



DETERMINACION DE LA FOTOPROTECCION DE LENTES DE SOL FOTOCROMÁTICOS, POLARIZADOS Y DE POLICARBONATO

Suárez, H.; Cadena, C.
UNSa-INENCO

Av. Bolivia 5150, 4400, SALTA- email: galossuarez@gmail.com; cadenacinenco@gmail.com

RESUMEN: Para evitar los efectos nocivos sobre la salud ocular de la exposición a dosis elevadas de radiación ultravioleta es imprescindible el uso de lentes oftálmicas solares. La protección que brinda una gafa de sol depende de los materiales y los filtros fotoprotectores que la constituyen. Su determinación se realiza “in Vitro”, a través de espectros de transmisión de radiación en la región ultravioleta y visible. Se presentan mediciones y análisis de transmitancia de lentes de sol comerciales con filtros fotocromáticos, polarizados y de policarbonato adquiridas en el mercado formal de Salta. De acuerdo a los requerimientos de FDA (Food and Drug Administration, USA), los resultados muestran que los lentes de sol de policarbonato y polarizados cumplen con los niveles de protección, mientras que los fotocromáticos solo se aproximan.

Palabras clave: Radiación UV, fotoprotección, lentes de sol, fotocromatismo, polarización, policarbonato.

INTRODUCCIÓN

El cristalino o lente del ojo actúa como el filtro principal de los rayos UV. A medida que el cristalino es expuesto a radiación UV excesiva, con los años pierde su transparencia. La córnea también filtra la radiación UV. Su capacidad para filtrar los rayos UV se reduce a medida que la córnea se hace más delgada, lo que aumenta los riesgos de daño por radiación UV. Los rayos UVA pueden causar una reducción de la visión central al dañar la mácula y provocar degeneración macular (Tonnesen et al, 1997)

La Organización Mundial de la Salud calcula que nuestros ojos reciben el 80 por ciento de toda la exposición a los rayos UV del sol que tendremos en la vida antes de los 18 años. El ojo se protege naturalmente cuando la radiación UV no es muy intensa o no dura mucho tiempo. La cornea y el cristalino absorbe los rayos UVB y el 98% de los rayos UVA bajo condiciones razonables. Cuando la exposición es excesiva puede ocasionar daños severos.

Como la exposición a la luz UV daña el ojo y es acumulativa durante la vida de una persona, se deben hacer todos los esfuerzos posibles para obtener lentes que ofrezcan fotoprotección UV máxima. El hecho de que un lente sea oscuro, no significa que tenga protección UV, por el contrario, puede significar un gran riesgo para el usuario porque el color oscuro hace que la pupila se dilate, permitiendo que pase más luz y radiación UV dentro del ojo. Es por eso que la protección 100 por ciento contra los rayos UV cada día gana más importancia para prevenir la degeneración macular o el desarrollo de cataratas a largo plazo (Tamayo, 2003).

Según el material del lente de sol varía su peso, su resistencia a los impactos (energía que soportan en Joules), su resistencia a las ralladuras y abrasión (expresada en Coeficiente Bayer). Cada material tiene su protección UV inherente, pero sólo es policarbonato es aceptable sin necesidad de tratamientos anti-UV. Los materiales “orgánicos” o “plástico óptico” son los más utilizados en la confección de lentes de sol debido a sus buenas cualidades absorbentes del UV, su menor peso y porque no se rompen. Estos materiales se rayan con facilidad, por lo cual sus superficies tienen un revestimiento protector. Los lentes “minerales” son más estables (no se deforman con el calor), son más duros pero se rompen en caso de impacto por lo que son sometidos a endurecimiento. Los tipos de filtros fotoprotectores (deben bloquear la llegada de radiación UV al ojo y reducir la intensidad luminosa) utilizados en la confección de lentes de sol son: filtros coloreados o tintados, filtros fotocromáticos, filtros espejados y filtros polarizados (Piñeiro et al., 2000).

Los requerimientos que deben cumplir los lentes de sol en cuanto al filtrado de la radiación UV y Visible son: eliminar entre 99 y 100% de radiación UVB ($T_{UVB} \leq 1\%$), eliminar el 95% de UVA ($T_{UVA} \leq 5\%$) y eliminar entre el 75 – 90 % de la radiación visible para evitar incomodidades oculares y reflexiones excesivas ($10\% \leq T_{vis} \leq 25\%$) (FDA, 2001).

DETERMINACIÓN DE LA FOTOPROTECCION DE LENTES DE SOL

Las lentes de sol 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 lentes de sol de diferentes marcas (Patagonia, Ray Ban, Kayak, etc.) adquiridas en comercios formales del ramo. Debido a que son diferentes los filtros fotoprotectores analizados, se determinará la fotoprotección analizando por separado muestras de lentes que poseen el mismo filtro solar.

Metodología de cálculo de la Transmitancia UVA, UVB y Visible de un lente de sol

Procesos de absorción, reflexión y transmisión difusa ocurren cuando radiación solar incide en la superficie de un lente. La transmitancia depende de la longitud de onda. El espectro de transmitancia es la representación de la radiación transmitida en función de la longitud de onda. En nuestro laboratorio la respuesta espectral se mide directamente mediante un equipo analizador de transmitancia ultravioleta-visible especialmente diseñado para este fin, el Optical Spectrometer (OSM) de Newport. Este equipo nos permite tomar datos para intervalos variables de longitud de onda (1nm, 5nm, etc.) en cada uno de los cuales el valor estimado es un promedio para ese intervalo (Suárez y Cadena, 2008).

