

TRABAJO DE DIVULGACIÓN

DETERMINACIÓN *IN VITRO* DEL FACTOR DE PROTECCIÓN UV DE LOS TEXTILES

I. Algaba* y A. Riva**

0.1. Resumen

El efecto de la radiación ultravioleta sobre la piel es un tema de creciente interés en la actualidad, debido sobretodo al aumento que se ha producido en algunos países en el número de casos de cáncer de piel.

En el XXV Simposio de la AEQCT presentamos una comunicación que trataba sobre los conceptos fundamentales relacionados con la protección de los tejidos a la radiación UV y las variables más influyentes¹⁾.

*El presente artículo pretende clarificar algunos conceptos básicos sobre la determinación *in vitro* del factor de protección de los textiles a la radiación ultravioleta, incidiendo especialmente en los factores que intervienen en dicha determinación. Se describen las condiciones para que la medida sea correcta y reproducible. También se exponen las peculiaridades de la normativa vigente y los detalles a tener en cuenta para su correcta interpretación, incluyendo la preparación de las muestras y los cálculos estadísticos para la determinación del error de la medida y ajuste de los resultados.*

Palabras clave: Radiación, UV, protección, textiles, UPF.

0.1. Summary: *IN VITRO* DETERMINATION OF THE UV PROTECTION FACTOR OF TEXTILES

The effect of ultraviolet radiation on the skin is currently a subject of growing interest, due especially to the dramatic rise some countries have seen in the number of cases of skin cancer.

During the 25th AEQCT (Spanish Association of Textile Chemists and Colourists) Symposium we presented a paper that broached the fundamental concepts related to the protection of fabrics against UV radiation and the most influential variables¹⁾.

*This article is an attempt at clarifying some of the basic concepts of the *in vitro* determination of*

the protection factor of fabrics against ultraviolet radiation, focusing particularly on the factors involved in this process. Additionally, it describes the conditions necessary to ensure a correct and reproducible measurement, the peculiarities of current regulations and details to bear in mind to ensure a correct interpretation, such as how to prepare samples and statistic calculations that can be used to determine the measurement error and the correct adjustment of the results.

Key words: Radiation, UV, protection, textiles, UPF.

0.2. Résumé: DÉTERMINATION *IN VITRO* DU FACTEUR DE PROTECTION UV DES TEXTILES

L'effet de la radiation ultraviolette sur la peau est un sujet qui suscite aujourd'hui un intérêt croissant, surtout en raison de l'augmentation du nombre de cas de cancer de la peau que connaissent certains pays.

Lors du XXVe Symposium de l'AEQCT nous avons présenté une communication concernant les concepts fondamentaux liés à la protection des tissus contre les rayons UV et aux variables les plus influentes¹⁾.

*Le présent article vise à clarifier certains concepts de base sur la détermination *in vitro* du facteur de protection des textiles à la radiation ultraviolette, en mettant l'accent sur les facteurs qui interviennent dans cette détermination. Sont décrites les conditions pour que la mesure soit correcte et reproductible. Sont également exposées les particularités de la réglementation en vigueur et les détails à prendre en compte pour son interprétation correcte, incluant la préparation des échantillons et les calculs statistiques pour la détermination de l'erreur de la mesure et l'ajustement des résultats.*

Mots clés: Radiation, UV, protection, textiles, UPF.

1. LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Desde que en los años 20 se produjera un cambio en el estilo de vida y en los patrones estéticos, se ha ido incrementando notablemente el tiempo que pasamos al aire libre y, por tanto, la exposición de nuestra piel a la radiación solar. La exposición a mínimas dosis de sol es beneficiosa para el organismo ya que contribuye al desarrollo de los huesos, asimilación de vitaminas, etc. Pero una exposición prolongada incrementa el riesgo de

* Inés Algaba Joaquín. Ingeniera Industrial. Laboratorio de Físico-Química de la Tintura y Acabados del INTEXTER (U.P.C.)

** Dra. Ascensión Riva Juan. Profesora Titular de Universidad del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera (U.P.C.). Jefa del Laboratorio de Físico-Química de la Tintura y Acabados del INTEXTER (U.P.C.)

daño permanente a la piel causado por la radiación ultravioleta.

No olvidemos que el bronceado es un mecanismo de defensa de la piel. Los rayos ultravioletas atraviesan la piel y llegan a las células vivas, inflamándolas y produciendo quemaduras. En un esfuerzo por evitar el futuro daño, los melanocitos, células que se encuentran en la epidermis, generan un pigmento llamado melanina que es el responsable de dar un aspecto moreno a la piel y de protegerla de la radiación ultravioleta. Pero el daño se acumula año tras año hasta que se produce una alteración en el ADN de un melanocito. La célula dañada sobrevive y se reproduce, extendiendo el daño a zonas adyacentes y provocando la aparición de un cáncer de piel, que puede ser poco peligroso, en el caso del carcinoma de las células basales o del carcinoma de células escamosas, o mucho más grave en el caso del melanoma.

Más de la mitad de los cánceres de piel que se detectan en España son melanomas de extensión superficial, afecciones típicas de las personas que han tomado el sol de manera intermitente. Se da en mayor proporción (62%) en mujeres de edad media, con más incidencia en los hombros y en las piernas²⁾. Los melanomas de extensión superficial son melanomas en su primera etapa de desarrollo y pueden ser tratados mediante cirugía menor. Cuando el melanoma se extiende hacia las capas interiores, la cirugía no es suficiente, debiéndose completar el tratamiento con quimioterapia y radioterapia³⁾.

