



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

Grado en Óptica y Optometría

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

Medida de transmitancia de lentes oftálmicas y
el uso de filtros de radiación UV y de luz azul.

Presentado por Marta Moñivas Vaquero

Tutelado por: David Mateos Villán
Daniel González Fernández

Tipo de TFG: Investigación

En Valladolid a, 27 de mayo de 2022.

Agradecimientos

A mis tutores por la ayuda y el tiempo prestado para la realización de este TFG
A Centro Óptico Medina y Marta Castrillo Óptica por el material aportado, sin el cual,
no hubiera sido posible realizar el presente trabajo
A mis padres y hermano por apoyarme en cada etapa de mi vida

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT	4
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. El espectro electromagnético	5
1.1.1. Luz ultravioleta y factores influyentes en su radiación	5
1.1.2. Daños oculares causados por el UV	6
1.1.3. La luz azul y los ritmos circadianos.....	7
1.1.4. Nocividad de la luz azul.....	8
1.2. Transmitancia.....	9
1.3. Objetivos.....	10
CAPÍTULO 2. MATERIAL Y MÉTODO	10
2.1. Instrumentación	10
2.1.1. LI-COR1800	10
2.1.2. Lentes oftálmicas blancas	11
2.1.3. Lentes oftálmicas solares.....	12
2.2. Metodología.....	12
CAPÍTULO 3. RESULTADOS	15
3.1. Lentes oftálmicas blancas	15
3.2. Lentes oftálmicas solares.....	16
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN	19
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	21
BIBLIOGRAFÍA	21

RESUMEN.

En el actual trabajo de fin de grado se realiza un estudio de la transmitancia en el espectro del UV y la luz azul de diferentes lentes oftálmicas blancas y de distintas categorías solares, con la finalidad de comprobar que cumplan con la normativa ISO8980-3:2003. Para este fin se ha empleado el espectrorradiómetro LI-COR1800, con el cual se han podido hacer medidas de transmitancia entre los 300 y los 1100 nm. Todos los resultados serán representados a través de gráficas comparativas que se comentarán e interpretarán. Las transmitancias espectrales medidas en el laboratorio señalan que diferentes materiales protegen en mayor o menor medida contra la radiación UV. Los filtros de luz azul son más eficaces en las longitudes de onda más cortas, y no específicamente para las emitidas por los dispositivos electrónicos. Solo una de las lentes oftálmicas probadas presentaba protección contra la región infrarroja. Este hecho podría ser muy relevante, ya que la mayoría de las lentes son tintadas y presentan valores bajos de transmitancia en el rango visible provocando una dilatación pupilar.

ABSTRACT

This undergraduate thesis presents a study of the transmittance of UV and blue light of different ophthalmic lenses. White ophthalmic lenses and different solar categories are tested to check if they comply with ISO8980-3:2003 standard. For this purpose, the LI-COR1800 spectroradiometer is used, measuring spectral radiation between 300 and 1100 nm. All the results will be represented by comparative graphics, which will be discussed and interpreted. The spectral transmittances measured in lab point out different materials protect in greater or lesser extent against UV radiation. Blue light filters are more efficient at shorter wavelengths, not specifically for those wavelengths emitted from electronic devices. Only one of the ophthalmic lenses tested presented protection against the infrared region. This fact could be extremely relevant since most of the lenses are tinted and present low transmittance values in the visible range causing pupil dilation.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

1.1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

El espectro electromagnético abarca desde los rayos cósmicos, que tienen una longitud de onda muy baja, hasta las ondas de radio o de longitudes de onda aún mayores (ver Figura 1). En este trabajo, nos vamos a centrar en la luz visible, que comprende entre los 400 y los 780 nm; la radiación infrarroja, a partir de 780 nm y la ultravioleta, comprendida entre 100 y 400 nm. De estas tres, el ojo humano solo detecta la visible, de ahí su nombre, y las otras dos no somos capaces de percibir las, pero pueden causar daños si no nos protegemos correctamente frente a ellas.

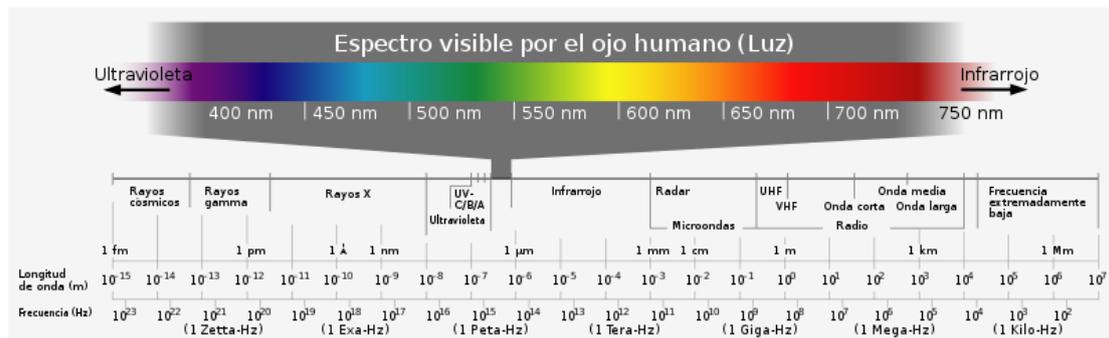


Figura 1. Espectro electromagnético. Imagen adaptada de https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico

1.1.1. Luz ultravioleta y factores influyentes en su radiación.

La luz ultravioleta se divide en:

- UV-A (315-400 nm): constituye el 5% de la radiación total que nos llega del sol.
- UV-B (280-315 nm): representa el 0.5% de la radiación procedente del sol que llega a la superficie terrestre, ya que parte es absorbida por la atmósfera.
- UV-C (100-280 nm): esta radiación no llega a la superficie terrestre gracias a la capa de ozono, situada en la estratosfera, que bloquea por completo esta parte del espectro^[1].

La radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre va a depender de distintos factores que harán que, en cada zona del planeta se vean más o menos afectados por esta. Entre ellos se encuentra:

1. La nubosidad: la presencia de nubes puede disminuir la cantidad de UV que llega a la superficie, sin embargo, este rango espectral resulta menos atenuado por estas que longitudes de onda más largas.
2. La altitud: cuanto más alto esté el lugar con respecto al nivel del mar, la atmósfera que se encuentra por encima será menor y, por tanto, filtrará menos radiación. Se estima que cada 1000 metros de altura, la radiación que alcanza la superficie se incrementa entre un 10-12%.

3. La elevación solar: el momento del día es otro factor que influye en la cantidad de radiación que nos llega, que también depende de la latitud del punto geográfico. Así, cuando el sol alcanza el punto más alto, incide perpendicular a la superficie y la intensidad es mayor.
4. La reflexión terrestre: también denominada albedo, es el porcentaje de luz que refleja una superficie con respecto a la incidente. Por ejemplo, la nieve refleja hasta un 80%, el agua del mar un 25% o la arena de la playa un 15%.
5. El ozono: la capa de ozono absorbe la radiación UV, siendo capaz de absorber por completo el UV-C (que es la más dañina) y gran parte del UV-B, de manera que nos llega el UV-A y parte del B. Con el cambio climático, esa capa de ozono se destruye en ciertas zonas y reduce su espesor, disminuyendo su eficacia.
6. Los aerosoles: sustancias que están suspendidas en la atmósfera como el polvo, la arena de los desiertos o cenizas de incendios dispersan la radiación y hacen que llegue a la superficie una cantidad menor^[2].

