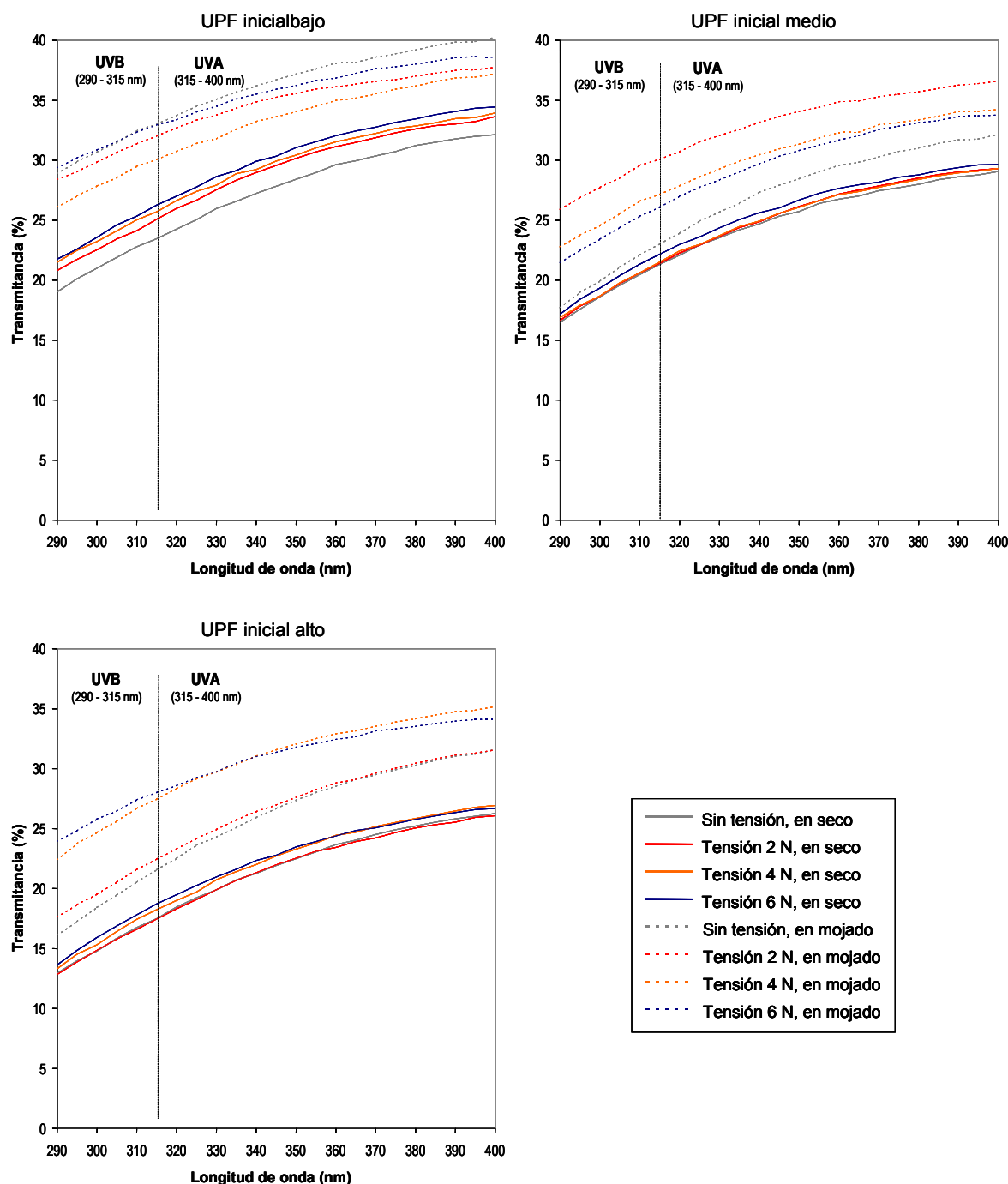


Figura 3.2. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Algodón originales y después de ser sometidos a tensión, medidos en seco y en mojado



El efecto producido por la tensión en los tejidos, es, en general, un aumento de la transmitancia en todas las longitudes de onda del espectro ultravioleta. Al someterse al tejido a una tensión de estirado se produce una mayor apertura de los poros, permitiendo un mayor paso de la radiación ultravioleta. El aumento de la transmisión debido a la tensión se produce tanto cuando el ensayo se realiza con el tejido en seco como cuando se realiza en mojado, aunque en este último caso hay una excepción en los valores obtenidos para el tejido con UPFi bajo. Para esta muestra, incomprensiblemente, los tejidos estirados y mojados muestran transmitancias menores que el tejido no estirado y mojado.

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

Muestra nº	Características de la muestra			T <sub>UVA</sub> media (315 - 400 nm)	T <sub>UVB</sub> media (290 - 315 nm)	T <sub>UVR</sub> media (290 - 400 nm)
1	En seco	UPFi bajo	Sin tensión	28,72	21,37	27,04
2	En seco	UPFi bajo	Tensión 2 N	30,29	22,95	28,60
3	En seco	UPFi bajo	Tensión 4 N	30,69	23,67	29,08
4	En seco	UPFi bajo	Tensión 6 N	31,23	24,02	29,56
5	En seco	UPFi medio	Sin tensión	26,00	19,00	24,38
6	En seco	UPFi medio	Tensión 2 N	26,30	19,14	24,64
7	En seco	UPFi medio	Tensión 4 N	26,28	19,22	24,65
8	En seco	UPFi medio	Tensión 6 N	26,81	19,80	25,18
9	En seco	UPFi alto	Sin tensión	22,80	15,30	21,08
10	En seco	UPFi alto	Tensión 2 N	22,70	15,24	20,98
11	En seco	UPFi alto	Tensión 4 N	23,49	15,88	21,73
12	En seco	UPFi alto	Tensión 6 N	23,59	16,30	21,90
13	En mojado	UPFi bajo	Sin tensión	37,34	31,06	35,89
14	En mojado	UPFi bajo	Tensión 2 N	35,59	30,22	34,34
15	En mojado	UPFi bajo	Tensión 4 N	34,30	28,17	32,88
16	En mojado	UPFi bajo	Tensión 6 N	36,44	31,21	35,22
17	En mojado	UPFi medio	Sin tensión	28,62	20,47	26,73
18	En mojado	UPFi medio	Tensión 2 N	34,10	28,12	32,71
19	En mojado	UPFi medio	Tensión 4 N	31,53	25,06	30,03
20	En mojado	UPFi medio	Tensión 6 N	30,94	23,86	29,31
21	En mojado	UPFi alto	Sin tensión	27,60	18,89	25,59
22	En mojado	UPFi alto	Tensión 2 N	27,92	20,06	26,11
23	En mojado	UPFi alto	Tensión 4 N	32,17	25,28	30,64
24	En mojado	UPFi alto	Tensión 6 N	31,85	26,06	30,51

Tabla 3.4. Transmisiones medias de los tejidos de Algodón originales y después de ser sometidos a tensión, medidos en seco y en mojado



La Tabla 3.4 muestra las transmisiones medias en la región del UVA, del UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, calculadas a partir de los espectros de transmisión difusa de la radiación ultravioleta a través de los tejidos.

Los resultados numéricos corroboran lo ya observado gráficamente en las figuras. Se puede observar un aumento general de todas las transmisiones medias (UVA, UVB y UVR) cuando la medida del factor de protección UPF se realiza con los tejidos en mojado. También se produce, en general, un aumento muy ligero de las transmisiones medias al someter al tejido a un estirado previo a la lectura del UPF. Asimismo, no se observa una relación clara entre las transmisiones medias y el valor de la tensión aplicada. No siempre un aumento en la tensión producirá un incremento en el valor de las transmisiones medias UVR, UVA y UVB.

### 3.3.1.1.1.2. Tejidos de Modal

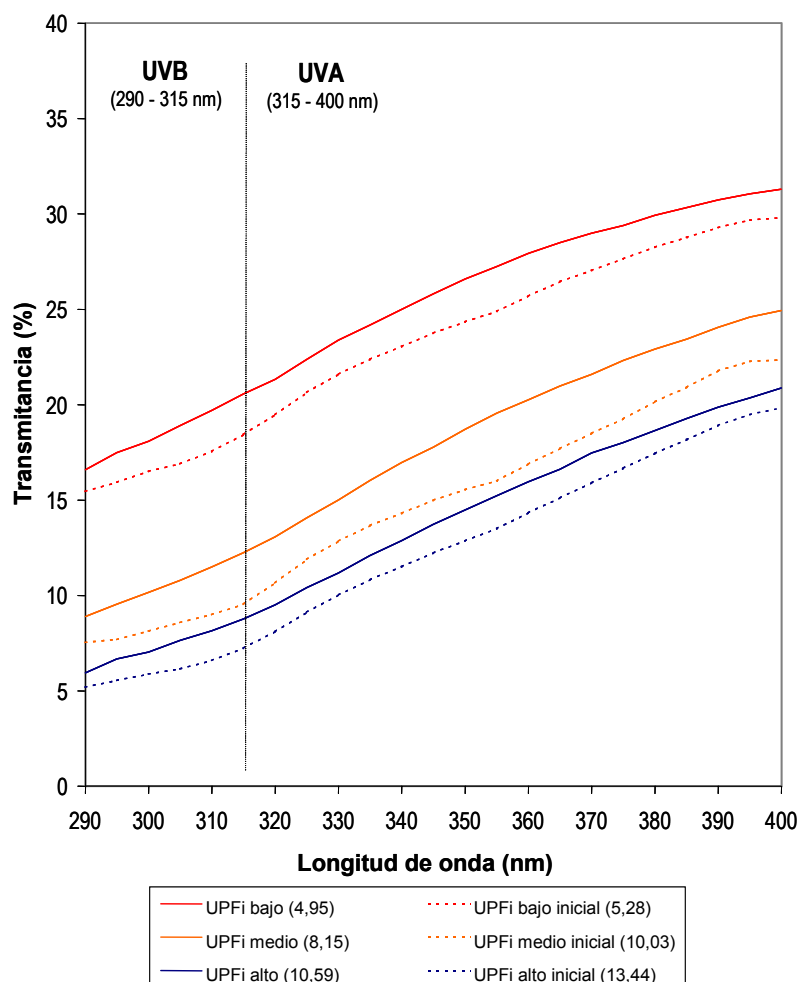


Figura 3.3. Espectros de transmitancia los tejidos de Modal utilizados en el estudio: cambios en los espectros y el UPF de los tejidos debidos al envejecimiento de los tejidos y/o al uso de un aparato diferente

La Figura 3.3 muestra comparativamente los espectros de los tejidos de Modal originales utilizados en el estudio de la influencia de las propiedades de uso en el UPF, medidos



poco después de su fabricación y después de aproximadamente 3 años, cuando se inició el estudio que se expone en esta parte de la tesis.

También en los tejidos de Modal se ha producido algún cambio en las propiedades protectoras con el transcurso del tiempo. La transmisión de radiación ultravioleta ha aumentado en todas las longitudes de onda y en todos los tejidos. Consecuentemente, ha disminuido el valor del factor de protección a la radiación ultravioleta, UPF de todos los tejidos utilizados en esta parte de la tesis.

La Figura 3.4 compara los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Modal utilizados en esta parte del estudio (tejidos con UPF inicial bajo, medio y alto), con los espectros de dichos tejidos después de ser sometidos a varias tensiones, medidos todos ellos tanto en seco como en mojado.

Las transmitancias medidas en los tejidos originales secos van aproximadamente del 16% a 290 nm hasta el 31% 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 9 y 25% para el tejido con UPF inicial medio y entre el 6 y 21% para el tejido con UPF inicial alto.

Al obtener el espectro de transmisión de los tejidos originales en mojado se observa un ligero aumento de la transmisión en todas las longitudes de onda del espectro ultravioleta, con valores entre aproximadamente 17% y 33% para el tejido con UPF inicial bajo, entre 13% y 31% para el tejido con UPF inicial medio y entre 9 y 26% para el tejido con UPF inicial alto.

El mismo comportamiento se aprecia en todos los tejidos sometidos a tensión y medidos en mojado. Las transmitancias siempre aumentan en todas las longitudes de onda cuando el tejido estirado se mide en mojado.

El efecto producido por la tensión en los tejidos, es, en general, un aumento de la transmitancia en todas las longitudes de onda del espectro ultravioleta. El aumento de la transmisión debido a la tensión se produce tanto cuando el ensayo se realiza con el tejido en seco como cuando se realiza en mojado. Una excepción es el tejido de UPFi medio, estirado con tensión 2N y medido en mojado que tiene menores transmitancias que el mismo tejido no estirado y mojado. También siguen un comportamiento algo diferente los tejidos de UPFi alto, sometidos a tensión 2 y 4 N, y medidos en seco, que presentan mayor transmisión que el tejido no estirado en longitudes bajas del ultravioleta, pero menores en las longitudes de onda más altas.

En el caso de los tejidos de Modal estirados, no se observa una correlación clara entre el aumento de la transmisión de radiación ultravioleta y el valor de la tensión aplicada al tejido.



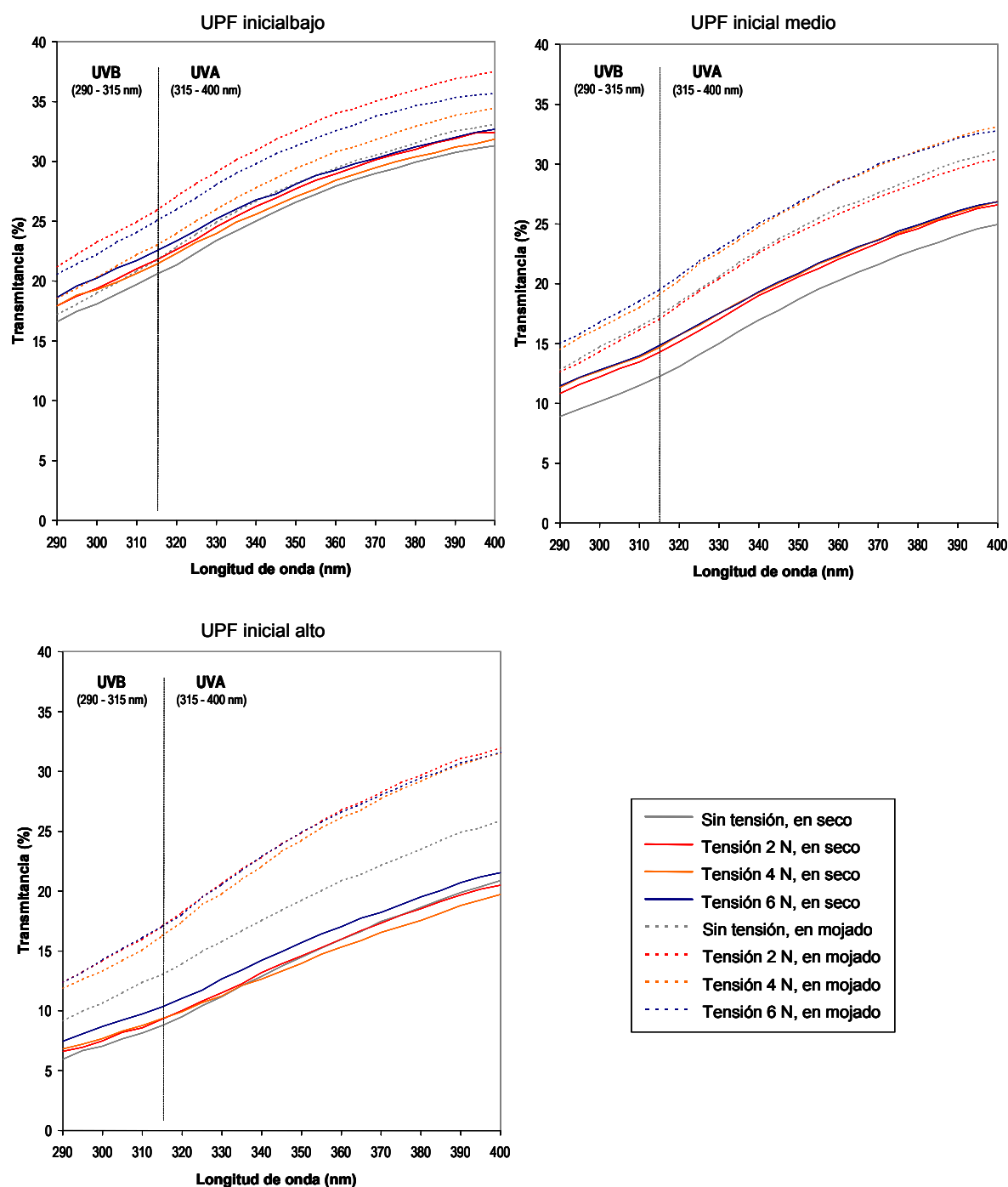


Figura 3.4. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal originales y después de ser sometidos a tensión, medidos en seco y en mojado

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 3.5.

Los resultados numéricos indican un aumento general de todas las transmisiones medias (UVA, UVB y UVR) cuando la medida del factor de protección UPF se realiza con los tejidos en mojado. También se produce, en general, un ligero aumento de las transmisiones medias al someter al tejido a un estirado previo a la lectura del UPF.



Asimismo, no se observa una relación clara entre las transmisiones medias y el valor de la tensión aplicada. No siempre un aumento en la tensión producirá un incremento en el valor de las transmisiones medias UVR, UVA y UVB.