Como los efectos del UVB, UVA y Visible son diferentes es conveniente analizar separadamente la transmitancia media en estos rangos (T_{UVB} , T_{UVA} y T_{Vis}). La transmitancia UVA, UVB y Visible de una lente de sol son medidas cuantitativas de la efectividad con que la lente puede proteger al ojo humano contra la radiación solar. Se determinan a partir del análisis de varias muestras extraídas del mismo producto (al menos cuatro muestras).

La siguiente fórmula general nos proporciona la transmitancia media para cada muestra en los diferentes rangos, variando solamente los límites inferior y superior de longitudes de onda correspondiente en la sumatoria.

$$T_i = (\sum S_\lambda T_\lambda \Delta\lambda) / (\sum S_\lambda \Delta\lambda) \tag{1}$$

Donde:

- S_λ : Irradiancia espectral.
- T_λ : Transmitancia espectral del tejido o crema.
- $\Delta\lambda$: Intervalo de longitudes de onda en nm.

y los diferentes rangos de sumatoria son:

T	Σ
T_{UVB}	280 nm < λ < 320 nm
T_{UVA}	320 nm < λ < 400 nm
T_{Vis}	400 nm < λ < 780 nm

A continuación se calcula la transmitancia media, como la media aritmética de las T_i de cada muestra.

$$T_m = \sum T_i / N \tag{2}$$

Donde:

- Σ : Suma para $1 < i < N$
- T_m : transmitancia media
- T_i : transmitancia de cada muestra
- N : número de muestras

Al ser pocas las muestras, la transmitancia final se obtiene mediante una corrección estadística consistente en restarle al T_m el error de la medida (calculado a partir de la desviación estándar del T_m y para un intervalo de confianza del 99% dado por la distribución *t de Student*). Esto nos asegura que los valores de T_{UVB} , T_{UVA} y T_{Vis} que tomamos como válidos, tienen una probabilidad del 99% de ser los de la muestra.

$$T = T_m - t_{\alpha, N-1} \cdot SD/N^{0.5} \tag{3}$$

Donde:

- $t_{\alpha, N-1}$: t de Student con un intervalo de confianza $\alpha=0.005$
- SD : desviación estándar del T_m

Esta transmitancia obtenida es la definitiva si es mayor que alguna de las medidas individuales de los especímenes, en caso contrario se asigna el menor valor de los T_i de los especímenes (Riva et al., 2008). La transmitancia porcentual en cada uno de estos rangos se obtiene de multiplicar cada transmitancia por 100.

El factor de protección (PF)

El cálculo de la fotoprotección de la lente de sol se medirá, además de por Transmitancia, a través del factor de protección (PF). Este es un análogo al Factor de Protección Ultravioleta (UPF) para medir el eritema en la piel. Un valor alto de PF indicará un nivel mayor de protección. El método básico de cálculo del PF se obtiene de la inversa de la transmitancia (T) de la lente en cada rango de radiación (Moore L, 2006). O sea es un cociente entre la radiación que llegaría al ojo si no tuviera un lente protector y la que llega cuando se ha interpuesto el elemento protector

$$PF = 1/T \tag{4}$$

LENTES FOTOCROMATICOS

El fotocromatismo

La capacidad de tener un lente claro en el interior y un lente que se oscurece automáticamente en el exterior es un gran beneficio. La habilidad para cambiar de claro a oscuro y viceversa es un proceso llamado fotocromática. Cuando el lente fotosensible se expone a la radiación ultravioleta (UV) solar, manifiesta una reacción fotoquímica en las moléculas fotocromáticas, haciendo que estas se redistribuyan de una forma activa que absorbe la luz visible. A medida que trillones de estas reacciones tienen lugar, el lente se oscurece rápidamente. Cuando se quita la luz UV, una reacción química impulsada por el calor del medioambiente reconvierte las moléculas fotocromáticas activadas a su forma original y el lente se aclara nuevamente. La cantidad de oscurecimiento depende de la forma como se aplican las moléculas en el lente, de la calidad y desempeño de las mismas moléculas fotocromáticas y también del sustrato del lente. Mientras más moléculas fotocromáticas activadas haya, más se oscurece un lente. El grado de oscurecimiento también depende del nivel disponible de radiación UV que impulse la reacción de activación y algunas veces también influye la temperatura del ambiente.

Diseño de lentes Fotocromáticos Orgánicos

Estos lentes están hechos de un monómero plástico ligero específicamente diseñado para ser compatible con los pigmentos fotocromáticos. Los fabricantes de lentes utilizan monómeros que los funden y polimerizan en lentes primarios, es decir sin recubrimiento. Estos lentes en bruto son luego transformados utilizando un proceso que fija las moléculas fotocromáticas a la superficie del lente (hasta una profundidad de 150 a 200 micrones para hacerlas parte integral de su estructura y así evitar que se pierdan con las ralladuras o se desvanezcan. Para una mayor durabilidad, la última etapa del proceso de manufactura aplica un recubrimiento resistente a ralladuras. También se puede aplicar una cubierta antirreflectiva (A/R) que va a aumentar la transmisión de luz a través del lente y ofrecer así una mayor claridad. En fotoprotección conviene que esta capa A/R se aplique solo a la cara interna del lente. Este proceso de fotocromática se puede aplicar a cualquier tipo de lente (visión sencilla, bifocal, progresivos, etc.) a la vez que se asegura la uniformidad total del color en todo el lente sin importar la prescripción.

