

TEMA V

Lentes de protección ocular

Programa

- 1.- Efecto de las radiaciones en el ojo
- 2.- Filtros ópticos
- 3.- Acción de las lentes tintadas sobre la radiación. Tipos de lentes absorbentes
- 4.- Lentes fotocromáticas
- 5.- Tratamiento antirreflejante

1.- EFECTO DE LAS RADIACIONES EN EL OJO

Generalidades

La ley de Draper establece que para que una radiación tenga efecto sobre la materia la cual atraviesa, es necesario que sea absorbida por la misma. La radiación no tiene ningún efecto (ni benéfico, ni perjudicial) sobre la materia que atraviesa, si es completamente transmitida o completamente reflejada. Por ejemplo, la radiación visible causa la sensación de visión porque es absorbida por los fotopigmentos de la retina. Los efectos de las radiaciones pueden ser en general de dos formas: ionizantes y no-ionizantes.

Radiación ionizante

La radiación ionizante, es producida por la desintegración de átomos con la consiguiente emisión de partículas subatómicas o rayos. Esta radiación, lleva una energía tan alta que excede la energía de enlace de los electrones de la materia irradiada y provoca entonces la emisión de electrones, dejando pues al átomo con una carga eléctrica positiva conocida como ión. La radiación ionizante puede producirse como un fenómeno natural o ser provocada artificialmente, y viaja como partículas (alfa , beta) o como ondas tales como los rayos X o gamma.

Cuando una radiación ionizante penetra en un tejido vivo, provoca destrucción y desorden en los átomos y moléculas que encuentra en su camino, produciéndose entonces una cadena de sucesos que puede destruir células vivas o hacer que éstas funcionen anormalmente.

Muchas radiaciones ionizantes, pueden penetrar en el ojo pero sólo una pequeña cantidad es absorbida. El daño depende del tiempo de exposición, de la concentración y del tipo de radiación. En general, radiación poco penetrante tal como las partículas beta, requieren mucha más exposición que otras altamente penetrantes como los rayos X y gamma.

La radiación ionizante puede tener en los tejidos oculares unos efectos directos o indirectos. Un efecto directo puede producir anomalías celulares o incluso su muerte. Un efecto indirecto puede, por ejemplo consistir en dañar vasos sanguíneos y entonces restringir el suministro de sangre a los tejidos.

La radiación ionizante, puede afectar prácticamente a todos los medios oculares. De los tejidos oculares, la conjuntiva, cornea y cristalino son los más vulnerables. A bajos niveles, los vasos de la conjuntiva comienzan a ser dañados y la córnea pierde su normal brillo. Dosis más altas provocan exfoliación de las células epiteliales, úlceras corneales y keratitis.

Sin embargo, el efecto más común de la radiación ionizante es la formación de cataratas. El desarrollo de cataratas sigue un periodo latente de varios meses o años. En las personas jóvenes el periodo latente es más corto, y más grande el daño producido. Niveles más altos de radiación ionizante, puede provocar degeneración de la retina, y niveles extremadamente altos ceguera instantánea.

Radiación no-ionizante

Si la energía transmitida por la radiación es más baja que la energía de enlace de los electrones de la materia irradiada, el átomo salta a un nivel de energía más alto diciéndose entonces que está en un estado excitado. Las moléculas en estado excitado, tienen diferentes propiedades físicas y químicas que las que permanecen en el estado fundamental. Muchas formas de radiación electromagnética son no-ionizantes como las ondas de radio o la luz. Sin embargo, en la clasificación de los efectos que vamos a hacer, limitaremos la discusión a la llamada radiación óptica, es decir lo que previamente hemos definido como UV, visible e IR.

2.- LA ABSORCIÓN DE LA RADIACIÓN EN LOS MEDIOS OCULARES

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE), ha dividido el espectro electromagnético en diferentes partes, que son importantes conocer con objeto de poder precisar las diferentes absorciones que tienen lugar en los medios oculares.

El espectro electromagnético, está constituido por los rayos cósmicos, γ , X, la radiación ultravioleta (UV), visible (VIS), infrarroja (IR), las microondas y las ondas de radio-frecuencia (Figura 1).

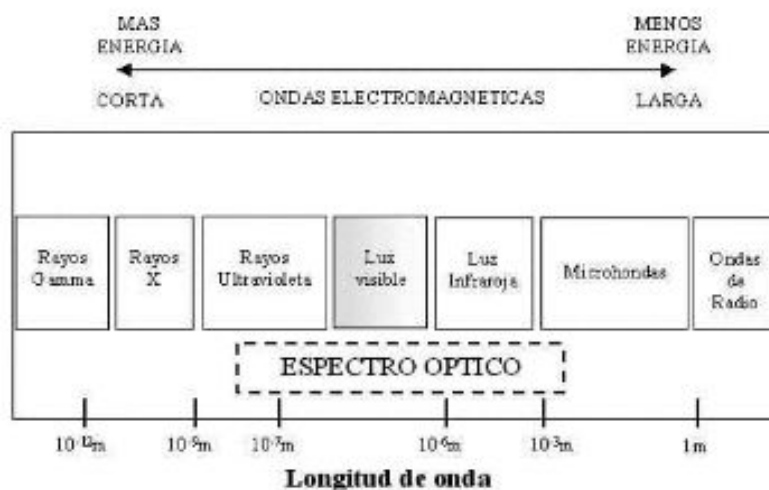


Figura 1

Regiones del espectro electromagnético en función de la longitud de onda de la radiación

Las radiaciones no ionizantes, incluyen el ultravioleta, el visible y el infrarrojo, es decir, las radiaciones de longitud de onda comprendidas entre 100 nm y 1 mm. De acuerdo con la CIE, estas radiaciones se pueden dividir en las siguientes regiones:

- UVC radiaciones comprendidas entre 100 y 280 nm

- UVB radiaciones comprendidas entre 280 y 315 nm
- UVA radiaciones comprendidas entre 315 y 380 nm
- Visible radiaciones comprendidas entre 380 y 780 nm
- IRA radiaciones comprendidas entre 780 y 1400 nm
- IRB radiaciones comprendidas entre 1400 nm y 3 μm
- IRC radiaciones comprendidas entre 3 μm y 1 mm

Las fronteras de estas regiones se establecen de acuerdo con la eficacia de la radiación para producir diferentes efectos biológicos, aunque estos puedan solaparse entre diferentes regiones. El límite inferior (aprox. 100 nm) es el que separa las radiaciones ionizantes de las no ionizantes. A nivel práctico se considera 180 nm como el límite inferior para el ultravioleta, puesto que las radiaciones de menor longitud de onda son fácilmente absorbidas por el aire y por lo tanto únicamente pueden propagarse en el vacío.

En la fotometría ocular hay que tener en cuenta diferentes fenómenos que modifican el porcentaje y espectro de la luz que llega a los fotorreceptores, como son la reflexión, absorción y dispersión.

- Reflexión.-

En el interior del ojo, pueden producirse reflexiones de la luz allí donde el índice de refracción cambie bruscamente, aumentando además con el ángulo de incidencia. La mayor diferencia del índice de refracción ocurre en el paso aire-córnea, luego será en esta superficie donde mayores pérdidas por reflexión se producirán. También ocurren reflexiones, aunque de mucha menor importancia, en la superficie posterior de la cornea, el cristalino y la retina, produciendo todo ello una disminución de la luz que llega a los fotorreceptores.

Absorción.-

La transmisión o absorción de la radiación por los diferentes medios oculares, determina las longitudes de onda que alcanzan la retina. A partir de determinaciones experimentales, se pueden deducir las principales características de la transmitancia o absortancia de los medios oculares.

La córnea, absorbe esencialmente toda la radiación de longitud de onda inferior a 290 nm en la región ultravioleta, transmitiendo prácticamente toda la radiación visible (Figura 2) y es un filtro muy importante para el infrarrojo, donde absorbe casi completamente toda la radiación a partir de 2 μm (Figura 3).