Muestra nº	Características de la muestra			T <sub>UVA</sub> media (315 - 400 nm)	T <sub>UVB</sub> media (290 - 315 nm)	T <sub>UVR</sub> media (290 - 400 nm)
1	En seco	UPFi bajo	Sin tensión	26,93	18,56	25,02
2	En seco	UPFi bajo	Tensión 2 N	28,02	19,84	26,14
3	En seco	UPFi bajo	Tensión 4 N	27,49	19,66	25,71
4	En seco	UPFi bajo	Tensión 6 N	28,46	20,63	26,67
5	En seco	UPFi medio	Sin tensión	19,36	10,52	17,37
6	En seco	UPFi medio	Tensión 2 N	21,22	12,55	19,26
7	En seco	UPFi medio	Tensión 4 N	21,52	13,01	19,60
8	En seco	UPFi medio	Tensión 6 N	21,59	13,10	19,67
9	En seco	UPFi alto	Sin tensión	15,30	7,37	13,51
10	En seco	UPFi alto	Tensión 2 N	15,38	7,85	13,68
11	En seco	UPFi alto	Tensión 4 N	14,79	8,02	13,26
12	En seco	UPFi alto	Tensión 6 N	16,40	8,91	14,71
13	En mojado	UPFi bajo	Sin tensión	28,52	19,45	26,45
14	En mojado	UPFi bajo	Tensión 2 N	32,88	23,60	30,76
15	En mojado	UPFi bajo	Tensión 4 N	29,76	20,78	27,71
16	En mojado	UPFi bajo	Tensión 6 N	31,57	22,76	29,56
17	En mojado	UPFi medio	Sin tensión	25,22	15,10	22,92
18	En mojado	UPFi medio	Tensión 2 N	24,83	14,79	22,55
19	En mojado	UPFi medio	Tensión 4 N	27,28	16,77	24,89
20	En mojado	UPFi medio	Tensión 6 N	27,36	17,22	25,06
21	En mojado	UPFi alto	Sin tensión	20,03	11,11	18,01
22	En mojado	UPFi alto	Tensión 2 N	25,60	14,66	23,12
23	En mojado	UPFi alto	Tensión 4 N	25,06	13,90	22,50
24	En mojado	UPFi alto	Tensión 6 N	25,55	14,70	23,06

Tabla 3.5. Transmisiones medias de los tejidos de Modal originales y después de ser sometidos a tensión, medidos en seco y en mojado

### 3.3.1.1.1.3. Tejidos de Modal Sun

La Figura 3.5 muestra comparativamente los espectros de los tejidos de Modal Sun originales utilizados en el estudio de la influencia de las propiedades de uso en el UPF, medidos poco después de su fabricación y después de aproximadamente 3 años, cuando se inició el estudio que se expone en esta parte de la tesis.



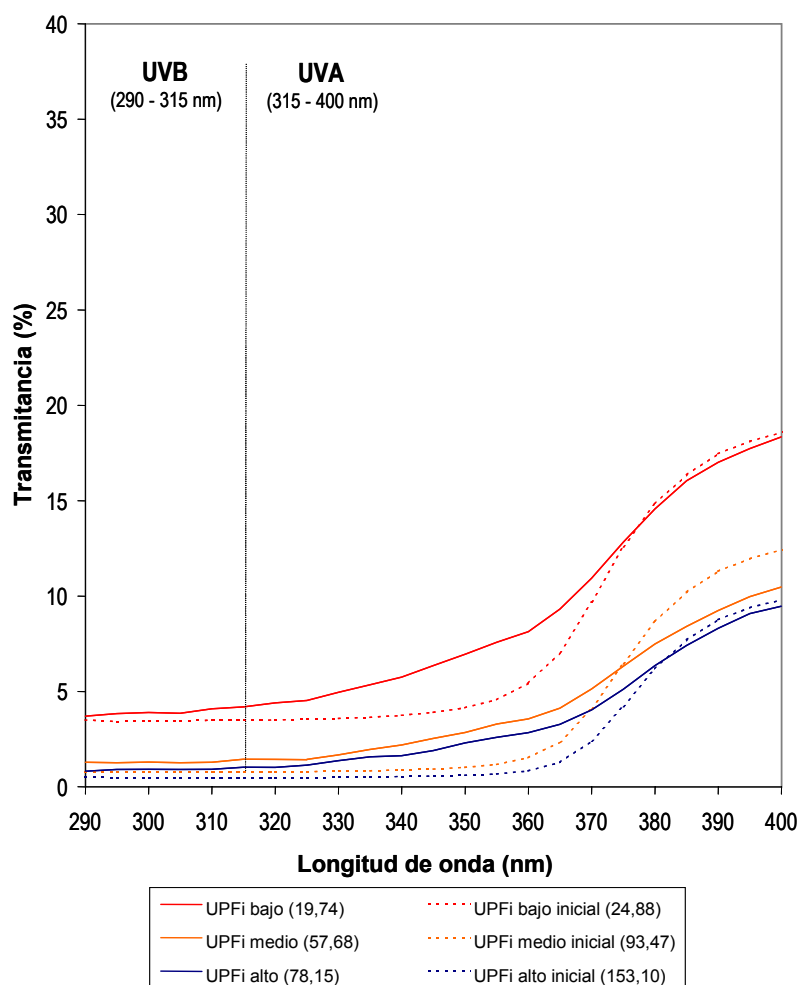


Figura 3.5. Espectros de transmitancia los tejidos de Modal Sun utilizados en el estudio: cambios en los espectros y el UPF de los tejidos debidos al envejecimiento de los tejidos y/o al uso de un aparato diferente

Tal como se aprecia en la figura, el paso del tiempo ha producido algunos cambios en la transmisión de la radiación ultravioleta a través de los tejidos de Modal Sun. Poco después de la fabricación de los tejidos las curvas presentaban una forma muy diferente a las de Algodón y Modal, casi plana hasta una longitud de onda de 350 – 360 nm a partir de la cual la transmisión de radiación ultravioleta subía rápidamente. Tres años después, esa forma casi plana prácticamente ha desaparecido y las curvas de transmisión se van asemejando más a las obtenidas con los tejidos de Algodón y Modal, con una subida progresiva de la transmitancia a medida que aumenta la longitud de onda. El menor bloqueo del paso de radiación ultravioleta ha provocado una considerable disminución del UPF de los tejidos, aunque no se ha producido ningún cambio en los niveles de clasificación según la norma AS/NZ 4399:1996. Los tejidos de Modal Sun siguen conservando su propiedad de bloquear una mayor proporción de radiación en la zona de la región UVB, cuando se comparan con los tejidos de Algodón y Modal de estructura equivalente.

La Figura 3.6 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Modal Sun utilizados en esta parte del estudio (tejidos con



UPF inicial bajo, medio y alto), con los espectros de dichos tejidos después de ser sometidos a varias tensiones, medidos todos ellos tanto en seco como en mojado.

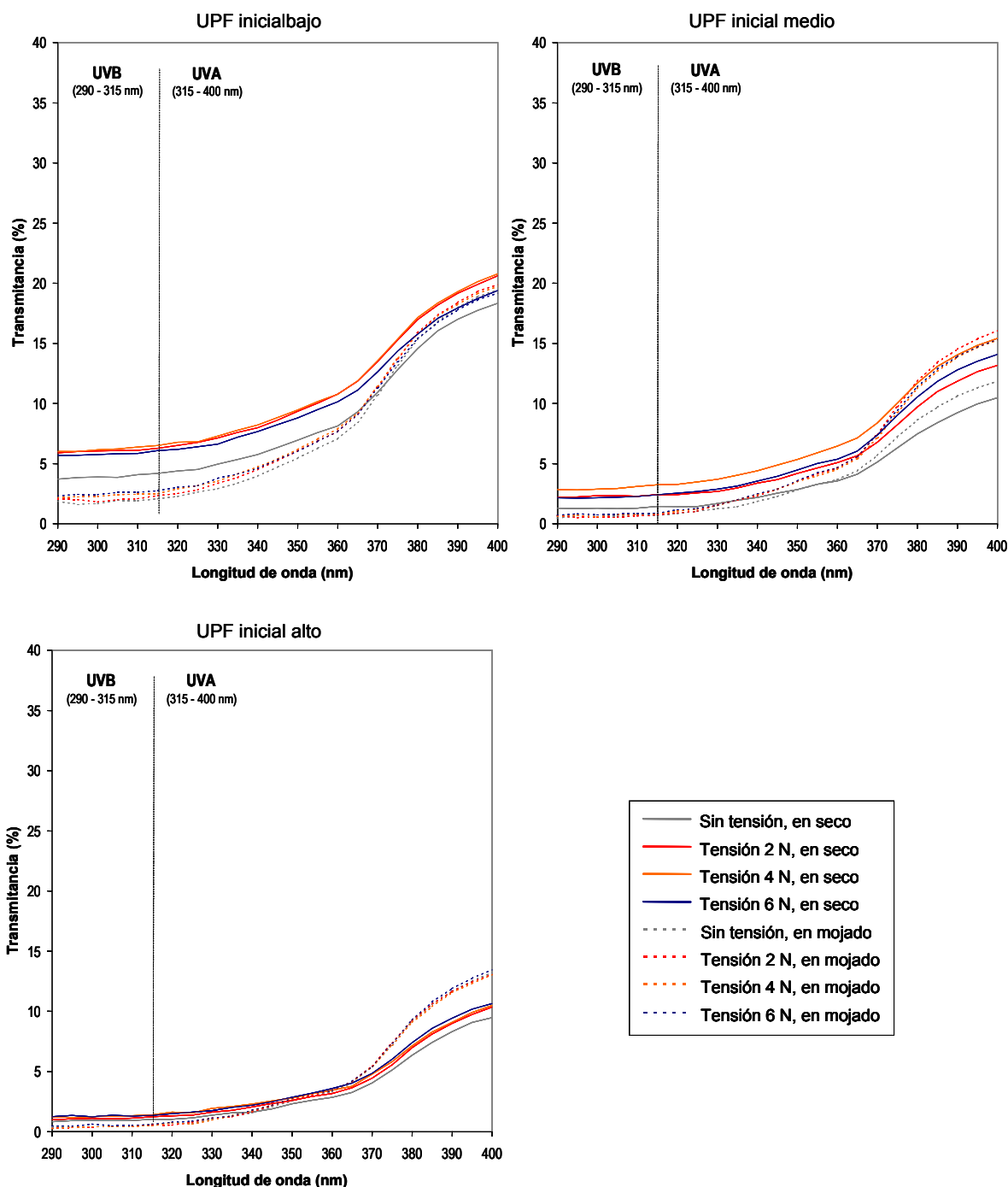


Figura 3.6. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal Sun originales y después de ser sometidos a tensión, medidos en seco y en mojado

Las transmitancias medidas en los tejidos originales secos van aproximadamente del 4% a 290 nm hasta el 18% 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 1,3 y 10,5% para el tejido con UPF inicial medio y entre el 0,8 y 9,5% para el tejido con UPF inicial alto.

Al obtener el espectro de transmisión de los tejidos originales en mojado se observa una disminución de la transmisión en las longitudes de onda bajas del espectro ultravioleta y un aumento en la transmisión en las longitudes de onda más altas, de forma que se obtienen valores entre 1,8 y 19% para el tejido con UPF inicial bajo, entre 0,5 y 12% para el tejido con UPF inicial medio y entre 0,4 y 13% para el tejido con UPF inicial alto. A medida que aumenta la compacidad del tejido, las diferencias entre las curvas en seco y mojado se van haciendo menores en la zona UVB y mayores en la UVA. El cruzamiento entre las curvas de transmisión del tejido medido en seco y en mojado se da en una longitud de onda diferente para cada tejido, cada vez menor a medida que aumenta la compacidad. En el tejido con UPF inicial bajo, el cruce se produce a 370 nm, a 355 nm en el tejido con UPF inicial medio y a 340 nm en el tejido con UPF inicial alto.

El mismo comportamiento se aprecia en casi todos los tejidos sometidos a tensión y medidos en mojado. En todo caso, el cruzamiento entre curvas en seco y mojado se produce en zonas del espectro UVA, de forma que cuando se moja el tejido siempre se produce una menor transmisión de radiación UVB y una mayor transmisión de radiación UVA. Tal como se ha indicado repetidamente en esta memoria el bloqueo de la radiación UVB tendrá una notable influencia en el UPF del tejido, ya que es la zona más perjudicial para la piel y a la que mayor peso se da en la fórmula de cálculo del factor de protección. Así, en el caso de los tejidos de Modal Sun, la absorción de agua favorece el bloqueo de radiación ultravioleta y mejora las propiedades protectoras de los tejidos.

El efecto producido por la otra variable en estudio, la tensión en los tejidos, es, en general, un aumento de la transmitancia en todas las longitudes de onda del espectro ultravioleta. Al someterse al tejido a una tensión de estirado se produce una mayor apertura de los poros, permitiendo un mayor paso de la radiación ultravioleta. El aumento de la transmisión debido a la tensión se produce tanto cuando el ensayo se realiza con el tejido en seco como cuando se realiza en mojado aunque, en este último caso, las diferencias son, en general, menores.

El aumento de la transmitancia es cada vez menor a medida que aumenta la compacidad del tejido (su UPF inicial). Este resultado es el que cabía esperar ya que la mayor compacidad del tejido ejercerá también una mayor resistencia al estirado del mismo y, por lo tanto, se producirá una menor apertura de los poros.

En cambio, no se observa una correlación clara entre el aumento de la transmisión de radiación ultravioleta y el valor de la tensión aplicada al tejido. En general, la transmisión aumenta a medida que aumenta la tensión aplicada (2, 4 o 6 N). Sin embargo, en algún caso la tensión mayor (6 N) no produce un mayor aumento de transmisión a través 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 3.6.

Muestra nº	Características de la muestra			T <sub>UVA</sub> media (315 - 400 nm)	T <sub>UVB</sub> media (290 - 315 nm)	T <sub>UVR</sub> media (290 - 400 nm)
1	En seco	UPFi bajo	Sin tensión	9,72	3,93	8,45
2	En seco	UPFi bajo	Tensión 2 N	12,03	6,07	10,72
3	En seco	UPFi bajo	Tensión 4 N	12,17	6,21	10,87
4	En seco	UPFi bajo	Tensión 6 N	11,33	5,81	10,12
5	En seco	UPFi medio	Sin tensión	4,64	1,31	3,91
6	En seco	UPFi medio	Tensión 2 N	6,28	2,30	5,41
7	En seco	UPFi medio	Tensión 4 N	7,74	2,97	6,69
8	En seco	UPFi medio	Tensión 6 N	6,73	2,22	5,75
9	En seco	UPFi alto	Sin tensión	3,91	0,92	3,26
10	En seco	UPFi alto	Tensión 2 N	4,34	1,10	3,63
11	En seco	UPFi alto	Tensión 4 N	4,56	1,28	3,84
12	En seco	UPFi alto	Tensión 6 N	4,56	1,31	3,84
13	En mojado	UPFi bajo	Sin tensión	8,97	1,85	7,41
14	En mojado	UPFi bajo	Tensión 2 N	9,46	2,05	7,84
15	En mojado	UPFi bajo	Tensión 4 N	9,56	2,35	7,99
16	En mojado	UPFi bajo	Tensión 6 N	9,38	2,52	7,88
17	En mojado	UPFi medio	Sin tensión	4,92	0,64	3,99
18	En mojado	UPFi medio	Tensión 2 N	6,54	0,62	5,25
19	En mojado	UPFi medio	Tensión 4 N	6,30	0,72	5,08
20	En mojado	UPFi medio	Tensión 6 N	6,40	0,80	5,18
21	En mojado	UPFi alto	Sin tensión	5,05	0,43	4,08
22	En mojado	UPFi alto	Tensión 2 N	5,06	0,41	4,09
23	En mojado	UPFi alto	Tensión 4 N	5,02	0,39	4,01
24	En mojado	UPFi alto	Tensión 6 N	5,17	0,52	4,15

Tabla 3.6. Transmisiones medias de los tejidos de Modal Sun originales y después de ser sometidos a tensión, medidos en seco y en mojado

Los resultados numéricos corroboran lo ya observado gráficamente en las figuras. Se puede observar una disminución general de todas las transmisiones medias (UVA, UVB y UVR) cuando la medida de la transmitancia se realiza con los tejidos en mojado. También se produce, en general, un aumento de las transmisiones medias al someter al tejido a un estirado previo a la medida.

El aumento en el valor de transmisión es mayor cuando las medidas se realizan en seco. En las medidas en mojado, el aumento en el valor las transmisiones medias es muy ligero. Asimismo, no se observa una relación clara entre las transmisiones medias y el valor de la tensión aplicada. No siempre un aumento en la tensión producirá un incremento en el valor de las transmisiones medias UVR, UVA y UVB.



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

#### 3.3.1.1.2.1. Tejidos de Algodón

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación Ultravioleta de los tejidos de Algodón, sometidos a estirado y medidos en seco y en mojado, se exponen en la Tabla 3.7.