Determinación de la Transmitancia y Factor de Protección de lentes fotocromáticos orgánicos.

En nuestro laboratorio analizamos las características fotoprotectoras de muestras de lentes fotocromáticos orgánicos bien diferenciados en cuanto al espesor de las mismas (diferentes graduaciones). El objetivo es determinar la variación del espectro de transmitancia, espectro de radiación solar transmitida y transmitancia media en los diferentes rangos de radiación (UV, UVA, UVB y Visible). La protección ocular fue determinada, además, usando el Factor de Protección (PF) para las diferentes bandas del espectro solar (UV, UVA, UVB y Visible). Esto nos permitirá analizar y comparar la performance de estos lentes de sol.

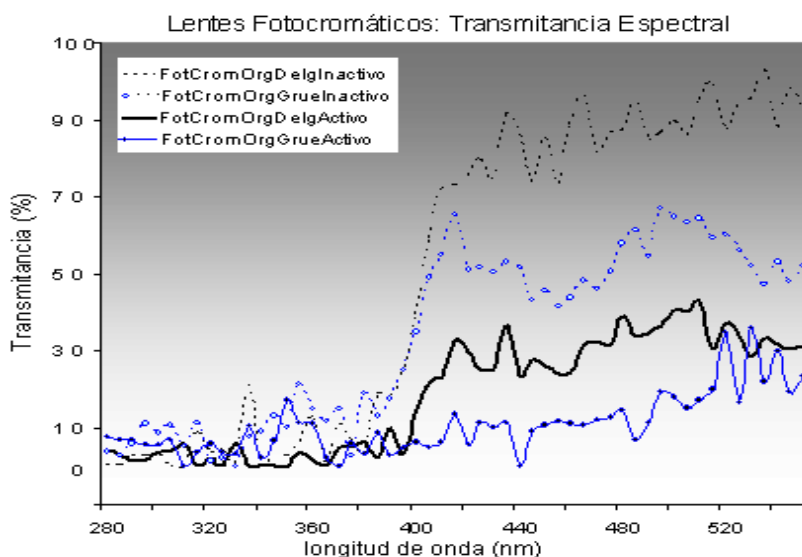


Fig. 1: Transmitancia espectral de lentes fotocromáticos de diferente espesor en estado inactivo y activo.

La figura 1 muestra el espectro de transmitancia espectral para lente fotocromático orgánico delgado (espesor 1mm) en su estado *inactivo* y *activo*; obtenido a partir del proceso y metodología de medición descritos en Suárez et al, 2010. El estado *activo* se logra después de exponer la lente a radiación solar por un período de 10 min. También se muestra el espectro de transmitancia espectral, obtenida a partir del proceso y metodología de medición descritos anteriormente; para lente fotocromático orgánico grueso (espesor 2mm) en su estado *inactivo* y *activo*. La figura 2 muestra el espectro de radiación solar incidente sobre el lente orgánico fotocromático (delgado y grueso) y los espectros de radiación solar transmitido por las gafas de sol en sus estados *activo* e *inactivo*.

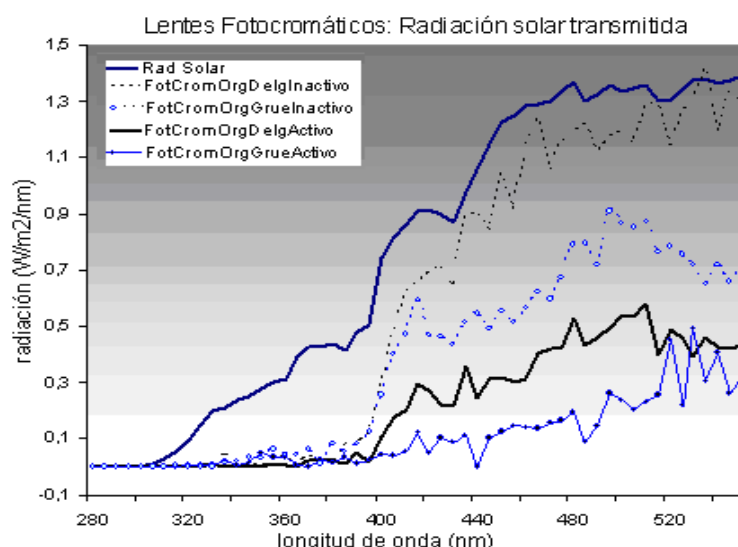


Fig. 2: Radiación solar transmitida por lentes fotocromáticos de diferente espesor en estado inactivo y activo.

Los espectros de transmitancia nos dicen que en la zona del ultravioleta esta es baja, deteniendo esta radiación peligrosa para la salud. En la región del visible es donde se producen grandes cambios para los estados inactivo (transmitancia elevada) y activo (transmitancia bajas debido al oscurecimiento de las moléculas fotocromáticas). El lente delgado es el que transmite más radiación visible, tanto en su estado *inactivo* como *activo*. Lo que ocurre en el ultravioleta se analizará a través de los valores de transmitancia media (UVA y UVB) y del PF respectivo.

A partir de los gráficos de las figuras 1 y 2 se pueden calcular la transmitancia media en cada uno de las bandas del espectro de radiación y los factores de protección correspondientes. Los valores se presentan en la Tabla 1.