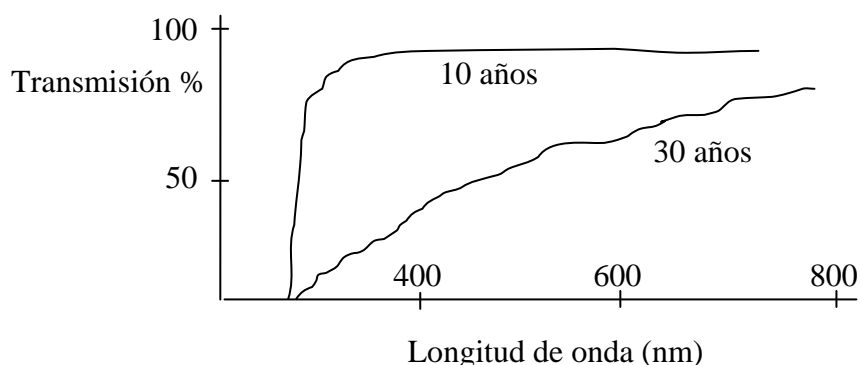


Figura 2

Transmisión espectral de la córnea en la región visible del espectro electromagnético, para observadores de 10 y 80 años de edad.

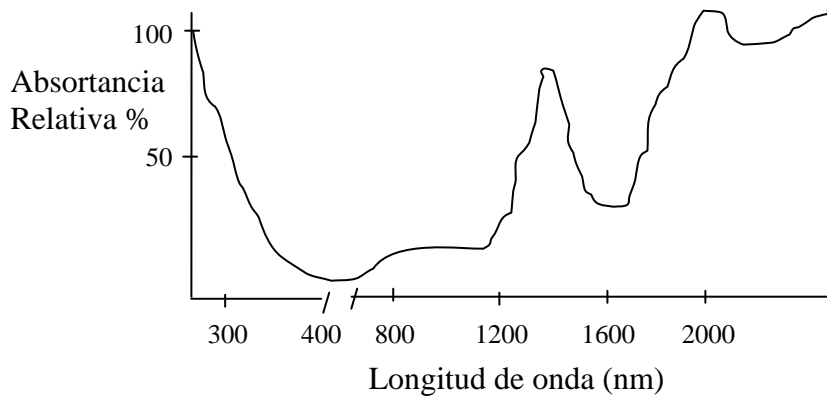


Figura 3
Espectro de absorción de la córnea.

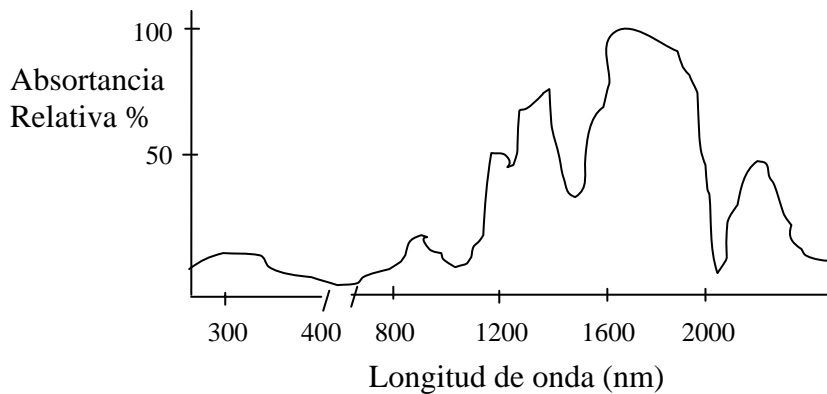


Figura 4
Espectro de absorción del humor acuoso

El humor acuoso, que contribuye a absorber el ultravioleta que ha dejado pasar la córnea, tiene una absorción despreciable de la luz visible y absorbe de forma significativa en el infrarrojo por debajo de las 2 μm (Figura 4).

El cristalino es el principal responsable de las pérdidas de luz por absorción en el visible. Su absorción es más importante en el azul que en el amarillo y varía con la edad. En el ultravioleta, absorbe entre los 300 y 400 nm, siendo el filtro que evita que el UVA llegue a la retina. Por esta razón, en el caso de extracción del cristalino, podrá llegar a la retina del afáquico mucha más cantidad de UVA. En la región del infrarrojo, el cristalino transmite prácticamente toda la radiación. (Figuras 5 y 6).

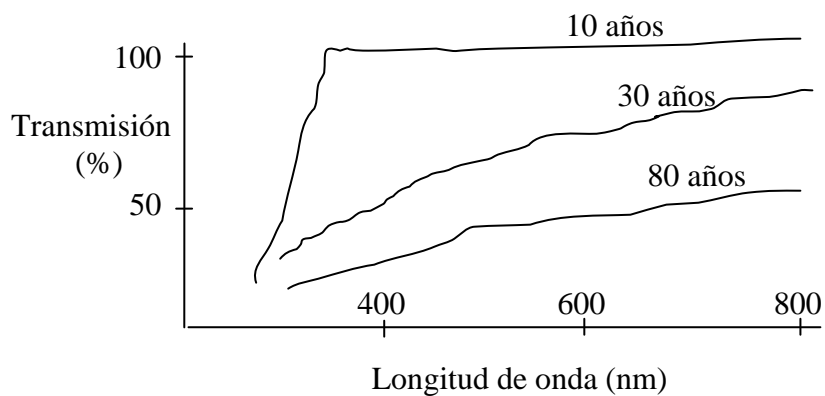


Figura 5
Transmisión espectral del cristalino en la región visible del espectro electromagnético para diferentes edades.

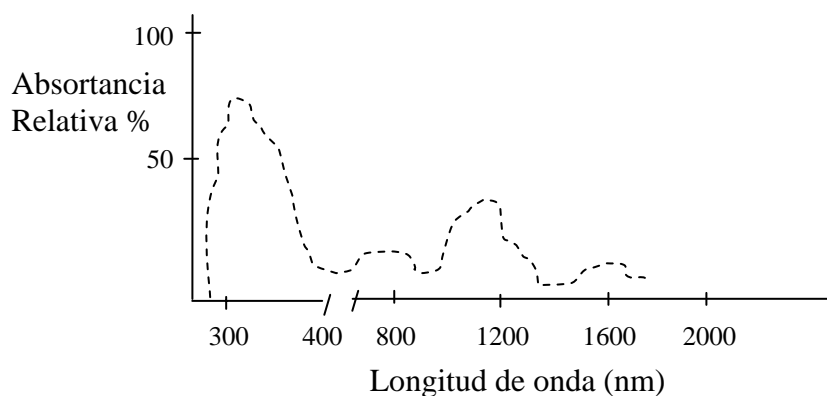


Figura 6
Espectro de absorción del cristalino.

El humor vítreo es transparente a toda la radiación, presentando únicamente una pequeña barrera de absorción en el infrarrojo (Figura 7).

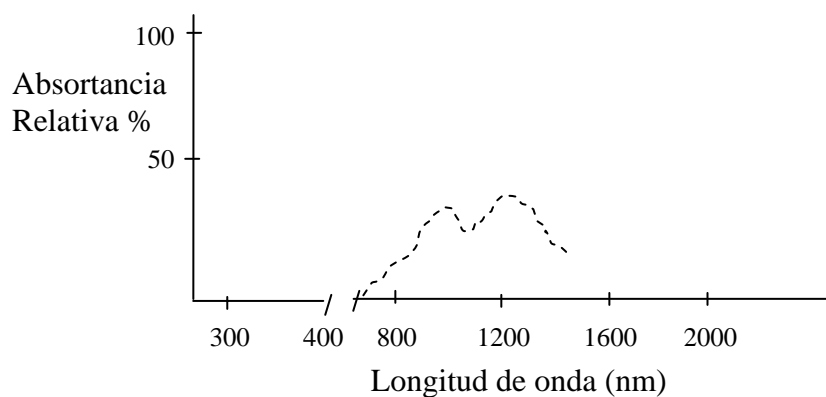


Figura 7
Espectro de absorción del humor vítreo.