Muestra nº	Características de la muestra			Factor de Protección Ultravioleta (UPF <sub>a</sub> )	Índice UPF
1	En seco	UPFi bajo	Sin tensión	4,24	1
2	En seco	UPFi bajo	Tensión 2 N	4,01	1
3	En seco	UPFi bajo	Tensión 4 N	3,99	1
4	En seco	UPFi bajo	Tensión 6 N	3,84	1
5	En seco	UPFi medio	Sin tensión	4,86	1
6	En seco	UPFi medio	Tensión 2 N	4,58	1
7	En seco	UPFi medio	Tensión 4 N	4,73	1
8	En seco	UPFi medio	Tensión 6 N	4,48	1
9	En seco	UPFi alto	Sin tensión	5,69	5
10	En seco	UPFi alto	Tensión 2 N	5,54	5
11	En seco	UPFi alto	Tensión 4 N	5,40	5
12	En seco	UPFi alto	Tensión 6 N	5,51	5
13	En mojado	UPFi bajo	Sin tensión	3,02	1
14	En mojado	UPFi bajo	Tensión 2 N	3,12	1
15	En mojado	UPFi bajo	Tensión 4 N	3,16	1
16	En mojado	UPFi bajo	Tensión 6 N	3,01	1
17	En mojado	UPFi medio	Sin tensión	4,24	1
18	En mojado	UPFi medio	Tensión 2 N	3,23	1
19	En mojado	UPFi medio	Tensión 4 N	3,47	1
20	En mojado	UPFi medio	Tensión 6 N	3,51	1
21	En mojado	UPFi alto	Sin tensión	4,39	1
22	En mojado	UPFi alto	Tensión 2 N	4,23	1
23	En mojado	UPFi alto	Tensión 4 N	3,52	1
24	En mojado	UPFi alto	Tensión 6 N	3,48	1

Tabla 3.7. UPF de los tejidos de Algodón originales y después de ser sometidos a tensión, medidos en seco y en mojado

En la Figura 3.7 se representan los valores de UPF obtenidos en función de la tensión a la que es sometida el tejido, para los tejidos con UPF inicial bajo, medio y alto, medidos en seco y en mojado.



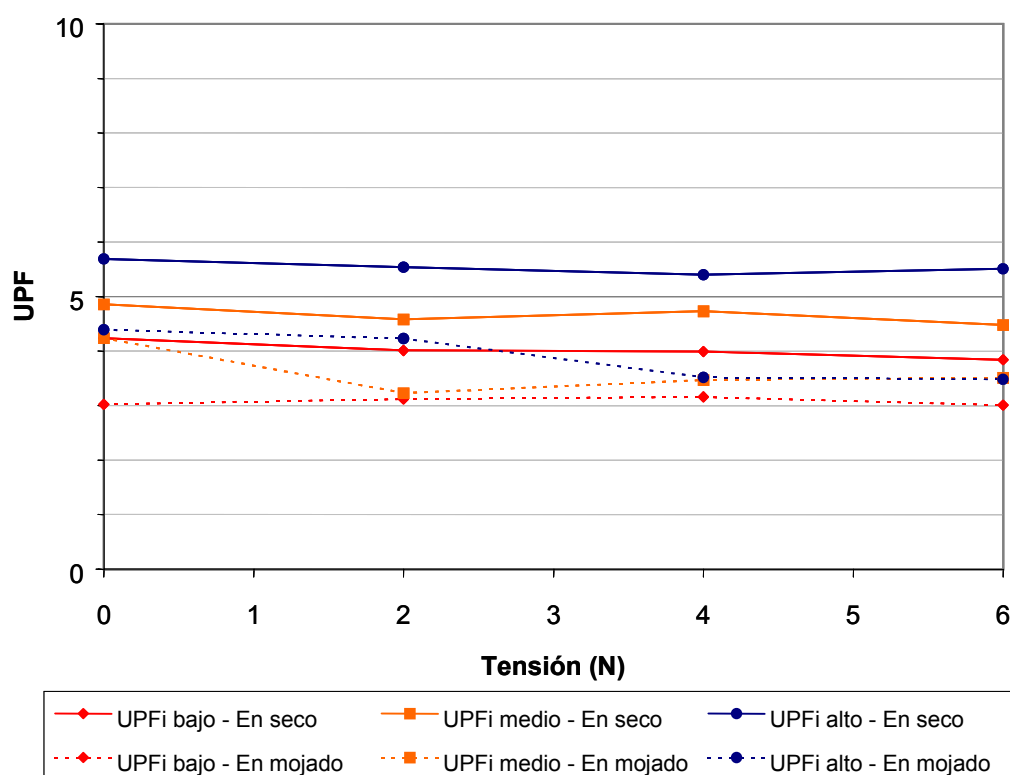


Figura 3.7. Tendencias en la variación del UPF en función de las variables, tejidos de Algodón

La tabla y la figura permiten concluir que no hay cambios muy notables en el UPF de los tejidos de Algodón utilizados en esta tesis doctoral cuando son sometidos a las tensiones habituales que soportan durante su uso como prendas de vestir. Los tejidos de calada son construcciones poco elásticas por lo que el estirado con pequeñas tensiones no producirá una diferencia muy apreciable en la estructura inicial del tejido. Si se tienen en cuenta, además, los resultados expuestos en el Capítulo 2 (Estudio de la influencia de la estructura en el UPF de los tejidos) en el que se concluyó que el UPF de los tejidos de Algodón varía muy poco en función de su estructura, se explica que el UPF de estos tejidos no varíe notablemente al ser sometidos a tensión.

Alguna diferencia más notable se produce cuando los tejidos son mojados. El UPF de todos los tejidos es menor cuando se mide después de sumergirlos en agua hasta su saturación.

En cualquier caso, los UPF iniciales de los tejidos de Algodón utilizados en este estudio son ya de valor muy bajo, por lo que ningún tejido presenta protección suficiente contra la radiación ultravioleta.

#### 3.3.1.1.2.2. Tejidos de Modal

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Modal, sometidos a estirado y medidos en seco y en mojado, se exponen en la Tabla 3.8.



Muestra n°	Características de la muestra			Factor de Protección Ultravioleta (UPF <sub>m</sub> )	Índice UPF
1	En seco	UPFi bajo	Sin tensión	4,95	1
2	En seco	UPFi bajo	Tensión 2 N	4,67	1
3	En seco	UPFi bajo	Tensión 4 N	4,67	1
4	En seco	UPFi bajo	Tensión 6 N	4,49	1
5	En seco	UPFi medio	Sin tensión	8,15	5
6	En seco	UPFi medio	Tensión 2 N	7,03	5
7	En seco	UPFi medio	Tensión 4 N	6,82	5
8	En seco	UPFi medio	Tensión 6 N	6,81	5
9	En seco	UPFi alto	Sin tensión	10,59	10
10	En seco	UPFi alto	Tensión 2 N	10,64	10
11	En seco	UPFi alto	Tensión 4 N	10,68	10
12	En seco	UPFi alto	Tensión 6 N	9,42	5
13	En mojado	UPFi bajo	Sin tensión	4,57	1
14	En mojado	UPFi bajo	Tensión 2 N	3,83	1
15	En mojado	UPFi bajo	Tensión 4 N	4,20	1
16	En mojado	UPFi bajo	Tensión 6 N	3,98	1
17	En mojado	UPFi medio	Sin tensión	5,91	5
18	En mojado	UPFi medio	Tensión 2 N	5,97	5
19	En mojado	UPFi medio	Tensión 4 N	5,28	5
20	En mojado	UPFi medio	Tensión 6 N	4,97	1
21	En mojado	UPFi alto	Sin tensión	6,64	5
22	En mojado	UPFi alto	Tensión 2 N	5,83	5
23	En mojado	UPFi alto	Tensión 4 N	6,17	5
24	En mojado	UPFi alto	Tensión 6 N	5,89	5

Tabla 3.8. UPF de los tejidos de Modal originales y después de ser sometidos a tensión, medidos en seco y en mojado

En la Figura 3.8 se representan los valores de UPF obtenidos en función de la tensión a la que es sometida el tejido, para los tejidos con UPF inicial bajo, medio y alto, medidos en seco y en mojado.

Como en el caso de los tejidos de la serie de Algodón, tampoco hay cambios muy notables en el UPF de los tejidos de Modal utilizados en esta tesis doctoral cuando son sometidos a las tensiones habituales que soportan durante su uso como prendas de vestir. También se concluyó en el Capítulo 2 (Estudio de la influencia de la estructura en el UPF de los tejidos) que el UPF de los tejidos de Modal varía poco en función de su estructura, aunque algo más que el de los de Algodón, por lo que los pequeños cambios de estructura en los tejidos de calada provocados por el estirado con pequeñas tensiones no producirán una diferencia muy apreciable en el UPF de estos tejidos.

La humectación de los tejidos también provoca en los tejidos de Modal una disminución de su factor de protección. Esta disminución parece ser más importante a medida que



aumenta el UPF inicial del tejido, es decir, a medida que el tejido es más compacto y pesado.

En cualquier caso, los UPF iniciales de los tejidos de Modal utilizados en este estudio son ya de valor muy bajo, por lo que ningún tejido presenta protección suficiente contra la radiación ultravioleta.

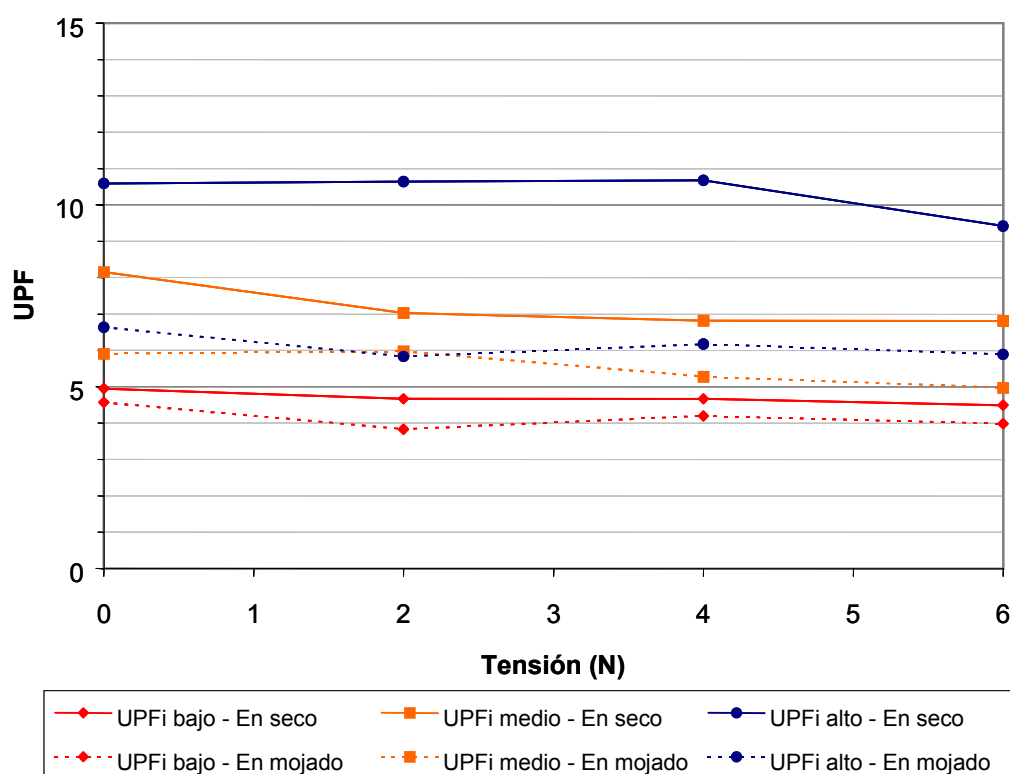


Figura 3.8. Tendencias en la variación del UPF en función de las variables, tejidos de Modal

### 3.3.1.1.2.3. Tejidos de Modal Sun

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Modal Sun, sometidos a estirado y medidos en seco y en mojado, se exponen en la Tabla 3.9. En la Figura 3.9 se representan los valores de UPF obtenidos en función de la tensión a la que es sometido el tejido, para los tejidos con UPF inicial bajo, medio y alto, medidos en seco y en mojado.

Al contrario de lo que ocurría con los tejidos de Algodón y Modal, en el Capítulo 2 (Estudio de la influencia de la estructura en el UPF de los tejidos) se dedujo que el UPF de los tejidos de Modal Sun es muy sensible a pequeñas variaciones en la estructura de los tejidos fabricados con esta fibra especial. Así, las pequeñas tensiones a las que las prendas de vestir se ven sometidas en su uso habitual provocarán cambios en la estructura de los tejidos que, aunque muy pequeños al tratarse de tejidos de calada, serán suficientes para provocar un cambio notable en los valores de UPF de estos tejidos, tal como se confirma con los resultados expuestos en la Tabla 3.9 y la Figura 3.9.



La disminución del factor de protección de los tejidos de Modal Sun cuando son sometidos a tensión es en algunos casos suficiente como para proporcionar una protección inferior a la que le correspondería al tejido no usado en función de su categoría de clasificación según la norma AS/NZ 4399:1996. Este hecho es especialmente notable en los tejidos cuando las medidas se realizan en estado seco. El tejido con el UPF inicial más bajo tiene un valor de 19,74 por lo que se puede clasificar como buen protector contra la radiación ultravioleta. Pero si se somete a una ligera tensión (es suficiente con 2 N), el UPF disminuye por debajo de 15, con lo que pasa a no proporcionar una buena protección. Algo similar ocurre con el tejido con UPF inicial medio. En estado relajado este tejido tiene un UPF de 57,68 que lo clasifica como tejido que proporciona protección excelente. Al ser sometido a una tensión entre 2 y 6 N, su UPF disminuye por debajo de 40, con lo que pasa a proporcionar únicamente una muy buena protección.

Muestra nº	Características de la muestra			Factor de Protección Ultravioleta (UPF <sub>ms</sub> )	Índice UPF
1	En seco	UPFi bajo	Sin tensión	19,74	15
2	En seco	UPFi bajo	Tensión 2 N	14,13	10
3	En seco	UPFi bajo	Tensión 4 N	14,31	10
4	En seco	UPFi bajo	Tensión 6 N	15,52	15
5	En seco	UPFi medio	Sin tensión	57,68	50+
6	En seco	UPFi medio	Tensión 2 N	37,22	35
7	En seco	UPFi medio	Tensión 4 N	28,52	25
8	En seco	UPFi medio	Tensión 6 N	32,15	30
9	En seco	UPFi alto	Sin tensión	78,15	50+
10	En seco	UPFi alto	Tensión 2 N	71,73	50+
11	En seco	UPFi alto	Tensión 4 N	62,91	50+
12	En seco	UPFi alto	Tensión 6 N	58,40	50+
13	En mojado	UPFi bajo	Sin tensión	40,45	40
14	En mojado	UPFi bajo	Tensión 2 N	34,42	30
15	En mojado	UPFi bajo	Tensión 4 N	32,56	30
16	En mojado	UPFi bajo	Tensión 6 N	31,73	30
17	En mojado	UPFi medio	Sin tensión	94,50	50+
18	En mojado	UPFi medio	Tensión 2 N	86,38	50+
19	En mojado	UPFi medio	Tensión 4 N	78,89	50+
20	En mojado	UPFi medio	Tensión 6 N	74,64	50+
21	En mojado	UPFi alto	Sin tensión	124,53	50+
22	En mojado	UPFi alto	Tensión 2 N	107,18	50+
23	En mojado	UPFi alto	Tensión 4 N	109,94	50+
24	En mojado	UPFi alto	Tensión 6 N	106,85	50+

Tabla 3.9. UPF de los tejidos de Modal Sun originales y después de ser sometidos a tensión, medidos en seco y en mojado



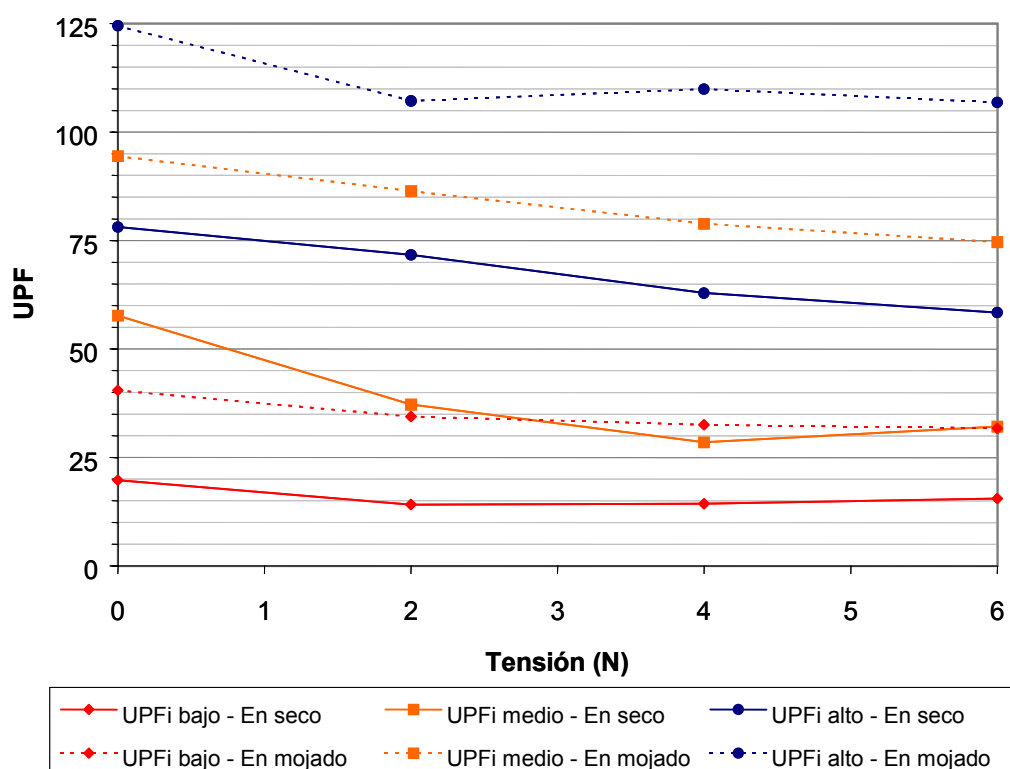


Figura 3.9. Tendencias en la variación del UPF en función de las variables, tejidos de Modal Sun

La humectación de los tejidos, en cambio, no presenta ningún problema en cuanto a la protección que la prenda proporciona. El UPF de los tejidos fabricados con la fibra de Modal Sun no sólo no disminuye cuando los tejidos están mojados, sino que incluso aumenta perceptiblemente. Así, al mojarse el tejido con el UPF inicial más bajo pasa de un UPF de 19,74 a tener un UPF de 40,45 con lo que en vez de buena protección está proporcionando una protección excelente. Y aún cuando se someta a tensión al menos mantendrá una muy buena protección. De igual forma, el tejido con UPF inicial medio, sensible a la tensión cuando el tejido está seco, mantiene su excelente protección cuando el tejido estirado está mojado.

