

CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL POR RADIACIÓN UV E ÍNDICE ULTRAVIOLETA

Suárez, H.¹; Acosta, D.²; Cadena, C.³

¹UNSA, ²INIQUI, ³INENCO
Av. Bolivia 5150, 4400, SALTA cadena@unsa.edu.ar

Recibido: 16-03-09; Aceptado: 20-04-09.

RESUMEN.- Con el fin de minimizar los muy bien conocidos riesgos de la exposición a la radiación ultravioleta y sistematizar la información obtenida para la definición de un índice (UVI), se analizan y caracterizan en este trabajo, productos y materiales de protección personal, describiendo para ello, algunos métodos. En este sentido se estudia el tipo de efecto protector de prendas de vestir, anteojos de protección personal y cremas “UV bloqueantes”. Para las primeras se describe una técnica fotográfica de análisis, mientras que para la implementación de los dos últimos se utiliza como herramienta principal de caracterización, un espectro fotómetro. También se plantea la utilización de FTIR como herramienta de diagnóstico de posibles efectos degradativos, dado que con muy pocas excepciones los ingredientes protectores actúan provocando cambios fotoquímicos (en algunos casos generación de radicales libres). Debido a que las cremas protectoras, en general pierden gradualmente su eficacia cuando se exponen a la radiación solar, resulta importante simular este comportamiento en una cámara de radiación y cualificar el efecto producido.

Palabras claves: ultravioleta, protectores solares, cremas solares, fotoestabilidad, cámara controlada.

CHARACTERIZATION OF PERSONAL PROTECTION PRODUCTS THROUGH RADIACIÓN UV AND ULTRAVIOLET INDEX

ABSTRACT.- In order to minimize those very well well-known risks from the exhibition to the ultraviolet radiation and to systematize the information obtained for the definition of an index (UVI), they are analyzed and they characterize in this work, products and materials of personal protection, describing for it, some methods. In this sense the type of protective effect of garments is studied of dressing, glasses of protection personal and sunscreens "UV block". For the first ones a photographic technique of analysis is described, while for the last implementation of both it is used as main tool of characterization, a spectrophotometer. It is suitable the use of FTIR like tool of diagnosis of possible degradative effects, since with very few exceptions the protective ingredients act causing photochemical changes (in some cases generation of free radicals). Because the creams protectors, in general lose their effectiveness gradually when they are exposed to the solar radiation, it is important to simulate this behavior in a radiation camera and to qualify the produced effect.

Keywords: ultraviolet, solar protectors, sunscreens, photo stability, controlled camera

1. INTRODUCCION

Desde que en los años 50 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 (Algaba, 2004). 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 daño permanente a la piel causado por la radiación ultravioleta. La radiación ultravioleta es el factor más importante en el que se ha demostrado una relación directa con el cáncer de piel, provocando además otros problemas para la salud, como eritemas, fotoqueratitis, cataratas, envejecimiento prematuro de la piel, etc.

La principal característica de la radiación UV es la posibilidad de producir excitaciones en los átomos, que

provocan reacciones químicas. En éstas se basan los diferentes efectos, que son dependientes de la energía (o longitud de onda). Desde el punto de vista médico biológico, sólo interesan las radiaciones comprendidas en la región de longitudes de onda entre 400 y 200 nm. Para su mejor caracterización el espectro ultravioleta se ha segmentado en tres zonas: A, B y C, cuyas características se han estudiado con mayor interés a lo largo de la historia. Más aun, la OMS, se ha referido categóricamente a la utilización de las “camas solares” por su efecto negativo sobre la salud humana, al calificarlas de “carcinogénicas”-

La radiación ultravioleta A (UVA) abarca longitudes de onda entre 320 y 400 nm; es la parte menos energética de la radiación UV (3,1-3,9 eV). Tiene importancia por su capacidad para producir bronceado con un mínimo eritema cutáneo. Se emplea comercialmente para el bronceado de la piel y el tratamiento de la psoriasis.

La radiación ultravioleta B (UVB) se extiende entre los 280 y 320 nm. No es útil para el bronceado, ya que, a igual dosis que los UVA, es 200-2.000 veces más probable que produzca eritema y quemaduras.

La radiación ultravioleta C (UVC) se extiende entre los 200 y 280 nm; es la porción más energética del espectro, de forma que posee una importante acción bactericida. Sufre una fuerte dispersión al atravesar la atmósfera, por lo que puede considerarse que prácticamente no está presente a nivel del mar. La mayor parte de esta radiación es absorbida por la atmósfera superior, de forma que no alcanza la superficie terrestre. Además, el UVC ioniza los gases atmosféricos, por lo que contribuye a la creación y mantenimiento de la capa de ozono.

Cuando hablamos de protección contra la radiación UV, esto incluye costumbres de la población, el ambiente donde se desarrollan, legislación al respecto y lo más importante la protección personal. 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 enrojecimiento (Algaba Joaquín, I. 2004)

Las investigaciones científicas sobre la protección de la piel por los textiles son relativamente recientes. El factor de protección solar, generalmente suele representarse por SPF (Sun Protection Factor). 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).

Los fotoprotectores son sustancias que en su composición incluyen filtros solares y que, usados tópicamente, cumplen la misión de prevenir los daños actínicos ocasionados por la radiación solar. Los productos como cremas protectoras que contienen filtros ultravioleta se aplican sobre la piel, filtran la radiación y evitan su agresión. Estos fotoprotectores actúan absorbiendo, reflejando o dispersando los rayos del sol, evitando así que dañen la piel. Normalmente vienen etiquetados con un número que indica el SPF y cuya especificación constituye la única información a la que la mayoría de los consumidores recurre para tener una idea de cuánta protección provee el producto.

Las lentes tintadas o coloreadas tienen como fin la protección de los órganos de la vista contra la acción nociva de las radiaciones. Estas, tienen la propiedad de absorber, en diversa medida, las radiaciones de una longitud de onda determinada (Artigas, 1995).

Teniendo en cuenta estas consideraciones se estudia la influencia de las variables más significativas de las que depende el UPF (factor de protección ultravioleta) y el SPF (factor de protección solar) de los tejidos y cremas protectoras al igual que la protección ocular proporcionada por lentes de sol, mediante la determinación de la

transmitancia UVR. También se realiza un estudio degradativo de cremas protectoras en una cámara de irradiación que simula la radiación solar.

2. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DESCRIPTIVOS Y MÉTODO DE CÁLCULO

2.1. Espectro de acción eritémico (CIE) e Irradiancia Efectiva

Un espectro de acción describe la efectividad relativa de la radiación UV en producir una respuesta biológica determinada en una longitud de onda concreta. El espectro de acción eritémico (enrojecimiento de la piel) se emplea como un peso dependiente de la longitud de onda para la irradiancia espectral UV, integrando luego sobre todas las longitudes de onda se puede encontrar la irradiancia biológica efectiva real. La dosis UV efectiva para un período particular de exposición se calcula sumando la irradiancia efectiva para todo el período de exposición. La figura 1 muestra los espectros eritémico incidente y transmitido por un tejido o crema expuestos a radiación solar. La figura 2 muestra el espectro eritémico incidente provisto por nuestro espectrómetro de laboratorio.