Teniendo en cuenta la transmisión de los distintos medios oculares, la radiación que puede llegar a la retina está constituida básicamente por la luz visible e infrarrojo A, aunque también puede llegar UVA en pequeña proporción, como puede deducirse a partir del espectro de transmisión del ojo (Figura 8). De esta radiación, la retina y la coroides absorberán básicamente la luz visible y en mucha menor cuantía el infrarrojo (Figura 9).

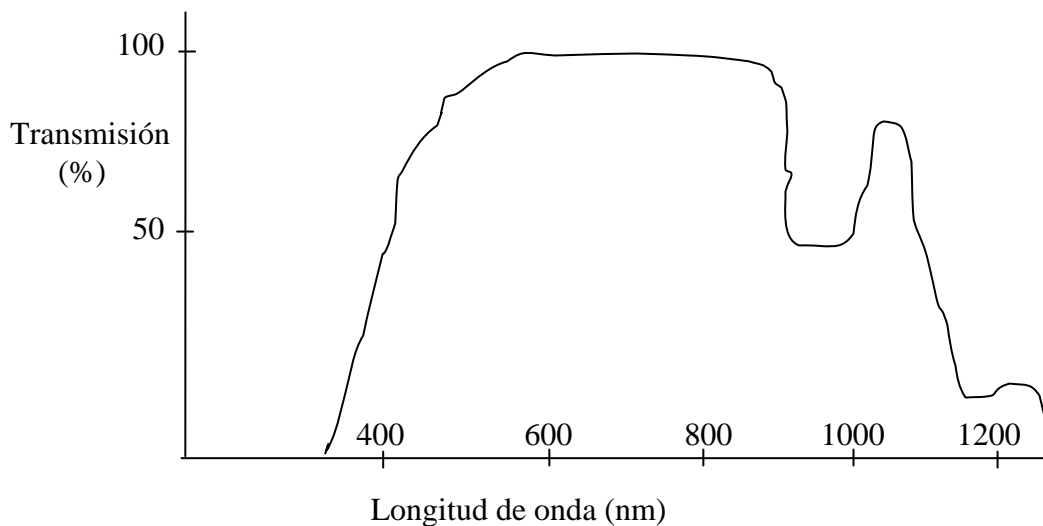


Figura 8

Transmitancia espectral global a través de la córnea, humor acuoso, cristalino y humor vítreo.

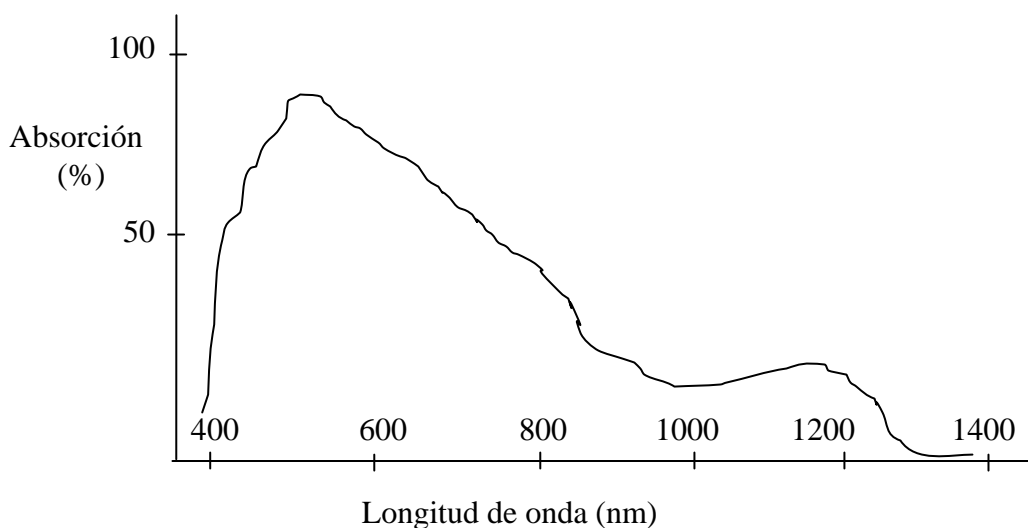


Figura 9

Absorción espectral de la retina y la coroides.

Por lo tanto, de manera global podemos considerar que la córnea absorbe el UVB, el UVC, el IRB y el IRC, el cristalino el UVA, pudiendo llegar a la retina además de la radiación visible, el IRA (Figura 10).

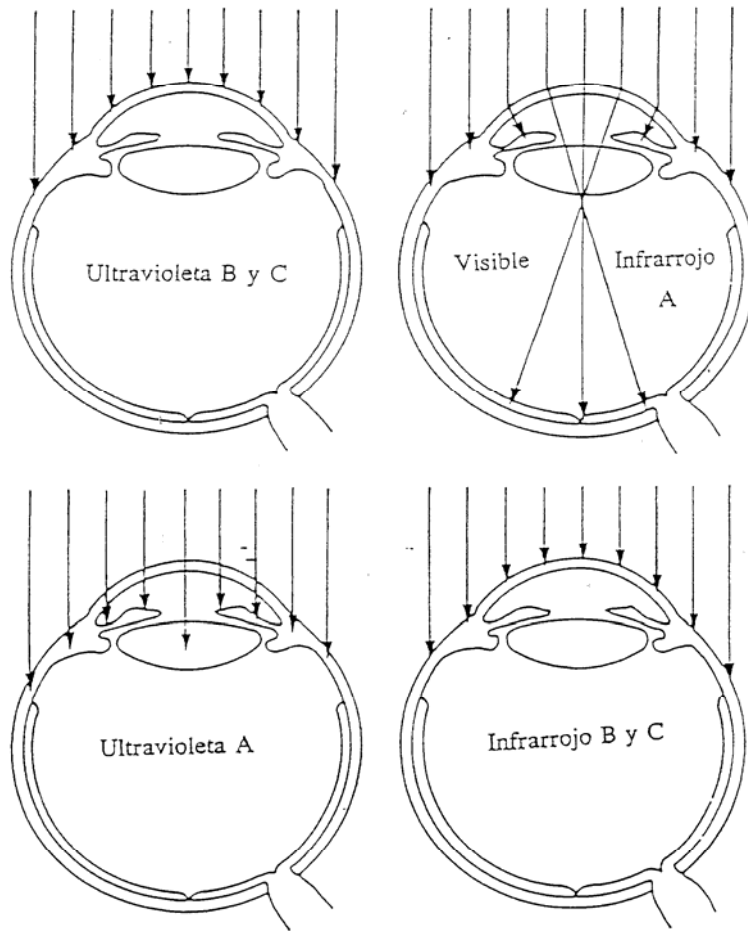


Figura 10

Representación esquemática de la absorción de las diferentes regiones de la radiación no ionizante por parte de los medios oculares.

Dispersión.-

Además de por la reflexión y la absorción, también se producen pérdidas de luz en el paso de la energía radiante a través del ojo, por la dispersión. Esta es producida por las partículas submicroscópicas que se encuentran en las estructuras celulares de los medios oculares. En la Figura 11, se observa la importancia de la dispersión en la transmisión de la luz a través del ojo. La diferencia entre las curvas correspondientes a la transmisión total y la transmisión directa es el resultado de la dispersión de la luz.

Mácula

Aunque forme parte de la retina, la *mácula lutea o mancha amarilla* puede considerarse como un medio pre-retinal o más exactamente pre-receptorial. Es un pigmento no fotosensible que actúa como un filtro y cubre la parte central de la retina. Su función parece ser la de evitar que las cortas longitudes de onda alcancen el área central de la retina y por consiguiente de la fovea, donde como sabemos existe una mayor agudeza visual. El espectro de absorción de la mácula varía según el sujeto, pero en promedio puede considerarse que absorbe fundamentalmente (casi en un 50%) las radiaciones cuyas longitudes de onda están por debajo de 495 nm. Se puede pensar pues, que el objeto del pigmento macular es el de mejorar la agudeza visual en la fovea, filtrando las cortas longitudes de onda lo que en definitiva reduce el efecto de la aberración cromática.