1.1.2. Daños oculares causados por el UV.

La córnea, el cristalino y los anejos oculares son los encargados de absorber parte de la luz UV, sobre todo la UV-B, que no pasa más allá del cristalino, como se puede ver en la Figura 2, para evitar el daño en las estructuras internas del globo ocular. Y el UV-A es absorbido por las estructuras internas del ojo (cristalino y humor vítreo)^[3]. El paso de radiación UV cambia con la edad y se estima que en la edad adulta solo alcanzaría la retina un 2% de la UV-A y un 1% de la UV-B^[4].

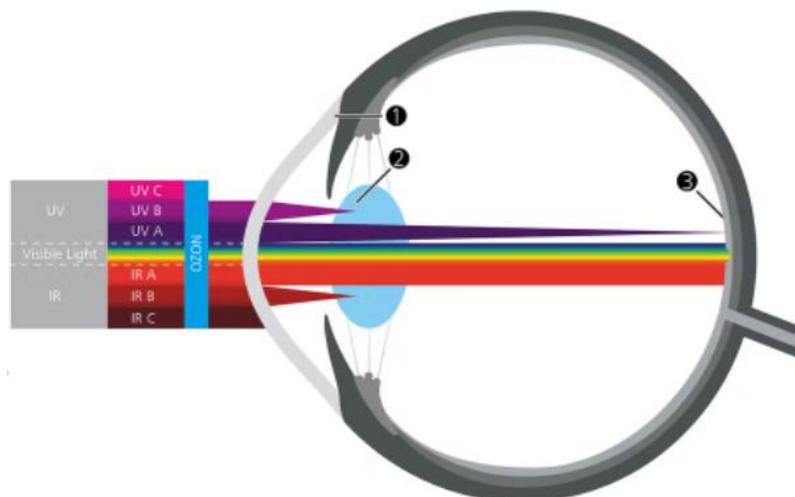


Figura 2. Penetración de radiación solar en el ojo. Imagen adaptada de <https://www.zeiss.es/vision-care/sobre-nosotros/newsroom/noticias/2018/zeiss-eyeglass-lenses-available-with-full-uv-protection-beginning-in-2018.html>

La continua exposición a estas radiaciones a lo largo de la vida provoca diferentes alteraciones, por ejemplo, en la conjuntiva, como puede ser el pterigium o la pinguécula. También en la piel de los párpados, aumentando el riesgo de padecer carcinomas de células basales, carcinomas de células escamosas y melanomas y en el cristalino, produce su opacificación dando lugar a la catarata^[5].

Además, una exposición a dosis altas de un rango de entre los 220 y los 340 nm produce fotoqueratitis y fotoconjuntivitis^[6]. Estas se producen por el reflejo de la luz ultravioleta en distintas superficies como la nieve, hielo, arena de la playa o del desierto y causan una inflamación dolorosa de la córnea o de la conjuntiva respectivamente^[7]. La fotoqueratitis se manifiesta transcurridas entre 6 y 12 horas tras la exposición y se resuelve en un periodo de 48 horas^[3]. No es muy común que las lesiones causadas sean permanentes y en ningún momento la córnea se vuelve tolerante a este tipo de radiación^[6].

1.1.3. La luz azul y los ritmos circadianos.

Dentro del espectro visible, se encuentra la luz azul que abarca desde los 400 nm hasta los 500 nm. La luz azul cumple acciones importantes como la discriminación de los colores y la visión nocturna, ya que los conos S y los bastones, encargados de esta función, consiguen su máxima sensibilidad en la luz azul o azul-verde^[8].

Además, tiene beneficios en nuestra salud, por ejemplo, influyendo en los ritmos circadianos. Estos, se definen como los cambios regulares en el estado mental y físico que ocurren en un periodo aproximado de 24 horas, el reloj interno de cada persona^[9], y se ocupan de mantener sincronizados internamente la mayoría de los ritmos biológicos y psicológicos.

Un 1% de las células ganglionares de la retina contienen melanopsina y son denominadas células ganglionares de la retina fotosensibles intrínsecas (ipRGC). Se encargan de procesar y enviar señales al núcleo supraquiasmático (SCN), el llamado reloj maestro del cerebro^[4]. Desde allí, el recorrido que siguen esas señales se encuentra esquematizado en la Figura 3, donde el SCN, proyecta fibras eferentes a la porción parvicelular dorsal del núcleo paraventricular del hipotálamo (PVN). En este, se activan neuronas que proyectan sus axones a las neuronas simpáticas preganglionares de la columna intermediolateral (CIL) del cordón espinal y neuronas simpáticas noradrenérgicas del ganglio cervical superior (GCS), que forman los axones de nervus conarii, los cuales cursan intracranealmente a los lados de la tienda del cerebelo y se fusionan en la línea media para entrar en la glándula pineal por su polo distal posterior. Así es como el SCN se comunica con la glándula pineal, para la regulación del ciclo de melatonina^[10].

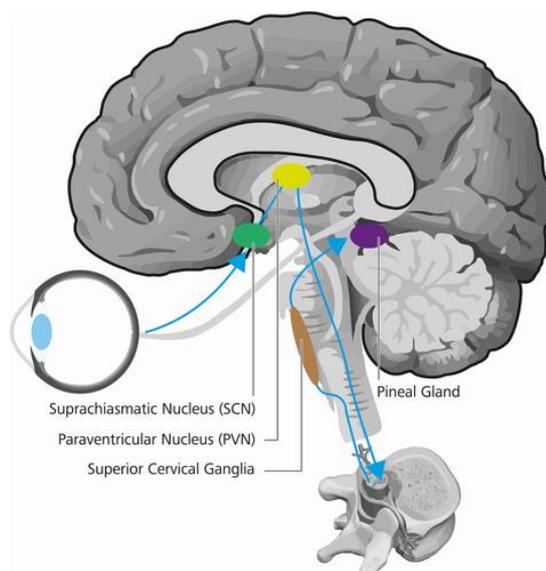


Figura 3. Vía de transducción de señales de la información circadiana. Imagen adaptada de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jbio.201900102>.

La luz azul juega un papel muy importante en estos procesos, ya que la exposición a esta luz durante el día hace que se inhiba la secreción de melatonina (hormona encargada de regular el sueño) por parte de la glándula pineal, manteniéndonos despiertos. Sin embargo, actualmente, con el uso justamente antes de acostarse de los dispositivos electrónicos y las iluminaciones de tipo LED que emiten luz azul, pueden producir alteraciones en los ritmos circadianos normales y la calidad del sueño^[4].

1.1.4. Nocividad de la luz azul.

La acumulación de lipofuscina y la formación de drusas en la membrana de Bruch inducen la apoptosis de las células del EPR, lo que da lugar a la DMAE. Una exposición larga a la luz azul induce la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), como el peróxido de hidrógeno y los superóxidos, causando estrés oxidativo que desemboca en la muerte celular de los fotorreceptores. La luz de los LED azules genera más cantidad de ROS que la que inducen la luz LED blanca o verde durante el mismo tiempo e intensidad de exposición y, por tanto, conducen a una mayor apoptosis celular^[11,12, 13].

