

CARACTERIZACIÓN DE DIFERENTES TEJIDOS COMO PROTECTORES SOLARES

Suárez, H.¹; Acosta, D.²; Cadena, C.³

¹UNSA, ²INIQUI, ³INENCO

Av. Bolivia 5150, 4400, SALTA cadena@unsa.edu.ar

RESUMEN: La protección que brindan los artículos textiles contra la radiación ultravioleta está determinada por los diferentes parámetros constructivos del mismo y se los clasifica a través de su factor de protección ultravioleta (UPF). Se presentan mediciones de variación del UPF de tejidos comerciales, usadas en prendas de verano, con diversas composiciones, estructuras, colores, acabados y estado de hidratación. Se analizan tejidos de fibras de origen natural, artificial, sintéticas y con agregado de productos químicos absorbentes de radiación ultravioleta. El método de testeo es "in vitro". La medición de la transmitancia ultravioleta y el análisis espectroscópico infrarrojo (FT-IR) del tejido nos permiten calcular su UPF y nos brinda información de la constitución de los tejidos y su influencia en este. Los resultados, además de confirmar la relación entre los parámetros constructivos y la protección UV del tejido avalan el estudio de fotoprotección por un método rápido y no invasivo.

Palabras clave: Radiación UV, factor de protección ultravioleta, fotoprotección, método *in vitro*

INTRODUCCIÓN

El uso de prendas como protección solar es un método sencillo y clave para protegernos de las radiaciones UV. La capacidad de protección solar de la ropa puede medirse y regularse con un sistema denominado Factor de Protección Ultravioleta (UPF), es similar al concepto SPF (Sun Protection Factor) utilizado para regular los tratamientos de pantalla solar, pero el factor UPF mide protección frente a radiaciones UVA y UVB, mientras que el SPF sólo mide protección frente a radiación UVB. El término UPF mide la radiación UV que traspasa un tejido. La estructura del tejido (peso por unidad de superficie, cobertura y espesor), su compacidad, parámetros de fabricación (título del hilo de urdimbre, título del hilo de trama y densidad de pasadas), el tipo de fibra, las condiciones de uso de las prendas (tensión, humedad), la coloración, tienen una importante influencia sobre el bloqueo de la radiación UV (Algaba, 2004).

El factor UPF se determina mediante un analizador espectrométrico de transmisividad UVB y UVA a través de un tejido (Suárez, 2008). Un tejido regulado UPF 30 absorbe o bloquea 29 de cada 30 unidades de UVR. La misma protección de un tratamiento de pantalla de SPF 30 bien utilizado. Hay prendas confeccionadas con tejidos especiales que, además, han sido tratados con aditivos, como el dióxido de titanio, que mejoran la absorción de radiación UV. Es ropa que suele ofrecer un factor UPF alto. Para que proteja eficazmente frente al sol, una prenda debe estar regulada con UPF 30 o superior. Un UPF 30 ofrece una "protección muy buena" mientras que un UPF 50 brinda una "protección excelente".

Se han ensayado tejidos cuya composición y estructura es adecuada para la producción de prendas de verano; una clasificación los rotula como tejidos de fibra natural, artificial y sintética. De los tejidos de fibra natural, se eligió uno proveniente de vegetales como el algodón. De los tejidos de fibra artificial, materias naturales transformadas por sustancias químicas y que proceden sobre todo de la celulosa o de la pelusa del algodón, se eligió el modal. De los tejidos sintéticos, fibras químicas obtenidas de polímeros sintéticos, se eligió el poliéster. También se ensayó con una tela con tratamiento anti-UV, fibras fabricadas a partir de polímeros que incorporan productos químicos absorbentes de radiación ultravioleta, que tienen altos UPF con el objeto de comparar su protección anti UV frente a las fibras convencionales. Para cada uno de las fibras se hizo variar la compacidad y el color y el peso.

EL MÉTODO DE TESTEO *IN VITRO*

UPF y método de transmitancia.

El factor UPF se determina mediante un analizador espectrométrico de transmisividad UVB y UVA a través de un tejido. El espectro de acción eritémico (enrojecimiento de la piel) se emplea como un peso para la irradiancia espectral UV, integrando luego sobre todas las longitudes de onda se puede encontrar la irradiancia biológica efectiva real. La figura 1 muestra los espectros eritémico incidente y transmitido por un tejido o crema provisto por nuestro espectrómetro de laboratorio.