La radiación ultravioleta es el único factor en el que se ha demostrado una relación directa con el cáncer de piel. Aunque existen diferentes fuentes artificiales que emiten radiación ultravioleta, la fuente más importante de este tipo de radiación es el sol. El sol emite radiación ultravioleta en un rango de longitud de onda de 100 a 400 nm, que se clasifica en UVC (100-280 nm), UVB (280-315 nm) y UVA (315-400 nm). La atmósfera terrestre absorbe parte de esta radiación, de forma que la proporción de radiación que llega a la superficie de la Tierra varía según la longitud de onda de la radiación. También varía el efecto sobre la piel de cada tipo de radiación.

La radiación UVC es completamente absorbida por el oxígeno y el ozono de la atmósfera, por lo que no llega a la superficie terrestre. Su efecto sería letal para el ser humano.

La radiación UVB es parcialmente absorbida por la capa de ozono, llegando a la superficie terrestre un 5% de la radiación emitida por el sol.

Los efectos inmediatos de este tipo de radiación sobre el ser humano son beneficiosos, ya que produce una acción calórica y una acción antirraquítica, necesaria para la síntesis de la vitamina D. Sin embargo, una sobreexposición

puede producir efectos a corto plazo, que pueden ir desde quemaduras hasta el incremento del grosor de la piel y la formación creciente de melanina, que contribuyen al envejecimiento prematuro de la piel. Más graves son los efectos crónicos de esta radiación que incluyen el cáncer de piel y los daños en el ADN de las células, que afectan al sistema inmunitario. Se pueden producir también otros efectos colaterales: reacciones de fotosensibilidad, reactivación de algunas enfermedades de la piel (herpes) y problemas en la vista (cataratas precoces).

La radiación UVA es muy poco absorbida por la capa de ozono, llegando a la superficie terrestre hasta un 95% de la radiación emitida por el sol.

Como efectos inmediatos, esta radiación ejerce una acción calórica y produce una pigmentación rápida de la melanina que ya existe en la piel. Una sobreexposición a esta radiación produce efectos crónicos y colaterales similares a los producidos por la radiación UVB, aunque las dosis necesarias para producirlos son mayores.

Entre otras medidas de protección contra la radiación ultravioleta, varias organizaciones entre las que se encuentra la Organización Mundial de la Salud, recomiendan el uso de prendas con factor de protección elevado, que no se adhieran al cuerpo y que lo cubran completamente^{4,5,6,7)}.

A pesar de que hace años que se viene hablando de la protección de los tejidos a la radiación ultravioleta, existe aún un gran desconocimiento del público en general. Tampoco hay mucha gente en la industria textil que entienda completamente los detalles. Se intuye que los artículos textiles proporcionan protección y se cree que ésta es la adecuada. Sin embargo, numerosos estudios han concluido que la mayor parte de las prendas ligeras de verano o para uso deportivo, no proporcionan una protección suficiente⁸⁾.

2. FACTOR DE PROTECCIÓN A LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA DE ARTÍCULOS TEXTILES

El grado de protección que un elemento proporciona frente a los efectos adversos de la luz solar es comúnmente conocido como factor de protección solar. Se define como la razón entre el tiempo umbral para causar un eritema cuando está presente un elemento de protección y el tiempo umbral para causar el mismo efecto cuando no hay ningún tipo de protección. Si una persona puede permanecer 10 minutos expuesta al sol hasta que su piel se enrojece, utilizando una crema o tejido con un factor de protección de 15 podrá permanecer 150 minutos en exposición hasta que se produzca el enrojecimiento¹⁾.

El factor de protección solar se puede determinar mediante técnicas *in vivo* o *in vitro*.

El método *in vivo* requiere un número considerable de personas que se sometan a test, una por cada determinación individual del factor de protección de una crema o un tejido. Se basa en aplicar sobre un área en la espalda de cada individuo, una capa de crema de espesor determinado o bien una muestra de material textil. Esta área y una área adyacente de piel no protegida se irradian con una lámpara estándar de espectro similar al de la luz solar. El SPF (factor de protección solar) se determina dividiendo el tiempo que se necesita para que se produzca un enrojecimiento en la piel protegida por el tiempo que se necesita para que se produzca el enrojecimiento en la piel no protegida.

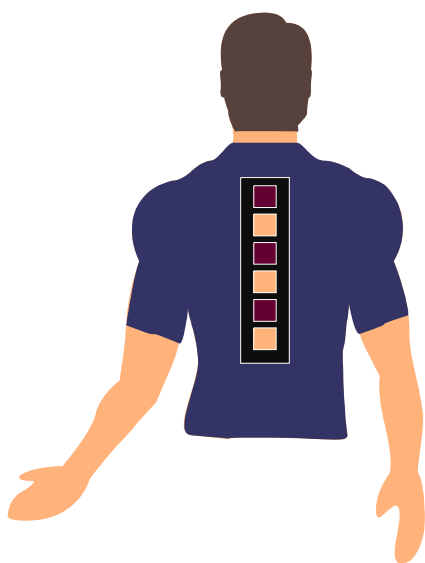


FIGURA 1: Determinación *in vivo* del UPF de un tejido

La técnica *in vitro* se basa en la medida de la transmisión de la radiación ultravioleta a través del tejido o crema, que se cuantifica mediante un espectrofotómetro debidamente adaptado. La técnica no requiere personas que se sometan a test y la medida se puede realizar fácilmente y en pocos segundos. La objetividad y reproducibilidad del método es mucho mayor, ya que el resultado no depende de la observación visual del experto, ni del tipo de piel de cada individuo.