En la juventud, el cristalino es totalmente transparente y permite mayor paso de luz. Con la edad, el cristalino se va pigmentando y adquiere una coloración más amarillenta, provocando una disminución de la transmitancia, de manera que protege a la retina frente a la luz azul y la radiación ultravioleta^[14].

Hay que tener en cuenta que tras una operación de catarata, a los ojos afáquicos y los pseudoafáquicos a los que se les implanta una LIO transparente, les llega a su retina una mayor cantidad de luz azul debido a que ya no poseen la protección del cristalino. Por ello, se plantea colocar lentes intraoculares amarillas que bloqueen las radiaciones más energéticas (ultravioleta y azul), frente a las LIO tradicionales que solo filtran el UV como se representa en la Figura 4^[14].

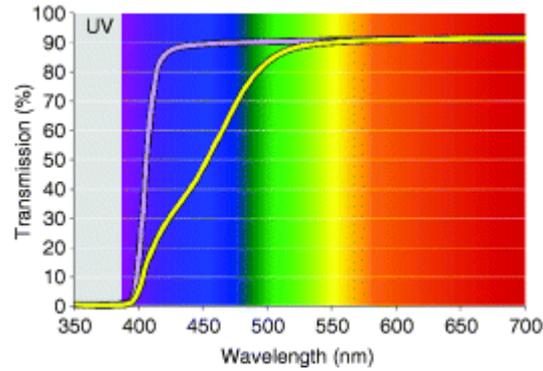


Figura 4. Transmitancia de una LIO tradicional (línea violeta) frente a una LIO amarilla (línea amarilla). Imagen adaptada de [14].

Estas LIO amarillas reducen la sensibilidad escotópica a la de un paciente de unos 53 años y afectan levemente a la percepción del color azul. Sin embargo, disminuyen la aberración cromática, mejoran la sensibilidad al contraste y hacen que haya un menor deslumbramiento, de manera que el implante de estas lentes podría estar indicado en pacientes con maculopatías relacionadas con la edad o con riesgo de desarrollarlas.

1.2. TRANSMITANCIA.

Un haz de luz al llegar a una lente, parte de esa luz se refleja, otra es absorbida por la lente y el resto se transmite y es la que posteriormente llegaría al ojo^[15]. La transmitancia (τ) se calcula haciendo el cociente entre el flujo luminoso transmitido por la lente y el flujo que ha incidido sobre ella. Normalmente se expresa en porcentaje, quedando la ecuación 1 que se muestra a continuación.

$$\tau(\lambda) = \frac{I_t}{I_o} \times 100 \quad (1)$$

Siendo I_t el flujo de luz que la lente transmite e I_o el flujo total de luz incidente. Esta ecuación representaría la transmitancia espectral, es decir, la transmitancia de una lente para cada longitud de onda. Se puede definir la transmitancia para algunos intervalos de longitud de onda que serán relevantes en lentes oftálmicas. Las definiciones para el rango luminoso (τ_V), UV-A (τ_{suva}) y UV-B (τ_{suvb}) siguen las indicaciones dadas por la norma ISO 8980-3:2013: ^[16]

$$\tau_V = 100 \times \frac{\int_{380}^{780} \tau(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot S_{D65}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{380}^{780} V(\lambda) \cdot S_{D65}(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (2)$$

$$\tau_{SUVB} = 100 \times \frac{\int_{280}^{315} \tau(\lambda) \cdot E_S(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{280}^{315} E_S(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (3)$$

$$\tau_{SUVA} = 100 \times \frac{\int_{315}^{380} \tau(\lambda) \cdot E_S(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{315}^{380} E_S(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (4)$$

Donde:

$\tau(\lambda)$ es la transmitancia espectral de las lentes.

$V(\lambda)$ es la función de eficiencia luminosa espectral para la luz día.

$S_{D65}(\lambda)$ es la función de distribución espectral de radiación del iluminante patrón CIE D65.

$E_S(\lambda)$ es la distribución de la radiación solar al nivel del mar, para una masa de aire 2.

$S(\lambda)$ es la función de eficiencia relativa espectral para la radiación UV.

1.3. OBJETIVOS.

El principal objetivo que persigue este trabajo es conocer la transmitancia de distintas lentes oftálmicas que poseen filtro para bloquear la luz ultravioleta y la luz azul. Se prestará especial atención al rango de emisión de las pantallas de los dispositivos electrónicos tan empleados en la actualidad y así poder analizar la efectividad de los filtros estudiados.

Otro objetivo es comprobar que las lentes solares cumplen con la normativa ISO 8980-3:2013 de protección contra la luz ultravioleta A y B y ver la diferencia de transmitancia que hay entre lentes de las distintas categorías solares que existen.

CAPÍTULO 2. MATERIAL Y MÉTODO.

2.1. INSTRUMENTACIÓN.

2.1.1. LI-COR 1800.

El espectrorradiómetro portátil LI-1800 permite medir las radiaciones espectrales desde los 300 hasta los 850 nm, pero se puede ampliar hasta los 1100 nm. En la Figura 5 se presenta un esquema de la estructura interna del instrumento, donde se pueden apreciar las distintas partes que se explican a continuación.

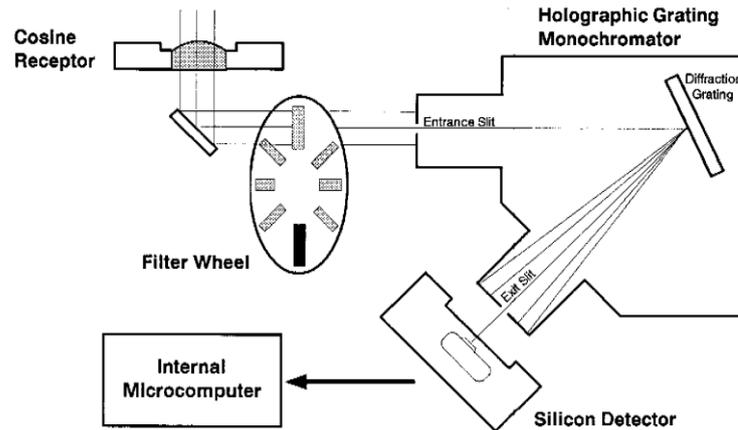


Figura 5. Esquema del espectrorradiómetro LI-COR1800. Imagen adaptada de [17].

Consta de un receptor coseno de cúpula de PTFE con un campo de visión de 180° . También dispone de una rueda con 7 filtros controlada por el ordenador interno del instrumento, cuya función es filtrar la luz que no corresponde a la longitud de onda que se está midiendo. Uno de los filtros es opaco, de manera que impide el paso de luz, este se pasa antes y después de cada escaneo para conocer el offset.

Tras la rueda de filtros, la luz pasa por la rendija de entrada del monocromador hasta llegar a la rejilla holográfica, que se encarga de dispersar la radiación en sus componentes espectrales. Tras sufrir la difracción, las diferentes longitudes de onda atraviesan la rendija de salida para alcanzar el detector. El ancho de las rendijas de entrada y salida es inversamente proporcional a la resolución del sistema, de manera que a menor anchura de las rendijas se conseguirá una mayor resolución, pero disminuye la señal recibida por el detector. De esta forma, hay que encontrar un equilibrio entre la resolución y la señal/ruido.