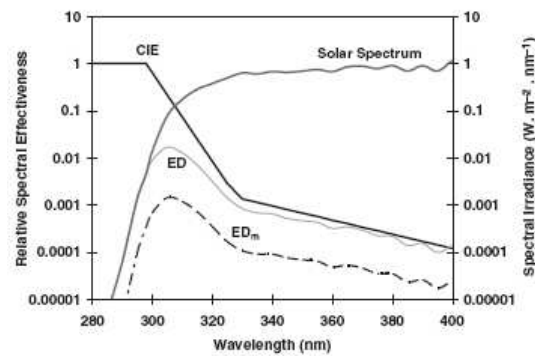


Fig. 1: Irradiancia Espectral en la superficie de la tierra en el rango UV (Solar Spectrum) multiplicado por el Índice eritémico (CIE) de la Comisión Internationale de l'Eclairage en cada longitud de onda nos da la Irradiancia eritémica (ED), la cual es transmitida a través del tejido para producir la UVR incidente (EDm) sobre la piel. (Fuente: Gies, 2007).

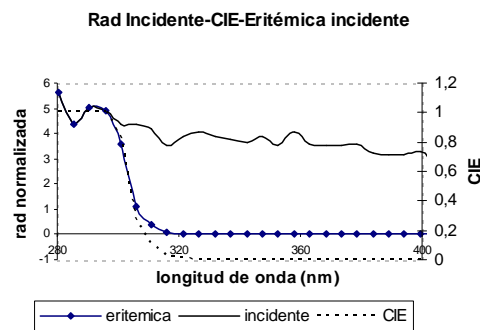


Fig. 2: Irradiancia normalizada, espectro eritémico CIE e Irradiancia eritémica normalizada en nuestro espectrómetro

2.2. Espectro de radiación incidente / transmitida

Usando el espectrómetro OSM se obtuvo para a cada una de las muestras de tejidos, cremas protectoras y lentes de sol los espectros de radiación incidente y transmitida en el rango de 280 nm a 550 nm como un promedio de tres mediciones. Se obtuvieron tablas con datos de radiación normalizada cada 5 nm y también cada 1 nm.

2.3. Dosis Eritematógena Mínima (MED)

Al constituir las quemaduras un efecto dañino muy frecuente en la piel humana, el espectro de acción eritematogénico, CIE, es el más recomendado de emplear a la hora de cuantificar el efecto nocivo de la radiación UV sobre la piel. La "dosis eritematogénica mínima", MED, se usa para describir el potencial eritematogénico de la radiación UV, y 1 MED se define como la dosis efectiva de radiación UV que produce un enrojecimiento observable de la piel humana sin exposición previa. Sin embargo, los diferentes individuos no presentan la misma sensibilidad a la radiación UV debido a la protección propia de la piel (pigmentación), 1 MED varía entre 200 y 500 J/m². Si no existen estudios disponibles sobre la sensibilidad de la población en una región dada se pueden consultar los valores de MED para diferentes tipos de piel de acuerdo con la normativa DIN-5050.

2.4. UPF de cremas protectoras y tejido

El UPF de una crema protectora o de un tejido es una medida cuantitativa de la efectividad del tejido o crema para proteger la piel humana contra la radiación ultravioleta. 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 de la crema o tejido. Se calcula mediante la fórmula (Algaba, 2004):

$$UPF = (\sum E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda) / (\sum E_{\lambda} S_{\lambda} T_{\lambda} \Delta\lambda) \quad (1)$$

Σ : Suma para 280 nm < λ < 400 nm

E_{λ} : Espectro eritémico relativo de la CIE (Comisión Internacional de Iluminación)

S_{λ} : Irradiancia espectral solar.

T_{λ} : Transmitancia espectral del tejido o crema.

$\Delta\lambda$: Intervalo de longitudes de onda en nm.

2.5. Normas de etiquetado en tejidos y cremas protectoras

Para el etiquetado, las prendas y cremas protectoras deben ser clasificadas de acuerdo con su índice UPF. El índice UPF siempre será múltiplo de 5. Para su cálculo, se parte del UPF de la muestra y se toma el múltiplo de 5 inmediatamente inferior (Suárez *et al*, 2007). Para que una prenda o crema brinde una buena protección su UPF debe ser mayor que 15.

2.6. Porosidad del tejido

El porcentaje de cobertura o porosidad de un tejido, es una característica útil del mismo y se define como el porcentaje de área ocupada por los hilos de urdimbre y trama en un área de tejido dada. Mientras mayor sea la superficie cubierta con material, el espacio que hay para que la radiación incidente lo atraviese es menor. Por lo tanto, la transmitancia será menor y tanto la cobertura como el UPF son mayores según se ilustra en las figura 3 y figura 4.

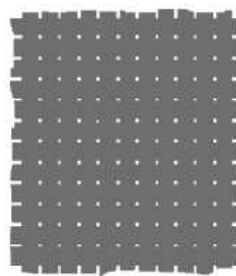


Fig. 3: Tejido con alta cobertura y alto UPF (bajas porosidad y transmisión).

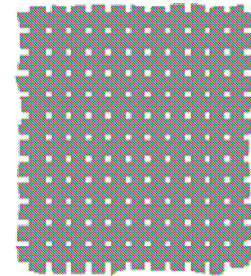


Fig. 4: Tejido con baja cobertura y bajo UPF (altas porosidad y transmisión).

2.7. Porcentaje de cobertura por Análisis de Imagen

La porosidad o abertura de un tejido es un importante indicador de la habilidad para bloquear la radiación solar de un tejido. Para este estudio, el porcentaje de cobertura se ha determinado utilizando un método de análisis de imagen que consiste en tres pasos:

1. *Toma de la fotografía:* se obtuvo la imagen microscópica de cada tejido mediante un microscopio óptico Zeiss Axiolab, Objetivo Zeiss CP ACHROMAT 10x/0,25; Ocular Zeiss 444132 PL10X/18 y una cámara fotográfica digital Olympus IR300, con zoom óptico de 3x 200m, la lente de la cámara es Olympus. La resolución de las fotos es de 3 Mega píxeles.
2. *Digitalización y procesamiento de la fotografía:* se utilizó un programa de procesamiento digital de imágenes denominado *SCILABPRO* y que corre sobre el programa de cálculo matemático *SCILAB*. Este programa utiliza las rutinas *IM2.lib* del lenguaje *TCL-TK* para capturar las imágenes, la que luego es enviada al entorno de *SCILAB* donde se realiza el procesamiento de las mismas.
3. *Obtención de los coeficientes de cobertura:* Se definieron dos coeficientes para estimar el porcentaje de cobertura. El primero de ellos propone calcular la cobertura en base a valores promedios de iluminación de la imagen digitalizada. El coeficiente calculado de esta manera me sirve para comparar con los valores del segundo coeficiente propuesto en referencias (Algaba Joaquín, 2004) y realizar luego los ajustes necesarios para determinar el que se utilizará en este laboratorio.