LENTE ▼	Etiquetado	Visible		UVA		UVB		UV	
		T _{vis} (%)	PF	T _{UVA} (%)	PF	T _{UVB} (%)	PF	T _{UV} (%)	PF
Orgánico Grueso Inactivo	Fotocrómico	53 (3)	2	13 (1)	7	5,3 (0,4)	19	13 (1)	8
Orgánico Grueso Activo	Fotocrómico	15 (1)	7	5,7 (0,4)	18	4,3 (0,3)	23	5,6 (0,4)	18
Orgánico Delgado Inactivo	Fotocrómico	86 (3)	1	9,8 (0,9)	10	4,2 (0,3)	24	9,6 (0,9)	10
Orgánico Delgado Activo	Fotocrómico	31 (2)	3	3,3 (0,3)	30	2,0 (0,2)	50	3,2 (0,3)	31

Tabla 1: Transmitancia media porcentual y factores de protección de lentes orgánicos fotocromáticos de diferente espesor en estado activo e inactivo. Entre paréntesis se indica el error asociado a la medida.

Para una mejor comparación y análisis de los resultados obtenidos, la transmitancia media y los factores de protección se presentan en gráficos de barra en las figuras 3 y 4.

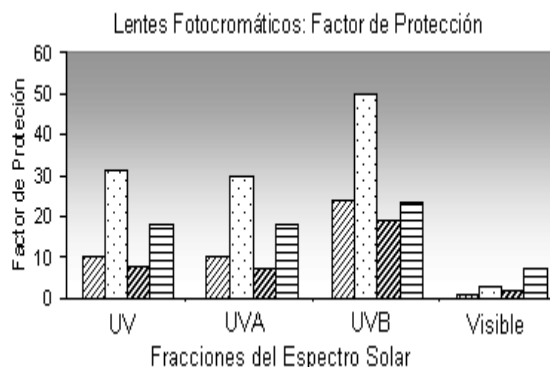
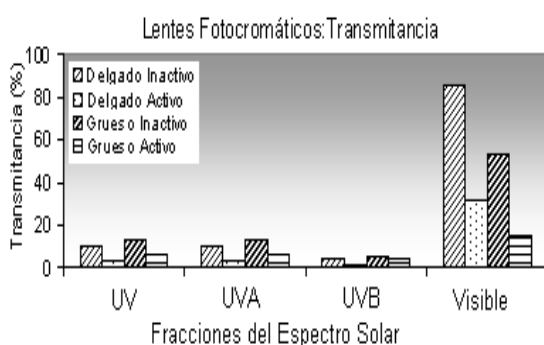


Fig. 3: Transmitancia de radiación solar para lentes fotocromáticos en los rangos UV, UVA, UVB y Visible.

Fig. 4: Factor de protección de lentes fotocromáticos.

Los cálculos en el estado *activo* (oscuro) para la lente de mayor espesor dan un 15% de transmisión visible, valor requerido en lentes de sol. En el estado *activo* el de menor espesor transmite por sobre de lo requerido por FDA (31%), este pobre filtrado puede ser por que los agregados fotocromáticos no fueron los suficientes en su diseño. En cuanto al bloqueo del UV, en el estado *activo* la transmitancia es de 5,6% y 3,2%. Los factores de protección en el UV son de 8 y 31 respectivamente.

La muestra ensayada de mayor espesor (estado activo) cumple con el requisito de transmitancia Visible para lentes de sol, aunque los filtros UV adicionados no logran satisfacer los requisitos de FDA. La lente de menor espesor no cumple el requisito en Visible aunque atenúa bastante este rango de radiación, sin embargo tiene buena protección en el UV.

LENTE POLARIZADOS

La Polarización

La luz del sol viaja en todas las direcciones. Cuando se refleja en una superficie horizontal, como una carretera, el agua o superficies metálicas y/o blancas, experimenta una intensa polarización en el plano horizontal. La luz vertical resulta útil para el ojo humano. Nos permite ver colores y contrastes, mientras que la luz horizontal concentrada sólo crea un reflejo o ruido óptico, lo cual reduce la visibilidad y crea una situación potencialmente peligrosa además de lo extremadamente molesto que es. Los lentes polarizados tienen un filtro de alineación vertical que bloquea la luz polarizada horizontalmente con gran eficiencia. Son útiles para conducir o pescar. Aunque la polarización no tiene efecto sobre la absorción de los rayos UV, muchos lentes polarizados son ahora combinados con sustancias que bloquean la luz ultravioleta.

Diseño de lentes Polarizados

La mayoría de los lentes polarizados son de un material orgánico llamado C.A.B. (Butirato Acetato de Celulosa), incluso los Polaroid; tienen 0,8 a 1 mm de espesor, resistencia a los impactos de 3 Joules, resistencia a la abrasión menor a 1,5 Bayer, son livianos con un peso: 1,3 g/cm³ y tienen una protección UV inherente hasta los 350nm. Esto es bajo y para alcanzar los 400nm se le hace un tratamiento. Se debe poner especial atención a la hora de montar estos filtros, ya que los planos de polarización no se deben desviar más de $\pm 5^\circ$ con respecto a la horizontal y además debe existir paralelismo entre los planos de polarización de ambos ojos.

Determinación de la Transmitancia y Factor de Protección de lentes orgánicos polarizados

Analizamos las características fotoprotectoras de muestras de lentes polarizadas orgánicas diferentes en cuanto a la marca. El objetivo es determinar la variaciones del espectro de transmitancia, espectro de radiación solar transmitida y transmitancia media en los diferentes rangos de radiación (UV, UVA, UVB y Visible). La protección ocular fue determinada usando el Factor de Protección (PF) para las diferentes bandas del espectro solar (UV, UVA, UVB y Visible). Esto nos permitirá analizar y comparar la performance de las lentes de sol polarizadas.