Una vez que la luz sale por la rendija de salida del monocromador, llega hasta el detector que es un fotodiodo de silicio. Lo que hace el detector es producir una corriente proporcional a la cantidad de radiación, que se amplifica, se convierte en voltaje y pasa al microordenador interno [17].

2.1.2. Lentes oftálmicas blancas.

Todas las lentes que se utilizan, tanto las blancas como las solares, son neutras (para que la potencia no interfiera de ninguna forma sobre el comportamiento de la luz al pasar por ellas) y orgánicas.

- Lente Easy-Org 1.56 Blue (Prats): Se trata de una lente con índice 1.56 y filtro para bloquear la luz azul.
- Lente Blue Safe 1.6 QuarzXtrem (Prats): Tiene un índice de refracción de 1.6, filtro que según indican elimina hasta los 410 nm de manera que bloquearía la radiación UV en un 99.8% y la parte más energética del azul (nociva para la salud ocular) dejando pasar la menos energética, que corresponde con una mayor longitud de onda, la cual sería beneficiosa.

- Lente Superfin eENERGY Blue IR (INDO): Es una lente de índice 1.502, con filtro para la luz azul y un filtro de protección del infrarrojo.
- Quarz Airon^{UV} Blue Safe (Prats): Posee un tratamiento antirreflejante multicapa que reduce más del 80% de la luz UV que incide indirectamente, además de un antirreflejante para bloquear la luz azul.
- Quarz Blue^{UV} (Prats): Presenta el tratamiento para el bloqueo de la luz azul e incorpora protección contra la radiación UV.
- Quarz XtraMax^{UV} (Prats): Consta de un antirreflejante de extrema resistencia que protege de la radiación UV.

2.1.3. Lentes oftálmicas solares.

Contamos con varias lentes de sol de distintas gamas de colores y dentro de cada una de ellas, de distinta categoría de transmitancia luminosa con tintados desde los muy claros hasta muy oscuros. Todas las lentes de HOYA que se han utilizado no contaban con tratamiento antirreflejante por ninguna de las dos caras y tienen un índice de refracción de 1.5.

- Lentes solares HOYA Gris 10, 25, 75, 85 (hit) y 90 (hit+).
- Lentes solares HOYA Ámbar 10, 15, 25, 75, 85 (hit) y 90 (hit+).
- Lentes solares HOYA Verde 15, 25, 50, 75 y 85 (hit).
- Lentes solares HOYA Marrón 10, 15, 75, 85 (hit) y 90 (hit+).

2.2. METODOLOGÍA.

Se realiza un montaje en una mesa óptica de trabajo con todo el instrumental necesario para la toma de mediciones (ver Figura 6). Lo primero de todo es la fuente de iluminación, se trata de una lámpara FEL de 1000 W que emite radiación desde el UV hasta el infrarrojo y está compuesta por un filamento de Wolframio recubierto por un vidrio de cuarzo, el cual, no absorbe radiación en el espectro del UV.

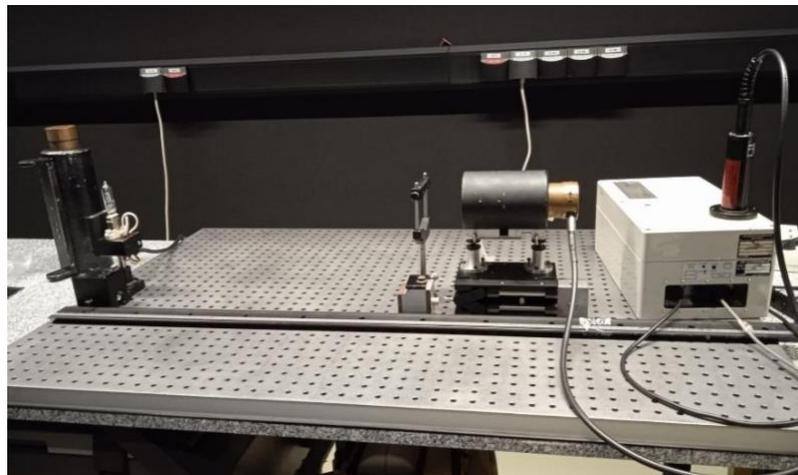


Figura 6. Montaje. De izquierda a derecha: lámpara, soporte para las lentes, colimador y LI-COR1800.

A continuación, se coloca un soporte donde se irán poniendo las diferentes lentes de las que se medirá la transmitancia. Por detrás, situamos un colimador de manera que recoja los rayos que salgan de la lente en todas las direcciones y lo transforme en un flujo de rayos paralelos entre sí. Por último, se sitúa el espectrorradiómetro LI-COR1800. Una vez completado el montaje, se debe alinear correctamente todo para que la luz incida sobre la lente y al pasar a través de esta sea recogida por el espectrorradiómetro.

El espectrorradiómetro está conectado por un puerto serie al ordenador donde está instalado el programa WIN 1800 suministrado por el fabricante, el cual recoge todas las medidas del LI-COR1800. Permite seleccionar la frecuencia de escaneo, siendo su máxima resolución 1 nm entre 300 y 1100 nm.

Lo primero de todo es tomar medida del offset del instrumento para luego restarlo del cálculo de la transmitancia de cada lente. Para ello, se apagan todas las luces del laboratorio y se enciende el espectrorradiómetro, de manera que vamos a ver cuánta cantidad de luz capta en condiciones de oscuridad total.

La medida del offset obtenida, representada en la Figura 7, muestra un número de cuentas inferior a ± 10 cuentas digitales, sin evidenciar una dependencia espectral. Por tanto, se puede considerar despreciable a la hora de realizar los cálculos, ya que es de varios órdenes de magnitud por debajo de la señal que se emite por la fuente de luz.

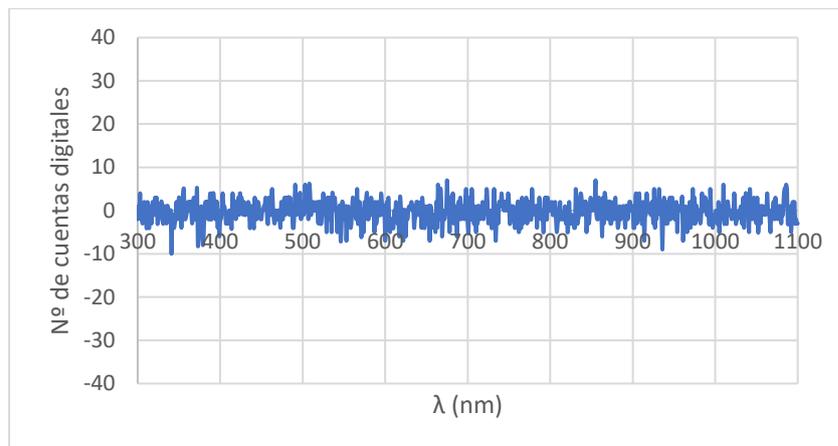


Figura 7. Medida del offset del espectrorradiómetro LI-COR1800.