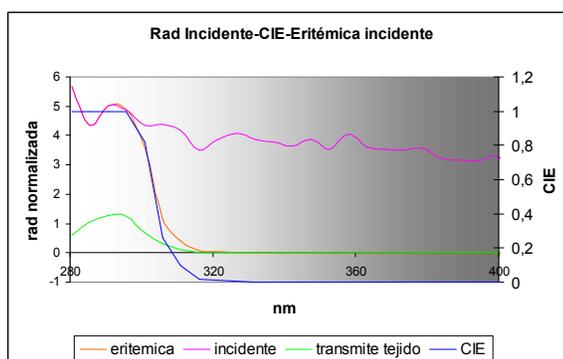


Fig. 1: Irradiancia incidente normalizada, irradiancia eritémica incidente, espectro CIE e Irradiancia eritémica transmitida por un tejido en nuestro espectrómetro.

El UPF se define como la razón entre la radiación UV eritémica media transmitida a través del aire y la radiación UV eritémica media transmitida a través del tejido. Su fórmula de cálculo, al igual que la de las transmitancias total y eritémicas se detallan en Suárez, 2008.

Caracterización por FTIR

En este trabajo se han estudiado, mediante la técnica FTIR (espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier), los cambios estructurales y morfológicos que presentan los tejidos empleados como protectores solar. Los espectros se registraron en un equipo FTIR- Spectrum GX de Perkin Elmer.

Tratamiento de las fibras de Tejidos: Las muestras de Algodón, Modal, Microfibra y Tejido Anti UV se preparan a partir de la molienda de cada fibra por separado con BrK previamente deshidratado, en una proporción del 0,3% (Fibra/BrK) p/p. Se emplea un mortero de ágata para reducir la fibra y el diluyente a polvo fino, el cual se pastilla a una presión máxima de 3 tn/cm² y se registra el espectro de absorbancia en el rango comprendido entre 4000 a 400 cm⁻¹.

Tratamiento de las fibras por calcinación: Los ensayos de calcinación de tejidos se realizaron sobre muestras de 2cm x 2cm colocadas en crisoles de porcelana con tapa, en un horno a 700°C durante 4h y enfriadas a temperatura ambiente en un desecador de vacío, para evitar su hidratación. Los residuos de calcinación se tratan de igual manera que las fibras de los tejidos diluyendo con BrK y pastillando a 3 ton/cm².

RESULTADOS

UPF de tejidos convencionales y con tratamiento anti-UV

Todas las prendas ofrecen cierta protección solar. Un tejido de confección densa permite que pase menos radiación UV hasta la piel y ofrece mayor protección. Los gráficos de la figura 2 y figura 3 muestran la radiación incidente y transmitida UVR por el tejido en el espectrómetro OSM como también las radiaciones eritémicas en los rangos de interés. Los casos ilustrados corresponden a ensayos con tejidos de microfibra, modal, algodón, poliéster liviano y tejido con anti-UV.

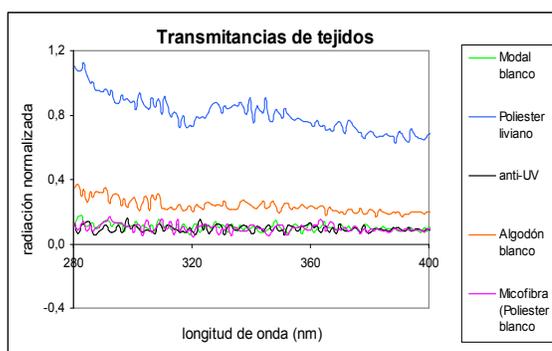


Fig.2: Espectros de radiación incidente / transmitida

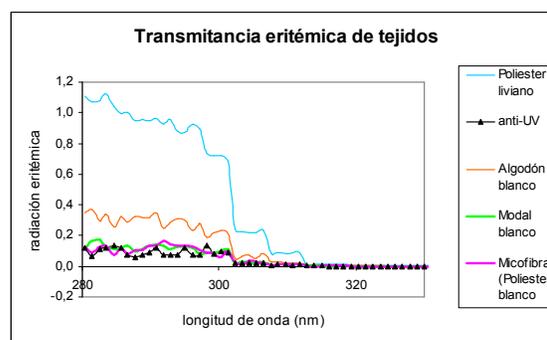


Fig.3: Espectros de radiación eritémica incidente / transmitida

Se observa las variaciones en la transmitancia para los distintos tejidos ensayados. Estos datos se analizan con el OSM Analist. En la Tabla 1 se presentan los parámetros de transmisión y protección calculados a partir de las mediciones de transmitancia para los tejidos cuyos UPF se desean contrastar. Se muestra el valor calculado de transmitancia en el espectro visible hasta 550nm, UPF_A, UPF_B y UPF. De los valores obtenidos se eligió un valor medio de mediciones para cada muestra textil.