Varios autores han comparado los resultados obtenidos mediante ambas técnicas de medición. En el caso de la medida del factor de protección de cremas, algunos autores han encontrado grandes discrepancias, que pueden ser debidas a la dificultad en la elección de un soporte, que imite a la piel adecuadamente, sobre el que se aplica la crema para la medición según la técnica *in vivo*. Sin embargo, cuando se trata de la medición

Para una medida fiable del factor de protección *in vivo* se requiere un número suficientemente representativo de individuos que se sometan al test, ya que el SPF medido así depende mucho del tipo de piel de cada individuo. También se requiere personal especializado que pueda determinar visualmente el momento en el que la piel se ha enrojecido sin introducir un error considerable. Estos factores inciden negativamente en la rapidez, reproducibilidad y objetividad del método.



FIGURA 2: Determinación *in vitro* del UPF de un tejido

de tejidos, los resultados obtenidos mediante ambas técnicas son muy similares^{9,10}.

Por todas estas consideraciones, la medición del factor de protección a la radiación ultravioleta de cremas se suele realizar tanto con la técnica *in vivo* como con la técnica *in vitro*, mientras que la medición del factor de protección de tejidos se realiza fundamentalmente mediante la técnica de medición *in vitro*.

2.1. Determinación del UPF mediante técnicas *in vitro*

Siendo esta técnica la más ampliamente utilizada en el sector textil, en este apartado nos centraremos en la descripción de la técnica *in vitro* para la determinación del UPF de un tejido. En primer lugar, trataremos los factores que intervienen en la determinación del UPF. A continuación se expondrán las fórmulas de cálculo de los diferentes parámetros relacionados con la

protección solar de un tejido. Finalizaremos exponiendo un breve resumen de la normativa existente en varios países para la determinación del factor de protección solar.

2.1.1. Factores que intervienen en la determinación *in vitro* del UPF de un tejido

La determinación del UPF de un tejido mediante técnicas *in vitro* se basa en irradiar una muestra con radiación ultravioleta y medir la cantidad de esta radiación que se transmite a través del tejido. Además de la medida de la transmisión a través del tejido, en el cálculo del UPF hay que tener en cuenta otros factores.

En primer lugar, no toda la radiación ultravioleta emitida por el sol llega a la superficie de la Tierra en la misma proporción, por lo que en el cálculo del UPF es necesario introducir un factor de corrección de la luz emitida por la lámpara, de forma que se simulen las condiciones reales de exposición. El factor que se introduce es el espectro de irradiancia solar.

Por otra parte, no todos los tipos de radiación ultravioleta causan el mismo efecto sobre el ser humano, por lo que se debe dar más peso a las radiaciones más perjudiciales y minimizar el efecto de las radiaciones más benignas. Esta corrección se realiza mediante la introducción en la fórmula del espectro de acción eritemal.

Por lo tanto, son tres los factores que intervienen en la determinación del UPF de un tejido:

-Transmitancia espectral: que representa la cantidad de energía que se transmite a través del tejido en todo el rango de longitud de onda del ultravioleta.

-Irradiancia espectral solar: que es una función de la cantidad de energía solar que llega a la superficie de la Tierra para cada longitud de onda.

-Espectro de acción eritemal: que es una ponderación de la acción de la radiación ultravioleta sobre la piel, en función de la longitud de onda.

2.1.1.1. Transmitancia de un tejido T_λ

El primer factor que interviene en la fórmula del UPF, y el más importante a tener en cuenta desde el punto de vista del tejido, es la transmisión de la radiación ultravioleta a través de los artículos textiles.

Cuando un rayo de luz incide sobre una muestra textil, una parte de la radiación es reflejada, otra parte es absorbida por el material y el resto lo atraviesa y se transmite de forma difusa.

A esta última parte se la conoce como transmitancia espectral difusa y se puede medir directamente mediante un espectrofotómetro adaptado o un equipo analizador de transmitancia ultravioleta especialmente diseñado para este fin.

El espectro de transmitancia siempre refleja el comportamiento de un tejido particular con

determinadas características¹⁾. Puede variar significativamente en función de:

- las fibras que componen el tejido
- los aditivos que contenga la fibra
- las características estructurales del tejido: ligamento, título del hilo, tupidez...
- el color e intensidad de tinte
- la presencia de blanqueadores ópticos, pigmentos o productos de acabado: especialmente de productos absorbentes de radiación ultravioleta
- condiciones de lavado de las prendas: encogimiento, pilling, uso de blanqueantes ópticos en el lavado...