La figura 5 muestra el espectro de radiación normalizada provista por el espectrómetro (OSM de Newport) que incide sobre el lente orgánico polarizada Polaroid, el espectro de radiación normalizada transmitido por la gafa y la curva de transmitancia espectral obtenida a partir de las mediciones anteriores. La figura 6 muestra lo mismo que la precedente, pero para el lente orgánico polarizado Kayak.

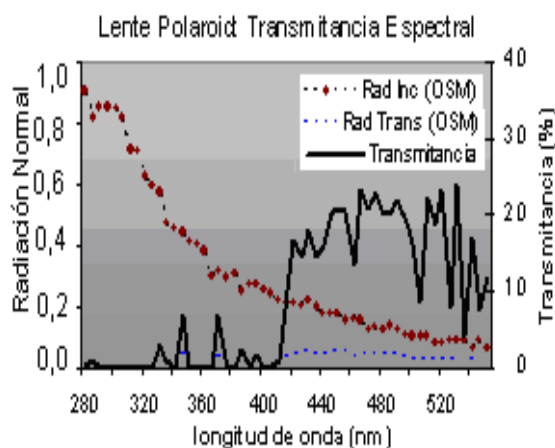


Fig.5: Transmittancia espectral para lente Polaroid.

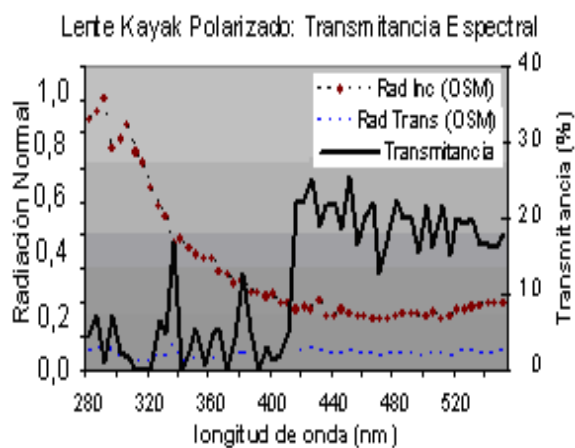


Fig. 6: Transmittancia espectral para lente Kayak polarizado

La figura 7 muestra el espectro de radiación solar incidente sobre el lente analizado y los espectros de radiación solar transmitidos por las gafas de sol polarizadas Polaroid y Kayak.

Los espectros de transmitancia nos dicen que en la zona del ultravioleta esta es baja, deteniendo esta radiación peligrosa para la salud. Se observa que la lente Polaroid presenta transmitancia menor en la región UV que la lente Kayak. En la región del visible la transmitancia ronda el 20% en ambas gafas. Esto se corroborará a través de la determinación de los valores de transmitancia media (UVA y UVB) y del PF respectivo.

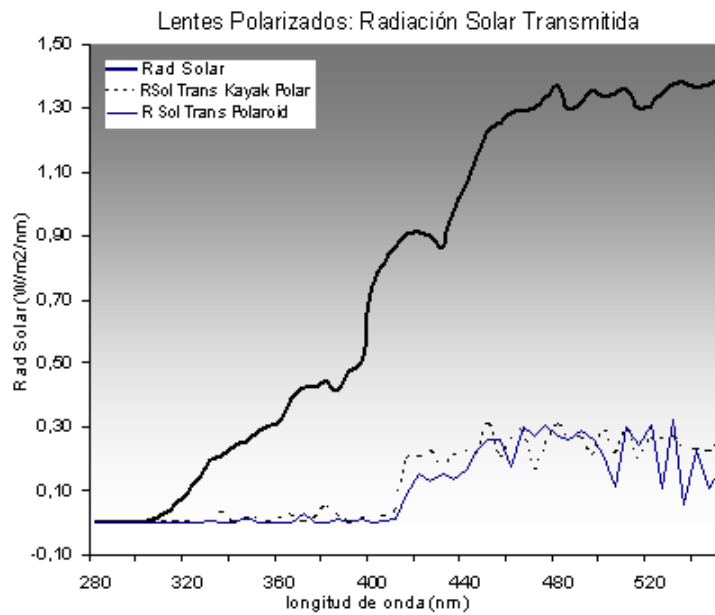


Fig. 7: Radiación solar transmitida por lentes polarizadas Polaroid y Kayak.

A partir de los gráficos de las figuras 5, 6 y 7 se pueden calcular la transmitancia media en cada uno de las bandas del espectro de radiación y los factores de protección correspondientes. Los valores se presentan en la Tabla 2. Adicionalmente, en Tabla 2 también se presentan resultados para lente polarizado con tratamiento fotocromático de la marca Polaroid.

LENTE ▼	Etiquetado	Visible		UVA		UVB		UV	
		T _{vis} (%)	PF	T _{UVA} (%)	PF	T _{UVB} (%)	PF	T _{UV} (%)	PF
Polaroid	Sunglasses	16 (1)	6	1,5 (0.1)	50+	0,00 (0,03)	50+	1,4 (0,1)	50+
Kayak	Polarizado, Sunglasses	18 (1)	6	4,4 (0,3)	23	0,10 (0,02)	50+	4,3 (0,3)	23
Polaroid	Fotocromático	27 (2)	4	6,7 (0,5)	15	2,1 (0,2)	48	6,5 (0,5)	15

Tabla 2: Transmitancia media porcentual y factores de protección de lentes orgánicos polarizados Polaroid y Kayak. Entre paréntesis se indica el error asociado a la medida.