%T TEJIDO ➔	Anti-UV	microfibra	modal	algodón	poliéster liviano
UV	2,30	2,42	2,53	5,78	19,75
UVA	2,52	2,49	2,61	5,84	20,25
UVB	1,97	2,30	2,41	5,70	19,00
UV Eritémica	1,90	2,26	2,39	5,76	18,72
UVB Eritémica	1,89	2,26	2,39	5,76	18,72
UVA Eritémica	2,43	2,48	2,52	5,72	19,83
Visible	2,87	2,71	2,77	6,13	20,31
UPF	52,76	44,29	41,78	17,37	5,34
UPF _B	52,80	44,30	41,79	17,37	5,34
UPF _A	41,20	40,38	39,75	17,48	5,04
Peso (g)	0,0596	0,0561	0,1225	0,0718	

Tabla1: Porcentajes de transmitancia de radiación incidente / transmitida, total / eritémica, UPF y pesos de tejidos.

Los pesos de los tejidos corresponden a un cuadrado de 2 cm x 2 cm. De la grafica se observa que el tejido anti-UV, a pesar de ser de muy bajo peso (es una prenda pensada para el verano) es el que tiene mayor UPF. Con un peso aproximadamente igual, las microfibras también tienen un UPF alto. Todo esto coincide con lo señalado en las referencias bibliográficas. El Modal también tiene alta protección pero en este caso tiene mayor peso. El algodón aunque mas pesado que la anti-UV y que la microfibra ofrece un UPF mucho menor, lo que evidencia que no es buen protector solar. El poliéster liviano, tiene una transmitancia en el visible muy grande, esto significa que hay mucha porosidad y por lo tanto su UPF es pequeño.

Variación de UPF con el color

El color del tejido también es una variable significativa en la absorción del UVR. En general los colores más fuertes con altas concentraciones de tinte son los que absorben más UVR. Se ensayaron distintos tejidos del mismo material (idéntico tramado, peso, etc.) pero para diferentes colores. El objetivo es observar los efectos del color en el valor del UPF. Los gráficos de la figuras 4, 5, 6, 7, 8 y 9 muestran la radiación incidente y transmitida (UVR y visible hasta 550 nm) del espectrómetro OSM como también las radiaciones eritémicas. Los casos ilustrados corresponden a ensayos con tejidos de microfibra, modal y poliéster liviano.