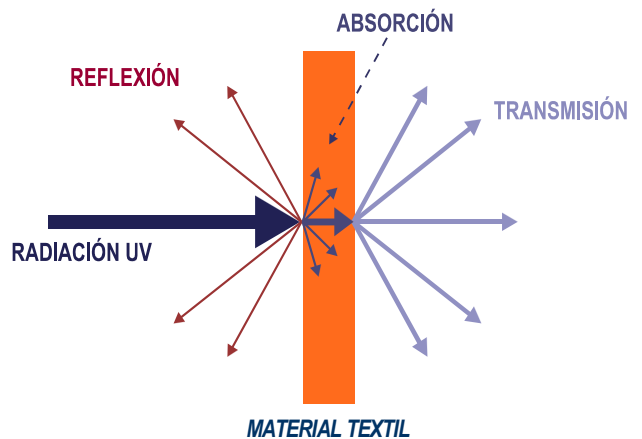


FIGURA 3: Reflexión, absorción y transmisión de radiación ultravioleta al incidir sobre un tejido

En la figura 4, se muestran algunos ejemplos de la variedad de espectros de transmisión que se pueden obtener. Corresponden a medidas de muestras de tejidos reales que hemos llevado a cabo en nuestro laboratorio. Se indica también el valor calculado del factor de protección UPF. Lógicamente, cuanto menor sea la transmisión de radiación ultravioleta mayor será la protección ejercida por el tejido y, consecuentemente, mayor el valor del UPF, tal como puede observarse en los valores indicados en la misma figura.

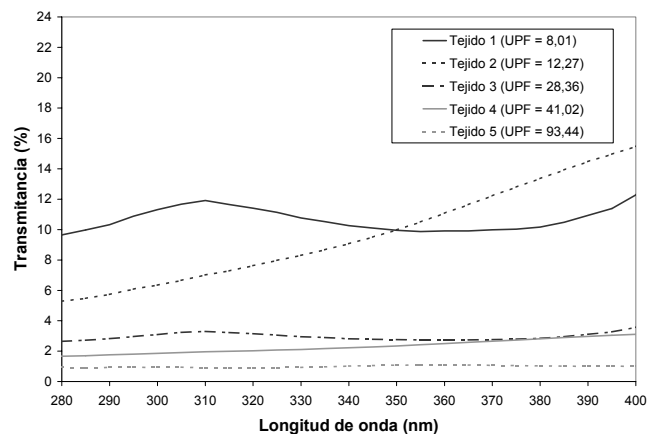


FIGURA 4: Espectros de transmitancia y UPF

2.1.1.2. Irradiancia espectral solar S_λ

Otro factor que se incluye en el cálculo del UPF es la cantidad de energía de la radiación ultravioleta que llega a la superficie de la Tierra en función de la longitud de onda. Como se indicó anteriormente, no todas las longitudes de onda de la radiación ultravioleta alcanzan la superficie terrestre en la misma proporción. La cantidad de radiación depende de varios factores^{4, 6, 7}.

- Latitud: Los rayos solares son más fuertes en el ecuador, donde el sol está más perpendicular a la superficie terrestre y los rayos UV tienen que viajar las distancias más cortas a través de la atmósfera. Además, la capa de ozono es más fina en los trópicos. A latitudes más altas el sol está más bajo en el cielo y los rayos UV deben viajar distancias mayores a través de porciones ricas en ozono de la atmósfera.
- Altitud: La intensidad UV se incrementa con la altitud porque hay menos capa de atmósfera para absorber las radiaciones dañinas.
- Capa de ozono: la capa de ozono absorbe la mayor parte de las radiaciones perjudiciales, pero su grosor varía dependiendo de la época del año y de las condiciones ambientales. Además el grosor de la capa de ozono se ha reducido de forma importante en algunas áreas debido a la emisión de productos químicos
- Época del año: el ángulo de incidencia de los rayos solares varía con las estaciones. La intensidad UV es mayor durante los meses de verano.
- Hora del día: al mediodía los rayos solares inciden más perpendicularmente sobre la superficie terrestre por lo que deben recorrer una distancia más corta a través de la atmósfera. Por la mañana y por la tarde, los rayos pasan oblicuamente a través de la atmósfera y la intensidad de radiación UVB disminuye sustancialmente. La radiación UVA no es sensible al ozono y varía durante el día como lo hace la luz visible.
- Condiciones ambientales: las nubes reducen los niveles UV, pero no completamente.

En la fórmula de cálculo del factor de protección de los tejidos se introduce un espectro llamado de irradiancia solar, que tiene en cuenta estos factores a excepción de las condiciones ambientales. Se utilizan espectros medidos al mediodía de un día de verano, como condiciones más severas. El espectro puede variar según la localización geográfica, y debe indicarse el utilizado al dar un resultado.

Como ejemplo, la figura 5 muestra la irradiancia solar espectral de la radiación

ultravioleta medida en Melbourne¹¹⁾ y en Albuquerque¹²⁾.

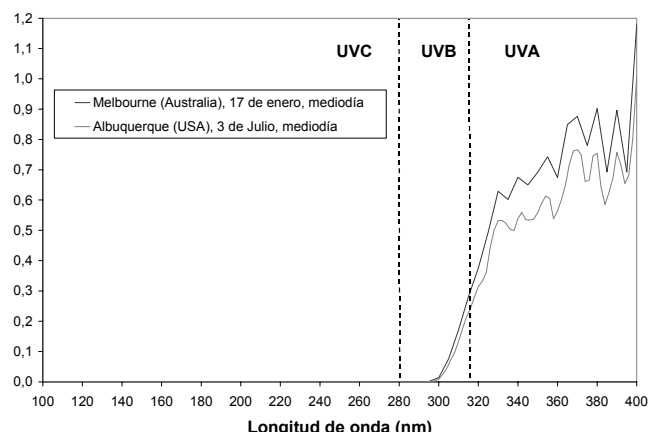


FIGURA 5: Irradiancia espectral solar de la radiación ultravioleta S_λ

En la figura puede observarse que no llega radiación de longitud de onda menor que 290 nm a la superficie de la Tierra. Es decir, toda la radiación UVC y buena parte de la radiación UVB es absorbida por la atmósfera. Sin embargo, la radiación UVA llega a la superficie en cantidades mucho mayores.