Una vez obtenido el offset, se enciende la lámpara y se esperan unos minutos con el fin de que se estabilice la emisión y se toma una medida de referencia sin colocar ninguna lente, así conoceremos qué luz está emitiendo. Se procede a colocar cada una de las lentes oftálmicas en el soporte situado entre la fuente de luz y el LI-COR para tomar medida de todas ellas. Entre cada lente se tomará una medida de referencia para que los cálculos de transmitancia sean más precisos. Luego, viendo que la señal de luz era muy estable, sin mostrar diferencias como puede verse en la Figura 8, se pasó a hacer esta medida de referencia cada tres lentes. Este hecho permitió optimizar el tiempo de toma de datos, reduciendo el tiempo de funcionamiento de la lámpara.

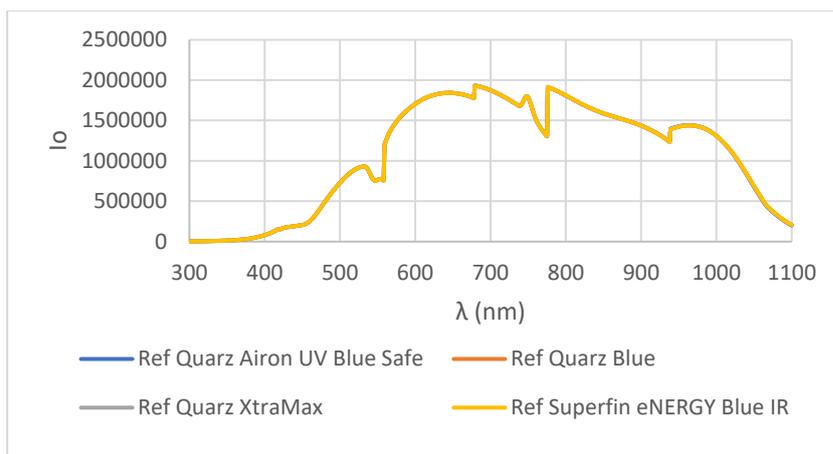


Figura 8. Medidas de referencia para cuatro tipos de lentes.

Para terminar, traspasamos todos los datos recogidos por el programa WIN 1800 y se abren en Excel, donde se calculan las transmitancias a partir de la ecuación 1.

Después, calculamos la transmitancia luminosa (τ_v) y para las lentes solares, además, la transmitancia solar UV-A (τ_{SUVA}) y UV-B (τ_{SUVB}) con el fin de comprobar que cumplen con la norma ISO8980-3:2003, la cual indica la máxima transmitancia de UV que puede tener cada lente dependiendo de la categoría de transmitancia luminosa a la que pertenezcan (ver Tabla 1).

Tabla 1 – Categorías por transmitancia luminosa y los correspondientes rangos permisibles de transmitancia en el ultravioleta solar según la norma ISO8980-3:2003.[16]

		Rango espectral visible		Rango espectral ultravioleta	
		Rango de transmitancia luminosa τ_v		Máximo valor de transmitancia solar UV-A τ_{SUVA}	Máximo valor de transmitancia solar UV-B τ_{SUVB}
Descripción tintado	Categoría transmitancia luminosa	De más %	A %	>315 nm a 380 nm UV-A	>280 nm a 315 nm UV-B
Tintado claro o muy ligero	0	80.0	100	τ_v	$0.05\tau_v$
Tintado ligero	1	43.0	80.0	τ_v	$0.05 \tau_v$
Tintado medio	2	18.0	43.0	$0.5 \tau_v$	1.0% absoluto o $0.05 \tau_v$, lo que sea mayor
Tintado oscuro	3	8.0	18.0	$0.5 \tau_v$	1.0% absoluto
Tintado muy oscuro	4	3.0	8.0	1.0% absoluto o $0.25\tau_v$, lo que sea mayor	1.0% absoluto

CAPÍTULO 3. RESULTADOS.

En este capítulo, se van a mostrar mediante gráficas las transmitancias calculadas a partir de los datos recogidos por el espectrorradiómetro LI-COR 1800 y así, comparar el comportamiento entre unas lentes y otras.

3.1. LENTES OFTÁLMICAS BLANCAS.

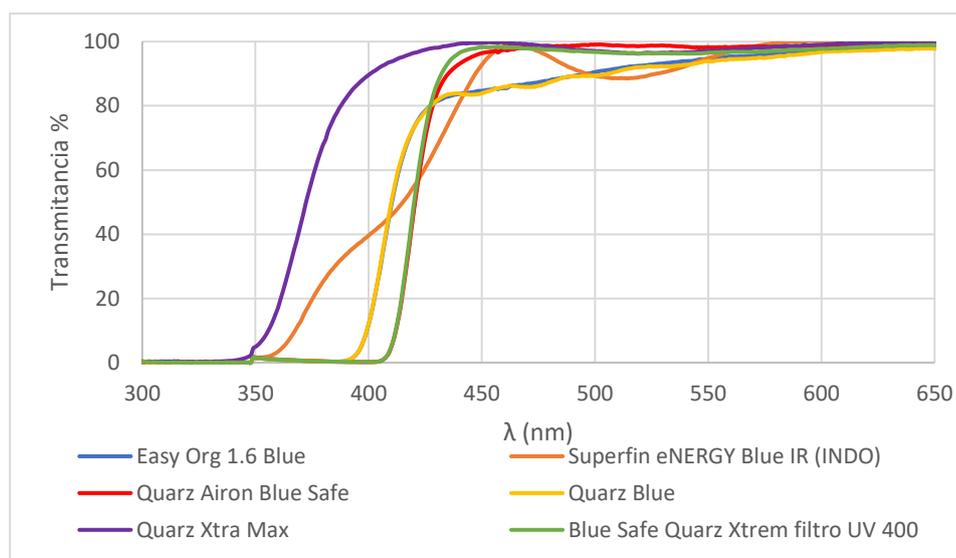


Figura 9. Transmitancias de las lentes oftálmicas blancas desde 300 nm a 650 nm.

En la Figura 9, se observan distintas protecciones frente a la radiación ultravioleta. Unas lentes cortan cualquier longitud de onda menor a 380 nm, estas son: la lente Easy Org blue, con índice de refracción de 1.6 y la lente Quarz Blue que bloquean justamente por debajo de los 380 nm. Luego están las que protegen totalmente del UV, que son la Quarz Airon Blue Safe y Blue Safe Quarz Xtrem filtro UV 400, ya que impiden el paso de radiaciones inferiores a 410 nm y cuyas fichas técnicas nos prometían dicha protección.

De las dos restantes, ambas bloquean toda la radiación UV-B (hasta 315 nm), mientras que de la UV-A dejan pasar parte. La lente Quarz Xtra Max sería la que menos protección ofrece frente al UV, ya que corta las longitudes de onda menores de 350 nm. En cuanto a la lente Superfin eENERGY Blue IR, su bloqueo contra el UV es parecido, sin embargo, hay que destacar que no alcanza su pico más alto de transmisión hasta un entorno de 460 nm, lo que se traduce en un bloqueo bastante importante de la luz azul comparándolo con el resto de las lentes estudiadas. Además, esta lente al poseer un filtro infrarrojo pudimos observar, como se muestra en la Figura 10, que a partir de los 725 nm descendía drásticamente la transmitancia hasta dejar pasar tan solo un 40% en longitudes de onda superiores a 950 nm.