- ❖ El Coeficiente *coef1*: Considera que cuando no existe tejido la cámara se encuentra a máxima iluminación, o sea el promedio de color de los píxeles es 255 (valor monocromático). Luego se obtiene el promedio del valor monocromático de todos los píxeles de la imagen, suponiendo que el gris es el promedio de los colores rojo, verde y azul. Este número es un indicador de la iluminación de la imagen. La razón entre este promedio y el máximo posible de iluminación, indica cuál es el porcentaje de luz transmitida a través del tejido o nivel de iluminación. Por lo tanto, la diferencia entre la unidad y el nivel de iluminación proporciona el coeficiente de cobertura. En la figura 5, se puede

observar el Histograma de distribución de grises para un tipo de tejido.

$$\%T = (T / I) * 100 \quad (3)$$

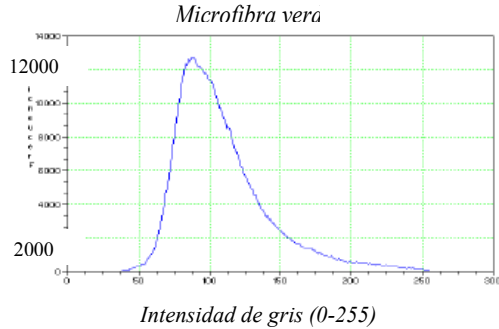


Fig. 5: Histograma de grises en foto digital de tejido.

La siguiente es la rutina de cálculo en el entorno SCILAB:

Rutina Coef1

```
[mr,mg,mb]=prom_im(r,g,b);
coef1=1-(mr+mb+mg)/3/255;
```

- ❖ El Coeficiente *coef2*: Se obtiene una imagen monocromática de la fotografía suponiendo que el gris de cada píxel se obtiene como el promedio del rojo, verde, azul para cada píxel. Luego, se calcula el histograma de distribución de grises de la imagen. Se asume que lo cubierto por la tela, corresponde a un valor de gris menor de 76 (Algaba, 2004). Finalmente se calcula el coeficiente de cobertura como la razón entre el número de píxeles que tienen un valor de gris menor a 76 y el total de píxeles de la imagen.

La siguiente es la rutina de cálculo en el entorno SCILAB

Rutina Coef2

```
r1=int((r+g+b)/3);
hr = histograma_im (r1);
coef2=sum(hr(1:75))/sum(hr(1:255));
```

2.8. Cálculo del UPF

Se integra la radiación eritémica incidente ultravioleta en el rango (280-320) nm llamada IUV_B y en el rango (320-400) nm llamada IUV_A . Seguidamente se integra, en los mismos rangos, la radiación eritémica transmitidas llamadas TUV_B y TUV_A . Luego se procede a calcular el factor de protección ultravioleta (UPF) tanto para radiación UVA como para UVB y global UV, mediante las siguientes formulas:

$$\begin{aligned} UPF_B &= IUV_B / TUV_B & UPF_A &= IUV_A / TUV_A \\ UPF &= (IUV_A + IUV_B) / (TUV_A + TUV_B) \end{aligned} \quad (2)$$

2.9. Cálculo de Transmitancia Porcentual

Se integran la radiación incidente y transmitida visible en el rango (400-550) nm a las que llamaremos I y T . Luego se procede a calcular los porcentajes de transmitancia en el rango visible hasta 550 nm mediante la siguiente fórmula:

3. EL LABORATORIO: INSTRUMENTAL Y MUESTRAS

3.1. Los medidores UVB y UVA

Para medir la radiación UVA, UVB y visible, de los instrumentos existentes, se utilizó un Optical Spectrometer (OSM) de Newport, en el rango 250 nm a 550 nm y los radiómetros de banda ancha MS-140 y MS-210 de EKO. Con esto es posible asegurar la obtención de medidas globales de radiación en los rangos de interés como también la disposición de información detallada en todo el espectro de medición.

El OSM consta básicamente, del cuerpo del espectrómetro propiamente dicho (Model OSM-100-UV), una fuente de radiación (Model LSM-DT-S) con emisores de deuterio (UV) y/o tungsteno (visible < 550 nm), interfase RS 232, cables de fibra óptica y Cuvette Holder. Desde la PC y usando el software OSM Analyst, se pueden obtener los espectros y operar las distintas funciones del mismo.

3.2. Las cámaras porta muestras

Para los medidores integrales se utiliza la cámara y porta muestras detallados en una publicación anterior (Suárez *et al*, 2007). Para obtener las medidas espectrométricas de tejidos y cremas se utiliza la cámara OSM Cuvette Holder, que aísla las muestras de radiaciones externas. El porta muestras es una cubeta de cuarzo pulido cuya propiedad es ser permeable a las radiaciones UV. Para obtener las medidas espectrométricas de los lentes de sol se construyó una cámara adecuada a las dimensiones de los mismos.

3.3. La cámara de degradación

La provisión de radiación en el rango de interés (UVR), que simule la que provee el sol, se logra con la utilización de una lámpara OSRAM Ultra-Vitalux . La misma está montada en la parte superior de una cámara, que la aísla del exterior, posibilitando el control de la intensidad de radiación que incide en la base de la misma. En la base se colocan las muestras a degradar siendo la distancia a la lámpara de 50 cm (20 ”). Allí, la intensidad de la radiación, que proporciona la lámpara en el rango UVB, es en promedio de 400 $\mu W/cm^2$. Esto tiene buen acuerdo con valores típicos de radiación en climas tropicales al mediodía. Para evitar un calentamiento excesivo de la cámara, se la equipó con un dispositivo de ventilación. La temperatura medida en la zona de colocación de las muestras es de aproximadamente 40 C.

3.4. Caracterización por FTIR

En este trabajo se han estudiado, mediante la técnica FTIR/HATR (espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier utilizando un accesorio horizontal de Reflexión Total Atenuada), los cambios estructurales y morfológicos que presentan las cremas con protector solar. Los espectros se registraron en un equipo FTIR- Spectrum GX de Perkin Elmer, que contiene una celda horizontal de seleniuro de

potasio. El porta muestra consta de una placa de 2cm.x 10cm. que contiene una capa de crema de 4µm de espesor y se registra el espectro de absorbancia en el rango comprendido entre 4000 a 600 cm⁻¹.

3.5. Los tejidos ensayados

Se han ensayado una serie de 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. El modal es una de las fibras de celulosa regenerada por tratamiento químico. De los tejidos sintéticos, fibras químicas obtenidas de polímeros sintéticos (por polimerización de sustancias derivadas del petróleo), se eligió una variedad, por ejemplo poliéster. Además para cada uno de las fibras se hizo variar la compacidad y el color.