También puede observarse que existe alguna diferencia entre la radiación ultravioleta según la localización geográfica, sobretudo en la zona del UVA. La cantidad de radiación que llega a la superficie en Melbourne es ligeramente superior que la que llega a Albuquerque.

2.1.1.3. Espectro de acción eritemal E_λ

Como se indicó anteriormente no todas las longitudes de onda de la radiación ultravioleta que llega a la superficie de la Tierra son dañinas en igual proporción para el ser humano. La capacidad de la radiación ultravioleta para producir un eritema (enrojecimiento) en la piel humana depende en gran medida de la longitud de onda. Como ya hemos comentado, cuanto menor es la longitud de onda, más perjudicial es el efecto de la radiación. Así la radiación UVC es más perjudicial que la radiación UVB y ésta, a su vez, más que la radiación UVA. Por lo tanto, existe la necesidad de expresar la acción de la radiación ultravioleta sobre la piel como una cantidad ponderada según su efecto eritemal, es decir, de dar más peso a la radiación ultravioleta más perjudicial y menos peso a la más benigna.

La CIE (Comisión Internacional de Iluminación) ha propuesto utilizar un espectro eritemal de referencia, figura 6, como una medida estándar del efecto relativo de la radiación UV según la longitud de onda¹³⁾.

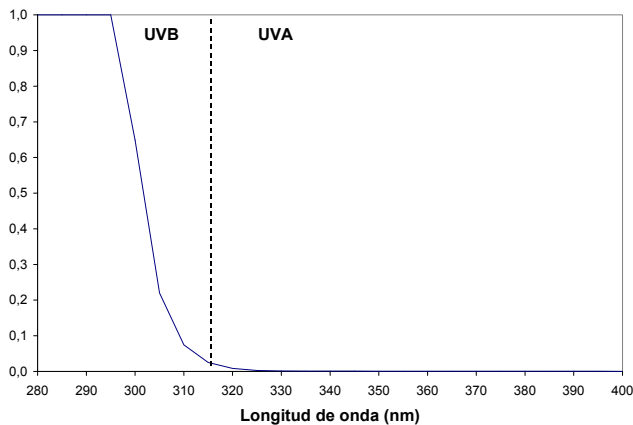


FIGURA 6: Espectro de acción eritemal CIE E_{λ} .

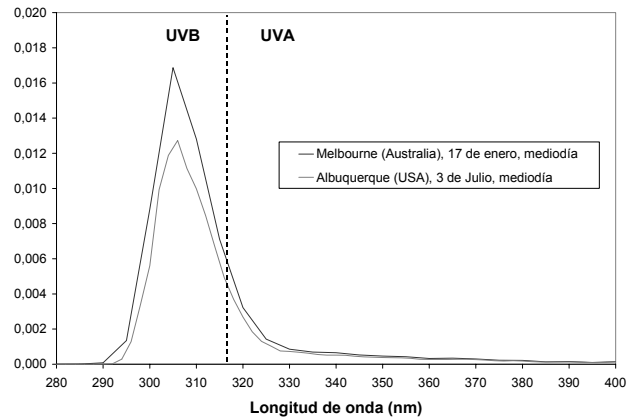


FIGURA 7: Efectividad eritemal $E_{\lambda} \cdot S_{\lambda}$.

El espectro de acción eritemal se obtiene irradiando a las personas objeto de test con radiación UV monocromática de todas las longitudes de onda. Para cada longitud de onda, se determina la dosis crítica de energía de la radiación en J/m^2 que produce un eritema. El espectro de acción eritemal E_{λ} corresponde a la inversa de dicha dosis crítica.

2.1.1.4. Efectividad eritemal $E_{\lambda} \cdot S_{\lambda}$

Un gráfico más revelador es el producto de $E_{\lambda} \cdot S_{\lambda}$, que aparece en la fórmula de determinación del UPF, tanto en el numerador como en el denominador. Si combinamos los espectros de las figuras 5 y 6 obtendremos el espectro de efectividad eritemal de la radiación ultravioleta. El resultado se muestra en la figura 7.

La figura muestra claramente que la zona más perjudicial, y que tiene más peso en el cálculo del UPF, se sitúa sobre las longitudes de onda de la radiación UVB y una parte de la radiación UVA hasta aproximadamente 320 nm. Aunque la transmisión de radiación a través de los tejidos a estas longitudes de onda sea pequeña, tendrá un gran peso en el factor de protección de los tejidos mientras que transmisiones más grandes en longitudes de onda mayores no tendrán prácticamente incidencia en el valor del UPF final.

Por lo tanto, los tejidos serán muy efectivos en cuanto a la protección de la radiación ultravioleta si aseguran el bloqueo de las radiaciones ultravioleta en el intervalo de longitudes de onda de la radiación UVB, así como la radiación UVA hasta longitudes de onda de aproximadamente 320 nm.

2.1.2. Cálculo de los parámetros relacionados con la protección contra la radiación ultravioleta proporcionada por un tejido

En los últimos años han aparecido varias normas que detallan el procedimiento para la determinación *in vitro* del factor de protección de los artículos textiles. Sin embargo, aún no existe una normativa definitiva a nivel español o europeo.