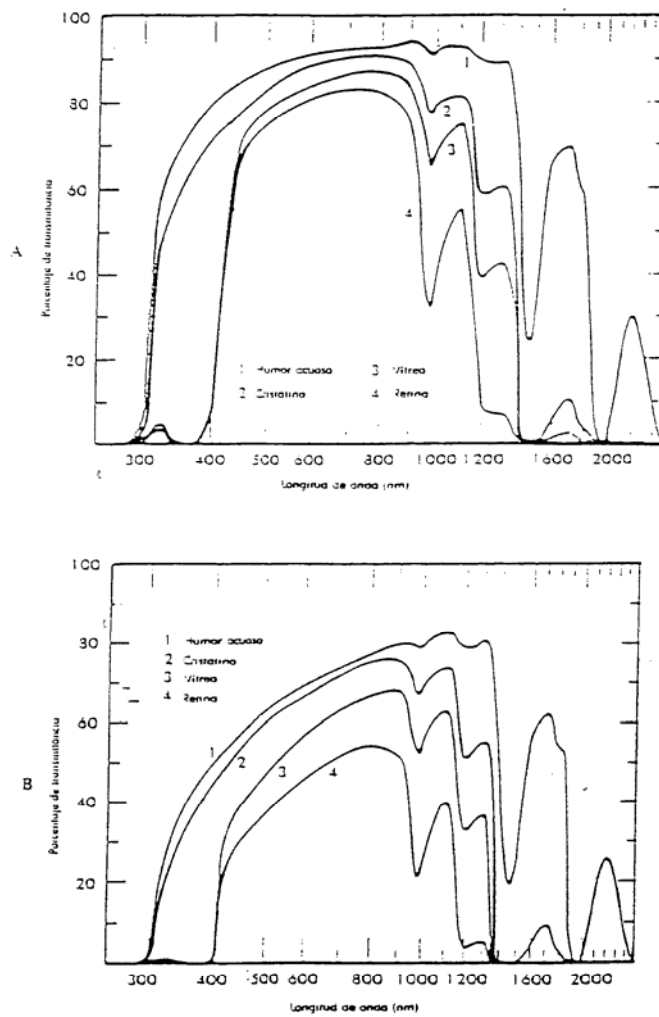


Figura 11

Transmisión por los diferentes medios oculares de la luz visible e infrarrojo cercano.

A) Transmitancia total a través de todo el ojo.

B) Transmitancia directa a través de todo el ojo. La diferencia entre ambas curvas se debe a la dispersión de la luz en los medios oculares.

Concentración de energía radiante por el ojo

La absorción de energía radiante por el ojo por una capa específica depende de su estructura molecular y su composición química. Sin embargo, el daño producido por absorción de radiación es proporcional a la cantidad de energía radiante absorbida por unidad de masa o volumen.

La concentración de energía radiante en el ojo, también depende del tamaño de la pupila y del ángulo subtendido por la fuente. Cuando el tamaño de la pupila se incrementa, la iluminación en la retina aumenta con el cuadrado del radio pupilar..

Efecto de la radiación ultravioleta (uv)

La radiación UV puede tener efectos nocivos en la conjuntiva y en la córnea, causando fotofobia y desarrollando pterygium, pinguécula y queratopatías; también puede afectar al cristalino provocando cataratas y a la retina causando degeneración macular.

El primer efecto que resulta de la absorción de la radiación UV de 300 nm o más baja, es un daño fotoquímico en el epitelio corneal. Esto es conocido como fotofobia, fotoqueratitis o fotoconjuntivitis. Debido a que el epitelio corneal absorbe mucha radiación UV, el daño corneal es confinado en esta capa. Este efecto ocurre después de un periodo latente, el cual varía entre 30 minutos y 24 horas dependiendo de la intensidad de la exposición. Además el efecto fotoquímico tiende a ser acumulativo, por lo que repetidas exposiciones aunque sean cortas pueden producir lesiones. Por otro lado, repetidas o largas exposiciones a la radiación UV, son la causa del desarrollo de pterygium, pinguécula y queratopatías.

El cristalino está continuamente expuesto al UV cercano (entre 290 y 380 nm), ya que es transmitido por la película lagrimal, la córnea y el humor acuoso. Uno de los efectos de esta radiación, es la formación de pigmentos en la lente que causa una coloración amarilla en el núcleo del cristalino. Además, aunque sólo una pequeña cantidad de radiación UV alcance el cristalino, el efecto acumulativo de este proceso a lo largo de los años, hace que sea el responsable de la aparición de opacidades en el mismo.

Efectos de la radiación visible

Debido a su transparencia, la córnea, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo transmiten prácticamente toda la radiación visible (380 hasta 760 nm). La absorción de estas longitudes de onda por los fotorreceptores de la retina inician el proceso fotoquímico y neural que causa la sensación de la visión. Obviamente, debido a la adaptación del sistema visual a estas radiaciones, su efecto no es perjudicial. Sin embargo, inusuales altos niveles de radiación dentro del espectro visible, pueden causar lesiones en la retina. Incluso en el caso de niveles que no son capaces de producir retinopatías, absorciones prolongadas de radiación visible pueden tener efectos funcionales indeseables.

Efecto de la radiación infrarroja (IR)

Debido a la absorción de la atmósfera, sólo el intervalo de radiación IR comprendido entre 780 y 2000 nm puede estar involucrado en posibles lesiones oculares. Por el momento, no hay

evidencias de que la radiación IR proveniente de un ambiente soleado produzca ningún tipo de lesión ocular. Sin embargo, fuentes artificiales de luz tales como las de arco de carbono, tungsteno, xenon y algunos láseres, producen una cantidad de radiación IR mucho más alta que la que emite el sol.

Si los ojos están expuestos a altas intensidades de radiación IR, la absorción de la misma puede causar cambios rotacionales y vibracionales en las moléculas y producir lesiones térmicas. Los peligros de una elevada temperatura en los tejidos oculares, consisten en una pérdida de conformación, es decir, en un cambio en la delicada estructura espacial de las biomoléculas, proceso denominado *desnaturalización*.

Otras formas de radiación

Aunque lógicamente nos hemos focalizado en el espectro visible, el UV y el IR, esto no quiere decir que otras partes del espectro electromagnético no puedan tener incidencia en los medios oculares. Microondas de larga longitud de onda y radiaciones ionizantes tales como Rayos X y gamma, son conocidas como radiaciones altamente nocivas para los ojos y otros tejidos vivos. Sin embargo, estas fuentes sólo están presentes ocasionalmente en determinadas instalaciones, donde son tomadas las precauciones necesarias. Estas básicamente se fundamentan en el principio de la prevención, es decir, en el filtrado de la radiación peligrosa.

Niveles recomendados de iluminación retiniana

Para un nivel dado de iluminación ambiente, la cantidad de luz que alcanza la retina viene controlada por la pupila. Como sabemos, el diámetro pupilar varía entre 2mm para niveles muy altos de iluminación y 8 mm para iluminaciones bajas; la variación del diámetro pupilar cambia la irradiancia de la retina por un factor de 1 a 4 mm², es decir 16 veces. Sin embargo, la retina es capaz de adaptar su sensibilidad por un factor 100.000 entre el nivel más bajo de iluminación y el más alto. Esto quiere decir, que la variación del diámetro pupilar sólo es un mecanismo de respuesta rápida para evitar daños en la retina, pero que existen otros mecanismos de adaptación más complejos de adaptación a la luz.

Sin embargo, aunque el sistema visual sea capaz de funcionar en un amplísimo intervalo de iluminación, los niveles más altos pueden causar molestias y si se sobrepasan esos niveles pueden producirse lesiones. En la Tabla I, se muestran los niveles de luminancia en cd/m² a los cuales puede estar sometido el sistema visual, con indicación del mecanismo receptivo implicado.

Dentro de este contexto, resulta importante resaltar la situación provocada cuando existen uno o varios brillos en la escena. La presencia de una o varias áreas en el campo de visión mucho más brillantes que en fondo, pueden producir una sensación de discomfort.

Este tipo de brillo puede ser clasificado como: *resplandores, deslumbramientos y brillos por reflexión especular*. Esta clasificación no es excluyente ya que sus efectos pueden ser aditivos.