El hecho de que los tejidos de Modal Sun sean más sensibles a la tensión y humedad hace que esta fibra sea especialmente interesante en el estudio del que se ocupa el presente capítulo y en el análisis estadístico de los resultados que se expone a continuación.

### 3.3.1.2. Análisis estadístico de los resultados

#### 3.3.1.2.1. 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 con 2 niveles diferentes, si el tejido se mide en seco o en mojado, 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 tensión a la que se ha sometido al tejido (T) con 4 niveles diferentes, al incluirse los tejidos medidos después de ser estirados con 3 tensiones diferentes y el tejido no estirado.

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 expuestos en la Tabla 3.3. Para facilitar el seguimiento se recuerdan ahora en la Tabla 3.10.

Muestra n°	Características de la muestra			Algodón		Modal		Modal Sun	
				UPFi <sub>a</sub>	T <sub>a</sub>	UPFi <sub>m</sub>	T <sub>m</sub>	UPFi <sub>ms</sub>	T <sub>ms</sub>
1	En seco	UPFi bajo	Sin tensión	4,24	0	4,95	0	19,74	0
2	En seco	UPFi bajo	Tensión 2 N	4,24	2	4,95	2	19,74	2
3	En seco	UPFi bajo	Tensión 4 N	4,24	4	4,95	4	19,74	4
4	En seco	UPFi bajo	Tensión 6 N	4,24	6	4,95	6	19,74	6
5	En seco	UPFi medio	Sin tensión	4,86	0	8,15	0	57,68	0
6	En seco	UPFi medio	Tensión 2 N	4,86	2	8,15	2	57,68	2
7	En seco	UPFi medio	Tensión 4 N	4,86	4	8,15	4	57,68	4
8	En seco	UPFi medio	Tensión 6 N	4,86	6	8,15	6	57,68	6
9	En seco	UPFi alto	Sin tensión	5,69	0	10,59	0	78,15	0
10	En seco	UPFi alto	Tensión 2 N	5,69	2	10,59	2	78,15	2
11	En seco	UPFi alto	Tensión 4 N	5,69	4	10,59	4	78,15	4
12	En seco	UPFi alto	Tensión 6 N	5,69	6	10,59	6	78,15	6
13	En mojado	UPFi bajo	Sin tensión	4,24	0	4,95	0	19,74	0
14	En mojado	UPFi bajo	Tensión 2 N	4,24	2	4,95	2	19,74	2
15	En mojado	UPFi bajo	Tensión 4 N	4,24	4	4,95	4	19,74	4
16	En mojado	UPFi bajo	Tensión 6 N	4,24	6	4,95	6	19,74	6
17	En mojado	UPFi medio	Sin tensión	4,86	0	8,15	0	57,68	0
18	En mojado	UPFi medio	Tensión 2 N	4,86	2	8,15	2	57,68	2
19	En mojado	UPFi medio	Tensión 4 N	4,86	4	8,15	4	57,68	4
20	En mojado	UPFi medio	Tensión 6 N	4,86	6	8,15	6	57,68	6
21	En mojado	UPFi alto	Sin tensión	5,69	0	10,59	0	78,15	0
22	En mojado	UPFi alto	Tensión 2 N	5,69	2	10,59	2	78,15	2
23	En mojado	UPFi alto	Tensión 4 N	5,69	4	10,59	4	78,15	4
24	En mojado	UPFi alto	Tensión 6 N	5,69	6	10,59	6	78,15	6

Tabla 3.10. Variables y niveles en el análisis estadístico (Influencia de las condiciones de uso de las prendas)

### 3.3.1.2.2. 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 de la tensión y humedad 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.

### 3.3.1.2.2.1. 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:

$$cUPF_{ia} = \frac{UPF_{ia} - 4,965}{0,725} \qquad cT_a = \frac{T_a - 3}{3}$$

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	H <sub>a</sub>	cUPF <sub>ia</sub>	cT <sub>a</sub>	Muestra nº	H <sub>a</sub>	cUPF <sub>ia</sub>	cT <sub>a</sub>
1	0	-1,0000	-1,0000	13	1	-1,0000	-1,0000
2	0	-1,0000	-0,3333	14	1	-1,0000	-0,3333
3	0	-1,0000	0,3333	15	1	-1,0000	0,3333
4	0	-1,0000	1,0000	16	1	-1,0000	1,0000
5	0	-0,1448	-1,0000	17	1	-0,1448	-1,0000
6	0	-0,1448	-0,3333	18	1	-0,1448	-0,3333
7	0	-0,1448	0,3333	19	1	-0,1448	0,3333
8	0	-0,1448	1,0000	20	1	-0,1448	1,0000
9	0	1,0000	-1,0000	21	1	1,0000	-1,0000
10	0	1,0000	-0,3333	22	1	1,0000	-0,3333
11	0	1,0000	0,3333	23	1	1,0000	0,3333
12	0	1,0000	1,0000	24	1	1,0000	1,0000

Tabla 3.11. Variables codificadas Algodón

### 3.3.1.2.2.2. Modal

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

$$cUPF_{im} = \frac{UPF_{im} - 7,77}{2,82} \qquad cT_m = \frac{T_m - 3}{3}$$

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	H <sub>m</sub>	cUPFi <sub>m</sub>	cT <sub>m</sub>	Muestra nº	H <sub>m</sub>	cUPFi <sub>m</sub>	cT <sub>m</sub>
1	0	-1,0000	-1,0000	13	1	-1,0000	-1,0000
2	0	-1,0000	-0,3333	14	1	-1,0000	-0,3333
3	0	-1,0000	0,3333	15	1	-1,0000	0,3333
4	0	-1,0000	1,0000	16	1	-1,0000	1,0000
5	0	0,1348	-1,0000	17	1	0,1348	-1,0000
6	0	0,1348	-0,3333	18	1	0,1348	-0,3333
7	0	0,1348	0,3333	19	1	0,1348	0,3333
8	0	0,1348	1,0000	20	1	0,1348	1,0000
9	0	1,0000	-1,0000	21	1	1,0000	-1,0000
10	0	1,0000	-0,3333	22	1	1,0000	-0,3333
11	0	1,0000	0,3333	23	1	1,0000	0,3333
12	0	1,0000	1,0000	24	1	1,0000	1,0000

Tabla 3.12. Variables codificadas Modal

## 3.3.1.2.2.3. Modal Sun

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

$$cUPFims = \frac{UPFims - 48,945}{29,205} \qquad cTms = \frac{Tms - 3}{3}$$

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	H <sub>ms</sub>	cUPFi <sub>ms</sub>	cT <sub>ms</sub>	Muestra nº	H <sub>ms</sub>	cUPFi <sub>ms</sub>	cT <sub>ms</sub>
1	0	-1,0000	-1,0000	13	1	-1,0000	-1,0000
2	0	-1,0000	-0,3333	14	1	-1,0000	-0,3333
3	0	-1,0000	0,3333	15	1	-1,0000	0,3333
4	0	-1,0000	1,0000	16	1	-1,0000	1,0000
5	0	0,2991	-1,0000	17	1	0,2991	-1,0000
6	0	0,2991	-0,3333	18	1	0,2991	-0,3333
7	0	0,2991	0,3333	19	1	0,2991	0,3333
8	0	0,2991	1,0000	20	1	0,2991	1,0000
9	0	1,0000	-1,0000	21	1	1,0000	-1,0000
10	0	1,0000	-0,3333	22	1	1,0000	-0,3333
11	0	1,0000	0,3333	23	1	1,0000	0,3333
12	0	1,0000	1,0000	24	1	1,0000	1,0000

Tabla 3.13. Variables codificadas Modal Sun



### 3.3.1.2.3. Modelo inicial

Al haberse utilizado variables aleatorias y niveles no equidistantes de las variables, el análisis estadístico de los resultados, para la modelización de la respuesta UPF, se debe realizar por modelo lineal, aplicando las hipótesis de trabajo que se expusieron anteriormente, en el Capítulo 2.

Se han analizado por separado los resultados correspondientes a cada una de las fibras en estudio (Algodón, Modal y Modal Sun), pero conjuntamente los resultados obtenidos en las medidas en seco y en mojado. La humedad del tejido, en este caso, es una variable cualitativa con dos niveles, correspondientes a la medida con el tejido seco y con el tejido mojado. Para poder introducir esta variable cualitativa en el análisis estadístico se debe definir una variable categórica. Esta variable adquiere diferentes niveles (0 o 1) en función de la característica cualitativa que se haya utilizado en cada experiencia. Como se tienen 2 niveles de la variable cualitativa humedad del tejido, se necesitará 1 variable categórica, H, para la que se han definido los siguientes niveles:

Humedad	Muestras nº	H
Medidas en seco	1 a 12	0
Medidas en mojado	13 a 24	1

Tabla 3.14. Niveles de la variable categórica en función de la humedad del tejido

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

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

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

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

La estimación de los coeficientes significativos de los modelos, para cada fibra, que relacionan el UPF con las diferentes variables se realiza mediante el método denominado regresión paso a paso (Stepwise Regression). El procedimiento de análisis es análogo al descrito en el apartado 2.3.1.2.4.



### 3.3.1.2.5. Modelización de la respuesta UPF en los tejidos de Algodón en función de las condiciones de uso de las prendas

#### 3.3.1.2.5.1. 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 Algodón, en función del UPF inicial, la tensión y humedad de la muestra. También se expone en la última columna el nivel de significación de cada término en el modelo.

Model fitting results for: UPFa				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	4.775748	0.057087	83.6579	0.0000
cUPFia	0.757754	0.069553	10.8947	0.0000
cTa	-0.212793	0.05411	-3.9326	0.0010
Ha	-1.224526	0.080733	-15.1677	0.0000
Ha*cUPFia	-0.352689	0.098362	-3.5856	0.0021
Ha*cUPFia*cTa	-0.250353	0.093234	-2.6852	0.0151

Ninguno de los efectos e interacciones tiene un nivel de significación superior a 0,05 por lo que ningún término debe eliminarse del modelo y los coeficientes estimados son correctos.

El ANOVA de la regresión obtenido es el siguiente:

Analysis of Variance for the Full Regression					
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	15.5467	5	3.10934	79.7854	.0000
Error	0.701484	18	0.0389713		
Total (Corr.)	16.2482	23			
R-squared = 0.956827			Std. error of est. = 0.197412		

Se obtiene un coeficiente de determinación del modelo de valor bastante elevado (95,68%).

Los gráficos de residuos de la respuesta y el gráfico probabilístico normal obtenidos para el modelo estimado, se presentan en la Figura 3.10.

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 17. 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 calcula el intervalo de probabilidad de los valores individuales del punto 17, ya que parece que pueda tratarse de un punto anómalo o "punto loco". Los resultados se exponen en la Tabla 3.15.



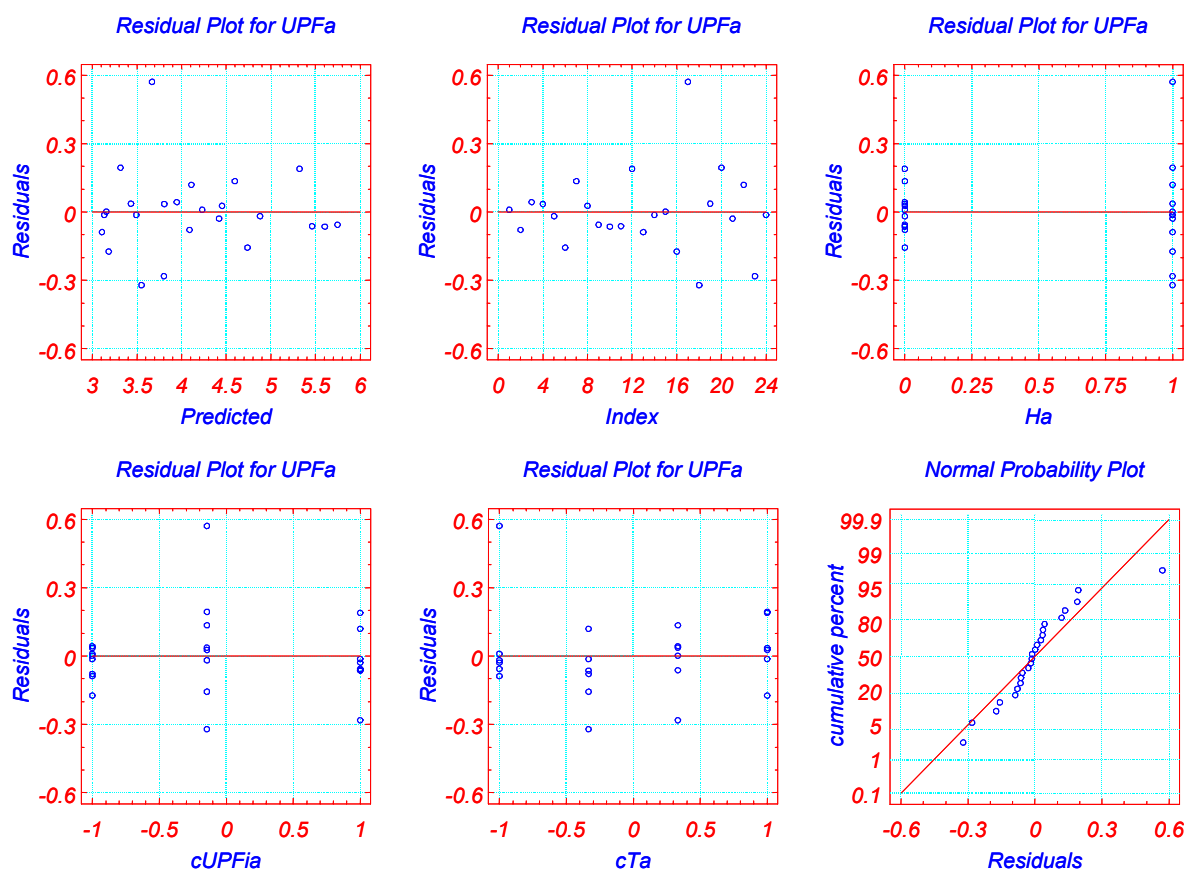


Figura 3.10. Gráficos de residuos y probabilístico normal de la respuesta UPF, tejidos de Algodón

Muestra nº	Valor experimental	Intervalo de probabilidad de valores individuales (95%)	
		Inferior	Superior
17	4,24	3,50	3,84

Tabla 3.15. 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 se debe eliminar del análisis.

Una vez extraído el punto anómalo, se debe recalcular de nuevo el modelo, obteniéndose los coeficientes estimados y el ANOVA que se muestran a continuación.

Model fitting results for: UPFa

Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	4.775748	0.039188	121.8684	0.0000
cUPFia	0.757754	0.047745	15.8708	0.0000
cTa	-0.162095	0.038742	-4.1839	0.0006
Ha	-1.280955	0.056759	-22.5684	0.0000
Ha*cUPFia	-0.344517	0.067545	-5.1005	0.0001
Ha*cUPFia*cTa	-0.268709	0.064126	-4.1903	0.0006



Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	15.9246	5	3.18492	173.429	.0000
Error	0.312195	17	0.0183644		
-----					
Total (Corr.)	16.2368	22			
R-squared = 0.980772			Std. error of est. = 0.135515		

Con un coeficiente de determinación del modelo muy alto  $R^2 = 98,08\%$ .