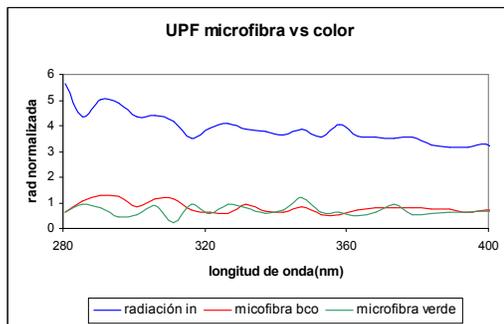


Fig.4: Transmitancia para microfibra de distinto color

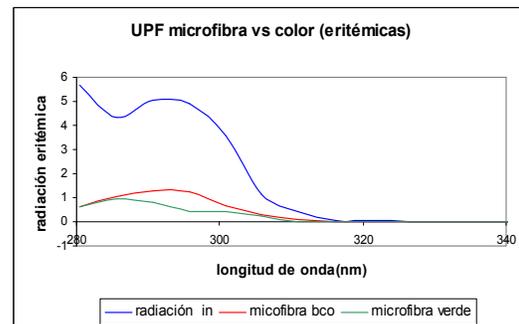


Fig.5: Transmitancia eritémica para microfibra de distinto color

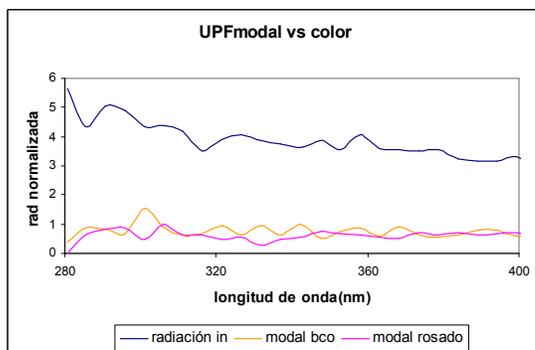


Fig.6: Transmitancia para modal de distinto color

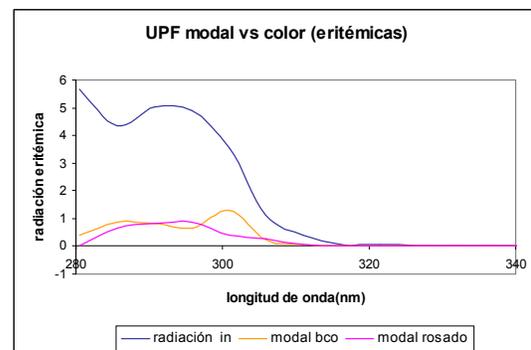


Fig.7: Transmitancia eritémica para modal de distinto color

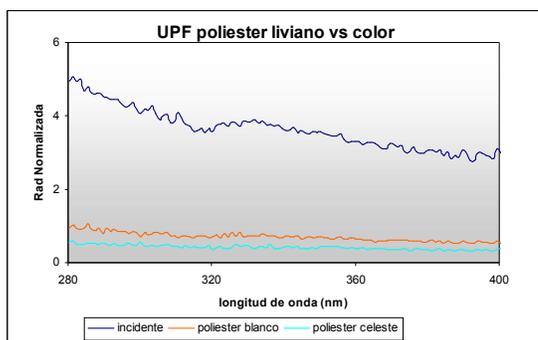


Fig.8: Transmittancia para poliéster liviano de distinto color

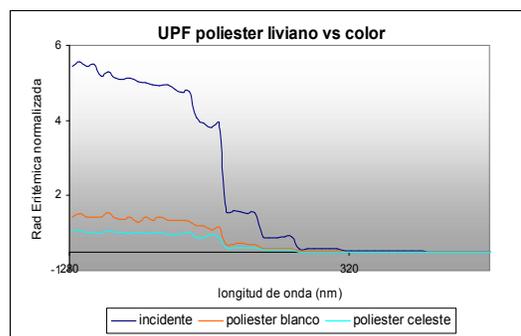


Fig.9: Transmittancia eritémica para poliéster liviano de distinto color

La tabla 2 presentan los valores calculados (global y eritémica) de porcentajes de transmittancia de la radiación que atraviesa el tejido en los rangos UVA, UVB y UVR. Todos los diferentes colores, para cada tipo de tela, se presentan contrastados con el blanco ya que es el que mas transmite.

%T Tejidos →	microfibra blanco	microfibra verde	modal blanco	modal rosado	poliéster liviano blanco	poliéster liviano celeste
UV	20,55	17,48	19,38	15,44	19,23	11,40
UVA	19,55	47,14	95,91	24,48	19,19	11,48
UVB	22,14	14,83	17,99	13,81	19,31	11,27
UV Eritémico	21,15	14,05	17,40	12,00	19,39	11,16
UVB Eritémico	21,16	14,04	17,39	12,00	19,39	11,16
UVA Eritémico	17,17	17,56	21,74	13,31	19,50	11,19
Vis400-550	20,75	19,90	20,46	19,31	18,28	11,29

Tabla 2: Porcentajes de transmittancia para tejidos de distinto color

En las columnas contiguas se observan la disminución de la transmittancia en las regiones eritémicas, esto conduce a un aumento del UPF. Para el tejido de poliéster liviano, por ejemplo, se observó una variación desde 19,39% a 11,16% para la transmittancia UV eritémica. Esto significa variaciones importantes en el UPF con el color; pasando de 5,16 para el color blanco a 8,96 para el color celeste. Estas variaciones en la transmittancia son claramente observables en los espectros de la figura 8 y figura 9. Los mismos efectos debido al color son observables en ensayos con otros tipos de tejidos como el modal (figura 6 y figura 7) y para microfibra (figura 4 y figura 5). Para tejidos con mayor peso y mayor factor de cobertura, se observó también esta dependencia aunque mucho más atenuada debido a las variables mencionadas anteriormente que influyen de manera determinante en la protección que el tejido ofrece.

Variación de UPF con el estado de hidratación

La elasticidad de un tejido es importante, las fibras se pueden separar. Cuando una prenda se moja está sometida a más estiramiento que en estado seco y por tanto hay mayor deformación, lo que puede reducir el factor UPF. Según sea el tejido, esta reducción puede llegar al 50%. La figura 10 muestra la radiación incidente y transmitida eritémica del espectrómetro OSM. La tabla 3 contiene los valores porcentuales de transmittancia y el UPF (en el estado seco y húmedo) para el ensayo con poliéster liviano. Es claramente notable el aumento de la transmittancia en el estado húmedo respecto al seco, lo que retraduce en una disminución de su UPF de 5,66 a 4,35.

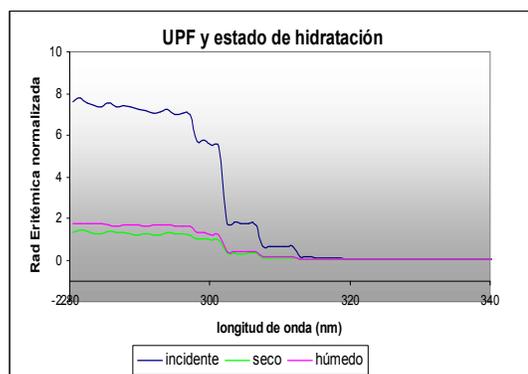


Fig.10: Transmittancia eritémica para poliéster liviano de distinto estado de hidratación.