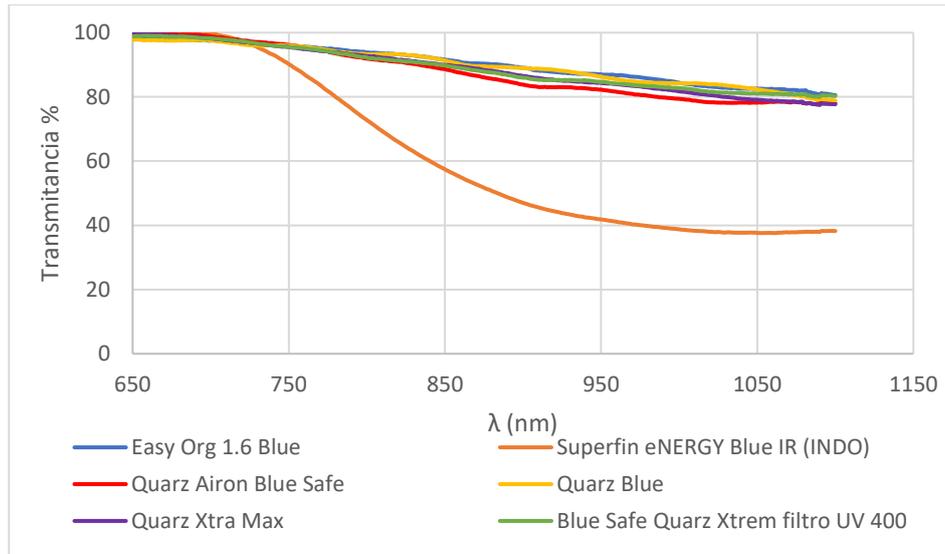


Figura 10. Transmitancias de las lentes oftálmicas blancas desde 650 nm a 1100 nm.

3.2. LENTES OFTÁLMICAS SOLARES.

Se van a presentar los resultados mediante gráficas que muestran la transmitancia de las distintas categorías de lentes que poseíamos de una misma gama de color.

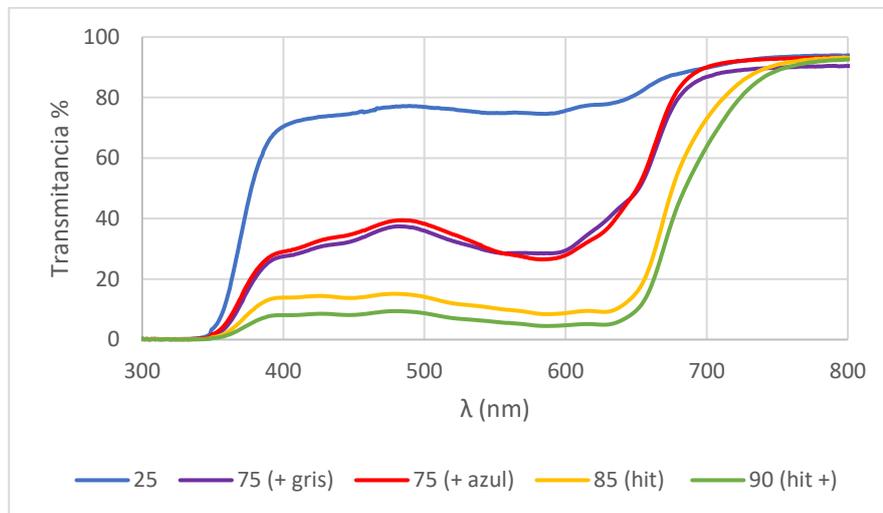


Figura 11. Transmitancias de las lentes solares de la gama gris.

Todas las lentes empiezan a dejar pasar luz a partir de los 350 nm independientemente de la categoría solar a la que pertenecen, por lo que bloquean totalmente el UV-B, pero solo una parte del UV-A. Aunque, cuanto más oscura es la lente, menos cantidad de esta radiación deja pasar (ver Figura 11).

También podemos observar la dependencia de la categoría solar para la transmitancia dentro del espectro visible, cómo a mayor categoría solar le corresponde una menor transmitancia de todo el visible.

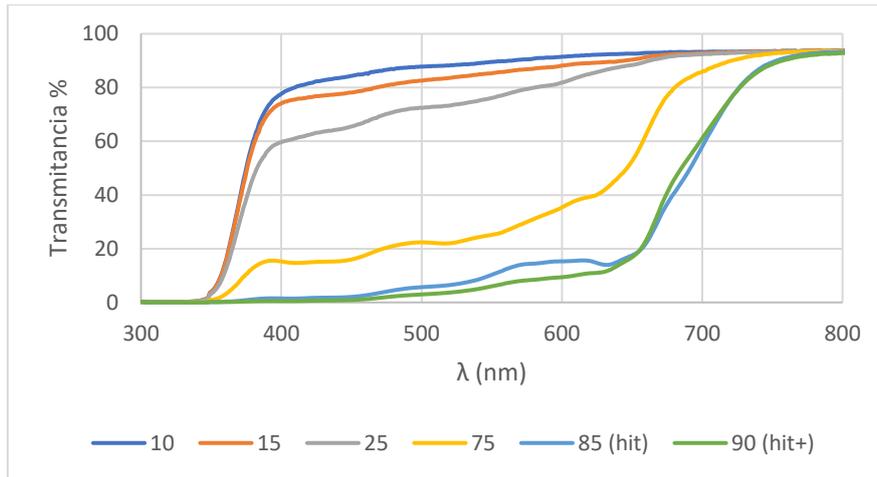


Figura 12. Transmitancias de las lentes solares de la gama ámbar.

En la gama ámbar (Figura 12) vemos como las lentes de 10, 15, 25 y 75 comienzan a dejar pasar luz en los 350 nm, mientras que las de 85 (hit) y 90 (hit+) apenas transmiten nada hasta llegar a una longitud de onda de 450 nm, bloqueando completamente el UV-B y UV-A e incluso parte del azul.

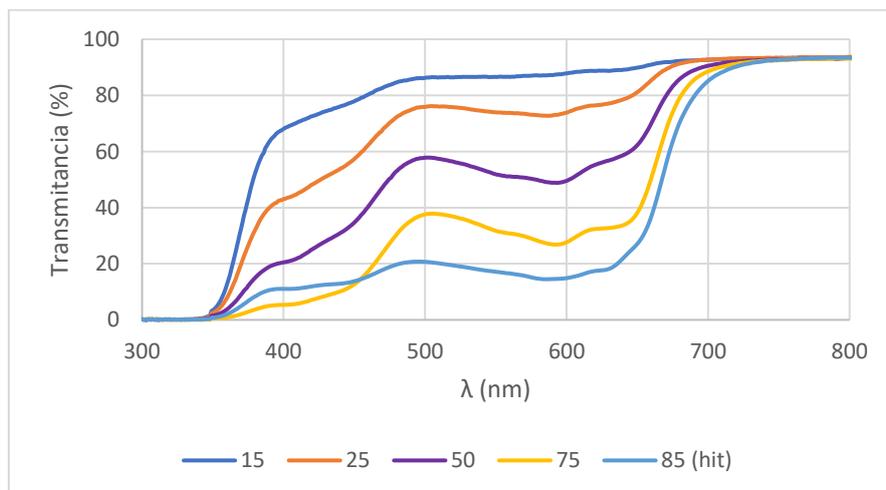


Figura 13. Transmitancias de las lentes solares de la gama verde.