3.6. Las cremas protectoras ensayadas

Se efectuó un sondeo para conocer el mercado de estos productos en la ciudad de Salta; de acuerdo a la información obtenida se ensayaron pantallas solares de diferentes marcas (Dermaglós, Sundown, Hawaiian Tropic, etc.) y que cubren el espectro de SPF rotulados desde 20 hasta 65. Todas las cremas tienen al menos la siguiente información: nombre del producto, forma cosmética, contenido neto en unidades del Sistema Métrico Decimal, listado cualitativo de la fórmula completa que señale sus principios activos y demás componentes indicados (en orden decreciente de sus concentraciones), nombre o razón social del importador o fabricante, país y localidad donde fue fabricado, modo de empleo, indicaciones, advertencias y precauciones sobre su uso cuando ello proceda, fecha de expiración si se declara eficacia limitada, N° de registro ISP y partida o serie de fabricación; si es un producto terminado importado, conserva su serie de origen. Para otro ensayo se adquirieron cremas protectoras solares de una misma marca comercial (Dermaglós), similares fechas de elaboración y con diferentes grados de protección rotulados como FPS 8,15, 30, 65.

3.7. Las lentes de sol ensayados

También denominadas absorbentes o filtrantes, son aquéllas que se utilizan para el objetivo concreto de reducir la cantidad de luz o energía radiante transmitida, es decir que actúan como filtro. Este tipo de lentes son algunas veces denominadas lentes tintadas o coloreadas, debido a que generalmente no son transparentes como las lentes oftálmicas de “vidrio crown normales”. Como filtros que son, estas lentes pueden absorber la luz de manera *uniforme* todo el espectro visible, o de forma *selectiva* absorbiendo unas longitudes de onda más que otras.

En la actualidad, los principales tipos de lentes absorbentes producidas industrialmente, son las siguientes: 1) lentes tintadas en la masa; 2) lentes coloreadas por tratamiento de superficie; 3) lentes tintadas orgánicas; 4) lentes fotocromáticas; 5) lentes polarizantes (Artigas, 1995).

Se efectuó un sondeo para conocer el mercado de estos productos en la ciudad de Salta, de acuerdo a la información obtenida se ensayaron lentes de sol de diferentes marcas (Patagonia, Ray Ban, Kayak, etc.) adquiridas en comercios formales del ramo así como otras adquiridas en el mercado informal y rotuladas como protección UV 400. La cantidad y variedad de lentes coloreadas que inundan el mercado, al igual que su costo, es tan grande que es imposible hacer un estudio detallado.

4. RESULTADOS EN TEJIDOS

4.1. Estimación del porcentaje de cobertura por análisis de imagen.

Las figuras 6, 7 y 8; muestran las fotografías correspondientes a tres de los tejidos ensayados (izquierda) mientras que a la derecha de cada una, se representa el histograma de distribución de grises correspondiente a las mismas.

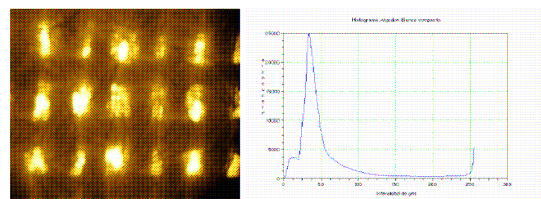


Fig. 6: Fotografía e histograma de distribución de grises correspondientes, para la estimación del porcentaje de cobertura del algodón fino uso verde

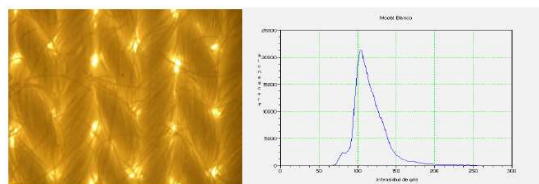


Fig.7: Fotografía e histograma de distribución de grises correspondientes, para la estimación del porcentaje de cobertura del modal blanco

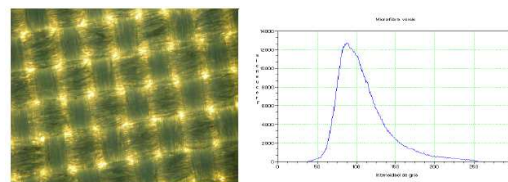


Fig.8: Fotografía e histograma de distribución de grises correspondientes, para la estimación del porcentaje de cobertura de micro fibra verde.

Utilizando el método descrito anteriormente, se calcularon los porcentajes de cobertura de diversas muestras de tejido. En la Tabla 1 se muestran algunos resultados obtenidos.

Tabla 1: Porcentajes de cobertura calculados por ambos métodos

TEJIDO	Color	Coef 1	Coef 2
Algodón <i>MilUso Fino</i>	blanco	0,71	0,75
Algodón <i>MilUso Compacto</i>	blanco	0,73	0,78
Algodón <i>MilUso Fino</i>	verde	0,76	0,81
Algodón <i>MilUso Compacto</i>	azul	0,78	0,81
Modal	blanco	0,55	0,005
Modal	rosado	0,59	0,009
Microfibra	blanco	0,57	0,004
Microfibra	verde	0,58	0,097

Los porcentajes de cobertura calculados para algodón, en sus cuatro muestras, presentan un valor razonable como se observa en la tabla de los valores obtenidos por ambos métodos. Los porcentajes de cobertura calculados para modal en sus variedades blanco y rosado por el *Coef1* son mucho más realistas que los calculados por el *Coef2*. Algo similar ocurre para los tejidos sintéticos de micro fibra blanca y verde. Se observa además que para estas muestras los porcentajes de cobertura de algodón son mucho mayores que los de modal y micro fibra.

4.2. UPF de Tejidos

La figura 9 muestra los espectros de incidencia / transmitancia correspondientes a una de las muestras de tejido ensayados (algodón).

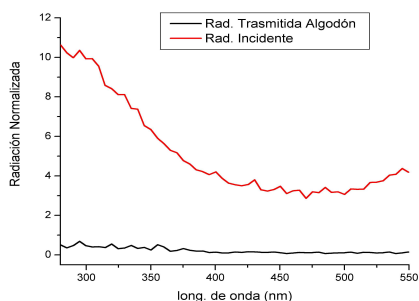


Fig. 9: Espectro de radiación incidente / transmitida para algodón

Aplicando el mismo procedimiento que para algodón, la Tabla 3 muestra el valor calculado de transmitancia en el espectro visible hasta 550nm, UPF_A , UPF_B y UPF de una muestra de tejidos naturales, artificiales y de fibra sintética. Los valores obtenidos se redondean y se eligió un valor medio de mediciones para cada muestra textil.

En la Tabla 2 se presentan los parámetros de transmisión y protección calculados a partir de las mediciones de transmitancia para el algodón.

Tabla 2: Radiación incidente / transmitida, global / eritémica y UPF para algodón.