Por ello, nos referiremos en este apartado a los cálculos indicados en la primera norma que apareció en 1996, desarrollada conjuntamente por Australia y Nueva Zelanda, la AS/NZS 4399:1996¹¹⁾, que es la más utilizada y la base de otras normas.

2.1.2.1. UPF de una muestra

El parámetro fundamental para expresar la protección contra la radiación ultravioleta que proporciona un tejido es el Factor de Protección Ultravioleta, UPF, de una muestra de dicho tejido. El Factor de Protección Ultravioleta (UPF) de un tejido es una medida cuantitativa de la efectividad con que un tejido puede proteger a la piel humana contra la radiación ultravioleta.

El UPF de una muestra se calcula a partir de la medida de varios especímenes extraídos de la muestra de tejido, considerando en el cálculo algunas correcciones estadísticas que se expondrán a continuación. La determinación se debe realizar como mínimo con 4 especímenes, aunque pueden necesitarse más si el material no es uniforme. En este último caso, se debe considerar:

Si la muestra tiene áreas de diferente color: se deben medir todas las áreas por separado y el UPF a considerar es el más bajo.

Si la muestra tiene áreas de diferente textura: se debe usar como muestra el área de estructura más abierta.

El UPF de cada espécimen se calcula según la siguiente fórmula:

$$UPF_i = \frac{\int_{\lambda=290}^{400} E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times \Delta\lambda}{\int_{\lambda=290}^{400} E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times T_{\lambda} \times \Delta\lambda}$$

- E_{λ} : espectro eritemal según CIE
- S_{λ} : irradiancia espectral solar
- T_{λ} : transmitancia espectral del tejido
- $\Delta\lambda$: anchura de banda en nm
- λ : longitud de onda en nm

A continuación se calcula el UPF medio, como la media aritmética de los UPF de cada uno de los especímenes.

$$\overline{UPF} = \frac{UPF_1 + UPF_2 + \dots + UPF_N}{N}$$

\overline{UPF} : UPF medio
 UPF_i: UPF de los especímenes
 N: número de especímenes

El UPF de la muestra se obtiene mediante la fórmula siguiente, en la que se introduce una corrección estadística. Al UPF medio se le resta el error de la medida, calculado a partir de la desviación estándar del UPF medio y para un intervalo de confianza del 99% dado por la t de Student. Al hacer esta corrección nos aseguramos de que el UPF de la muestra que estamos tomando como válido, tiene una probabilidad del 99% de ser el UPF real de la muestra.

$$UPF = \overline{UPF} - t_{\alpha/2, N-1} \frac{SD}{\sqrt{N}}$$

$t_{\alpha/2, N-1}$: t de Student con un intervalo de confianza $\alpha = 0,005$
 SD: desviación estándar del UPF medio

Este valor obtenido es el definitivo si es mayor que cualquiera de las medidas individuales de los especímenes. Si el valor obtenido es menor, el UPF de la muestra será el menor valor del UPF de los especímenes.

2.1.2.2. Índice UPF

La norma australiana/neozelandesa establece, además, un sistema de clasificación de los tejidos en función de sus propiedades protectoras del sol. Cuando el objetivo es incluir el factor de protección en el etiquetado, la ropa protectora del sol debe ser categorizada de acuerdo con el índice UPF, según la tabla siguiente

TABLA 1

Etiquetado y clasificación de los tejidos en función de su factor de protección a la radiación ultravioleta (Norma AS/NZ 4399: 1996)

Rango UPF de la muestra	Categoría de protección UVR	Transmisión UVR efectiva (%)	Índice UPF
15 a 24	Buena protección	6,7 a 4,2	15, 20
25 a 39	Muy buena protección	4,1 a 2,6	25, 30, 35
40 a 50, 50+	Protección excelente	≤ 2,5	40,45,50,50+

El índice UPF siempre será un valor múltiplo de 5. Para su cálculo se parte del UPF de la muestra y se toma el múltiplo de 5 inmediatamente inferior. Así un tejido con un UPF de 39, tendrá un índice UPF de 35 y proporcionará muy buena protección a la radiación ultravioleta. A partir de 50, el índice siempre se señala como 50+.

2.1.2.3. Transmitancia UVA y UVB

En varias ocasiones en este artículo, se ha subrayado que existe una gran diferencia en el efecto que tienen los distintos tipos de radiación UVA y UVB. Por lo tanto, puede ser interesante disponer de un parámetro que nos cuantifique la cantidad de radiación de un tipo u otro que atraviesa el tejido. Para ello se definen la transmitancia UVA y la transmitancia UVB, como las medias aritméticas de las transmitancias en las longitudes de onda del UVA y UVB respectivamente:

$$UVA_{AV} = \frac{T_{315} + T_{320} + \dots + T_{400}}{18}$$

$$UVB_{AV} = \frac{T_{290} + T_{295} + \dots + T_{315}}{6}$$

T_{λ} : transmitancia espectral a la longitud de onda λ

Especialmente importante es que la transmisión UVB sea lo más baja posible, ya que la radiación en este intervalo de longitudes de onda es, como venimos insistiendo, mucho más perjudicial para la piel humana.