Para una mejor comparación y análisis de los resultados obtenidos, la transmitancia media y los factores de protección se presentan en gráficos de barra en las figuras 8 y 9.

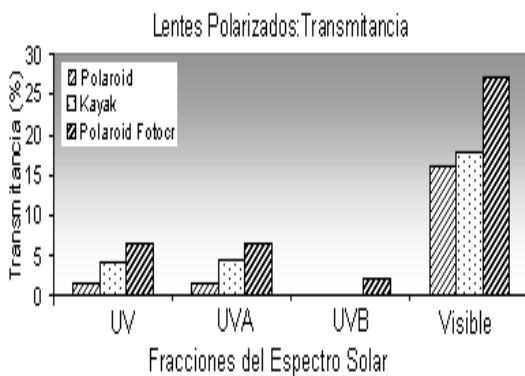


Fig. 8: Transmitancia de radiación solar para lentes polarizadas en los rangos UV, UVA, UVB y Visible.

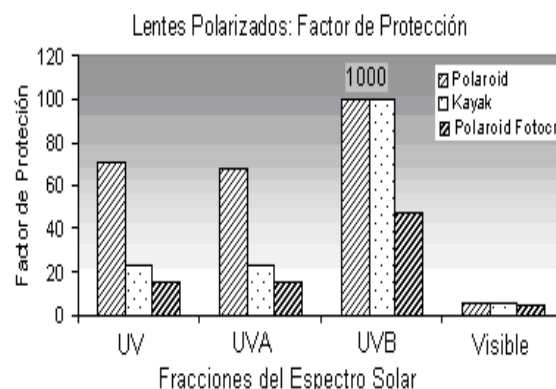


Fig. 9: Factor de protección de lentes polarizados.

Los lentes de sol polarizados 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 1.4 % en UV y 16% en visible; valores parecidos se obtienen para la lente polarizada Kayak con transmisión del 4.3 % en UV y 18 % en visible. La lente polarizada con tratamiento fotocromático (no sunglasses) presenta valores superiores con transmisión del 6.5% en UV y 27 % en visible. Los Factores de protección en estas lentes de sol fueron de 6 en el visible (4 en el polarizado fotocromático), mientras que en el rango UV fueron de 50+ y 23 para las marcas Polaroid y Kayak respectivamente (15 en el polarizado fotocromático). Se midió excelente protección (PF de 50+) en el UVB para estos lentes.

LENTES DE POLICARBONATO

El policarbonato

El plástico policarbonato es un material de altas prestaciones ya que tiene una combinación única de propiedades. Los policarbonatos son un grupo particular de termoplásticos (pueden ser moldeados en caliente). Algunas de las propiedades de interés en el diseño de lentes son: alta durabilidad, gran resistencia a la fragmentación, transparencia, ligereza, termoestabilidad e impide el paso del 98% de rayos ultravioletas dañinos.

Diseño de lentes de Policarbonato.

La mayoría de lentes de policarbonato tienen entre 1 mm y 2 mm de espesor, resistencia a los impactos de mas de 20 Joules, mediana resistencia a las ralladuras, es liviano(1,2 g/cm³) y tienen una protección UV inherente hasta los 380nm. Esto es bueno y para alcanzar los 400nm se le hace un tratamiento anti_UV.

Determinación de la Transmitancia y Factor de Protección de lentes de policarbonato

Analizamos las características fotoprotectoras de muestras de lentes orgánicas de policarbonato que difieren en cuanto a la marca y rotulado. El objetivo es determinar las diferencias en los espectros de transmitancia, espectro de radiación solar transmitida y transmitancia media en los diferentes rangos de radiación (UV, UVA, UVB y Visible). La protección ocular fue determinada usando el Factor de Protección (PF) para las diferentes bandas del espectro solar (UV, UVA, UVB y Visible). Esto nos permitirá analizar y comparar la performance de estas lentes de sol de policarbonato. La figura 10 muestra el espectro de radiación normalizada provista por el espectrómetro OSM incidente sobre el lente orgánico policarbonato de sol, el espectro de radiación normalizada transmitido por la gafa y la curva de transmitancia espectral obtenida a partir de las mediciones anteriores. La figura 11 muestra la transmitancia espectral para cuatro diferentes lentes: Policarbonato de Sol, Patagonia UV, Patagonia Antirreflex y Reef de Sol.

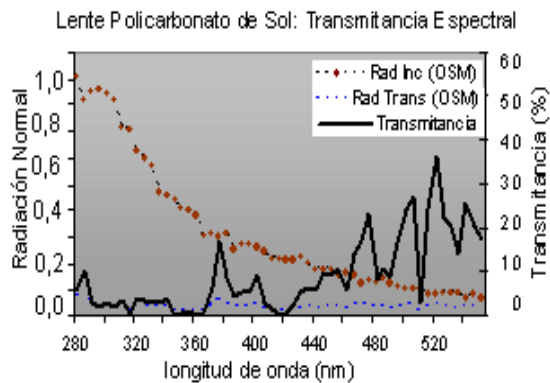


Fig.10: Transmittancia espectral para lente Policarbonato de sol.