Rad.	I	T	% T	
UV	175.454	8.719	4.97	
UVA	87.848	4.490	5.11	UPF=21
UVB	87.606	4.229	4.83	
UV Erit	53.212	2.567	4.82	UPF_B=21
UVB Erit	53.139	2.564	4.82	
UVA Erit	0.073	0.004	4.80	UPF_A=21
Vis400-550	108.849	3.606	3.31	

Tabla 3: Transmitancia visible, UPF_A , UPF_B y UPF calculados para una serie de tejidos.

TEJIDO	Color	%T Vis.	UPF_A	UPF_B	UPF
Algodón <i>Mil Uso</i>	Blanco	3.25	26	24	24
Algodón <i>Mil Uso</i>	Verde	3.42	19	21	21
Algodón <i>Mil Uso</i>	Azul	2.55	33	22	22
Modal	Blanco	1.04	42	29	29
Micro fibra	Verde	0.97	126	51	51
Tela Camisera	Blanco	3.90	18	18	18
Poliéster	Blanco	45.32	2	2	2
Gasa	Claro	30.51	3	3	3

4.3. Relación entre UPF y Factor de Cobertura

En estos primeros ensayos encontramos que existe una relación entre el UPF y el porcentaje de cobertura aunque esa relación depende de tipo de fibra, en primera instancia. El UPF de los tejidos aumenta cuando se incrementa el porcentaje de cobertura para una determinada fibra, como se observa en las tablas precedentes para el algodón.

Los tejidos de Modal ensayados (rosado y blanco) presentan un UPF mayor que los de algodón y para valores de porcentaje de cobertura menores. Los tejidos de poliéster liviano analizados (bambula, poliéster, guel, seda tornasolada, seda estampada, etc.) muestran un UPF muy bajo, lo que no lo hace buen protector contra la UVR. Los tejidos que proporcionan valores de UPF de 15 o mayores pueden clasificarse como tejidos con "buena protección" contra la radiación UVR. De las experiencias realizadas se puede decir que el modal ofrece mayor protección contra la UVR. Se verificó también que los tejidos deportivos (Lycra, algodón 92%, algodón 100%) al tener un factor de cobertura muy alto, ofrecen niveles de protección elevados. Pero no son usados para exposiciones largas a la UVR en verano.

Los tejidos de modal ensayados presentan un UPF mayor que los de algodón. Se observa menores valores de transmitancia visible, o sea, valores mayores de cobertura. Los tejidos de poliéster liviano analizados muestran un UPF

muy bajo, lo que no lo hace buen protector contra la UVR. De las experiencias realizadas se puede decir que el modal es la prenda de verano que proporciona mayor protección contra la UVR. Comparando los valores obtenidos de UPF usando medidores y cámara de ensayos integrales (Suárez et al., 2007) y los correspondientes calculados a partir de las mediciones con el espectrómetro OSM notamos que existe un buen acuerdo en las variaciones generales de los mismos.

4.4. Variación de UPF con el color

Así como las diferentes fibras (algodón, poliéster, seda, rayón y nylon) tienen diferentes propiedades absorbentes en el rango UVR, 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 como en la transmitancia en el rango visible de los tejidos ensayados. El factor de protección de las muestras se determinó por el método de la transmitancia en el rango UVA y UVB.

Los gráficos de la figura 10 y figura 11 muestran la radiación incidente y transmitida (UVR y visible hasta 550 nm) del espectrómetro OSM como también las eritémicas que de ellas se derivan. El caso ilustrado corresponde al ensayo de un tejido liviano de poliéster.

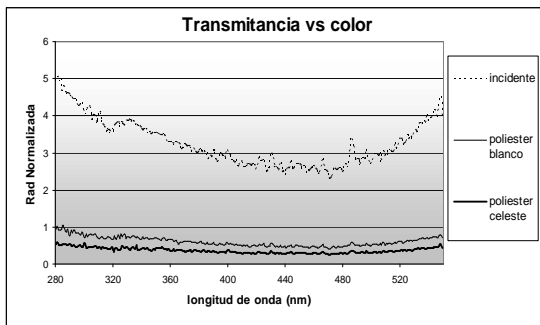


Fig. 10: Transmitancia para poliéster de distinto color

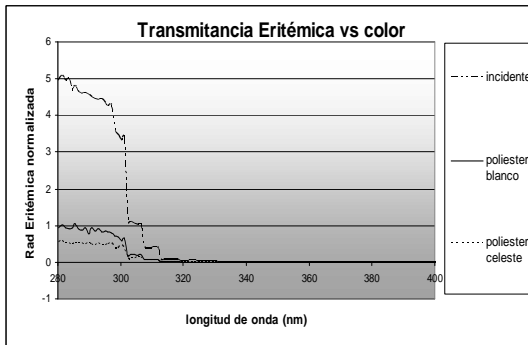


Fig. 11: Transmitancia eritémicas para poliéster de distinto color

La Tabla 4 presentan los valores calculados (global y eritémica) de porcentajes de transmitancia de la radiación

que incide sobre el tejido (global y eritémica) y los coeficientes UPF en el rango UVA, UVB y UVR.

Tabla 4: Porcentajes de transmitancia y UPF para poliéster de distinto color

Radiación	% T- Poliéster Blanco	% T-Poliéster Celeste
UV	19,23	11,40
UVA	19,19	11,48
UVB	19,31	11,27
UV Erit	19,39	11,16
UVB Erit	19,39	11,16
UVA Erit	19,50	11,19
Vis400-550	18,28	11,29
UPF	5,16	8,96
UPF B	5,16	8,96
UPF A	5,13	8,94

Para este tejido de poliéster, se observó una variación importante 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 transmitancia son claramente observables en los espectros de la figura 10 y figura 11.

Los mismos efectos debido al color son observables en ensayos con otros tipos de tejidos. Para un tejido de algodón, con mayor peso y mayor factor de cobertura, se observó también esta dependencia aunque más atenuada debido a las variables mencionadas anteriormente.

5. RESULTADOS EN CREMAS PROTECTORAS

5.1. UPF de cremas de diferentes marcas comerciales

La figura 12 muestra los espectros de incidencia/transmitancia correspondientes a una de las muestras de crema protectora ensayadas mientras que en la Tabla 5 se presentan los parámetros descriptivos calculados a partir de las mismas.

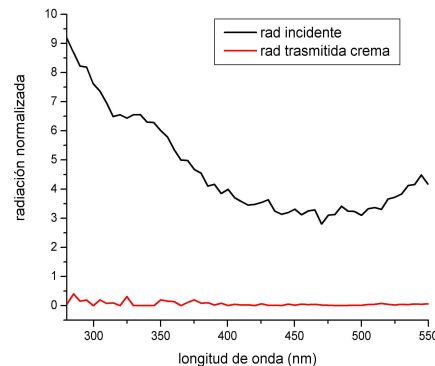


Fig. 12: Espectros de radiación incidente/transmitido para Sundown 50

Tabla 5: radiación incidente / transmitida, global / eritémica y UPF para Sundown 50

Radiación	I	T	% T	
UV	149.845	2.525	1.69	
UVA	80.583	1.367	1.70	UPF=50
UVB	69.262	1.158	1.67	
UV Erit	43.400	0.858	1.98	UPF _B =50
UVB Erit	43.337	0.857	1.98	
UVA Erit	0.063	0.001	2.09	UPF _A =48
Vis400-550	108.030	0.837	0.77	

El valor calculado de transmitancia en el espectro visible hasta 550 nm, UPF_A, UPF_B y UPF de una muestra de cremas protectoras se muestran en la Tabla 6. Los valores obtenidos son promedios de mediciones para cada muestra

Tabla 6: Transmitancia visible, UPF_A, UPF_B y UPF calculados para una muestra de cremas protectoras.