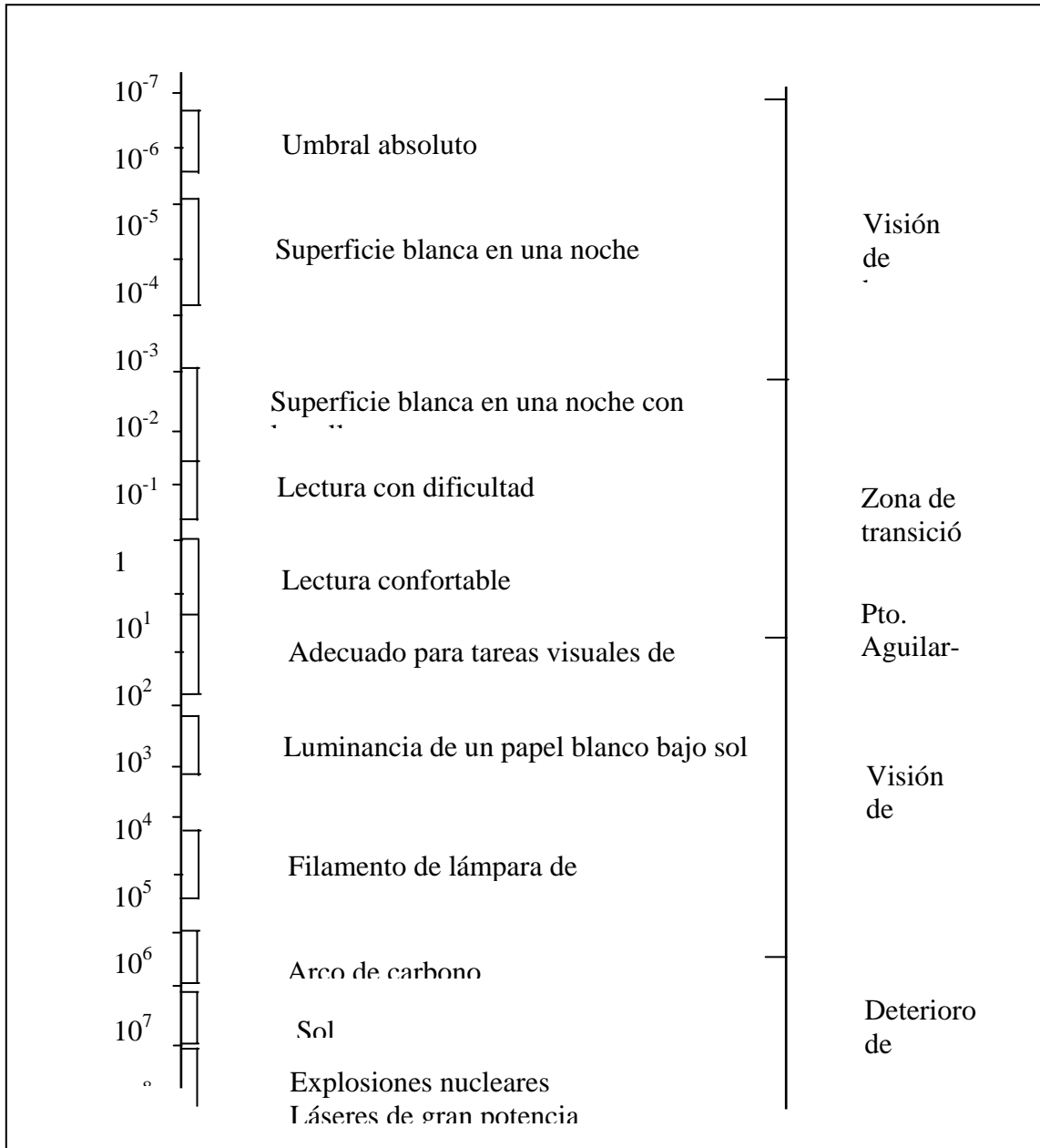


TABLA I

Niveles de luminancia (en cd/m²) a los cuales puede estar sometido el ojo, con indicación del mecanismo receptivo involucrado. El Pto. Aguilar-Stiles marca el nivel en que los bastones se saturan.

Acción de las lentes tintadas sobre la radiación

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

Todas las lentes coloreadas absorben o transmiten un porcentaje más o menos importante de las radiaciones (sobre todo las visibles). Es por esto que una lente coloreada se caracteriza por su coeficiente de absorción o por el de transmisión, es decir por la proporción (%) de luz visible que absorben o transmiten.

Para una misma lente, este coeficiente depende de la longitud de onda de la radiación considerada, del color realizado, de los componentes (normalmente óxidos metálicos) que entran en la composición del colorante y de su proporción y el espesor del vidrio atravesado por la radiación.

Esta propiedad se pone en evidencia por la curva de transmisión en función de la longitud de onda que caracteriza una lente coloreada.

La cantidad y variedad de lentes coloreadas que inundan el mercado es tan grande que es imposible hacer un estudio detallado.

Vamos a ver los aspectos generales

- No existe una normalización en lo que se refiere a lentes coloreadas. Cada fabricante presenta una gama más o menos extensa de colores diferentes (verde, marrón, gris, rosa,...).
- Las lentes de un mismo color existen generalmente en 4 ó 5 graduaciones diferentes desiguales con el nombre del color y una o dos letras A, AB, B, BC, C, CD, D.
 - A: aspecto muy poco diferente al vidrio blanco (transparente) absorbe alrededor del 8-15% en el visible
 - AB: absorbe 40% del visible
 - B: vidrio de protección solar absorbe 50%.
 - BC: absorbe 60/65%, vidrio de protección solar.
 - C: absorbe alrededor del 85/90%
 - D: absorbe más del 90% y se utiliza en lentes de protección.

Cómo protegerse de la luz solar

Para Y Le Grand la actitud de considerar sólo la parte visible del espectro no es razonable ya que una cierta dosis de UV y IR es necesaria para el ojo.

Podemos tener en cuenta que:

a) *para la región visible del espectro.*

- comenzar por determinar en el visible si una cierta absorción es útil para proteger el ojo contra el deslumbramiento proveniente de una luz intensa y prolongada. Hay aparatos (Alpascope...) que permiten determinar las necesidades exactas del usuario en lentes tintadas. (si no, siempre están las pruebas).
- Para la región visible las lentes coloreadas para proteger el ojo del deslumbramiento deben ser lo más neutras posibles, es decir respetar el color de los objetos (gris).
- Lentes demasiado saturadas son a evitar a causa de la fatiga del cristalino.
- Hay que evitar las lentes coloreadas cuyo espectro de transmisión en el visible presente dos picos marcados ya que produce dicroísmo lo que impide al ojo enfocar simultáneamente en dos longitudes de onda.

b) *para la región invisible*

- Si los IR no son nocivos en si mismos (salvo personas expuestas a radiación IR intensa) esto no nos preocupa mucho. Por el contrario una lente debería absorber las radiaciones UV al menos las inferiores a 330 nm.
- El crown blanco absorbe en cierta medida las UV, pero como todos los crown no tienen el mismo límite inferior de absorción hay que ser prudente.

Consejos

- Conviene siempre que sea posible disponer de las curvas de transmisión. Existen espectrofotómetros “de bolsillo” (Tri-tester de Essilor) que nos permiten hacer lecturas globales en las tres zonas.
- Para una ametropía débil (o una emetropia) elegir un vidrio tintado en masa puede justificarse. Por el contrario si la ametropía es fuerte (altas potencias -) es preferible un tintado en superficie.
- En lo que concierne a las lentes afocales solares el óptico debe aconsejar una lente trabajada y desaconsejar las llamadas coquillas que presentan defectos importantes en la superficie que influyen en la calidad de la imagen.
- En teoría habría que aconsejar:
 - marrón para los miopes
 - verde para los hipermétropes
 - amarillo para los emétropes

pero hay demasiados factores que entran en juego y es el usuario el que en principio debe elegir ya que depende de sus condiciones de vida, etc. (p.e. el esquimal que distingue 80 blancos...)

- Hay que intentar dar una seriedad mediante medidas, demostraciones, etc. Facilitando siempre la máxima información.