%Transmittancia de Tejido	poliéster liviano seco	poliéster liviano húmedo
UV	18,21	22,04
UVA	18,55	21,47
UVB	17,76	22,78
UV Erit	17,67	22,99
UVB Erit	17,66	23,00
UVA Erit	18,55	19,59
Vis400-550	17,75	18,81
FPU	5,66	4,35
FPU B	5,66	4,35
FPU A	5,39	5,11

Tabla 3: Porcentajes de transmittancia y UPF para tejidos de distinto estado de hidratación.

Estudios por FTIR

En general los tejidos empleados en este trabajo están comprendidos en materiales de origen celulósico por lo tanto es factible relacionar las vibraciones observadas a asignaciones características de polímeros de celulosa. Como lo clasifican Algaba (2004) están comprendidos en celulosa tipo I (nativa) y tipo II. En la figura 11 se han representado conjuntamente los espectros de infrarrojo de las cuatro fibras Algodón, Modal, Microfibra y Anti-UV, para facilitar la observación de las diferencias entre ellas, también se presentan dichos espectros ampliados a la zona de la "huella dactilar" (1700-400), en la figura 12.

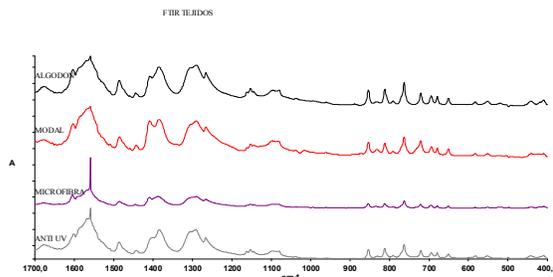
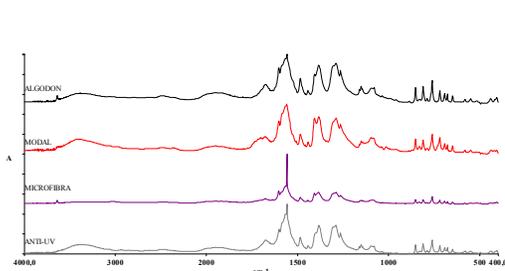


Fig.11: Espectro FTIR de tejidos de Algodón, Modal, Microfibra y Anti-UV rango 4000 a 400 cm^{-1}

Fig.12: Espectro FTIR de tejidos de Algodón, Modal, Microfibra y Anti-UV rango "huella dactilar" 1700 a 400 cm^{-1}

En las figura 13 se puede observar que las bandas de absorción de las fibras Algodón y Modal se producen a los mismos números de onda. Esto no resulta sorprendente debido que ambos tejidos están constituidos principalmente por el mismo material de partida pero difieren en el entramado e hilado. Así la trama de la fibra de modal es más densa proporcionando un material de mayor peso por unidad de área. Las diferencias que se observan en la región de los 1700 cm^{-1} se pueden atribuir a que el tejido de modal incorpora fibras sintéticas del tipo de acetatos que absorben en esa frecuencia.

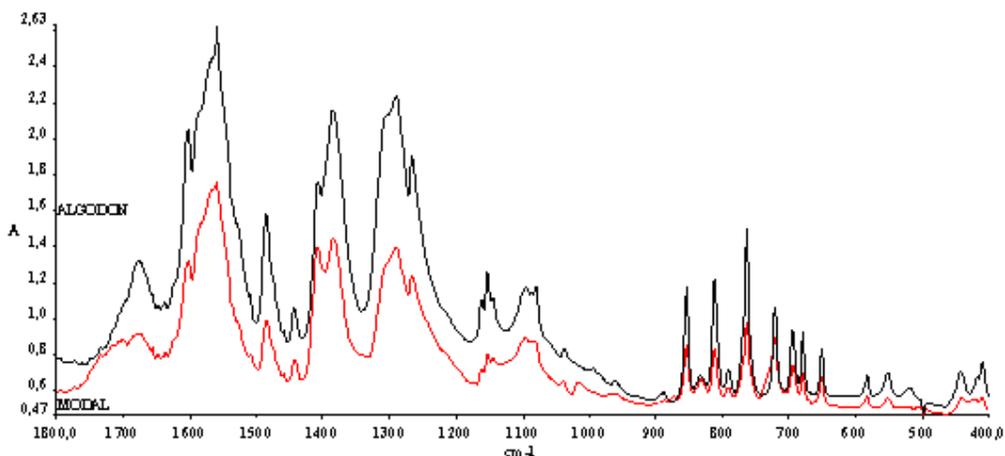


Fig.13: Espectros FTIR de Algodón y Modal en la región de la "huella dactilar"

En cambio, se pueden observar algunas diferencias en los espectros de Algodón, al compararlo con los de las fibras de Microfibra y Anti-UV. Existen algunas vibraciones moleculares que provocan bandas de absorción a números de onda diferentes para esta fibra que para las fibras de Modal, Microfibra y ANTI UV es decir, se produce un cierto desplazamiento de algunas bandas de absorción.