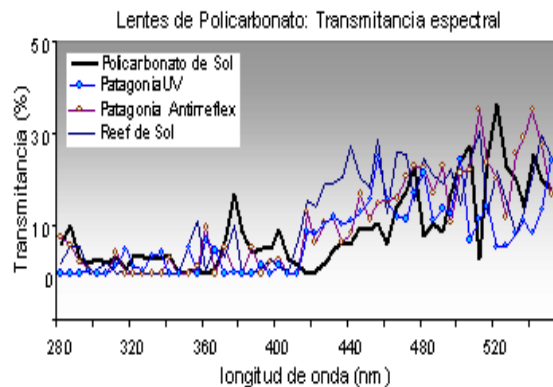


Fig.11: Transmittancia espectral para lentes de policarbonato de sol.

La figura 12 muestra el espectro de radiación solar incidente sobre el lente analizado y los espectros de radiación solar transmitidos por las gafas de sol de policarbonato

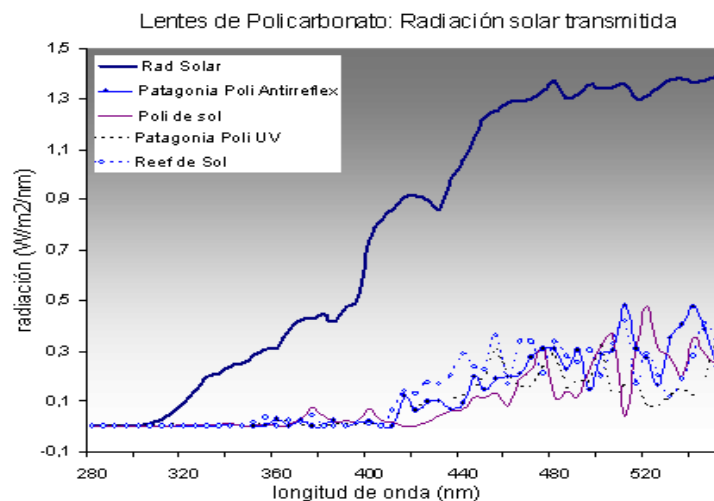


Fig. 12: Radiación solar transmitida por lentes de policarbonato.

El lente de sol de policarbonato se está imponiendo en el mercado de fabricación de lentes oftálmicas, fundamentalmente por la alta resistencia de este material al impacto y su baja densidad (que lo hace liviano al transporte). Para que procure protección hasta los 400nm es necesario añadirle una capa absorbente de UV. Los espectros de transmitancia nos dicen que en la zona del ultravioleta esta es baja, consecuente con la propiedad bloqueante de UV del policarbonato, deteniendo esta

radiación peligrosa para la salud. En la región visible se mantienen dentro de los niveles requeridos. Esto se corroborará a través de la determinación de los valores de transmitancia media (UVA y UVB) y del PF respectivo

LENTE ▼	Etiquetado	Visible		UVA		UVB		UV	
		T _{vis} (%)	PF	T _{UVA} (%)	PF	T _{UVB} (%)	PF	T _{UV} (%)	PF
Policarbonato	De sol	14 (1)	7	4,9 (0,4)	20	2,8 (0,3)	36	4,8 (0,3)	21
Patagonia UV	Sunglasses	12 (1)	8	1,7 (0,1)	59	2,5 (0,2)	40	1,7 (0,1)	50+
Patagonia Orgánico	Antirreflex	18 (1)	6	2,1 (0,2)	48	0,60 (0,05)	50+	2,0 (0,2)	50
Reef	Sunglasses	19 (1)	5	3,0 (0,3)	33	0,30 (0,03)	50+	2,9 (0,3)	34

Tabla 3: Transmitancia media porcentual y factores de protección de lentes de policarbonato orgánicos polarizados Polaroid y Kayak. Entre paréntesis se indica el error asociado a la medida.

A partir de los gráficos de las figuras 10,11 y 12 se pueden calcular la transmitancia media en cada uno de las bandas del espectro de radiación y los factores de protección correspondientes. Los valores se presentan en la Tabla 3, adicionalmente, también se presentan resultados para lente de policarbonato con tratamiento antirreflejante de la firma Patagonia. El antirreflejo (A/R) es una característica buena, pero no tanto para fotoprotección UV, solo disminuye el reflejo de nuestro propio ojo y pómulo en la superficie interna del lente.

Para una mejor comparación y análisis de los resultados obtenidos, la transmitancia media y los factores de protección se presentan en gráficos de barra en las figuras 13 y 14.

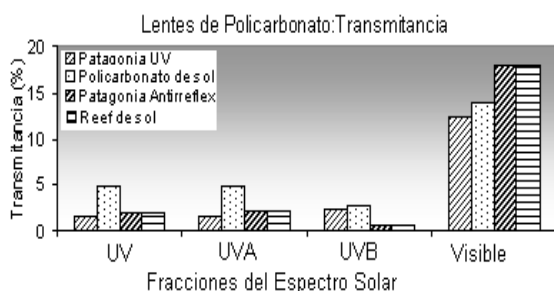


Fig. 13: Transmitancia de radiación solar para lentes polarizados en los rangos UV, UVA, UVB y Visible.

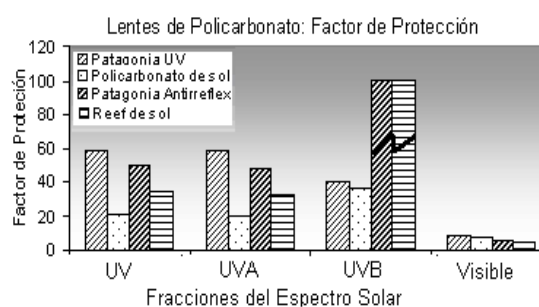


Fig. 14: Factor de protección de lentes polarizados.