LENTE ABSORBENTES

Una lente absorbente o filtrante, es aquella que se utiliza para el objetivo concreto de reducir la cantidad de luz o energía radiante transmitida, es decir que actúa 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* (o neutra) 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.

MÉTODOS DE FABRICACIÓN DE LENTES ABSORBENTES

Lentes tintadas en la masa

Como sabemos, la materia principal para la fabricación de lentes minerales es la sílice, utilizándose pequeñas cantidades de óxido de potasio, aluminio, etc. con objeto de proporcionar al vidrio determinadas propiedades físicas y químicas. Pues bien, si queremos obtener un vidrio tintado es necesario añadir uno o más metales u óxidos metálicos en la masa inicial. Las características de transmisión espectral de la lente acabada, se obtienen controlando las cantidades de metales u óxidos metálicos presentes en la masa.

Las lentes coloreadas en masa, tienen la ventaja de que los deterioros de su superficie apenas afectan a la transmisión de la misma además, prácticamente no hay reflexiones asociadas con la superficie pulida y no se necesita ningún equipamiento especial para el acabado de la lente. Sin embargo, tienen varias desventajas: la transmisión varía del centro a los bordes; en los anisométricos fuertes, la transmisión puede variar mucho de un ojo a otro; y se necesita un gran inventario de semiacabados para atender un amplio rango de prescripciones.

Lentes coloreadas por tratamiento de superficie

Este método consiste en colorear la lente mediante la deposición de una fina capa de óxido metálico sobre la superficie de la lente. La capa es depositada mediante un proceso de evaporación en una cámara de vacío y a altas temperaturas.

Lentes tintadas orgánicas

En las lentes orgánicas, no puede depositarse una capa por evaporación debido a que se deformarían por acción de las altas temperaturas requeridas en el proceso. En lugar de ello, las lentes orgánicas se colorean por inmersión de las mismas en una solución que contengan los apropiados colorante orgánicos. La densidad resultante depende de la naturaleza del colorante y de del tiempo de inmersión. Un determinado color puede obtenerse realizando diferentes inmersiones en distintas soluciones. Debido a que el colorante penetra en la capa superficial de la lente de una manera uniforme, ésta presenta una densidad uniforme independientemente de la variación de espesor del centro al borde. Este proceso tiene además la posibilidad de corregir errores, ya que si la coloración no ha sido la adecuada puede eliminarse el color por inmersión en una solución blanqueadora y volver a iniciar el proceso.

Lentes fotocromáticas

Las lentes fotocromáticas son aquellas que se oscurecen cuando son expuestas a radiación UV. Estos vidrios, que tiene un índice de refracción de 1.523, contienen cristales microscópicos de haluros de plata. Cuando absorbe radiación UV, los cristales se descomponen en plata y átomos del halógeno correspondiente, comenzándose entonces la lente a oscurecer. El retículo que forma el vidrio, mantiene en las proximidades la plata y el halógeno, de modo que cuando cesa la radiación de UV comienzan a recombinarse formando otra vez haluro de plata y por consiguiente la lente vuelve a ser transparente. El grado de oscurecimiento depende de la temperatura. Cuanto más baja sea más rápido y mayor será el oscurecimiento. Existen, no obstante, otros factores que afectan al grado de oscurecimiento, tales como la intensidad de la radiación o el tiempo de exposición. El grado de envejecimiento depende de la composición del vidrio, de la temperatura (a mayor temperatura mayor deterioro) y del tiempo de exposición a que ha sido sometido.

Lentes polarizantes

La luz solar no está polarizada, pero cuando es reflejada especularmente por la superficie de un material se transforma en parcial o totalmente polarizada, dependiendo del ángulo de incidencia y de la naturaleza del material reflejante. Los materiales que mejor polarizan la luz por reflexión, son generalmente los no-conductores, es decir los dieléctricos, tales como el vidrio, pavimentos, arena o nieve. La luz reflejada por una superficie dieléctrica, está totalmente polarizada para un específico ángulo de incidencia, denominado ángulo de Brewster. Este ángulo es aquel que sumado con el refractado da 90° , y esto ocurre cuando la tangente del ángulo de incidencia es igual al índice de refracción del medio reflejante y siempre que el medio de propagación sea el aire ($\tan i = n$). Por

ejemplo para luz reflejada en una lente de vidrio crown e índice de refracción 1.523, el ángulo de Brewster es aproximadamente 57° ; para el agua es de 53° .

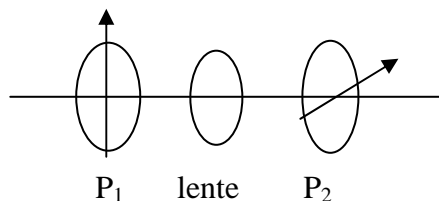
La utilidad de un filtro polarizante es la de suprimir la reverberación es decir la reflexión de la luz en una superficie reflectante ya que, como hemos dicho, esta está polarizada (en carretera, con el agua, nieve) esto da un confort para el usuario (un coloreado normal no suprime la reverberación). Se realizan en colores diferentes: marrón, gris, verde ...

Las lentes de polaroide llevan nueve capas

- una externa que asegura una resistencia al rayado
- una capa soporte que lo hace difícil de romper
- una capa interna que absorbe los U.V.
- una capa de filtro polarizador
- otra capa de absorción de U.V.
- una capa soporte para darle resistencia (doble)
- una capa que absorbe los I.R.
- una capa soporte
- una capa de resistencia al rayado.

Con esto absorbe hasta el 99% de la reverberación. Elimina el 96% de los UV. Absorbe casi el 60% de los IR. Absorbe entre el 62 y el 82% de la luz del espectro visible (son polarizadores al 80%, siempre hay un 20% de la luz que dejan pasar).

Una aplicación del polaroide es el tensiscopio que es un aparato que sirve para verificar la isotropía de las lentes.



Si la lente no es isótropa modifica el estado de polarización de la luz que le llega desde el polarizador P_1 y no se obtiene la oscuridad uniforme a la salida del polarizador P_2 . Aparte de ver las tensiones existentes en la lente antes de montar (mal recocido de la lente) se pueden controlar después del montaje \rightarrow lente (sobretudo orgánica) demasiado comprimida (sobretudo con montura metálica) o también cuando se le hace un tratamiento de resistencia o térmico) es posible que aparezcan tensiones.

Sobretudo al realizar montajes difíciles es conveniente realizar este análisis ya que las tensiones se traducen en birrefringencia (dos índices de refracción en función de la dirección local lo cual puede afectar muy negativamente a la refracción de la lente (aberraciones muy importantes).

En principio, no hay pruebas que demuestren que el uso prolongado de filtros polarizantes tenga algún efecto fisiológico nocivo.

TIPOS DE LENTES ABSORBENTES

Las lentes absorbentes pueden clasificarse de diferentes maneras según los parámetros que se tengan en cuenta. Una posible clasificación podría ser:

- 1.- Lentes diseñadas para uso general, las cuales absorben algo más de radiación UV, visible e IR, que una lente oftálmica transparente.
- 2.- Lentes que absorben selectivamente el UV y transmiten más o menos uniformemente el visible.
- 3.- Lentes de uso exterior, comúnmente llamadas gafas de sol, que tienen una transmisión promedio muy baja.
- 4.- Lentes que absorben selectivamente partes del espectro visible.
- 5.- Lentes cuyas características de absorción varían con el nivel y tipo de iluminación (lentes fotocromáticas).
- 6.- Lentes diseñadas para uso ocupacional, con particulares absorciones de longitudes de onda o altos niveles de absorción.

Lentes absorbentes generales

Las lentes de esta categoría, están ligeramente tintadas, por lo que muy poco más del UV del visible y del IR que una lente transparente. Estas lentes suelen ser de uso interior, y tienen una transmisión a través del espectro prácticamente uniforme. Las coloraciones son pues muy débiles.

Hay que recordar aquí, que el color es muy difícil de reproducir, por lo que sí se ha de reemplazar una lente es mejor hacerlo con las de los dos ojos. De esta forma las dos lentes habrán sido tintadas en el mismo proceso lo que asegura la igualdad del color.