La tabla 2 muestra los valores de cada uno de los parámetros antes descritos obtenidos en la medida del factor de protección a la radiación ultravioleta de los tejidos representados en la figura 4, según la norma AS/NZ 4399: 1996.

TABLA 2

Parámetros relacionados con el factor de protección a la radiación ultravioleta de varios tejidos
 (Norma AS/NZ 4399:1996)

Muestra	UPF medio	UPF de la muestra	Índice UPF	UVA _{AV}	UVB _{AV}
Tejido 1	8,7	8,01	5	10,52%	11,35%
Tejido 2	14,2	12,27	10	11,02%	6,52%
Tejido 3	32,1	28,36	25	2,93%	3,12%
Tejido 4	53,1	41,02	40	2,49%	1,88%
Tejido 5	108,1	93,44	50+	1,02%	0,93%

Se puede observar que, en numerosas ocasiones, existe una gran diferencia entre el UPF medio y el UPF de la muestra, una vez realizadas las correcciones estadísticas. Los tejidos 1 y 2 no se pueden considerar tejidos protectores contra la radiación ultravioleta ya que su índice UPF es inferior a 15. El tejido 3 ofrece una muy buena protección y los tejidos 4 y 5 una protección excelente.

Es interesante destacar también la diferencia entre los tejidos 3 y 4. Estos tejidos tienen una transmisión UVA muy similar, mientras que la transmisión UVB del tejido 4 es inferior. Este factor influye muy significativamente en el valor final del UPF de la muestra. Algo similar ocurre con los tejidos 1 y 2. En este caso, el tejido 2 tiene mayor transmisión UVA que el tejido 1, pero una transmisión UVB menor, por lo que la protección del tejido 2 es algo mejor.

2.1.3. Normativa

La primera norma referente a la determinación de la protección de los tejidos a la radiación ultravioleta apareció en el año 1996 y fue desarrollada conjuntamente por Australia y Nueva Zelanda, como muestra de la preocupación que existía en estos países por el aumento creciente de los casos de cáncer de piel, debido a la disminución de la capa de ozono. La norma AS/NZ 4399:1996¹¹⁾ establece la forma de determinar el factor de protección solar de los tejidos y la clasificación de los mismos según la protección proporcionada, tal como se ha indicado en el apartado anterior.

Posteriormente aparecieron normas similares. En el Reino Unido, la norma BS 7914:1998¹⁴⁾ establece el método para la determinación de la penetración de la radiación ultravioleta a través de tejidos, siendo la penetración el inverso del UPF. En USA, el AATCC Test Method 183-1998, actualizado en el año 2000¹²⁾ escribe el método para el cálculo del UPF de los tejidos. Actualmente está en proceso de aprobación un proyecto de norma europea prEN 13758¹⁵⁾ laborada por el CEN/TC 248, que describe

también el método de cálculo del UPF de los tejidos. Al contrario que la norma australiana/neozelandesa, ninguna de estas tres últimas normas establece un sistema de clasificación de los tejidos en función de su índice UPF.

Las normas citadas anteriormente contemplan la medida del factor de protección de tejidos no usados. Sin embargo, existe también una preocupación por conocer qué pasa cuando los tejidos se usan y se someten a la acción de lavados, luz del sol, agua clorada o de mar, etc. Diversos autores han publicado estudios en los que se demuestra que el factor de protección varía, generalmente mejora, después del uso de las prendas^{16,17)}. En el año 2000 apareció la norma estadounidense ASTM D6544-00¹⁸⁾ que recoge el interés del sector y establece métodos estándar de preparación de muestras para simular condiciones después de un uso estacional de dos años (lavado, exposición a la luz solar y exposición a agua clorada de piscinas) antes de la medida del UPF.

Otro aspecto a tener en cuenta es el hecho de que las normas existentes, en general, sólo contemplan la medida del UPF en tejidos secos y no estirados. Algunas aplicaciones de tejidos protectores 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, de dichas prendas^{16,17)}. En este sentido, los comités de los diversos organismos normalizadores siguen trabajando en la ampliación de las normas existentes y elaboración de nuevas normas. Un ejemplo es el comité RA106 de la AATCC que ha elaborado una ampliación de la norma, el AATCC Test Method 183-2000, en el que indica que el método puede servir también para la medida de muestras mojadas y de muestras estiradas. Sin embargo, no establece las condiciones para la preparación de dichas muestras. También el TC 6-29 de la CIE está trabajando en la elaboración de

métodos estándar para medir el factor de protección de los tejidos en condiciones de exposición reales de los mismos.

3. INDICE UV

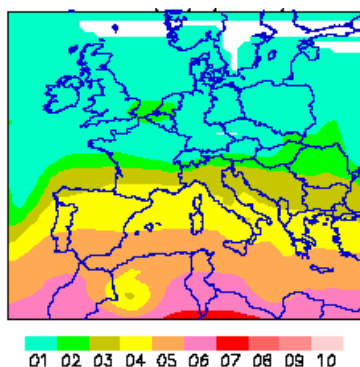
Como se ha comentado en un apartado anterior el espectro de irradiancia solar utilizado en la fórmula para la determinación del UPF de un tejido no tiene en cuenta las condiciones ambientales, aunque la intensidad de radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre varía en función de la cantidad y tipo de nubes. También se ha comentado que el espectro eritemal utilizado en la fórmula es un espectro de referencia estándar, que no tiene en cuenta el tipo de piel de una persona en particular.