CREMA	UPF Etiqueta	%T Visible	UPF _A	UPF _B	UPF
Crema 1 Der 20	20	1.40	46	29	29
Crema 2 Der 30	30	1.52	113	44	44
Crema 3 Haw 45	45	0.67	34	56	56
Crema 4 Haw 45	45	19.06	6	56	55
Crema 5 Sund50	50	0.77	48	50	50
Crema 6 Der 65	65	9.19	51	58	58

Estos ensayos muestran que en general existe una sobreestimación del UPF calculado en el laboratorio respecto a lo que rotulan las cremas medidas. No ocurre lo mismo en la Crema 6 donde lo calculado es inferior en cuanto a la protección ofrecida por el producto. La crema 5, muestra un muy buen acuerdo entre lo calculado (UPF=50) y lo etiquetado (UPF=50). La crema 3 y la crema 4, son el mismo producto etiquetado como UPF 45 con distinta distribución del producto en el porta muestra, en ambas se obtiene la misma capacidad protectora lo que es indicador de que un exceso de producto no garantiza una mejor protección.

5.2. UPF y FTIR de cremas de una misma marca comercial

Para cremas protectoras de una misma marca comercial, pero de diferente factor de protección se realizaron en simultáneo ensayos de transmitancia y mediciones del espectro de infrarrojo. En la figura 13 y figura 14 se observan los espectros de radiación y FTIR respectivamente.

Aunque en apariencia los perfiles FTIR de las cremas resultan similares, un estudio detallado por zona permite observar algunas diferencias. Especialmente en la región de los 1700 cm⁻¹ donde absorben los compuestos carbonílicos. Dado que las cremas corresponden a materiales compuestos y mezclas bifásicas, los espectros representan la sumatoria de señales de cada componente de manera que resulta

complejo de analizar. Si bien la formulación comercial indica la presencia de TiO₂ como sustancia absorbente de la radiación UV (Serpone, 2006), se observa su presencia a los 1550 cm⁻¹, en las cremas de mayor factor (30 y 65 SPF). Un registro del espectro FTIR requiere un tiempo de análisis de unos pocos minutos y preserva la integridad de la muestra, de modo que permite una rápida determinación de la presencia del componente activo.

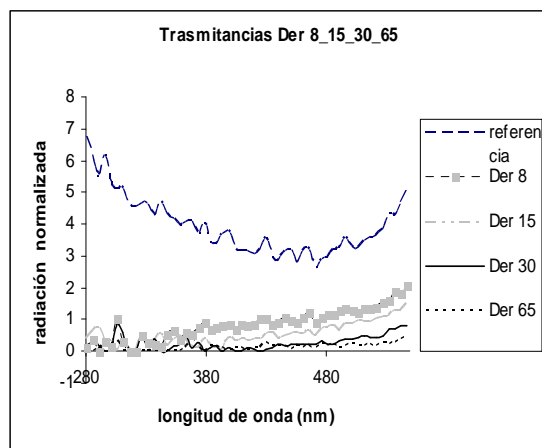


Fig. 13: Espectros de radiación incidente/transmitido para Dermaglós de diferentes SPF

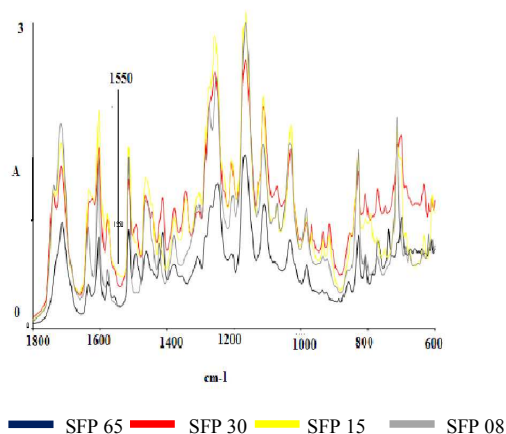


Fig.14: Espectros de HATR -FTIR para Dermaglós de diferentes SPF

En la Tabla 7 se resumen los valores de transmitancia obtenidos para este lote de cremas de la misma marca comercial (Dermaglós). Esto nos permite calcular la protección UV de protectores solares con rotulaciones diferentes de UPF (8, 15, 30 y 65).

Los valores calculados de UPF muestran un buen acuerdo para Dermaglós 15 (UPF=13,17) y Dermaglós 30 (UPF=33,29), mientras que lo subestima, pero sin salir del rango de excelente protector, para Dermaglós 65 (UPF=50,26).

Tabla 7: Porcentajes radiación incidente/transmitida, global/eritémica y UPF para Dermaglós de diferentes SPF

Radiación	% T-Derma 15	% T-Derma 30	% T-Derma 65
UV	6,26	4,37	1,94
UVA	6,77	4,43	2,02
UVB	5,64	4,29	1,85
UV Erit	7,59	3,00	1,99
UVB Erit	7,59	3,00	1,99
UVA Erit	7,41	5,93	0,84
Vis400-550	21,57	9,28	5,34
UPF	13,17	33,29	50,26
UPF B	13,17	33,34	50,22
UPF A	13,49	16,87	119,08

5.3. Degradación de Cremas Protectoras

Es importante garantizar la eficacia de la protección que proporcionan las pantallas solares durante su período de utilización. La fotoestabilidad de las cremas se puede estudiar por análisis de transmitancia y posterior cálculo de UPF de muestras degradadas, ya sea en cámaras de simulación solar como también expuestas directamente a la acción de los rayos solares. Otra forma de análisis es a través de espectroscopia FTIR. Se hicieron ensayos de degradación de muestras de cremas en cámara y se analizó por el método de la transmitancia.

La figura 15 muestra la variación de los espectros de transmitancia de las cremas en el estado inicial (sin degradar) y luego de ser expuestas a la radiación UV, en la cámara de degradación, para tiempos de 15 minutos y 55 minutos.

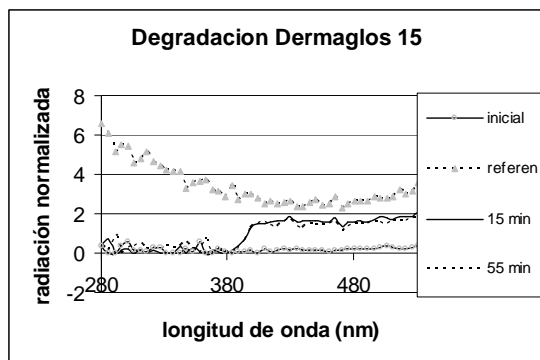


Fig. 15: Espectros de radiación incidente/transmitida para Dermaglós (FPS=15) a diferentes tiempos de irradiación.