Todas las muestras ensayadas cumplen con los requisitos de FDA para transmitancia en el Visible ($10\% \leq T_{vis} \leq 25\%$) con valores que van desde el 12% (Patagonia UV) hasta el 18% (Patagonia Antirreflex). Dos muestras, Patagonia Antirreflex y Reef de sol, cumplen con los requerimientos en el UVB ($T_{UVB} \leq 1\%$) con excelente protección ($PF=50+$). El requisito de transmitancia en el UVA ($T_{UVA} \leq 5\%$) se cumple en todas las muestras ensayadas siendo las de mejor desempeño las de la marca Patagonia. En cuanto a los factores de protección tenemos muy buenos valores tanto en el UV como en el Visible.

En nuestros cálculos de transmitancia (Tabla 3), el efecto del tratamiento A/R aplicado al lente se ve muy claro por el incremento en la transmitancia del Patagonia UV en el visible de 12% a 18% disminuyendo su PF de 8 a 6. En la región UV también sufre un incremento la transmisión (de 1,7 % a 2,0%) y su PF decrece de 59 (50+) a 50.

CONCLUSION

Para cuantificar la fotoprotección ocular que brinda una gafa de sol, se debe tener en cuenta tanto los materiales como los filtros que la constituyen. El color de la lente no dice nada acerca de la absorción del UV.

La determinación de la fotoprotección de una gafa de sol se realizó "in vitro", a través de espectros de transmisión de radiación (ultravioleta y visible) y usando el Factor de Protección para las diferentes bandas del espectro solar (UV, UVA, UVB y Visible). Esto nos permitió analizar y comparar la performance de estas lentes de sol.

Las muestras ensayadas de lentes de sol fotocromáticas cumplen con el requisito de disminuir la transmitancia de radiación Visible en su estado activo satisfaciendo (o estando muy próximo) lo solicitado por FDA. El filtro impregnado en la construcción del lente fotocromático debería ser opaco a las longitudes de onda menores a 400 nm. Pero la mayoría de los lentes permiten el pasaje de cierta cantidad de radiaciones en esas longitudes de onda resultando fotoprotección UV no satisfecha para alguna lente mientras que otras tienen buena protección.

Las muestras de lentes de sol polarizadas ensayadas cumplen con los requisitos de FDA para transmitancia en el Visible, UVA y UVB siendo muy buenos sus FP (excelentes en el UVB). La muestra Polaroid Fotocromático no es específicamente una lente de sol pero su transmitancia está cerca de cumplir el requisito de FDA en todos sus rangos.

Las muestras de lentes de sol de Policarbonato ensayadas cumplen con los requisitos de FDA para transmitancia en el Visible y ultravioleta, algunas con excelente protección en el UVB.

En general todos los lentes ensayados, adquiridos en ópticas especializadas, cumplen con los requisitos de FDA respecto a que la transmitancia en el visible sea inferior al 25%. Las lentes de sol polarizadas y las de policarbonato satisfacen a FDA en el UV.

BIBLIOGRAFIA

- Artigas J.M. (1995). Óptica Fisiológica: Psicofísica de la visión Ed. McGraw-Hill Interamericana.
- FDA (2001). Final Monograph for Sunscreen Drug Products for Over-the-Counter Human Use.
- Moore L y Ferreira J, Ultraviolet (UV) transmittance characteristics of daily disposable and silicone hydrogel contact lenses. *Contact Lens and Anterior Eye* 29 (2006) 115-122.
- Piñero D., Sampedro A., Pardo M. y Montalt J. (2000). Protección solar adecuada: Protección solar con lentes oftálmicas. *Gaceta Óptica* N° 344.
- SERNAC (2003). Exposición al sol y filtros solares. Chile.
- Sheedy JE, Edlich RF. Ultraviolet eye radiation: the problem and solutions. *J Long Term Eff Med Implants* 2004;14: 67-71.
- Sliney DH. Biohazards of ultraviolet, visible and infrared radiation. *J Occup Med* 1983;25:203-210.
- Suárez, H.; Acosta, D y Cadena, C (2010). "Análisis de la capacidad de fotoprotección de una pantalla solar distribuida por una entidad oficial" *AVERMA* vol 14, (ISSN 0329 5184).
- 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.
- Tamayo G. (2003). La Radiación Ultravioleta y el ojo humano. La radiación Ultravioleta en Bolivia, 79-84.
- Tonnesen H, Mathiesen S y Karlsen J. Ultraviolet Transmittance of Monthly Replacement Lenses on the Scandinavian Market. *Clinical Article. ICLC, Vol. 24, (1997):123-126.*

ABSTRACT

To avoid adverse effects on eye health from exposure to high doses of ultraviolet radiation, is essential to use solar ophthalmic lenses. The protection provided by a sunglass depends on materials and constituent sunscreen filters. Its determination is made "in vitro", through transmission spectra of radiation in the ultraviolet and visible. We present measurements and analysis of transmittance of sunglasses commercial filters of three types: photochromic, polarized and polycarbonate acquired in Salta, in legal businesses. According to the requirements of FDA (Food and Drug Administration, USA), the results show that sunglasses polarized and polycarbonate meet the standards of protection, while the photochromic single approach.

Keywords: ophthalmic lenses, sunglasses, photochromic, polarized, ultraviolet radiation,