El índice UV es una unidad de medida del nivel de radiación ultravioleta relevante por su efecto sobre la piel humana. Inicialmente, el índice UV se definió y utilizó en programas de información pública sobre radiación UV de varios países. Más tarde, su definición se normalizó y publicó como recomendación conjunta de la Organización

Mundial de la Salud, la Organización Meteorológica Mundial, el Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas y la Comisión Internacional sobre Radiación No-Ionizante¹⁹⁾.

El índice UV constituye una herramienta que facilita la planificación de actividades al aire libre para prevenir una sobreexposición a los rayos del sol. Proporciona un parte diario del nivel de intensidad de la radiación ultravioleta y el riesgo estimado de exposición al sol. El índice predice niveles de intensidad UV en una escala del 0 (mínimo riesgo) al 10+ (muy alto riesgo). En su estimación tiene en cuenta las nubes y otras condiciones locales que afectan la cantidad de radiación UV que llega a la superficie de la Tierra²⁰⁾.

Diversos países ofrecen un servicio de consulta de la previsión del índice UV en Internet. La figura 8 muestra un ejemplo de previsión de los niveles de intensidad de la radiación en función del índice UV y el nivel de riesgo en función del tipo de piel y el índice UV, ofrecida por el servicio meteorológico del Reino Unido en su página web



Indice UV	Nivel de intensidad
0 - 2	Mínima
3 - 4	Baja
5 - 6	Moderada
7 - 9	Alta
10+	Muy alta

Indice UV	Riesgo de daño a la piel			
	Piel clara, se quema fácilmente	Piel clara, se broncea	Piel oscura	Piel negra
1 - 2	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
3 - 4	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
5	Alto	Medio	Bajo	Bajo
6	Muy alto	Medio	Medio	Bajo
7	Muy alto	Alto	Medio	Medio
8	Muy alto	Alto	Medio	Medio
9	Muy alto	Alto	Medio	Medio
10	Muy alto	Alto	Alto	Medio

FIGURA 8: Previsión del Índice UV²¹⁾

Según el riesgo de daño a la piel se deben tomar diferentes medidas protectoras:

- Riesgo bajo: el sol no dañará
- Riesgo medio: se debería evitar la exposición directa al sol durante más de 1-2 horas
- Riesgo alto: se puede quemar en 30-60 minutos. Se debería evitar la exposición directa al sol y usar factor de protección superior a 15

-Riesgo muy alto: se puede quemar severamente en 20-30 minutos. Evitar la exposición directa al sol y usar un factor de protección superior a 15.

4. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) la

financiación del proyecto MAT 99-0996, dentro del cual se lleva a cabo este estudio sobre la protección de los tejidos a la radiación UV.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. Riva A., *¿Qué es el UPF de un tejido?*, Revista de Química Textil, nº 144, pp 72-78 (1999)
2. ABC, *Lo blanco es bonito*, ABC 16-6-98, pág 54-55
3. National Cancer Institute, *Melanona*, <http://cancernet.nci.nih.gov>
4. Tenkate T.D., *Ultraviolet Radiation: Human Exposure and Health Risks*, Environmental Health, Vol 61, nº 2, 9-15, September (1998)
5. Ferrini R.L., Perlman M, Hill L., Skin Protection from Ultraviolet Light Exposure American College of Preventive Medicine Practice Policy Statement, <http://www.acpm.org>
6. United States Environmental Protection Agency, *The sun, UV and you. A guide for sunwise behaviour*, <http://www.epa.gov>
7. World Health Organisation, *Protection Against Exposure to Ultraviolet Radiation*, <http://www.who.int>
8. Pailthorpe M., *Sun Protective Clothing*, Textile Horizons, 1996 16/5, pp.11-14.
9. Hilfiker R., Kaufmann W., Reinert G., Schmidt E., *Improving Sun Protection Factors of Fabrics by Applying UV-Absorbers*, Textile Res. J. 66(2), 61-70 (1996)
10. Kaspar K., Altmeyer P., Hoffmann K., *Bestimmung des UV-Schutzes von leichten Sommergeweben in vitro und in vivo*, Melliand Textilberichte, nº 6, 536-539 (1999)
11. AS/NZS 4399:1996: Sun protective clothing – Evaluation and classification
12. AATCC Test Method 183-2000: Transmittance of Blocking of Erythemally Weighted Ultraviolet Radiation Through Fabrics
13. McKinlay A.F., Diffey B.L., *A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin*, CIE Journal, 6, 17 (1987)
14. BS 7914:1998: Method of test for penetration of erythemally weighted solar ultraviolet radiation through clothing fabrics pr EN 13758: Textiles – Solar UV protective properties – Method of test for apparel fabrics
15. Pailthorpe M., *Sun Protective Clothing*, Textile Horizons, vol 16, nº 5, 11-14 (1996)
16. Zhou Y., Crews P.C., *Effect of OBAs and Repeated Launderings on UVR Transmission through Fabrics*, Textile Chemist and Colorist, vol. 30, nº 11, 19-24 (1998)
17. ASTM D6544-00: Standard Practice for Preparation of Textiles Prior to UV Transmission Testing
18. Instituto Nacional de Meteorología, *Índice Ultravioleta*, <http://www.inm.es>
19. U.S. Environmental Protection Agency, *What is the UV Index?*, <http://www.epa.gov>
20. Met Office, *Solar UV Index*, <http://www.metoffice.gov.uk/weather/gsuvi.html>