Sobre todo, son destacables las diferencias en ciertas bandas:

- Las vibraciones del grupo OH libre de interacciones se produce a los 3600 cm^{-1} y esto ocurre únicamente en los tejidos de Algodón y Microfibra. El tejido de algodón empleado es compacto por lo que se presume la utilización de agentes aglomerantes. En general se trata de carbonatos y/o sulfatos que pueden dar absorción de OH libre. En el caso de la Microfibra los componentes de acetato y vinilitos sintéticos que se añaden al algodón para dar la microfibra también pueden absorber en esta región.

- La región de los 3500 cm^{-1} se caracteriza por dar información sobre vibraciones OH y Oh asociadas con agua de humedad o estructural. La absorción de la muestra de Anti UV es notoriamente mayor que las otras fibras. Esto podría explicarse teniendo en cuenta que esta fibra seguramente contiene aditivos inorgánicos que absorben la radiación UVB. Entre las más empleadas se encuentran los óxidos de titanio y los óxidos de zinc.
- La diferencia más importante se observa en la región de los 2000 cm^{-1} . En general son pocos los grupos que absorben a estos números de onda. Entre los que se pueden citar se encuentran los compuestos sintéticos como poliacetatos conjugados y poliésteres que se emplean en la industria textil como hilados sintéticos. Esto se observa más claramente en los tejidos de Microfibra y Anti-UV.
- Por último, la frecuencia del grupo C1 presenta una banda de absorción a un número de onda ligeramente mayor en la fibra de Algodón, que en la fibra de Modal, Microfibra y Anti-UV. En el Algodón se sitúa muy cercana al número de onda observado en muestras de celulosa cristalizada I (895 cm^{-1}), mientras que el pico en Modal y Modal Sun se sitúa en números de onda más cercanas a la de la celulosa cristalizada II (892 cm^{-1}).

La técnica de espectroscopia FT-IR se puede emplear también para determinar el grado de cristalinidad de la celulosa y por lo tanto en tejidos que contienen este material. Como lo reportaron Nelson y O'Connor (1964), la banda a 1380 cm^{-1} , asignada a la flexión del grupo CH, que no se afecta por el contenido de agua absorbida por la celulosa, se emplea como patrón de seguimiento. Por otra parte la banda a 2900 cm^{-1} de número de onda (tensión C-H), no se afecta por el incremento o decremento de la cristalinidad de la muestra. Relacionando la absorbancia de las muestras a dichas bandas a 1380 y a 2900 cm^{-1} se obtiene un "índice de cristalinidad total" (ICT), cuyo valor crece al aumentar la cristalinidad de las muestras. Para encontrar la absorbancia al número de onda 1380 cm^{-1} , se traza una línea base que une las tangentes y se mide la altura del pico a 1380 cm^{-1} . De igual manera se procede con la banda de 2900 cm^{-1} . Como seguimiento también se emplea la relación de áreas entre las absorciones a 1442 y 886 cm^{-1} . Este cálculo se realiza con el soft de procesamiento de espectros del equipo Perkin Elmer. En la figura 14 se observa un ejemplo de cálculo y los valores que se obtienen se transcriben en la Tabla 4

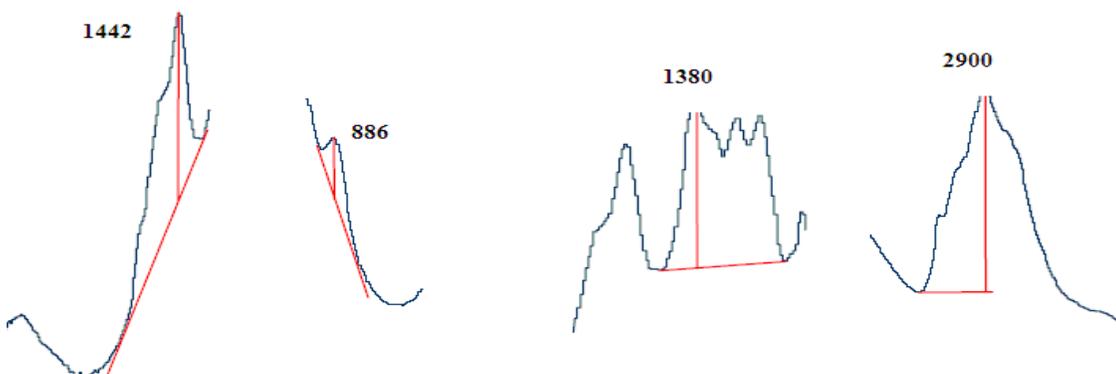


Fig.14: Índice de cristalinidad Total a partir de la altura media de las absorbancias