En la figura 15 se observan evidentes cambios, debido a degradación, en diferentes zonas del espectro. Los cambios que nos interesan a los efectos de comprobar la fotoestabilidad del producto son menos evidentes en la gráfica (región de UVB). Los cálculos del UPF en función del tiempo permiten cuantificar esta degradación. La Tabla 8 nos muestra la variación de los valores del UPF.

Los cambios en el UPF de la crema Dermaglós 15 durante los primeros 55 minutos son evidentes, pasando de un UPF de 22,71 en el instante inicial a uno de 20,19 a los 15

minutos de permanecer en la cámara y terminando con el valor de 15,72. Este último valor se aproxima bastante al rotulado en la crema (UPF=15).

Tabla 8: radiación incidente/transmitida, global / eritémica y UPF para Dermaglós 15 degradado

Radiación	% T-Derma 15		
	Inicial	15 min.	55 min.
UV	3,79	5,14	8,50
UVA	3,59	6,13	9,91
UVB	4,04	3,83	6,63
UV Erit	4,40	4,95	6,36
UVB Erit	4,40	4,95	6,36
UVA Erit	5,38	2,84	7,09
Vis400-550	7,80	61,59	55,77
UPF	22,71	20,22	15,71
UPF B	22,72	20,19	15,72
UPF A	18,58	35,15	14,11

6. RESULTADOS EN LENTES DE SOL

6.1. Transmitancia de lentes absorbentes o de sol

En general, ninguna lente de las comúnmente usadas, proporciona una protección total al UV. Por esta razón hay que añadir las capas o filtros adecuados para conseguir este objetivo, pero además hay que tener en cuenta que el color de la lente no dice nada acerca de la absorción del UV.

Las figuras 16 y figura 17 muestran los espectros de incidencia / transmitancia correspondientes a un par de las lentes ensayadas. Uno de ellos adquirido en el mercado especializado y el otro en el mercado informal. El costo de la primera, Ray Ban Sunglasses, es de \$750 mientras que el de la segunda, Informal UV 400, es de solo \$25.

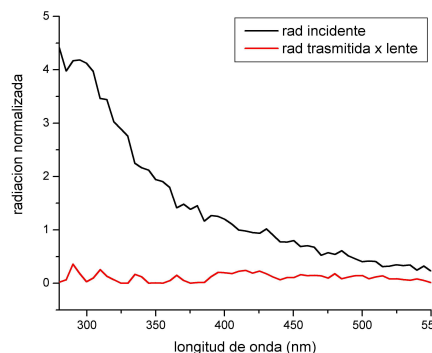


Fig. 16: Espectros de radiación incidente y transmitida en lente Ray Ban Mineral Sunglasses

El valor calculado de porcentajes de transmitancia en el espectro visible hasta 550 nm, UV_A, UV_B y UV de una muestra de lentes de sol se exponen en la Tabla 9. Cada valor obtenido se eligió como un valor medio de mediciones para cada muestra.

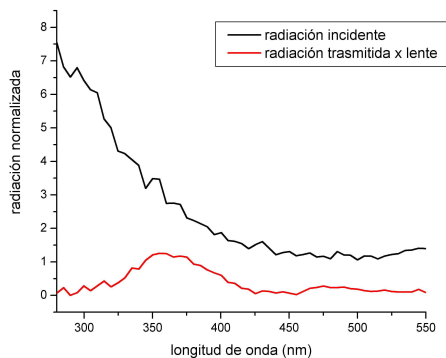


Fig. 17: Espectros de radiación incidente y transmitido en lente Informal UV400

Tabla 9: Transmitancia porcentual visible, ultravioleta y eritémica calculados para una muestra de lentes de sol.

LENTE	Etiquetado	%T Visible	%T UV _A	%T UV _B	%T UV
Polaroid	Sunglasses	14.28	1.51	1.24	1.36
Polycarbonato	De sol	10.05	3.82	3.98	3.91
Patagonia Orgánico	Antirreflex	13.75	1.69	2.53	2.16
Polaroid	Fotocromico	23.24	5.98	0.90	3.13
Ray Ban Mineral	Sunglasses	20.43	3.35	3.48	3.42
Orgánico (claro)	Fotocromico	83.48	7.61	1.98	4.40
Orgánico (oscuro)	Fotocromico	30.29	2.46	2.87	2.69
Informal Orgánico	400 UV	13.38	30.78	3.16	15.46
Informal Org 16	De sol	25.82	47.86	11.42	27.11
Ocupacional	Soldador	4.13	3.39	2.71	3.01

6.2. Análisis de transmitancia en lentes absorbentes

Las lentes Polaroid están construidas con capas que le otorgan resistencia al rayado, a la ruptura, absorben UV, tienen filtros polarizadores y absorben los rayos infrarrojos. Eliminan el 96% de los UV, en el visible son polarizadores al 80 % o sea que transmiten un 20% del espectro visible. La lente ensayada (Polaroid Sunglasses) muestra un buen acuerdo con transmisión del 1.36% en UV y 14.28% en visible. Las lentes de uso exterior, comúnmente llamadas gafas de sol, tienen una transmisión promedio muy baja, aunque, la Oficina Americana de Normalización, define como gafa de sol aquella que transmite menos del 67% de la luz incidente. Esto es una definición arbitraria, ya que para proporcionar una protección suficiente cuando se está bajo un sol brillante, es necesario que la gafa filtre entre un 80 y un 90 % de la luz incidente. La lente ensayada (Ray Ban

Mineral Sunglasses) muestra un buen acuerdo con transmisión del 3.42% en UV y 20.43% en visible.

El policarbonato es un material que se está imponiendo en la fabricación de lentes oftálmicas, fundamentalmente por su resistencia al impacto y su baja densidad. Sin embargo, para que procure a su vez protección al UV, es necesario añadirle una capa absorbente de UV. La lente ensayada (Policarbonato de sol) muestra un buena performance para días con sol brillante con transmisión del 3.91% en UV y 10.05% en visible. El tratamiento anti reflejante, además de su especificidad, tiene como consecuencia el aumento de la absorción del UV. La lente ensayada (Patagonia Orgánico antirreflex) muestra un buen acuerdo con transmisión del 2.16% en UV y 13.75% en visible.

Las lentes fabricadas con vidrio fotocromático, tienen la propiedad de oscurecerse cuando son expuestos a la luz, y volver a su estado original en ausencia de la misma. Los vidrios fotocromáticos difieren de los materiales fotocromáticos orgánicos, en que ellos son inmunes a la fatiga o deterioro producido por su uso continuado. En general, podemos decir que estos rangos de transmitancia varían entre un 20 y un 24% cuando la lente está totalmente oscurecida y un 60 a un 80 % cuando es lo más clara posible. Esto se verifica en la lente ensayada (Orgánico fotocromático) en sus estados *claro* y *oscuro*.