Pacientes que normalmente solicitan lentes tintadas para uso en interiores son: personas albinas, sujetos con altos errores refractivos, especialmente afáquicos y miopes, sujetos que trabajan con pobres niveles de iluminación artificial o con terminales de ordenador, personas que no tienen en general buena salud y personas con tendencias neuróticas o neurasténicas.

Por otro lado, el débil coloreado de estas lentes es considerado a menudo como un valor cosmético, ya que se piensa que enmascara algo el aspecto de gafa, considerada como prótesis de ayuda a la visión. Por ejemplo cuando se utilizan bifocales, el coloreado contribuye a disimular el segmento.

Lentes que absorben el UV

Como hemos explicado en anteriores apartados, la exposición de la córnea a la radiación UV puede causar fotoqueratitis. Las longitudes de onda más cortas de 290 nm afectan primeramente al epitelio corneal; las comprendidas entre 290 y 315 nm causan daños en el estroma corneal, la membrana de Descemet y el endotelio, pudiendo provocar también de forma secundaria uveitis. La radiación UV es también responsable de varias formas de patologías retinianas tales como el edema macular cistoide.

Para prevenir entonces posibles daños oculares y minimizar el disconfort y la pérdida de funciones visuales, es necesario proporcionar a los ojos la debida protección.

Esta protección, la proporcionan los filtros que absorben o reflejan el UV. Un filtro de UV debería absorber todas las radiaciones menores de 380 nm.

El policarbonato, como sabemos, 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 que proporciona una protección a partir de 380 nm. Por otro lado, lentes de resina de alto índice de refracción ($n=1.6$), cortan el espectro a partir de 380 nm sin necesidad de ningún aditivo.

En general, ninguna lente de las comúnmente usadas, proporciona una protección total al UV. Por esta razón hay que añadir las capas o flitros adecuados para conseguir este objetivo.

Tengamos en cuenta además, que el color de la lente no dice nada acerca de la absorción del UV.

Lentes de uso exterior

Muchas de las lentes incluidas en esta categoría, absorben la suficiente radiación en el visible para ser consideradas gafas de sol. 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. Aún más, en el caso de niveles de iluminación extremos, por ejemplo bajo 34000 cd/m^2 , muchas de estas lentes no son suficientes siendo necesarias entonces lentes que absorban hasta un 95% o más. Cerca de estos límites se encuentran lentes tales como las lentes grises (gray).

Aunque todas estas lentes están diseñadas para uso exterior y tienen una excelente absorción en el rango de 200 a 300 nm, en el intervalo de 300 a 400 nm su absorción deja, sin embargo, mucho que desear.

Por el contrario estas lentes tienen en general una buena absorción en el IR. De cualquier forma la exposición requerida de IR para causar daños en el ojo, es como sabemos, mucho más alta que la de UV. Si de todas formas, en una situación particular hiciera falta protección contra el IR, tengamos en cuenta que por la forma de su espectro de transmisión, las lentes verde oscuras reducen considerablemente más la transmisión del IR.

Lentes de absorción selectiva

Aunque no son de uso común, existen lentes que absorben selectivamente diferentes porciones del espectro. Las lentes más normales de este tipo son las amarillas, azules y verde azuladas.

Lentes Amarillas

Este tipo de lente absorbe casi toda la radiación por debajo de 500 nm y por lo tanto reduce considerablemente la dispersión de la luz (la dispersión de la luz es provocada fundamentalmente por las longitudes de onda corta, es decir por los azules). Debido a que la máxima sensibilidad de la retina es para la longitud de onda de 555 nm, se ha sugerido que las lentes que tienen una alta transmisión relativa en o alrededor de esta longitud de onda, ayudan a mejorar la agudeza visual de noche. En consecuencia, este tipo de lentes se han promocionado como lentes de conducción nocturna.

También han sido recomendadas estas lentes para la práctica de la caza, aduciendo que la luz dispersada crea un problema en esta actividad y estos filtros ayudan a minimizarlo. Un estudio realizado con 50 cazadores demostró que el uso de las gafas amarillas no producía ningún efecto en un grupo de ellos, es decir sus marcas eran iguales con o sin gafas; en el otro grupo eran peores con las gafas amarillas.

En conclusión, estas gafas sólo son recomendables cuando el sujeto concreto las considera beneficiosas para una situación determinada.

Lentes azules y verde azuladas

Las lentes azules, tienen un uso estrictamente cosmético. Las lentes verde azuladas, tienen casi la misma curva de transmisión que un vidrio crown en el espectro visible, pero presentan un reducción gradual de la transmisión en la región del IR.

Estas lentes suelen denominarse lentes frías, y su uso suele ser recomendado a sujetos que están constantemente expuestos a superficies blancas reflejantes y a profesionales tales como cocineros que en su trabajo normal existe una excesiva cantidad de radiación IR.

Lentes fotocromáticas

Las lentes fabricadas con vidrio fotocromático o fotocromico, tienen la propiedad de oscurecerse cuando son expuestos a la luz, y volver a su estado original en ausencia de la misma. Como hemos dicho en un apartado anterior, las propiedades de esta lentes son causadas por la presencia de cristales de haluro de plata en la masa del vidrio que se disocia en plata y el halógeno correspondiente por acción de la luz, volviéndose a reconvertirse en haluro de plata en ausencia de luz. Este proceso es el mismo que el de las películas fotográficas, donde los granos de haluro de plata se ennegrecen por acción de la luz. Sin embargo, la diferencia estriba en que en la película fotográfica el proceso es irreversible, es decir, una vez ennegrecida no puede volver a su estado original, mientras que si esto ocurre en vidrio el proceso es reversible pudiéndose volver cuantas veces se quiera a su estado original.

Los factores que determinan la velocidad de respuesta, el intervalo de densidad y el color base del vidrio fotocromático, es la introducción en la masa de vidrio de diferentes sustancias dopantes (borosilicatos, aluminio-fosfatos...). Básicamente, todos los vidrios fotocromáticos presentes en el mercado son muy parecidos, ya que la base es fabricada fundamentalmente por sólo tres casas comerciales.

Los vidrios fotocromicos difieren de los materiales fotocromicos orgánicos, en que ellos son inmunes a la fatiga o deterioro producido por su uso continuado. Debido a que los microcristales se encuentran atrapados dentro del vidrio, los ciclos de oscurecimiento y extinción del mismo son prácticamente infinitos. Algunas nuevas lentes fotocromicas, sin embargo, necesitan un periodo de activación, durante el cual se somete a la lente a varios ciclos de oscurecimiento total y transparencia total. En estos casos si la lente deja de ser usada por un periodo más o menos largo, es necesario volver a realizar la activación inicial.

Como hemos dicho hay diferentes tipos de lentes fotocromicas pero bastante similares, sin embargo es importante conocer los rangos de transmisión que tienen cada una de ellas. 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.

En los últimos años se han introducido además, varias lentes fotocromáticas de alto índice de refracción ($n=1.6005$, n° de Abbe 42 y densidad 2.73 g/cc). Estas lentes tienen una transmitancia que varía, del estado más oscuro al más claro, desde el 22% al 83%.

Aunque muchos factores influyen en la transmitancia de un vidrio fotocromático concreto, los principales son los siguientes:

- 1.- Intensidad de la radiación incidente
- 2.- Longitud de onda de la radiación incidente
- 3.- Temperatura del vidrio
- 4.- Espesor del vidrio
- 5.- Previos tratamientos de calentamiento
- 6.- Historia de las exposiciones

Cuando se aplica un tratamiento antirreflejante o colorante a una lente fotocromática, debe hacerse dentro de un rango de temperaturas muy crítico ($230^{\circ} - 375^{\circ} \text{ C}$), si se quiere mantener las propiedades de la lente fotocromática. Además, algunos tratamientos absorben el UV por lo que su aplicación debe hacerse entonces en la segunda cara de la lente.