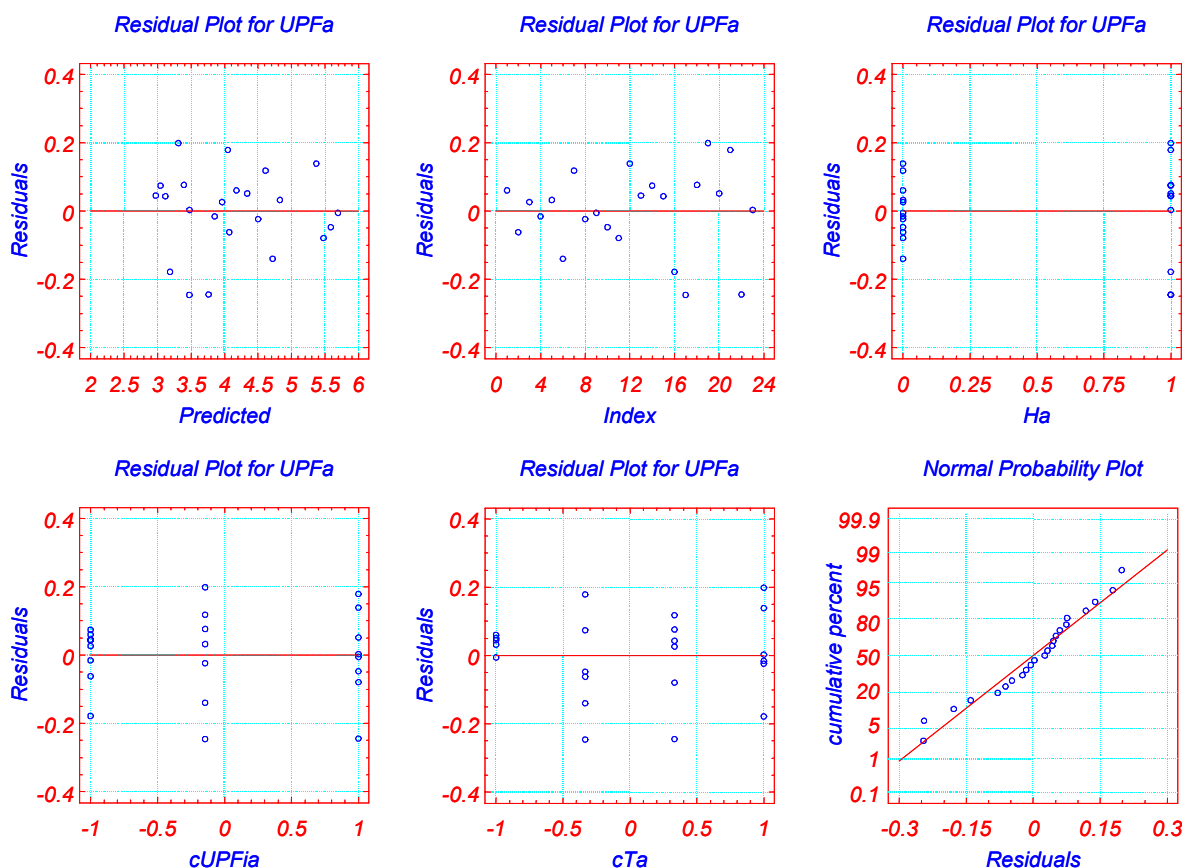


Figura 3.11. Gráficos de residuos y probabilístico normal de la respuesta UPF, tejidos de Algodón

No se observa ninguna anomalía destacable en los gráficos de residuos ni en el gráfico probabilístico normal (Figura 3.11), por lo que se considera que el modelo obtenido es correcto.

### 3.3.1.2.5.2. Modelo definitivo

El modelo definitivo que estima el valor de la respuesta UPF en función del UPF inicial del tejido y de la tensión y humedad a que es sometido, es el siguiente, en variables codificadas:



$$\begin{aligned}
 UPFa = & 4,775748 - 1,280955 \cdot Ha + \\
 & + 0,757754 \cdot cUPFia - 0,344517 \cdot Ha \cdot cUPFia - \\
 & - 0,162095 \cdot cTa - \\
 & - 0,268709 \cdot Ha \cdot cUPFia \cdot cTa
 \end{aligned}
 \quad R^2 = 98,08\%$$

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

Según el modelo definido, existen términos significativos que incluyen a la variable categórica  $H_a$ , por lo que se puede asegurar que la respuesta UPF será significativamente diferente en función de si el tejido se mide en seco o en mojado.

El modelo pone de manifiesto que la humedad tiene un efecto negativo sobre el valor del UPF de los tejidos de Algodón. Aparece el término  $H_a$  con un coeficiente de  $-1,28$  que ya indica que por el hecho de mojar el tejido, el UPF disminuye 1,28 unidades. Además, el término de interacción de  $H_a$  con el efecto simple  $UPF_{ia}$  señala que al mojar disminuye el efecto positivo de este término sobre el valor del UPF final. También el coeficiente negativo del término de interacción de  $H_a$  con la interacción  $UPF_{ia} \cdot T_a$  es indicativo del efecto negativo de la humedad.

Al separar el modelo obtenido, en los modelos individuales para los tejidos medidos en seco y en mojado, según los valores de  $H_a$ , se obtienen los siguientes modelos:

- En seco:  $H_a = 0$

$$UPFa = 4,775748 + 0,757754 \cdot cUPFia - 0,162095 \cdot cTa$$

- En mojado:  $H_a = 1$

$$UPFa = 3,494793 + 0,413237 \cdot cUPFia - 0,162095 \cdot cTa - 0,268709 \cdot cUPFia \cdot cTa$$

En el modelo que relaciona la tensión con el UPF medido en los tejidos secos, han resultado significativos el efecto simple  $cUPF_{ia}$  con signo positivo y el efecto simple  $cT_a$  con signo negativo. Ello indica que la respuesta UPF aumenta cuando lo hace el UPF inicial del tejido (como era de esperar) y disminuye cuando aumenta la tensión a la que el tejido es sometido. El que no sea significativa la interacción de las dos variables, tensión y UPF inicial del tejido, muestra que la influencia de la variable tensión no depende de la estructura del tejido. Su efecto será el mismo en un tejido ligero o en un tejido pesado.

En cambio, cuando los tejidos se miden en estado mojado, la influencia de la variable tensión depende notablemente de la estructura del tejido. Sigue existiendo una influencia positiva del UPF inicial del tejido y una influencia negativa de la tensión. Pero, además,





existe una fuerte interacción de estas dos variables, con un coeficiente de signo negativo que indica que la tensión produce una disminución del UPF final cada vez mayor a medida que aumenta el UPF inicial de los tejidos (y, por lo tanto, su compacidad).

Al descodificar, se obtienen los modelos siguientes en variables originales:

- En seco:

$$UPFa = -0,251465 + 1,045178 \cdot UPFia - 0,054032 \cdot Ta$$

- En mojado:

$$UPFa = -1,013266 + 0,940615 \cdot UPFia + 0,559366 \cdot Ta - 0,123544 \cdot UPFia \cdot Ta$$

### 3.3.1.2.5.3. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 3.12 se han representado las superficies de respuesta y las curvas de nivel de la respuesta UPF en función de las dos variables codificadas del sistema,  $cUPFi_a$  y  $cTa$ , obtenidas según el modelo estimado para la medida de los tejidos en seco y en mojado. Se representan las curvas de superficie y nivel para incrementos de 5 puntos del valor de la respuesta UPF. Los colores distinguen entre las zonas que no presentan protección ( $UPF < 15$ ), las de buena protección ( $15 \leq UPF < 25$ ), las de muy buena protección ( $25 \leq UPF < 40$ ) y las de protección excelente ( $UPF \geq 40$ ).

En las superficies de respuesta se puede observar que en la dirección del eje de cada variable  $cUPFi_a$  y  $cTa$ , las líneas de la superficie presentan una forma lineal descendente a medida que aumenta la tensión, tanto cuando el tejido se mide en seco como cuando se mide en mojado. Asimismo, a igualdad de tensión y UPF inicial, se observa que el valor de la respuesta es menor cuando el tejido se mide en mojado.

La figura muestra que la tensión a la que es sometido el tejido y la humedad tienen un efecto negativo sobre el valor del factor de protección UPF. Sin embargo, y aunque la influencia de ambas variables es significativa desde el punto de vista estadístico, las diferencias que causan dentro del rango experimental de este estudio son poco apreciables desde el punto de vista de su aplicación práctica textil.

Debe tenerse en cuenta que el UPF de los tejidos que se han sometido a tensión y humedad era inicialmente muy pequeño, con valores por debajo de 6, lo que limita el número de unidades que el UPF puede disminuir al someter a los tejidos a tensión y humedad. Los tejidos estirados y/o mojados no se pueden clasificar como protectores si se siguen las indicaciones de la norma AS/NZ 4399:1996, pero tampoco lo podían ser los tejidos en estado relajado y seco.

El interés de los resultados obtenidos radica en que describen una tendencia de los tejidos de Algodón crudos a disminuir la protección que proporcionan contra la radiación



ultravioleta cuando son estirados y/o mojados. Por lo tanto, en el diseño de prendas protectoras contra la radiación ultravioleta, deberá tenerse en cuenta las condiciones de tensión y humedad a las que la prenda será sometida, si se quiere garantizar que la protección se mantendrá en cualquier circunstancia durante su uso.

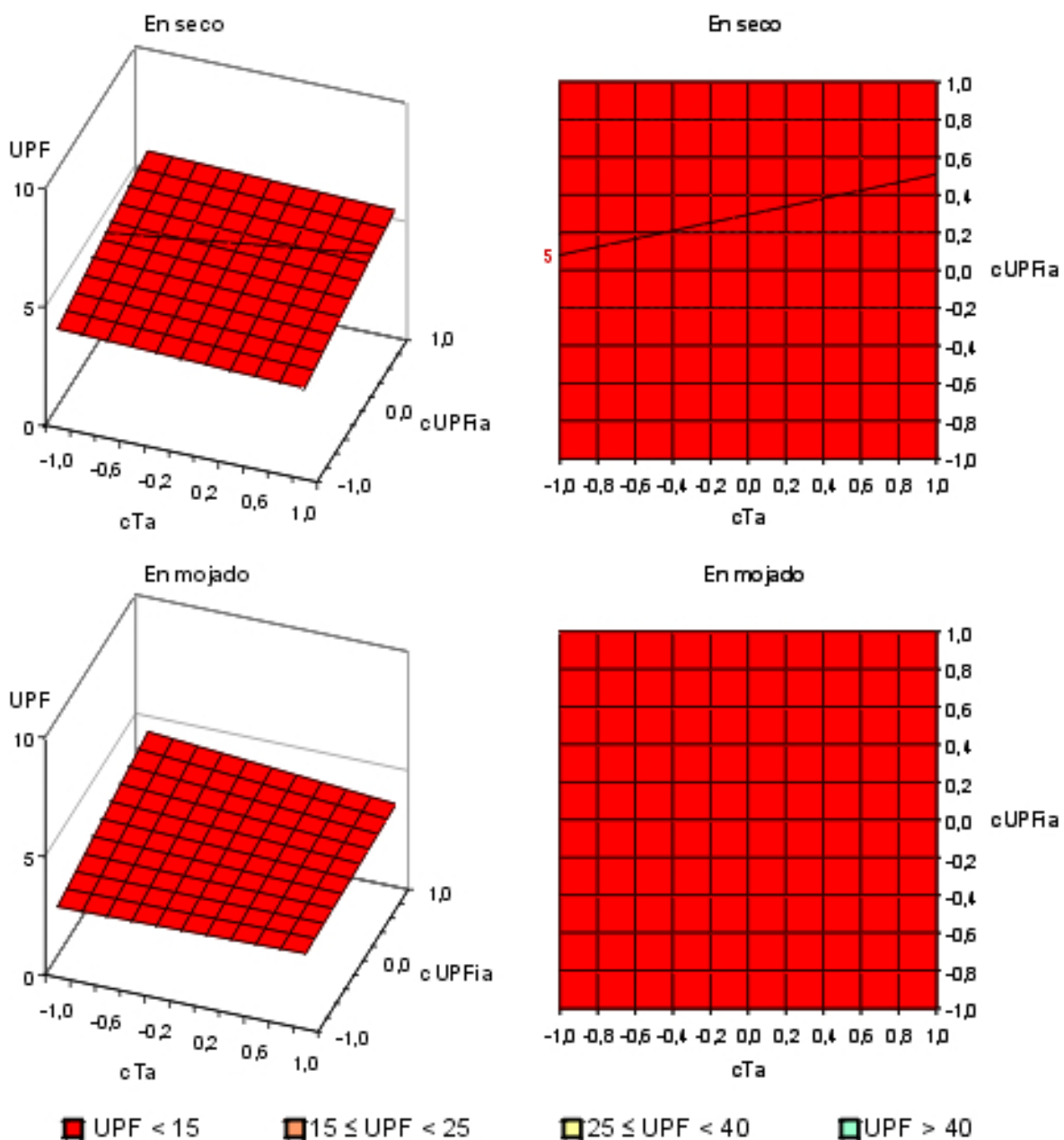


Figura 3.12. Superficies de respuesta y curvas de nivel, tejidos de Algodón



### 3.3.1.2.6. Modelización de la respuesta UPF en los tejidos de Modal en función de las condiciones de uso de las prendas

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

A continuación se presentan los términos que resultan significativos y sus coeficientes en el análisis estadístico de los resultados obtenidos en la medida de los tejidos de Modal, en función de la tensión y humedad de la muestra.

Model fitting results for: UPFm

Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	7.284775	0.119056	61.1880	0.0000
cUPFim	2.787895	0.145155	19.2063	0.0000
cTm	-0.3975	0.112777	-3.5247	0.0023
Hm	-2.059933	0.16837	-12.2346	0.0000
Hm*cUPFim	-1.782544	0.205281	-8.6835	0.0000

Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	100.274	4	25.0686	147.827	.0000
Error	3.22203	19	0.169581		
Total (Corr.)	103.496	23			

R-squared = 0.968868      Std. error of est. = 0.411802

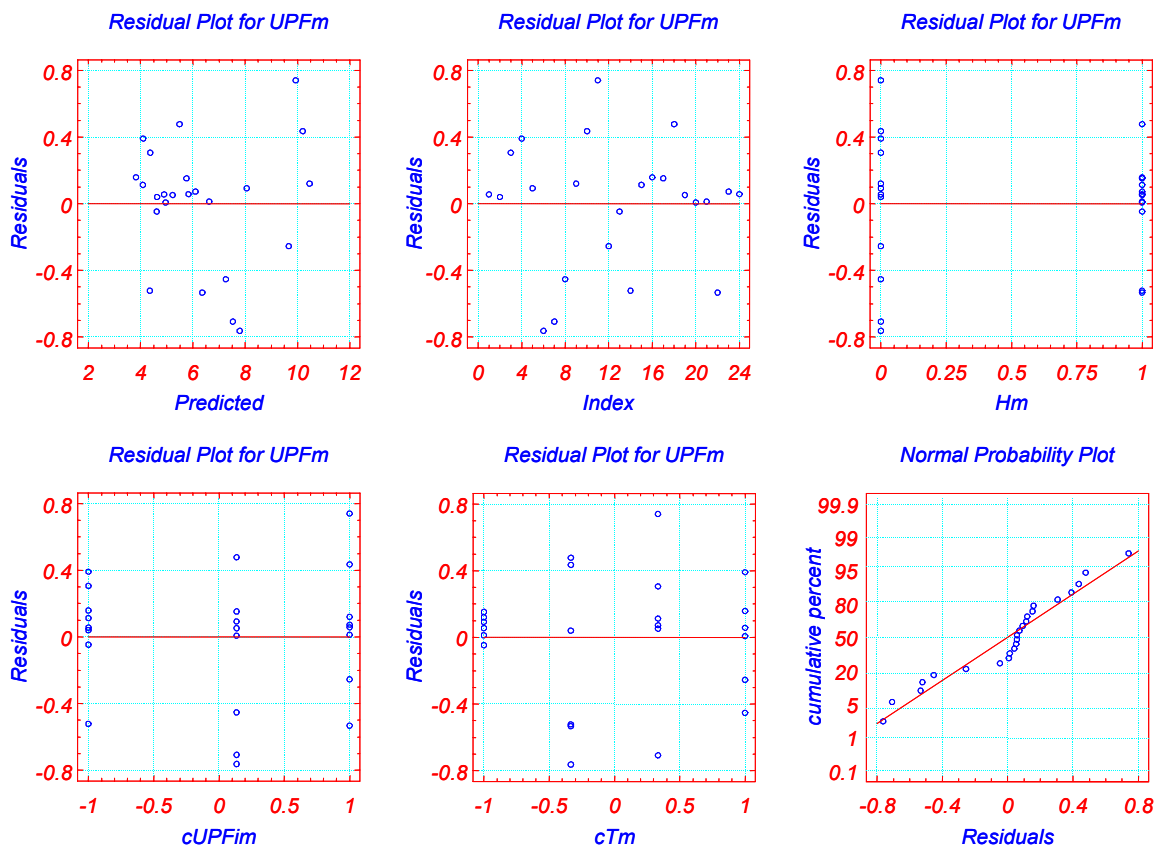


Figura 3.13. Gráficos de residuos y probabilístico normal de la respuesta UPF, tejidos de Modal



El ANOVA de la regresión indica que se obtiene un alto coeficiente de determinación del modelo  $R^2 = 96,89\%$ . Los gráficos de residuos de la respuesta y el gráfico probabilístico normal obtenidos para el modelo estimado (Figura 3.13), no presentan ninguna anomalía, por lo que se considera que el modelo obtenido es correcto.

### 3.3.1.2.6.2. Modelo definitivo

El modelo definitivo que estima el valor de la respuesta UPF en función del UPF inicial del tejido y de la tensión y humedad a que es sometido durante su uso, es el siguiente en variables codificadas:

$$\begin{aligned} UPF_m = & 7,284775 - 2,059933 \cdot H_m + \\ & + 2,787895 \cdot cUPF_{im} - 1,782544 \cdot H_m \cdot cUPF_{im} - \\ & - 0,397500 \cdot cT_m \end{aligned} \quad R^2 = 96,89\%$$

Según el modelo definido, existen términos significativos que incluyen a la variable categórica  $H_m$ , por lo que se puede asegurar que la respuesta UPF será significativamente diferente en función de si el tejido de Modal se mide en seco o en mojado.