AREAS	ALGODÓN	MODAL	MICROFIBRA	ANTI UV
2900 cm^{-1}	36,6534	42,8838	61,4098	61,8619
I-C.T. A_{1380}/A_{2900}	2,7	1,3	1,2	1,3

Tabla 4: Valores de cristalinidad a partir de la altura media de las absorbancias

Los resultados en los índices de cristalinidad total dicen que el de fibra de Algodón es mayor que el obtenido para las fibras de Modal, Microfibra y Anti UV, éstas tres últimas con valores muy similares. Quizás este hecho podría ser la razón de las diferencias en el factor de protección proporcionado por los tejidos de Algodón respecto al obtenido para las fibras de Modal y Anti UV. Una posible hipótesis sería que la absorción de radiación UV es menor en las zonas cristalinas que las amorfas. Esta hipótesis explicaría que los tejidos de Modal, fibra con menor cristalinidad, tengan una mayor capacidad de absorción de la radiación UV que los tejidos de Algodón.

Por otra parte, los resultados no pueden explicar que exista una diferencia tan notable en el factor de protección a la radiación ultravioleta entre los tejidos de Modal, Microfibra y Anti UV. Los índices de cristalinidad obtenidos para estas fibras son muy similares entre sí y ambas están constituidas mayoritariamente por celulosa de tipo II. Sus espectros FT-IR presentan una curva muy similar, aunque se conoce que la fibra Anti-UV contiene como aditivo, un producto absorbente de radiación ultravioleta. Es poco factible determinar en la fibra las señales correspondientes al aditivo, debido a que la absorción de sus

componentes orgánicos es muy fuerte. Por esta razón, se necesita eliminar el material orgánico para analizar la existencia de estos aditivos. Se requiere en consecuencia un proceso de calcinación del tejido.

Calcinación de los tejidos

Los tejidos de Algodón, Modal, Microfibra y Anti-UV fueron sometidos a un proceso de calcinación a 700 C durante 4 horas. El resultado de los FTIR se pueden observar en las Figuras 15 y 16. En el caso del tejido de algodón el residuo de la calcinación corresponde a especies de sulfato y carbonato de calcio (Fig. 15). Ambos compuestos constituyen los ingredientes usuales para el blanqueo y mordentado del tejido.

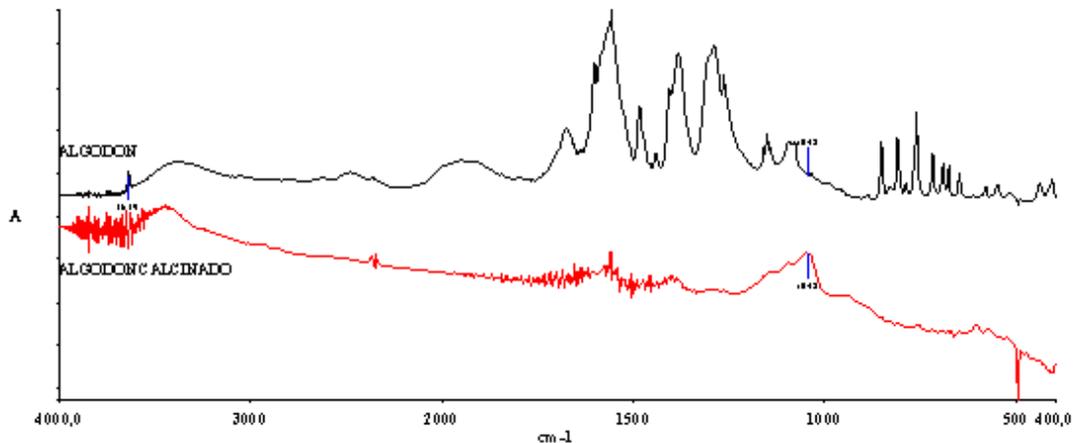


Figura 15: FTIR de tejido de Algodón y residuo calcinado a 700°C

En el caso del tejido Anti-UV, los productos de calcinación (Fig. 16) se compararon con espectros de bibliografía indicando claramente que se trata de óxido de titanio. El TiO₂ es el ingrediente más ampliamente difundido como agente anti UVB. En consecuencia los estudios FTIR permiten comprobar la presencia de este material en el tejido y atribuir entonces a su presencia, la capacidad de este tipo de tejido para absorber la radiación UVB y obtener los valores que se registraron de FPS.