Como muestra la Figura 13, para la gama de color verde todas las lentes comienzan a transmitir a partir de los 350 nm, por lo que bloquea el UV-B por completo y el UV-A tan solo parcialmente. Una curiosidad que podemos observar en esta gama es cómo la lente verde 75 deja pasar menos cantidad de luz entre los 350 y los 450 nm que la siguiente lente de categoría superior (verde hit).

Se aprecia claramente un pico en los 500 nm, correspondiente a la luz verde, en toda la gama. Esto puede ser debido a que, manteniendo una mayor transmitancia en las longitudes de onda del verde, se consigue no modificar de forma tan notable la percepción del color a través de la lente, ya que el pico de emisión solar se encuentra cercano a 500 nm.

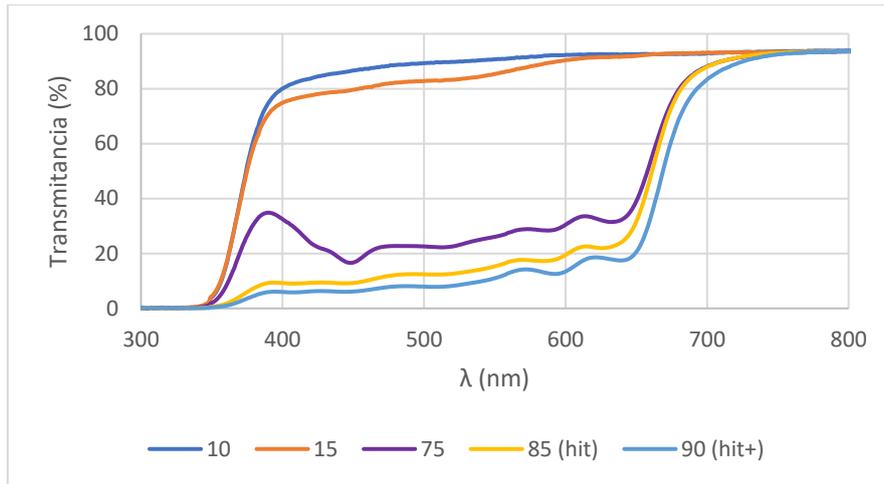


Figura 14. Transmitancias de las lentes solares de la gama marrón.

En la gama marrón, todas las lentes empiezan a transmitir de los 350 nm en adelante, por lo que igual que las anteriores no dejan pasar nada de UV-B, pero sí parte del UV-A, haciendo que no estemos protegidos de esta radiación al completo (ver Figura 14).

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN.

Las lentes oftálmicas blancas estudiadas se podrían clasificar en 3 grupos según el punto de corte de la radiación. Por una parte, están las que cortan en 350 nm (Quarz Xtra Max y Superfin eENERGY Blue IR) que serían las que menos protección ofrecen, aunque se tiene que hacer una excepción con la lente Superfin, debido a que entre los 350 y los 460 nm transmite mucha menos radiación y a que el filtro IR nos preserve de gran parte de ese espectro.

Por otro lado, están las que cortan por debajo de 380 nm (Easy Org 1.6 y Quarz Blue) y las que bloquean en 410 nm (Quarz Airon Blue Safe y Blue Safe Quarz Xtrem filtro UV 400). Estas últimas protegen completamente frente al UV, pero después de realizar las medidas, se puede observar en la Figura 9 cómo enseguida alcanzan una transmitancia del 100%, mientras que las que cortaban en 380 nm aumentan su transmitancia de forma más progresiva bloqueando en un 15-20% entre los 425 y 525 nm y actuando como un pequeño escudo frente a la luz azul emitida por los dispositivos electrónicos.

En las lentes de sol, se realizan los cálculos de rango luminoso (τ_V), UV-A (τ_{suva}) y UV-B (τ_{suvb}) siguiendo las ecuaciones (2), (3) y (4), descritas en el apartado 1.2, y se muestran en la Tabla 2. Los valores que no deben exceder se encuentran indicados en la Tabla 1.

En el caso de las lentes con tintado claro y ligero, estas implican una mayor permisividad, pero aun así, su transmitancia solar en el UVB no debe superar el 5% del valor del rango luminoso (τ_V). Eso hace que para los τ_V que presentan las lentes, los τ_{suvb} sean como máximo entre 2.6% y 5% y ninguna de las lentes estudiadas alcanza esos valores. En cuanto al UVA, no puede exceder el τ_V y se comprueba que efectivamente ninguno está por encima. De estas categorías se puede destacar la lente verde 50, que con un tintado ligero no alcanza el 5% de τ_V en la τ_{suva} .

Para las lentes de tintado medio el τ_{suvb} el máximo sería el 5% de τ_V o el 1% absoluto (lo que sea mayor, que en todos los casos es el 5%) lo que daría lugar a valores entre 1.4% y 1.6% y no alcanzan el 0.2%. Y respecto al τ_{suva} no deberá superar el 50% de τ_V , eso significa valores entre 14% y 16%, y de todas las lentes no hay una que llegue a 5%. Dentro de esta categoría, vuelve a llamar la atención la gama verde con la lente 75 que no supera el 2% en el τ_{suva} .

Las que poseen tintado oscuro, para el τ_{suvb} el valor máximo sería un 1% absoluto y la cifra más alta solo es 0.19%. Y en el τ_{suva} no puede sobrepasar el 50% de τ_V , es decir, entre 5% y 9% y ninguna llega a superar el 1.6%. Aquí se puede destacar la lente ámbar hit (85), ya que en el τ_{suva} no llega al 2%.

Por último, las de tintado muy oscuro, el τ_{suvb} , no podrá ser mayor del 1% absoluto y lo máximo que se ve en estas lentes es un 0.08%. Y en cuanto al τ_{suva} no podrá ser superior al 1% absoluto o el 25% de τ_V (el que sea mayor, que en estos casos es el 25%) permitiendo valores de 1.5% a 1.75% y de las lentes estudiadas ninguna alcanza el 1%. En esta categoría vuelve a sobresalir la gama ámbar, ya que la lente hit+ (90) no supera el 0.1% ni en el τ_{suvb} , ni en el τ_{suva} .

Las lentes que cortan en los 400 nm o superior, como ocurre en las lentes ámbar 85 y 90, en las que ya se observa que no transmite apenas nada de esta radiación, está claro que van a cumplir con la norma. Sin embargo, todas las demás que cortan sobre los 350 nm es necesario realizar el cálculo porque sabemos que el UV-B lo bloquean, pero no se puede confirmar que también ofrezcan la protección que dicta la norma para el UV-A.

Hay que tener en cuenta que la categoría de tintado a la que pertenezca no influye en una mayor o menor protección frente al UV, ya que todas las lentes solares deben bloquearlo. Lo que cambia es lo que transmiten dentro del rango del espectro visible, cuanto más oscuro sea el tintado, menor será el porcentaje de transmisión.

Tabla 2. Datos obtenidos de rango luminoso (τ_V), UV-A (τ_{SUVA}) y UV-B (τ_{SUVB}).