La humedad tiene una influencia negativa sobre el UPF de los tejidos de Modal, tal como se pone de manifiesto en el signo negativo de todos los coeficientes de los términos en que es significativa la variable categórica  $H_m$ .

Al separar el modelo obtenido en función del valor de la variable categórica  $H_m$ , se obtienen los siguientes modelos individuales para la medida en seco o en mojado de los tejidos:

- En seco:  $H_m = 0$

$$UPF_m = 7,284775 + 2,787895 \cdot cUPF_{im} - 0,397500 \cdot cT_m$$

- En mojado:  $H_m = 1$

$$UPF_m = 5,224842 + 1,005351 \cdot cUPF_{im} - 0,397500 \cdot cT_m$$

Los modelos que relacionan la tensión con el UPF medido en los tejidos secos y mojados, indican que la respuesta UPF disminuye cuando aumenta la tensión a la que el tejido es sometido. El hecho de que la interacción de esta variable con el UPF inicial del tejido no sea significativa, muestra que la influencia de la variable tensión no depende de la estructura del tejido. Su efecto será el mismo en un tejido ligero o en un tejido pesado. Además, el coeficiente del efecto simple de la tensión tiene el mismo valor numérico en ambos modelos, de forma que la influencia de la variable tensión también es independiente del grado de humedad del tejido.



El menor coeficiente de la variable UPF inicial del tejido en el modelo en mojado, así como el menor valor del término independiente, indican una disminución en el valor de la respuesta cuando los tejidos son mojados.

Al descodificar, se obtienen los modelos siguientes en variables originales:

- En seco:

$$UPF_m = 0,000735 + 0,988615 \cdot UPF_{im} - 0,132500 \cdot T_m$$

- En mojado:

$$UPF_m = 2,852279 + 0,356507 \cdot UPF_{im} - 0,132500 \cdot T_m$$

### 3.3.1.2.6.3. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 3.14 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,  $cUPF_{im}$  y  $cT_m$ , obtenidas según el modelo estimado para la medida de los tejidos en seco y en mojado.

En las superficies de respuesta se puede observar que en la dirección del eje de cada variable  $cUPF_{im}$  y  $cT_m$ , las líneas de la superficie presentan una forma lineal descendente a medida que aumenta la tensión, tanto cuando el tejido se mide en seco como cuando se mide en mojado. Asimismo, para valores iguales de UPF inicial y tensión, se observa que el valor de la respuesta es menor cuando el tejido se mide en mojado que cuando se mide en seco.

Por lo tanto, la figura muestra que la tensión a la que es sometido el tejido y la humedad tienen un efecto negativo sobre el valor del factor de protección UPF. Sin embargo, y aunque la influencia de ambas variables es significativa desde el punto de vista matemático, las diferencias que causan dentro del rango experimental de este estudio son poco apreciables desde el punto de vista de su aplicación práctica textil.

Como en el caso de los tejidos de Algodón, debe tenerse en cuenta que el UPF de los tejidos de Modal que se han sometido a tensión y humedad era inicialmente muy pequeño, con valores por debajo de 15, y por lo tanto, se trata de tejidos no protectores. Por lo tanto, tampoco en el estudio de los tejidos de Modal se podrá optimizar la selección de los tejidos para garantizar que conserven su protección cualquiera que sean las condiciones de uso. En este caso también, el interés del estudio se centra en demostrar que existe una tendencia de los tejidos de Modal crudos a disminuir la protección que proporcionan contra la radiación ultravioleta cuando son estirados y/o mojados, tendencia que deberá tenerse en cuenta en el diseño de prendas protectoras contra la radiación ultravioleta, si se quiere garantizar que la protección se mantendrá en cualquier circunstancia durante su uso.



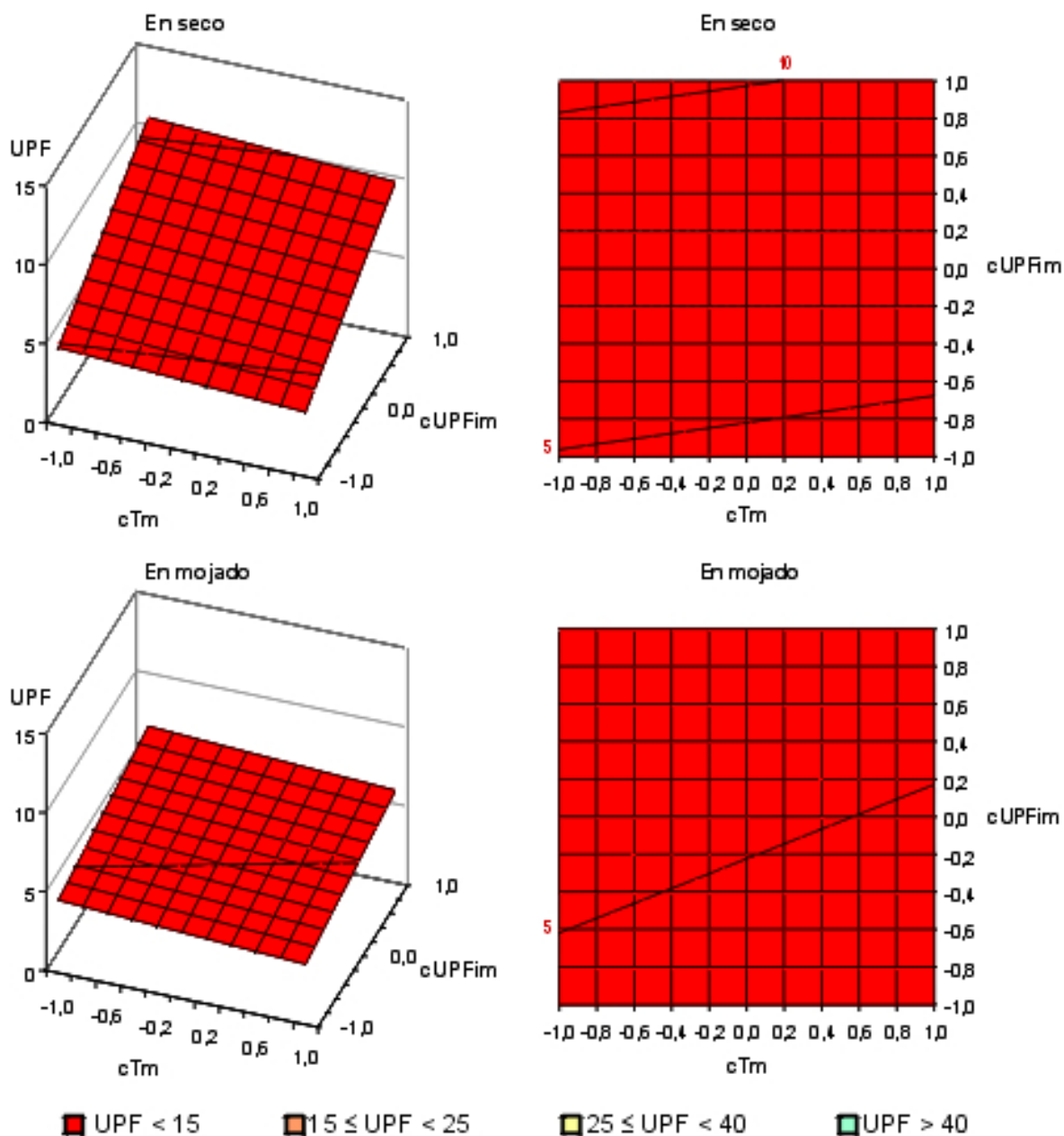


Figura 3.14. Superficies de respuesta y curvas de nivel, tejidos de Modal

### 3.3.1.2.7. Modelización de la respuesta UPF en los tejidos de Modal Sun en función de las condiciones de uso de las prendas

#### 3.3.1.2.7.1. 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 en el análisis estadístico de los resultados obtenidos en la medida de los tejidos de Modal Sun, en función de la tensión y humedad de la muestra.



Model fitting results for: UPFms

Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	27.156895	2.302702	11.7935	0.0000
cUPFims	25.93625	1.318379	19.6728	0.0000
cTms	-7.444827	1.028578	-7.2380	0.0000
cUPFims*cTms	-3.36441	1.232483	-2.7298	0.0155
cUPFims*cUPFims	11.779876	2.544958	4.6287	0.0003
cTms*cTms	5.264063	1.712624	3.0737	0.0077
Hms	41.816438	2.965523	14.1009	0.0000
Hms*cUPFims	12.73125	1.864469	6.8284	0.0000
Hms*cUPFims*cUPFims	-10.220188	3.599114	-2.8396	0.0124

El ANOVA de la regresión obtenido es el siguiente:

Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	26444.9	8	3305.62	237.729	.0000
Error	208.575	15	13.9050		
Total (Corr.)	26653.5	23			

R-squared = 0.992175      Stnd. error of est. = 3.72894

Se obtiene un coeficiente R<sup>2</sup> de valor muy alto (99,22%).

Los gráficos de residuos de la respuesta y el gráfico probabilístico normal obtenidos para el modelo estimado, se presentan en la Figura 3.15.

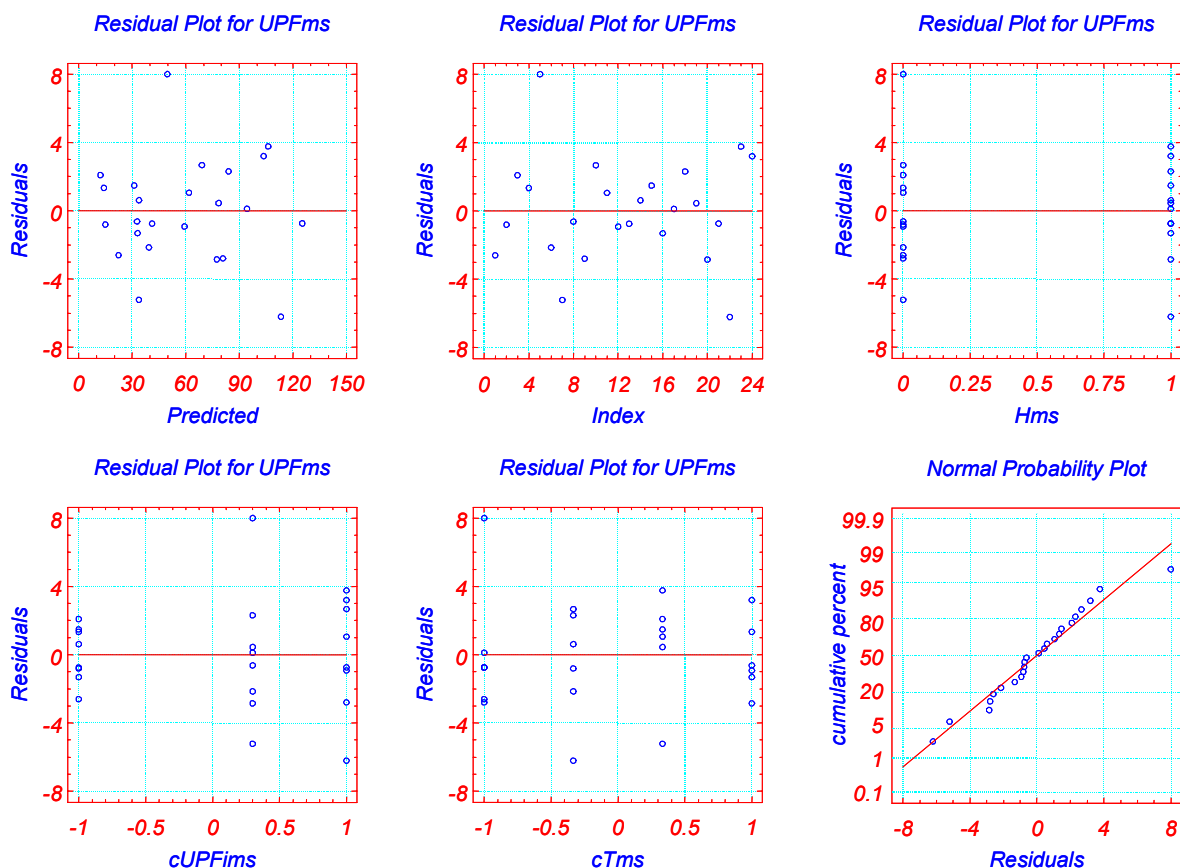


Figura 3.15. Gráficos de residuos y probabilístico normal de la respuesta UPF, tejidos de Modal Sun



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 5. 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 calcula el intervalo de probabilidad de los valores individuales del punto 5, 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
5	57,68	44,84	54,53

Tabla 3.16. 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 se debe eliminar del análisis.

Una vez extraído el punto anómalo, se debe recalcular de nuevo el modelo, obteniéndose los coeficientes estimados y el ANOVA que se muestran a continuación.

```

Model fitting results for: UPFms
-----
Independent variable      coefficient  std. error  t-value  sig.level
-----
CONSTANT                 24.328367   1.874245   12.9804   0.0000
CUPFims                  25.93625    0.976991   26.5471   0.0000
CTms                     -6.518905   0.803361   -8.1145   0.0000
cUPFims*cTms             -3.087474   0.916485   -3.3688   0.0046
cUPFims*cUPFims          15.270579   2.114709    7.2211   0.0000
cTms*cTms                 4.072149   1.310511    3.1073   0.0077
Hms                       45.307141   2.396807   18.9031   0.0000
Hms*cUPFims              12.73125    1.381674    9.2144   0.0000
Hms*cUPFims*cUPFims     -13.710891  2.833516   -4.8388   0.0003
-----

Analysis of Variance for the Full Regression
-----
Source                    Sum of Squares  DF  Mean Square  F-Ratio  P-value
-----
Model                     26545.2         8   3318.14     434.535  .0000
Error                     106.905        14   7.63609
-----
Total (Corr.)             26652.1        22
R-squared = 0.995989                               Std. error of est. = 2.76335
    
```

Con un coeficiente de determinación del modelo muy alto  $R^2 = 99,60\%$ .

No se observa ninguna anomalía destacable en los gráficos de residuos ni en el gráfico probabilístico normal (Figura 3.16), por lo que se considera que el modelo obtenido es correcto.





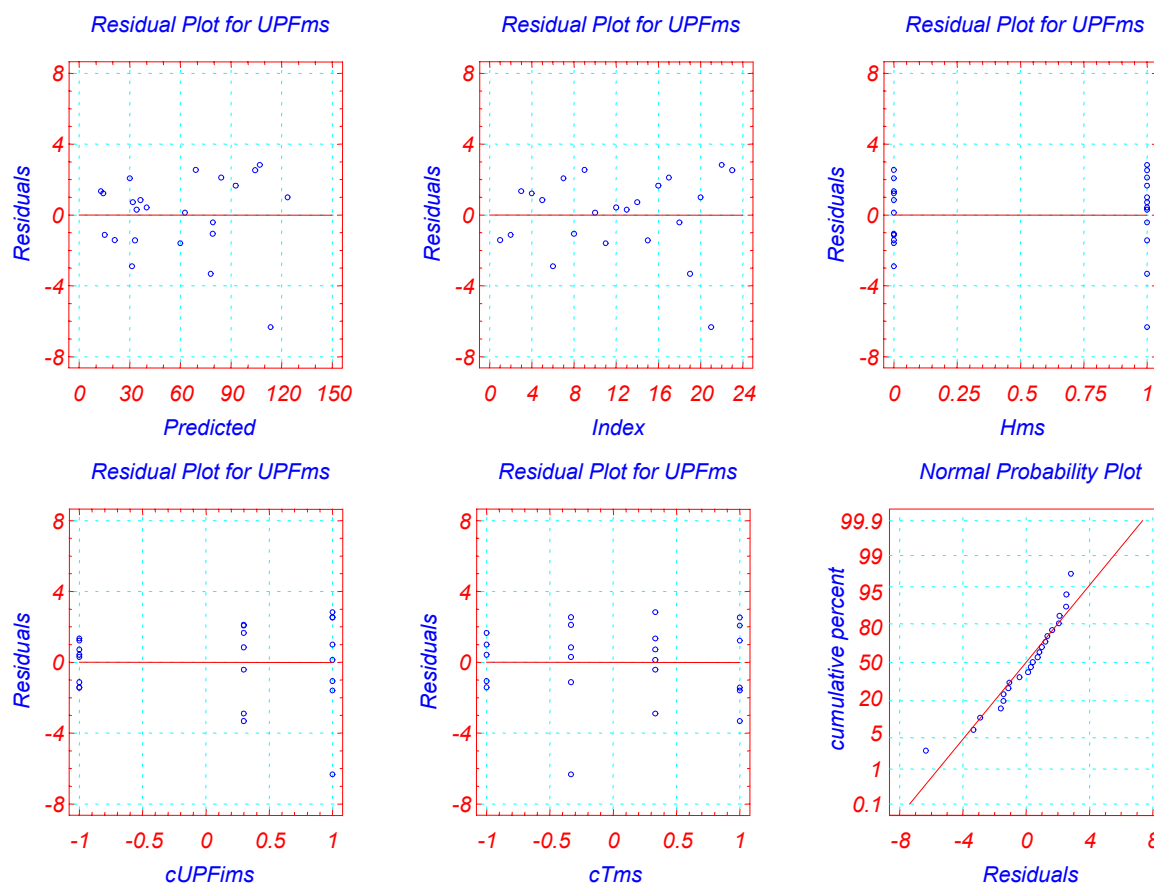


Figura 3.16. Gráficos de residuos y probabilístico normal de la respuesta UPF, tejidos de Algodón

### 3.3.1.2.7.2. Modelo definitivo

El modelo definitivo que estima el valor de la respuesta UPF en función del UPF inicial del tejido y de la tensión y humedad a las que es sometido, es el siguiente en variables codificadas:

$$\begin{aligned}
 UPFms = & 24,328367 + 45,307141 \cdot Hms + \\
 & + 25,936250 \cdot cUPFims + 12,731250 \cdot Hms \cdot cUPFims - \\
 & - 6,518905 \cdot cTms - \\
 & - 3,087474 \cdot cUPFims \cdot cTms + \\
 & + 15,270579 \cdot cUPFims^2 - 13,710891 \cdot Hms \cdot cUPFims^2 + \\
 & + 4,072149 \cdot cTms^2
 \end{aligned}
 \qquad R^2 = 99,60\%$$

Según el modelo estimado, existen términos significativos que incluyen a la variable categórica  $H_{ms}$ , por lo que se puede asegurar que la respuesta UPF será significativamente diferente en función de si el tejido se mide en seco o en mojado. Dos de estos términos significativos tienen un coeficiente positivo de valor muy elevado y el restante un coeficiente negativo de menor valor, de forma que en conjunto la humedad tiene un efecto positivo sobre el valor del UPF de los tejidos de Modal Sun.