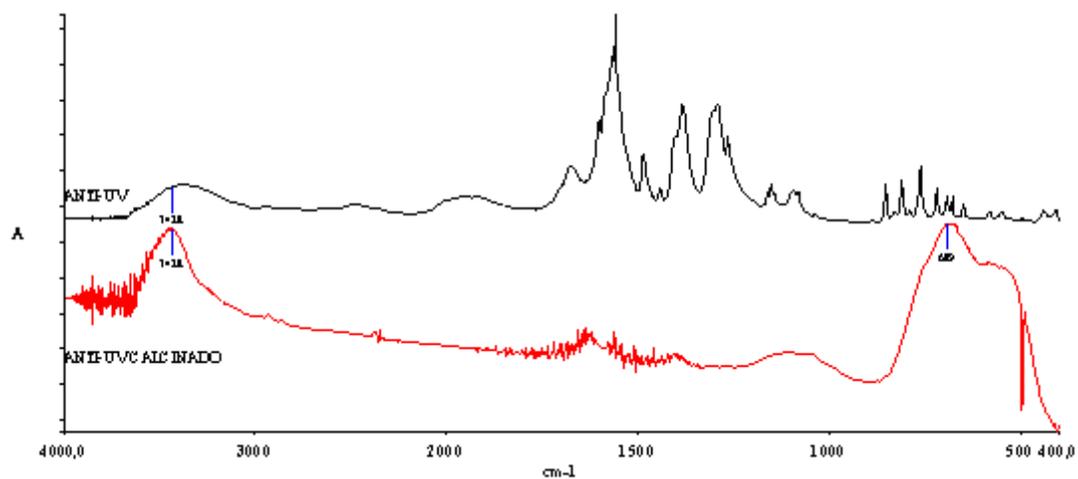


Fig. 16: FTIR de tejido de Anti-UV y residuo calcinado a 700°C

CONCLUSIONES

El tipo de fibra influye notablemente en el valor del UPF, el modal proporciona mayor protección solar que el algodón. Los valores de UPF disminuyen cuando se incrementa la transmitancia visible. Los tejidos de poliéster tienen mayor UPF que los de algodón. Las mezclas con poliéster también ofrecen un UPF alto. Los colores oscuros o brillantes ofrecen mejor protección que los colores pálidos o pastel. Cuando una prenda se moja está sometida a más estiramiento que en estado seco y por tanto hay mayor deformación, lo que reduce el factor UPF. Existe una concordancia entre los valores de UPF medidos con los citados en la referencia bibliográfica.

La técnica FTIR permite determinar en forma efectiva la naturaleza química y estructural del tipo de tejido, permitiendo caracterizar en forma rápida y eficiente el material. Al respecto, la calcinación del tejido posibilita la detección de los componentes activos que se emplean como aditivos para protección solar, complementando la información brindada por el ensayo de transmitancia.

Los resultados alcanzados permiten caracterizar *in vitro* los materiales empleados como tejidos de protección solar brindando información importante para su utilización posterior.

REFERENCIAS

- Algaba I (2004). Protección ultravioleta proporcionada por los textiles. *Tesis doctoral Universidad Politécnica de Cataluña*.
- ASTM Standards (2001). Annual Book, pp 1179-1182.
- Gies, P. (2007). Photoprotection by clothing *Photodermatol, Photoimmunol y Photomed* 23:264-274
- MacKie, R.M. (2000). Effects of ultraviolet radiation on human health. *Radiation Protection Dosimetry* 91(1-3), 15-18.
- Nelson, M.L.; O'Connor, R.T. (1964). Relation of certain infrared bands to cellulose crystallinity and crystal lattice type. Part II. A new infrared ratio for estimation of crystallinity in celluloses I and II, *Journal of applied Polymer Science*, 8(3): 1325-1341.
- Riva, A. (1999). ¿Qué es el UPF de un tejido? *Revista de Química Textil* 144: 72-78.
- Suárez, H; Cadena, C. (2007). Protección anti UV proporcionada por tejidos: montaje del laboratorio y primeros ensayos. *AVERMA Vol 11*, 08.191-08.198.
- Suárez, H; Cadena, C. (2008). Mediciones de laboratorio de transmitancia UV a través de tejidos, anteojos para el sol y cremas protectoras. *AVERMA Vol 12*, 08.33-08.39.

ABSTRACT

The protection that offers the textile articles against the ultraviolet radiation is determined by the different constructive parameters and it could be classified through its ultraviolet protection (UPF) factor. Measures of UPF variation of commercial clothes used in summer garments, with diverse compositions, structures, colors, finishes and hydrate state are presented. Natural, artificial, synthetic clothes, original and with chemical ingredients as absorbent for UV-B are analyzed *in vitro*. The measure of ultraviolet transmittance and infrared analysis (FTIR) of the clothes allow us to calculate its UPF and offers us information about its composition and how components influence in UPF factor. The results, besides confirming the relationship between the constructive parameters and the UV protection and provide a quick and non invasive method to assure the photoprotection effect.

Keywords: UV Radiation, ultraviolet protection factor, photoprotection, *in vitro* method