Existen en el mercado un gran número de gafas de sol no controladas, que transmiten importantes bandas de UV. Esto puede ser extremadamente peligroso en algunas situaciones. Por ejemplo, hay gafas de sol bastante oscuras, que atenúan mucho el visible pero prácticamente nada el UV. En esta situación, el portador al tener muy atenuado el visible puede exponerse, sin sentir molestias aparentes, a intensa radiación solar desconociendo la gran cantidad de UV que está recibiendo que por su efecto acumulativo puede resultar peligrosa. La lente ensayada (Informal Orgánico 400 UV) es un ejemplo con transmisión del 15.46% en UV y 13.38% en visible.

Las lentes ocupacionales, como la de los soldadores, deben absorber completamente la radiación UV e Infrarroja (IR). En consecuencia, al absorber los extremos del espectro, estas lentes tienen un color verdoso. Por otro lado, estas lentes deben absorber además en el espectro visible con objeto de atenuar la intensidad de luz. La lente ensayada (Ocupacional) tiene transmisión del 3.01% en UV y 4.13% en el visible.

7. CONCLUSIONES

Resulta conveniente dividir las en partes según refieran al laboratorio de medición o a las muestras de tejidos, cremas protectoras y lentes de sol ensayados.

En cuanto al laboratorio de medición: se pudo ensayar el espectrómetro OSM que permitió estudiar el grado de protección contra la UVR de diferentes tipos de tejidos de verano, cremas protectoras y lentes de sol, se construyó una cámara de ensayos adaptada al espectrómetro que permite portar muestras de tamaño variable como por ejemplo lentes de uso particular. Y finalmente, se puede decir que, los acuerdos encontrados entre los parámetros calculados en el laboratorio con los indicados en bibliografía y rotulaciones de productos avalan la performance del mismo. La cámara de ensayos diseñada permite controlar diferentes variables

ambientales (velocidad de aire, humedad, etc.); y parámetros (distancia de la muestra a la lámpara, uniformidad, intensidad de radiación, etc.) para realizar estudios a futuro de las influencias de cada parámetro por separado.

En cuanto a los tejidos: se ratificaron conclusiones obtenidas con medidores integrales en cuanto a que el tipo de fibra influye notablemente en el valor del UPF, el modal proporciona mayor protección solar que el algodón, los tejidos livianos de Fibra Sintética son muy permeables a la UVR. Existe una relación entre la porosidad y la transmitancia en el visible y con el UPF de los tejidos. En general, para cada tipo fibra, los valores de UPF aumentan cuando se incrementa transmitancia visible. Existe una concordancia entre los valores de UPF medidos con los citados en la referencia bibliográfica. Existe influencia de la porosidad en el Factor de Protección Ultravioleta (UPF) de los tejidos. En general, para cada tipo fibra, los valores de UPF aumentan cuando se incrementa el porcentaje de cobertura. Los tejidos livianos de Fibra Sintética han demostrado ser mucho más permeables a la UVR que los de modal y algodón. El Modal proporciona mayor protección solar que el algodón. Para ambos, el UPF está sobreestimado aunque caen en el rango de buena protección para el uno y muy buena protección para el otro. Finalmente a partir del método fotográfico se determinó el tamaño necesario de las fotos (de las telas), para una correcta interpretación y aplicación del método.

En cuanto a las cremas protectoras: se implementó una cámara y porta muestra que permite medir la transmitancia UV y visible de cremas y caracterizarlos por su UPF. Los valores obtenidos, en general, sobreestiman a los valores etiquetados en el producto, aunque en otros se obtuvo una total correspondencia. Se comprobó experimentalmente que el aumento en el espesor del cubrimiento no cambia el valor de transmitancia, indicando que el exceso en el cubrimiento no implica una garantía de protección. La técnica de caracterización por FTIR resulta rápida, precisa y no destructiva, convirtiéndose en una herramienta adecuada para monitorear cambios estructurales en las cremas. Se constató por esta técnica que las formulaciones comerciales de mayor SPF presentan perfiles distintivos en la región de absorción de los grupos carbonilos (1700 cm^{-1}). Por otra parte la región denominada de "huella dactilar" ($1000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$) es muy sensible a los posibles cambios, producto de los procesos degradativos, de manera que es factible usar esta técnica para determinar la fotoestabilidad de los materiales.

En cuanto a los lentes de sol: existe un gran número de lentes absorbentes disponibles en el mercado. La composición, el color y el costo no son criterios para predecir la cantidad de UV, visible o IR que una lente

transmitirá. Dentro de un rango similar de oscurecimiento, no hay forma de predecir cuál será más efectiva en el UV. El filtrado efectivo en una región del espectro, no garantiza que lo sea en cualquier otra región. Existen lentes de sol no controladas (mercado informal), que transmiten importantes bandas de UV. Hay gafas de sol bastante oscuras, que atenúan mucho el visible pero prácticamente nada el UV. El portador puede exponerse, desconociendo la gran cantidad de UV que está recibiendo. Los valores medidos de transmitancia de las muestras fueron los esperados, avalando el laboratorio implementado.

REFERENCIAS

- Algaba I (2004). Protección ultravioleta proporcionada por los textiles. *Tesis doctoral Universidad Politécnica de Cataluña*.
- Artigas J.M. (1995). *Óptica Fisiológica: Psicofísica de la visión* Ed. McGraw-Hill Interamericana
- ASTM Standards (2001). Annual Book, pp 1179-1182.
- Correa M P (2003). Índice ultravioleta: evaluación y aplicación. *Tesis doctoral Universidad de São Paulo, Brasil*.
- 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.
- McKinlay, A.F.; Diffey, B.L. (1987). A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. *CIE Journal* 6, 17.
- National Cancer Institute (2003). Cáncer de piel (no melanoma). <<http://www.cancer.gov/espanol/pdq/tratamiento/piel>>
- Riva, A. (1999). ¿Qué es el UPF de un tejido? *Revista de Química Textil* 144: 72-78.
- Rollano, F (2003). Radiación Ultravioleta y la piel. *La radiación Ultravioleta en Bolivia*, 57-75.
- SERNAC, Exposición al sol y filtros solares. Octubre 2003.
- Serpone N., Dondi D. y Albin A. (2007). Inorganic and organic UV filters: Their role and efficacy in sunscreens and sun care products. *Inorganica Chimica Acta*, 360, 794-802
- Sorribas Panero M (2003). *Memorias Diplomatura Universidad de Valladolid*.
- Standards Australia/Standards New Zealand (1996) , AS/NZS 4399, 4 -13.
- Suárez, H; Cadena, C. (2007). Protección anti UV proporcionada por tejidos: montaje del laboratorio y primeros ensayos. *AVERMA Vol 11*, 08.191-08.198.
- WHO (2002). Global solar UV index. A practical guide. *World Health Organization*.