Al separar el modelo obtenido en función del valor de la variable categórica  $H_{ms}$ , se obtienen los siguientes modelos individuales para la medida en seco o en mojado de los tejidos:

- En seco:  $H_{ms} = 0$

$$UPF_{ms} = 24,328367 + 25,936250 \cdot cUPF_{ims} - 6,518905 \cdot cT_{ms} - 3,087474 \cdot cUPF_{ims} \cdot cT_{ms} + 15,270579 \cdot cUPF_{ims}^2 + 4,072149 \cdot cT_{ms}^2$$

- En mojado:  $H_{ms} = 1$

$$UPF_{ms} = 69,635508 + 38,667500 \cdot cUPF_{ims} - 6,518905 \cdot cT_{ms} - 3,087474 \cdot cUPF_{ims} \cdot cT_{ms} + 1,559688 \cdot cUPF_{ims}^2 + 4,072149 \cdot cT_{ms}^2$$

En los modelos ha resultado significativo el efecto simple  $cUPF_{ims}$  con signo positivo, como era de esperar. Asimismo es significativo el efecto simple  $cT_{ms}$  con signo negativo que indica que el valor de la respuesta UPF disminuye cuando aumenta la tensión a la que el tejido es sometido. Además, la interacción de ambas variables tiene un coeficiente significativo de valor negativo, por lo que la influencia de la variable tensión depende de la estructura del tejido. El efecto negativo de la tensión será mayor a medida que aumenta el UPF inicial y, por lo tanto, la compacidad y el peso del tejido.

En el modelo también han resultado significativos los términos cuadráticos  $cUPF_{ims}^2$  y  $cT_{ms}^2$  con coeficientes de signo positivo que producirán, respectivamente, una aceleración en el aumento de la respuesta causado por  $cUPF_{ims}$  a medida que aumenta el valor de esta variable (más acusado en la medida en seco), y una deceleración en la disminución de la respuesta causada por  $cT_{ms}$  a medida que aumenta el valor de la variable. Es decir, ambos términos contribuyen positivamente al UPF de los tejidos.

Al analizar las diferencias entre los modelos obtenidos para la medida en seco y en mojado, se observa que todos los términos en los que interviene la variable  $cT_{ms}$  tienen coeficientes iguales. Es decir, no existe interacción entre la humedad y la tensión. El efecto negativo producido por la tensión a la que se somete al tejido es independiente del contenido de humedad del tejido.

No ocurre lo mismo con los coeficientes que acompañan a la variable UPF inicial del tejido, que sí se ve influenciada por el contenido de humedad del tejido, de forma que el efecto positivo de la humedad será cada vez mayor, aunque menos acelerado, a medida que el tejido va siendo más compacto y pesado.

Los modelos en variables originales serán los siguientes:

- En seco:

$$UPF_{ms} = 29,168392 - 0,758793 \cdot UPF_{ims} - 3,162956 \cdot T_{ms} - 0,035239 \cdot UPF_{ims} \cdot T_{ms} + 0,017904 \cdot UPF_{ims}^2 + 0,452461 \cdot T_{ms}^2$$



- En mojado:

$$UPF_{ms} = 14,629579 + 1,250717 \cdot UPF_{ims} - 3,162956 \cdot T_{ms} - 0,035239 \cdot UPF_{ims} \cdot T_{ms} + 0,001829 \cdot UPF_{ims}^2 + 0,452461 \cdot T_{ms}^2$$

### 3.3.1.2.7.3. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 3.17 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  $cT_{ms}$ , obtenidas según el modelo estimado para la medida de los tejidos en seco y en mojado.

En la figura se observa que, al contrario de lo que sucedía en el estudio de los tejidos de Algodón y Modal, en el caso de los tejidos de Modal Sun la influencia de la tensión y de la humedad sobre el factor de protección a la radiación ultravioleta de los tejidos es muy perceptible. Ello es lógico si se tienen en cuenta los resultados del capítulo 2 (Influencia de la estructura en el UPF de los tejidos), ya que el UPF de los tejidos fabricados con Modal Sun es muy sensible a los cambios estructurales, y precisamente se provocan cambios estructurales al someterlos a la acción de la tensión y la humedad.

Como en las otras fibras estudiadas, la figura muestra una influencia negativa de la variable  $cT_{ms}$ , en el valor de la respuesta UPF. En la dirección de esta variable las superficies de respuesta presentan líneas con una forma parabólica descendente, de forma que un incremento en la variable cuando ésta tiene valores bajos producirá un descenso mayor en la respuesta UPF que el mismo incremento cuando la variable tiene valores altos. En su interacción con la variable  $cUPF_{ims}$  no se observan variaciones importantes, conservando las líneas de las superficies curvaturas similares para todos los valores de  $cUPF_{ims}$ , aunque con valores cada vez más altos cuando aumenta el valor del UPF inicial del tejido. El comportamiento descrito se produce tanto cuando los tejidos se miden en seco como cuando se miden en mojado.

Un efecto muy diferente al de las otras fibras estudiadas es el producido por la humedad sobre los tejidos de Modal Sun. Al contrario que los tejidos de Algodón y Modal, los tejidos de Modal Sun ven incrementado su factor de protección cuando son mojados. Este factor, por lo tanto, no es peligroso a la hora de poder garantizar un UPF determinado de los tejidos de Modal Sun en las condiciones de uso de las prendas.

En el caso de la serie de Modal Sun el UPF inicial de los tejidos que se han sometido a tensión y humedad tenía niveles mucho más interesantes para el estudio que el de los tejidos escogidos de Algodón y Modal. Sus valores comprenden un intervalo de UPFi entre 19 y 78 aproximadamente, lo que los hace protectores contra la radiación ultravioleta, según la clasificación contemplada en la norma AS/NZ 4399:1996. En concreto, el tejido con UPF inicial bajo es un tejido que proporciona buena protección, mientras que los tejidos con UPF inicial medio y alto proporcionan protección excelente.



Cuando dichos tejidos son sometidos a tensión, los cambios en la estructura pueden provocar que se pierda el nivel de protección inicial proporcionada por los tejidos, pudiendo disminuir o incluso, en algunos casos, no alcanzarse la protección mínima para su clasificación como tejidos protectores. Este problema desaparece cuando los tejidos son mojados, ya que se favorece el bloqueo de la radiación ultravioleta e incluso aumenta la categoría de clasificación de algunos de los tejidos, aún cuando sean estirados.

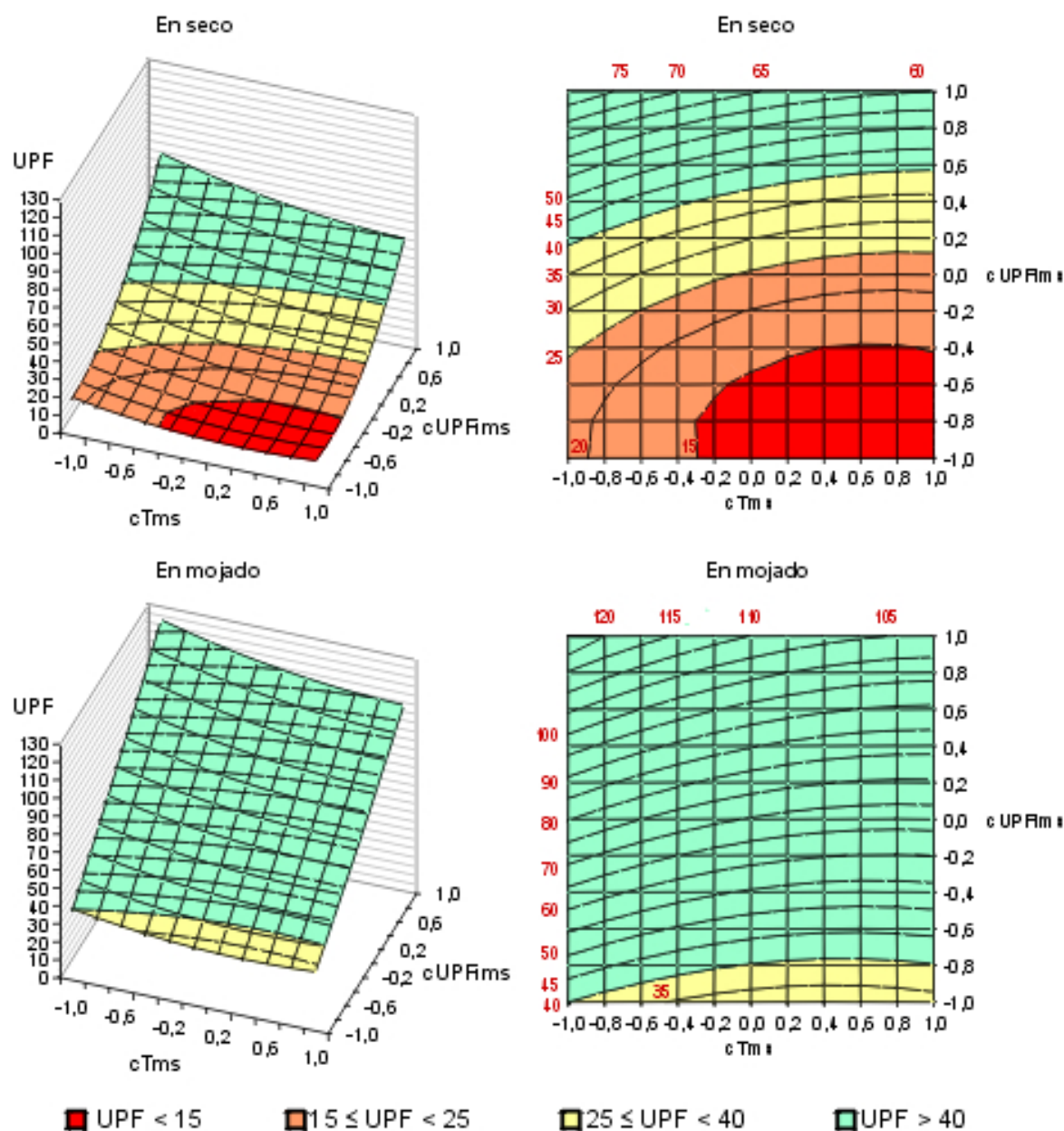


Figura 3.17. Superficies de respuesta y curvas de nivel, tejidos de Modal Sun

En resumen, los resultados obtenidos describen una tendencia de los tejidos de Modal Sun crudos a disminuir la protección que proporcionan contra la radiación ultravioleta cuando son estirados y a aumentarla cuando son mojados. Por lo tanto, en el diseño de prendas protectoras contra la radiación ultravioleta, deberá tenerse en cuenta las condiciones de tensión, especialmente, y de humedad a las que la prenda será sometida,



si se quiere garantizar que la protección se mantendrá en cualquier circunstancia durante su uso. Los modelos obtenidos permiten el poder encontrar los valores adecuados dentro del rango experimental de UPF inicial de los tejidos para, teniendo en cuenta la pérdida de eficacia debida al nivel de tensión a la que el tejido será sometido, poder obtener un UPF estimado que permita la clasificación de los tejidos según el nivel de protección requerido en la prenda.

### **3.3.1.2.8. Comparación entre los modelos obtenidos para las diferentes fibras**

Los modelos demuestran que, para todos los tipos de fibras, las condiciones de uso de las prendas, que comporta el que los tejidos se sometan a una cierta tensión y la posibilidad de su uso en estado mojado, puede alterar el UPF de los tejidos.

La influencia de estos factores tiene un peso mayor en los tipos de fibras para las que el UPF es más sensible a los cambios estructurales. Así, en el estudio se ha comprobado que tensión y humedad pueden alterar muy notablemente el UPF de los tejidos crudos fabricados con Modal Sun, mientras que apenas tiene incidencia en los fabricados con Algodón y Modal. Quizás un aspecto interesante y posible objetivo de estudio posterior a esta tesis doctoral, sería el investigar qué ocurre con los tejidos de Algodón y Modal teñidos, blanqueados ópticamente o tratados con un producto de acabado específico. En los capítulos 4, 5 y 6 de esta tesis se ha comprobado que el UPF de los tejidos de Algodón y Modal así tratados sí que es sensible a los cambios en la estructura de los tejidos, por lo que, probablemente, la tensión y la humedad podrían provocar cambios muy perceptibles en el valor del UPF de los tejidos durante su uso real.

Un resultado diferenciador entre las fibras estudiadas se refiere a la influencia de la humedad sobre el UPF de los tejidos. El UPF de los tejidos de Algodón y Modal disminuye cuando éstos son mojados, mientras que en el caso de los tejidos de Modal Sun aumenta considerablemente.

Como se vio en el segundo capítulo de la memoria (Capítulo 2. Estudio de la influencia de la estructura en el UPF de los tejidos), la fibra de Modal Sun es muy poco transparente al paso de la radiación ultravioleta, efecto que se consigue mediante la adición del pigmento de dióxido de titanio a la masa de la hilatura durante la fabricación de esta fibra artificial. Debido a esta característica, se puede intuir que la transmisión de radiación ultravioleta a través de los tejidos fabricados con Modal Sun se debe en un alto porcentaje al paso de radiación a través de los poros del tejido y no a través de las fibras que lo constituyen. En cambio, en los tejidos fabricados con las fibras de Modal y Algodón, fibras muy transparentes al paso de la radiación ultravioleta, la transmisión de radiación ultravioleta se produce tanto a través de los poros del tejido, como a través de la propia fibra.

Cuando se moja un tejido fabricado con cualquier fibra celulósica, la fibra absorbe una notable proporción de agua y se hincha, de forma que el tamaño de los poros en el tejido



disminuye. En los tejidos de Modal Sun la disminución del tamaño de poros hace que la transmisión de radiación ultravioleta disminuya considerablemente al ser éstos prácticamente el único medio a través del cual se produce la transmisión. En los tejidos de Modal y Algodón también disminuye el tamaño de poros pero, a la vez, aumenta considerablemente la transparencia de la fibra al permitir una mayor difusión de la radiación por las gotas de agua, de forma que el balance es un aumento de la transmisión de radiación ultravioleta a través de los tejidos.

La variable tensión tiene también una influencia significativa en el UPF de los tejidos. Para todas las fibras estudiadas, los coeficientes negativos de esta variable en los modelos indican que el valor de la respuesta UPF disminuye significativamente cuando aumenta la tensión a la que se someten los tejidos. Los tejidos de calada son construcciones poco elásticas, por lo que el estirado con las pequeñas tensiones que habitualmente soportan durante su uso como prendas de vestir no producirá una diferencia muy apreciable en la estructura del tejido. Si se tiene en cuenta que el UPF de los tejidos de Algodón y de Modal varía muy poco en función de su estructura, se explica que la tensión no produzca una variación notable en el UPF de estos tejidos. En cambio, el UPF de los tejidos de Modal Sun es muy sensible a variaciones de estructura, por lo que las mismas tensiones provocan cambios que, aunque pequeños por ser tejidos de calada, son suficientes para provocar una disminución notable en los valores de UPF.

A modo de ejemplo en la Tabla 3.17, la Tabla 3.18 y la Tabla 3.19 se han representado varios valores de UPF, estimados según el modelo obtenido para cada una de las fibras, cuando las medidas se realizan en seco y en mojado. Por razones de extensión, se han escogido varios valores de las variables dentro del rango experimental, aunque las posibilidades de combinación son mucho más numerosas que las representadas.