Lente	Tintado	τ_V (%)	τ_{SUVB} (%)	τ_{SUVA} (%)	
Gris	10	Claro	86.65	0.20	8.77
	25	Ligero	75.77	0.16	8.26
	75 (+ gris)	Medio	31.70	0.13	2.93
	75 (+ azul)	Medio	31.77	0.09	3.49
	Hit	Oscuro	10.89	0.11	1.55
	Hit +	Muy oscuro	6.30	0.08	0.93
Ámbar	10	Claro	89.72	0.19	9.09
	15	Claro	85.66	0.12	8.82
	25	Ligero	77.44	0.11	7.94
	75	Medio	28.35	0.11	1.91
	Hit	Oscuro	11.02	0.06	0.20
	Hit +	Muy oscuro	6.84	0.07	0.10
Verde	15	Claro	86.84	0.25	7.84
	25	Ligero	74.38	0.19	4.86
	50	Ligero	52.96	0.19	2.31
	75	Medio	32.12	0.09	0.60
	Hit	Oscuro	17.64	0.10	1.30
Marrón	10	Claro	90.87	0.18	9.43
	15	Claro	86.41	0.23	9.44
	75	Medio	27.13	0.14	4.88
	Hit	Oscuro	16.59	0.19	1.12
	Hit +	Oscuro	12.09	0.15	0.71

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.

Para la realización de este trabajo ha sido necesario el manejo de material óptico de laboratorio, a fin de realizar mediciones con las que posteriormente se han construido las diferentes curvas de transmitancia de cada lente y así poder estudiar y comprobar el cumplimiento de la norma ISO8980-3:2013 por parte de estas.

En relación con las lentes oftálmicas blancas, las dos lentes que bloqueaban por completo el UV son, junto a la Quarz Xtra Max, las que menos protegen frente a la luz azul, mientras que las demás, salvo la eENERGY IR, impiden la transmisión de en torno a un 10-20%. Si tenemos en cuenta que los dispositivos electrónicos emiten con picos de 450, 540 y 610 nm_[18], tan solo dos de las lentes serían capaces de bloquear un 15% en los 450 nm. Este porcentaje es un tanto insuficiente si realmente estamos recomendando estos filtros con el fin de protegernos frente a la luz de las pantallas, de manera que se debería intentar aumentar su eficacia. También hay que tener en cuenta que no se puede quitar gran cantidad de esa longitud de onda sin que se vea afectado el color de la lente, que tomaría una tonalidad amarillenta, y la percepción de los colores.

Las lentes solares cumplen con su cometido de bloquear la luz UV y disminuyen la transmisión del espectro visible en función de su tintado y categoría de transmitancia luminosa a la que pertenezcan. Sin embargo, al llegar a los 750-780 nm, donde comienza el infrarrojo, todas dejan pasar cerca del 100% de la radiación incidente. Sería adecuado mejorarlo añadiendo a estas lentes algún filtro a mayores que nos proteja de esta región del espectro, ya que siempre al llevar una gafa de sol el diámetro pupilar aumenta y deja pasar mayor cantidad de luz que no haya sido filtrada por la lente.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Garnacho Saucedo GM, Salido Vallejo R, Moreno Giménez JC. Efectos de la radiación solar y una actualización en fotoprotección. *Anales de Pediatría*. 2020;92:377.e1-377.e9.
- [2] Cortés Aguilera AJ, Enciso Higuera J, Reyes González CM, Arriaga Álvarez E, Romero Melchor C, Ribes Febles J, Reyes González JF, Hernández Casal M. El índice ultravioleta en el ámbito laboral: un instrumento educativo. <https://scielo.isciii.es/pdf/mesetra/v57n225/original5.pdf> (19 de abril de 2022).
- [3] Antony R. Young. Acute effects of UVR on human eyes and skin. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. 2006;92:80-85.
- [4] Ivanov IV, Mappes T, Schaupp P, Lappe C, Wahl S. Ultraviolet Radiation Oxidative Stress Affects Eye Health. *Journal of Biophotonics*. 2018;11:e201700377. <https://doi.org/10.1002/jbio.201700377>
- [5] Pardhan S, Sapkota RP. Complicaciones en la vista por exposición a luz ultravioleta y azul-violeta. *International Review of Ophthalmic Optics* publicación en línea. https://www.pointsdevue.com/sites/default/files/complicaciones_en_la_vista_por_exposicion_a_la_luz_ultravioleta_y_azul_violeta_0.pdf (04 de mayo de 2022)
- [6] Kurzel RB, Wolbarsht ML, Yamanashi BS. Ultraviolet Radiation Effects on the Human Eye. Harvard University School of Medicine, Boston. Massachusetts 02115. Pág. 133-167.

- [7] Porter D. What is Photokeratitis – Including Snow Blindness? American Academy of ophthalmology. <https://www.aao.org/eye-health/diseases/photokeratitis-snow-blindness> (04 de mayo de 2022)
- [8] Leung TW, Li RW-h, Kee C-s (2017) Blue-Light Filtering Spectacle Lenses: Optical and Clinical Performances. PLoS ONE 12(1):e0169114. doi:10.1371/journal.pone.0169114
- [9] Schwab RJ. Circadian Rhythm Sleep Disorders. <https://www.msmanuals.com/home/brain,-spinal-cord,-and-nerve-disorders/sleep-disorders/circadian-rhythm-sleep-disorders> (27 de abril de 2022)
- [10] Guadarrama Ortiz P, Ramírez Aguilar R, Madrid Sánchez A, Castillo Rangel C, Carrasco Alcántar D, Aguilar Roblero R. Controladores del Tiempo y del Envejecimiento: Núcleo Supraquiasmático y Glándula Pineal. International Journal of Morphology. 2014;32(2):409-414.
- [11] Yoshiki Kuse, Kenjiro Ogawa, Kazuhiro Tsuruma, Masamitsu Shimazawa, Hideaki Hara. Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light. 2014 Jun 9;4:5223 DOI: 10.1038/srep05223
- [12] García Molina VJ. Luz azul: De las evidencias científicas a la atención al paciente. International Review of Ophthalmic Optics. 2017. https://www.pointsdevue.com/sites/default/files/luz_azul_de_las_evidencias_cientificas_0.pdf (19 de mayo de 2022)
- [13] Kumari Neelam, Sandy Wenting Zhou, Kah-Guan Au Eong. El papel de la luz azul en la patogénesis de la degeneración macular asociada a la edad. https://www.pointsdevue.com/sites/default/files/pdv71esp_-_kumari_neelam.pdf (26 de abril de 2022)
- [14] Algvere PV, Marshall J, Seregard S. Age-related maculopathy and the impact of blue light hazard. Acta Ophthalmologica Scandinavica. 2006;84(1):4-15. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0420.2005.00627.x>
- [15] Guisasola L, Martínez JA. Tecnología óptica, lentes oftálmicas, diseño y adaptación. <http://www.etpcba.com.ar/DocumentosDconsulta/OPTICA/TECNOLOG%C3%8DA%20%C3%93PTICA/OP00606C.pdf> (04 de mayo de 2022)
- [16] Óptica oftálmica. Lentes terminadas sin biselar para gafas. Parte 3: Especificaciones de transmitancia y métodos de ensayo. Norma ISO 8980-3:2013.
- [17] LI-180 Portable Spectroradiometer Instruction Manual. LI-COR, inc. Publication No. 8210-0030.
- [18] García Muñoz C. Caracterización espectral de filtros de luz azul en lentes oftálmicas. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/50508> (19 de mayo de 2022)