- UPF < 15: tejido no protector
- $15 \leq \text{UPF} < 25$ : tejido que proporciona buena protección
- $25 \leq \text{UPF} < 40$ : tejido que proporciona muy buena protección
- $\text{UPF} \geq 40$ : tejido que proporciona protección excelente



En seco		UPF inicial										
		4,24	4,39	4,53	4,68	4,82	4,97	5,11	5,26	5,40	5,55	5,69
Tensión	0,0	4,2	4,3	4,5	4,6	4,8	4,9	5,1	5,2	5,4	5,5	5,7
	0,6	4,1	4,3	4,5	4,6	4,8	4,9	5,1	5,2	5,4	5,5	5,7
	1,2	4,1	4,3	4,4	4,6	4,7	4,9	5,0	5,2	5,3	5,5	5,6
	1,8	4,1	4,2	4,4	4,5	4,7	4,8	5,0	5,1	5,3	5,4	5,6
	2,4	4,1	4,2	4,4	4,5	4,7	4,8	5,0	5,1	5,3	5,4	5,6
	3,0	4,0	4,2	4,3	4,5	4,6	4,8	4,9	5,1	5,2	5,4	5,5
	3,6	4,0	4,1	4,3	4,4	4,6	4,7	4,9	5,0	5,2	5,3	5,5
	4,2	4,0	4,1	4,3	4,4	4,6	4,7	4,9	5,0	5,2	5,3	5,5
	4,8	3,9	4,1	4,2	4,4	4,5	4,7	4,8	5,0	5,1	5,3	5,4
	5,4	3,9	4,0	4,2	4,3	4,5	4,6	4,8	4,9	5,1	5,3	5,4
	6,0	3,9	4,0	4,2	4,3	4,5	4,6	4,8	4,9	5,1	5,2	5,4

En mojado		UPF inicial										
		4,24	4,39	4,53	4,68	4,82	4,97	5,11	5,26	5,40	5,55	5,69
Tensión	0,0	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7	3,8	3,9	4,1	4,2	4,3
	0,6	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	3,6	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3
	1,2	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,1	4,2
	1,8	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1
	2,4	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
	3,0	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,7	3,8	3,9
	3,6	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	3,7	3,7	3,8
	4,2	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7
	4,8	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6
	5,4	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6
	6,0	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,5

Tabla 3.17. Estimación del UPF según el modelo para los tejidos de Algodón

En seco		UPF inicial										
		4,95	5,51	6,08	6,64	7,21	7,77	8,33	8,90	9,46	10,03	10,59
Tensión	0,0	4,9	5,5	6,0	6,6	7,1	7,7	8,2	8,8	9,4	9,9	10,5
	0,6	4,8	5,4	5,9	6,5	7,0	7,6	8,2	8,7	9,3	9,8	10,4
	1,2	4,7	5,3	5,9	6,4	7,0	7,5	8,1	8,6	9,2	9,8	10,3
	1,8	4,7	5,2	5,8	6,3	6,9	7,4	8,0	8,6	9,1	9,7	10,2
	2,4	4,6	5,1	5,7	6,2	6,8	7,4	7,9	8,5	9,0	9,6	10,2
	3,0	4,5	5,1	5,6	6,2	6,7	7,3	7,8	8,4	9,0	9,5	10,1
	3,6	4,4	5,0	5,5	6,1	6,6	7,2	7,8	8,3	8,9	9,4	10,0
	4,2	4,3	4,9	5,5	6,0	6,6	7,1	7,7	8,2	8,8	9,4	9,9
	4,8	4,3	4,8	5,4	5,9	6,5	7,0	7,6	8,2	8,7	9,3	9,8
	5,4	4,2	4,7	5,3	5,9	6,4	7,0	7,5	8,1	8,6	9,2	9,8
	6,0	4,1	4,7	5,2	5,8	6,3	6,9	7,4	8,0	8,6	9,1	9,7

En mojado		UPF inicial										
		4,95	5,51	6,08	6,64	7,21	7,77	8,33	8,90	9,46	10,03	10,59
Tensión	0,0	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2	6,4	6,6
	0,6	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,7	5,9	6,1	6,3	6,5
	1,2	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,7	5,9	6,1	6,3	6,5
	1,8	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2	6,4
	2,4	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,7	5,9	6,1	6,3
	3,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2
	3,6	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,7	5,9	6,2
	4,2	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,7	5,9	6,1
	4,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0
	5,4	3,9	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,7	5,9
	6,0	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8

Tabla 3.18. Estimación del UPF según el modelo para los tejidos de Modal





En seco		UPF inicial										
		19,74	25,58	31,42	37,26	43,10	48,95	54,79	60,63	66,47	72,31	78,15
Tensión	0,0	21,2	21,5	23,0	25,8	29,7	34,9	41,3	49,0	57,8	67,9	79,2
	0,6	19,0	19,2	20,6	23,2	27,1	32,2	38,4	46,0	54,7	64,6	75,8
	1,2	17,2	17,2	18,5	21,0	24,8	29,7	35,9	43,3	51,9	61,7	72,8
	1,8	15,7	15,6	16,8	19,2	22,8	27,6	33,6	40,9	49,4	59,1	70,0
	2,4	14,5	14,3	15,4	17,6	21,1	25,8	31,7	38,9	47,2	56,8	67,6
	3,0	13,7	13,4	14,3	16,4	19,8	24,3	30,1	37,1	45,4	54,9	65,5
	3,6	13,1	12,7	13,5	15,5	18,7	23,2	28,9	35,8	43,9	53,2	63,8
	4,2	12,9	12,4	13,0	14,9	18,0	22,4	27,9	34,7	42,7	51,9	62,3
	4,8	13,1	12,4	12,9	14,7	17,7	21,9	27,3	34,0	41,8	50,9	61,2
	5,4	13,5	12,7	13,1	14,8	17,6	21,7	27,0	33,6	41,3	50,3	60,5
	6,0	14,3	13,4	13,7	15,2	17,9	21,9	27,1	33,5	41,1	49,9	60,0

En mojado		UPF inicial										
		19,74	25,58	31,42	37,26	43,10	48,95	54,79	60,63	66,47	72,31	78,15
Tensión	0,0	40,0	47,8	55,7	63,8	71,9	80,2	88,6	97,2	105,8	114,6	123,5
	0,6	37,9	45,5	53,3	61,3	69,3	77,5	85,7	94,2	102,7	111,4	120,2
	1,2	36,1	43,6	51,3	59,1	67,0	75,0	83,2	91,5	99,9	108,4	117,1
	1,8	34,6	42,0	49,5	57,2	65,0	72,9	80,9	89,1	97,4	105,8	114,4
	2,4	33,4	40,7	48,1	55,6	63,3	71,1	79,0	87,1	95,2	103,5	111,9
	3,0	32,5	39,7	47,0	54,4	62,0	69,6	77,4	85,4	93,4	101,6	109,9
	3,6	32,0	39,1	46,2	53,5	60,9	68,5	76,2	84,0	91,9	99,9	108,1
	4,2	31,8	38,7	45,8	53,0	60,3	67,7	75,2	82,9	90,7	98,6	106,7
	4,8	31,9	38,7	45,7	52,7	59,9	67,2	74,6	82,2	89,8	97,6	105,6
	5,4	32,4	39,1	45,9	52,8	59,9	67,0	74,3	81,8	89,3	97,0	104,8
	6,0	33,2	39,7	46,4	53,2	60,1	67,2	74,4	81,7	89,1	96,7	104,3

Tabla 3.19. Estimación del UPF según el modelo para los tejidos de Modal Sun





### 3.4. CONCLUSIONES

La utilización de los tejidos en prendas que se llevan en estado estirado y/o húmedo puede hacer variar el nivel de protección contra la radiación ultravioleta proporcionado por los mismos. Teniendo en cuenta que el etiquetado de las prendas protectoras se lleva a cabo a partir de los valores obtenidos en la medida del tejido en estado relajado y seco, la variación en el UPF causada por la tensión y humedad puede hacer que la protección real proporcionada por la prenda no alcance el valor declarado en su etiquetado.

- La transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos cambia cuando se humedecen los tejidos.
  - En los tejidos de Algodón y Modal la transmisión de radiación ultravioleta aumenta al humedecer las muestras. Ello podría explicarse porque la presencia de agua en los intersticios de la fibra reduce los efectos de dispersión de la luz y por tanto aumenta la transparencia de la fibra y, consecuentemente, la transmisión de la radiación ultravioleta a través de las regiones ocupadas por las fibras en el tejido.
  - La forma de los espectros de transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos de Algodón y Modal mojados no cambia con respecto a los del tejido original. Únicamente se produce un desplazamiento de las curvas hacia transmitancias mayores.
  - En cambio, al humedecer los tejidos de Modal Sun se produce una disminución de la transmisión en las longitudes de onda bajas del espectro ultravioleta (UVB y longitudes bajas del UVA) y un aumento de la transmisión en las longitudes de onda más altas (longitudes altas del UVA), cambiando la forma de la curva.
- La transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos aumenta al medir los tejidos con las tensiones típicas a las que son sometidos en su uso como prendas. Este aumento de transmisión se produce para todos los tipos de fibras estudiados (Algodón, Modal y Modal Sun), tanto cuando los tejidos se miden en seco como cuando se miden en mojado. Al someterse al tejido a una tensión de estirado se produce una mayor apertura de los poros, permitiendo un mayor paso de la radiación ultravioleta a través de las zonas libres de fibras del tejido.
  - La forma de los espectros de transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun estirados no cambia con respecto a los del tejido no estirado (seco o mojado). Únicamente se produce un desplazamiento de las curvas hacia transmitancias mayores.
  - En general, la transmisión de radiación ultravioleta aumenta a medida que aumenta la tensión aplicada (2, 4 o 6 N) cuando las medidas se realizan con los tejidos de Algodón estirados y en estado seco. Sin embargo, no se observa una correlación



clara entre el aumento de la transmisión y el valor de la tensión aplicada en los tejidos de Modal y de Modal Sun estirados y secos.

- Cuando los tejidos se miden mojados, no se observa una correlación clara entre el aumento de transmisión de radiación difusa y la tensión aplicada en los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun.
- La utilización de los tejidos estudiados en prendas ajustadas y su uso en estado en mojado pueden conducir a una variación del factor de protección UPF proporcionado por el tejido. El nivel de protección alcanzado depende de todas las variables que se han considerado en el estudio: del tipo de fibra, del estado de humectación del tejido y de la tensión a la que es sometido.
  - En los tejidos de Algodón y Modal se produce una disminución del UPF cuando se somete a los tejidos a tensión y humedad.
    - Sin embargo, no hay cambios muy notables en el UPF de los tejidos de Algodón y de Modal utilizados en esta tesis doctoral cuando son sometidos a las tensiones habituales que soportan durante su uso como prendas de vestir. Los tejidos de calada son construcciones poco elásticas por lo que el estirado con pequeñas tensiones no producirá una diferencia muy apreciable en la estructura inicial del tejido. Si se tienen en cuenta, además, los resultados expuestos en el Capítulo 2 (Estudio de la influencia de la estructura en el UPF de los tejidos) en el que se concluyó que el UPF de los tejidos de Algodón y de Modal varía muy poco en función de su estructura, se explica que el UPF de estos tejidos no varíe notablemente al ser sometidos a tensión.
    - Alguna diferencia algo más apreciable se produce cuando los tejidos son mojados. El UPF de todos los tejidos es menor cuando se mide después de empaparlos en agua hasta su saturación.
    - En cualquier caso, los UPF iniciales de los tejidos de Algodón y de Modal utilizados en este estudio son ya de valor muy bajo, por lo que ningún tejido presenta protección suficiente contra la radiación ultravioleta, ni siquiera los tejidos originales.
  - En los tejidos de Modal Sun se produce un aumento del UPF cuando los tejidos son mojados y una disminución del UPF cuando se someten a tensión.
    - La disminución del factor de protección de los tejidos de Modal Sun cuando son sometidos a tensión es en algunos casos suficiente como para proporcionar una protección inferior a la que le correspondería en función de su categoría de clasificación (dada por la medida del tejido en estado relajado). Si se tienen en cuenta los resultados expuestos en el Capítulo 2 (Estudio de la influencia de la



estructura en el UPF de los tejidos) en el que se concluyó que el UPF de los tejidos de Modal Sun es muy sensible a pequeñas variaciones en función de su estructura, se explica que las pequeñas tensiones a las que las prendas de vestir se ven sometidas en su uso habitual provocarán cambios en la estructura de los tejidos que, aunque pequeños al tratarse de tejidos de calada, serán suficientes para provocar un cambio notable en los valores de UPF de estos tejidos.

- La humectación de los tejidos de Modal Sun, en cambio, no presenta ningún problema en cuanto a la protección que la prenda proporciona. El UPF de los tejidos fabricados con la fibra de Modal Sun aumenta perceptiblemente cuando los tejidos están mojados. Y aún cuando dichos tejidos se sometan a tensión mantienen un nivel de protección muy elevado y mayor que el obtenido para los tejidos secos correspondientes.
- 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 de las condiciones de uso de las prendas: humedad, tensión y UPF inicial de los tejidos.
  - Los modelos estimados para cada una de las fibras estudiadas han obtenido un coeficiente de determinación del modelo de valor elevado para los tejidos de Algodón (98,1%), Modal (96,9%) y Modal Sun (99,6%).
  - Los modelos demuestran que, para todos los tipos de fibras la tensión y la humedad de los tejidos tiene influencia sobre el factor de protección a la radiación ultravioleta proporcionado por los mismos.
  - La influencia de la humedad depende notablemente del tipo de fibra con el que están fabricados los tejidos.
    - La humedad es una variable que tiene una influencia significativa cuando los tejidos están fabricados con las fibras de Algodón y Modal. Los coeficientes negativos de esta variable en los modelos indican que el UPF será menor en los tejidos mojados que en los tejidos secos correspondientes.
    - La humedad también tiene una influencia significativa en el UPF de los tejidos de Modal Sun. En este caso, sin embargo, el balance entre los coeficientes negativos y positivos de los términos en los que interviene la variable humedad indica que se producirá un aumento en el valor de la respuesta UPF al mojar los tejidos.
    - El efecto de la humedad sobre el UPF de los tejidos es notablemente más apreciable en los tejidos de Modal Sun. El modelo correspondiente a esta fibra posee un mayor número de términos significativos en los que interviene la



- variable humedad y con valores notablemente más altos que los obtenidos en los modelos de los tejidos de Algodón y Modal. En los tejidos de Algodón y Modal, la influencia de la humedad es mucho menos notable, siendo algo superior en la serie de tejidos de Modal.
- La influencia de la tensión depende notablemente del tipo de fibra con el que están fabricados los tejidos y de la humectación de los mismos.
    - En todos los casos esta variable presenta un coeficiente negativo en los modelos que indica que el valor de la respuesta UPF disminuye significativamente cuando aumenta la tensión a la que se someten los tejidos.
    - En los modelos obtenidos para los tejidos de Algodón y Modal, la disminución en el valor de la respuesta UPF causada por el aumento de la variable tensión sigue una relación lineal.
    - En cambio, en el modelo obtenido para los tejidos de Modal Sun sigue una tendencia cuadrática, de forma que un incremento en el valor de la variable produce mayores disminuciones en el UPF cuando las tensiones son bajas, y cambios menores a medida que la tensión va creciendo.
    - El efecto de la tensión sobre el UPF de los tejidos es más apreciable en los tejidos de Modal Sun. El modelo correspondiente a esta fibra posee un mayor número de términos significativos en los que interviene la variable tensión y con valores notablemente más altos que los obtenidos en los modelos de los tejidos de Algodón y Modal. En los tejidos de Algodón y Modal, la influencia de la humedad es mucho menos notable, siendo algo superior en la serie de tejidos de Modal, sobretodo cuando la medida se realiza en seco.
  - La interacción de las variables UPF inicial del tejido y tensión aplicada, contribuye al valor de la respuesta UPF de forma diferente en función del tipo de fibra y de la humectación de los tejidos.
    - En los tejidos de Algodón secos, esta interacción no es significativa por lo que la influencia de la variable tensión no depende de la estructura del tejido y su efecto será el mismo en tejidos ligeros o en tejidos pesados. En cambio, cuando los tejidos de Algodón están mojados, la interacción entre tensión y UPF inicial es significativa y de coeficiente negativo, de forma que la influencia negativa de la tensión tendrá un peso cada vez mayor a medida que aumenta el UPF inicial de los tejidos y, por lo tanto, su compacidad.
    - La influencia de la variable tensión no depende de la estructura del tejido cuando está fabricado con la fibra de Modal. Al analizar las diferencias entre los modelos obtenidos para la medida en seco y en mojado, se observa además, que todos



los términos en los que interviene la variable tensión tienen coeficientes iguales, de forma que la influencia de la variable tensión también es independiente del grado de humedad del tejido.

- En los tejidos de Modal Sun la influencia negativa de la tensión sobre el valor de la respuesta UPF será mayor a medida que aumenta el UPF inicial del tejido. Al analizar las diferencias entre los modelos obtenidos para la medida en seco y en mojado, se observa además, que todos los términos en los que interviene la variable tensión tienen coeficientes iguales. Es decir, no existe interacción entre la humedad y la tensión. El efecto negativo producido por la tensión a la que se somete al tejido es independiente del contenido de humedad del tejido.
- Cabe destacar que, aunque la influencia de las variables tensión y humedad es significativa desde el punto de vista estadístico, las variaciones en el UPF que causan sobre los tejidos de Algodón y Modal dentro del rango experimental de este estudio son poco apreciables desde el punto de vista de su aplicación práctica textil. Sí que lo es, en cambio, en el caso de los tejidos de Modal Sun.
  - En el diseño de prendas protectoras contra la radiación ultravioleta, se deberían tener en cuenta las condiciones de tensión y humedad a las que la prenda será sometida, si se quiere garantizar que la protección se mantendrá en cualquier circunstancia durante su uso.
  - Los modelos obtenidos permiten estimar el UPF a priori según las variables del sistema, aunque siempre dentro del rango experimental, es decir, con valores de las variables entre los niveles mínimo y máximo que se han utilizado para hallar el modelo. Los modelos también facilitan la elección del valor de las variables, con numerosas posibilidades de distintas combinaciones, para obtener un UPF determinado.