Aunque muchas personas creen que unas lentes fotocromáticas sustituyen a un par de gafas (de sol y de interior), hay que advertir que esto no es así en estricto sentido, ya que conducir de noche con lentes fotocromáticas es cuestionable. La mayoría de este tipo de lentes alcanza una transmisión del 85% de promedio con la máxima claridad, lo cual en algunas condiciones puede ser peligroso, y desde luego en el caso de que sólo alcance el 40% (PhotoSun II) es totalmente inaceptable.

Lentes fotocromáticas orgánicas

En los años 80, se produjeron las primeras lentes orgánicas fotocromáticas. Estas lentes eran fabricadas por impregnación química. La fase de oscurecimiento, es en estas lentes muy sensible a la temperatura. El intervalo de transmitancia variaba entre un 45% y un 90%. Sin embargo, después de 2 años de uso este intervalo se reducía considerablemente pasando a ser de 45% a 67%, lo que era un rango muy corto y además poco transparente para uso interior y poco oscuro para luz solar.

En los años 90, han salido al mercado otros tipos de materiales con un intervalo más amplio y más estable (transmitancia entre un 84% y un 25%), teniendo además una velocidad de transición de claro a oscuro y viceversa mucho más alta.

LENTES ESPECIALES

Lentes de control de brillo

Este tipo de lentes fotocromáticas, tienen una acción filtro que corta bruscamente el espectro visible a partir de una determinada longitud de onda, teniendo además una baja transmisión. La

longitud de onda de corte puede ser de 450, 511,527 y 550 nm, absorbiendo prácticamente cualquier radiación de longitud de onda inferior.

Estas lentes especiales suelen utilizarse para aliviar las molestias producidas por los brillos o resplandores que reducen la agudeza visual asociadas con ciertas enfermedades. Como es fácil deducir, estas lentes eliminan virtualmente toda la energía UV y los azules del espectro visible. Hay que entender que estas lentes no curan ninguna de las enfermedades para las cuales se utilizan, sino

Lentes ocupacionales

Estas lentes están diseñadas generalmente como lentes de protección para usos industriales. Los daños que pretenden evitar pueden ser tanto de origen mecánico como químico, así como de posibles radiaciones peligrosas para el ojo. Entre las ocupaciones que más precisan de protección ocular están los operarios de fundiciones, sopladores de vidrios y soldadores. Los estándares más corrientes en este tipo de lentes, indican que deben absorber completamente la radiación UV e 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.

TABLA I

<i>Número de oscurecimiento</i>	<i>Transmisión %</i>
1.5	61.1
1.7	50.1
2.0	37.3
2.5	22.8
3.0	13.9
4.0	5.18
5.0	1.93
6.0	0.72
7.0	0.27
8.0	0.10
9.0	0.037
10.0	0.0139
11.0	0.0052
12.0	0.0019
13.0	0.00072
14.0	0.00027

PRESCRIPCIÓN DE LENTES ABSORBENTES

Debido al gran número de lentes absorbentes disponibles, es casi imposible para el optometrista estar familiarizado con todas ellas. Esta tarea se complica además, porque la composición, el color y el coste no son criterios para predecir la cantidad de UV, visible o IR que una lente absorbe. Aunque lo oscura que sea un lente si te informa acerca de lo que transmite en el visible, existen otras diferencias que hacen que dos lentes igualmente oscuras no sean iguales. Generalmente, las lentes orgánicas (CR-39) filtran más el UV cercano que las minerales, pero existen excepciones. Dentro de un rango similar de oscurecimiento, no hay forma de predecir cual será más efectiva en el UV o IR. Además, el filtrado efectivo en una región del espectro, no garantiza que lo sea en cualquier otra región.

Existen en el mercado un gran número de gafas de sol no controladas, que transmiten importantes bandas de UV (se dice que poseen “ventanas” 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. Además, como atenúa mucho en el visible la pupila se dilata, con lo que la cantidad de UV todavía es mayor.

En cualquier caso, hay que advertir al usuario en que condiciones y con que niveles de iluminación resulta conveniente el uso de lentes absorbentes. Por ejemplo, para actividades al exterior con sol brillante la transmisión en el visible debe estar entre un 10 y un 20%.

Otro aspecto a recomendar es que, como el efecto del UV es acumulativo resulta adecuado la utilización más o menos continuada, de filtros para esta radiación, sobre todo en ambientes de sol brillante, pues puede prevenir o retrasar la aparición de diferentes enfermedades relacionadas con la exposición al UV.

Finalmente, sería recomendable que todas las gafas atenuaran el UV a partir de 400 nm, siempre y cuando esta atenuación que podría afectar algo a las cortas longitudes de onda (azules) no impidiera distinguir bien los colores, como por ejemplo los de los semáforos.

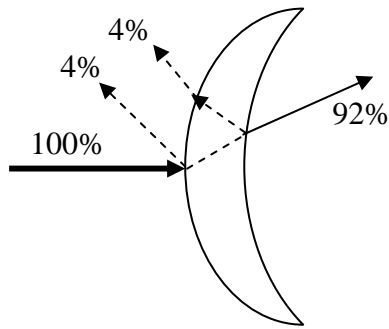
TRATAMIENTO ANTIRREFLEJANTE (A.R.). LENTES MINERALES

Entre los tratamientos de superficie hay que citar el tratamiento antirreflejante. El principio es vaporizar al vacío una sustancia como el fluoruro de magnesio, fluoruro de lantano.... sobre las dos caras de la lente mineral. Esta metalización atenúa el efecto espejo de la lente ya que se refleja menos la luz.

Cuando la luz pasa a través de un objeto transparente (una lente por ej.) siempre se produce una cierta reflexión. Una parte de la luz se pierde por reflexión en la cara anterior y en la posterior de la lente.

Si tenemos una lente de vidrio crown ($n_v=1,523$)

Se puede calcular la luz reflejada en la primera cara por la fórmula de Fresnel (en incidencia normal)



$$R = \left(\frac{n_v - n_1}{n_v + n_1} \right)^2$$

R = factor de reflexión

n_v = índice de refracción del 2º medio (1,523)

n_1 = índice de refracción del 1er medio (1.00)

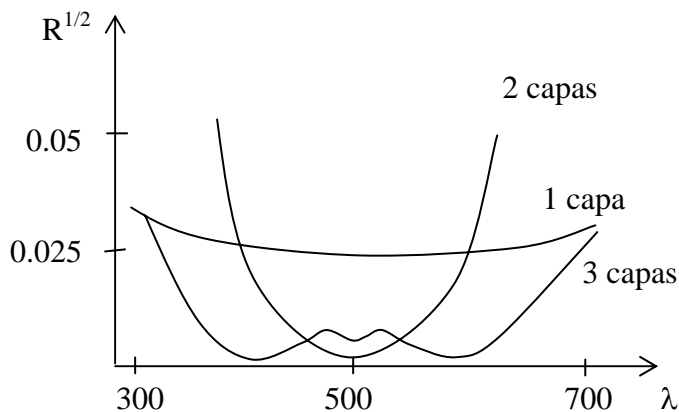
En nuestro caso $R = \left(\frac{1,523 - 1}{1,523 + 1} \right)^2 = (0,207)^2 = 0,043$

Luego en la primera cara hay una reflexión del 4,3%. En la segunda cara ocurre lo mismo y se reflejará el 4,3% (del 95,7% que le llega). Luego podemos evaluar las pérdidas por reflexión al 8%.

Para disminuir al máximo la reflexión hay que tratar las dos caras de la lente. Las dos condiciones requeridas son difíciles ya que conseguir el espesor adecuado no es sencillo y además no existe el material adecuado.

Un poco para remediar esto y además porque los resultados obtenidos son mucho mejores estos últimos años la mayoría de las firmas comerciales realizan sus tratamientos antirreflejantes con multicapas.

El principio de la técnica de multicapas es el mismo que con una sola capa pero lo que se pretende es anular la reflectancia para varias longitudes de onda y atenuarla hasta valores del 0,2% para amplias regiones del espectro.



Reducción de la reflexión con alternancia de capas de alto y bajo índice.

Ventajas que presenta un tratamiento A.R.

- En el caso de reflexiones frontales la agudeza visual no sufre los efectos negativos de la pérdida de luz (sobre todo con luminancias bajas). Desde el punto de vista estético el efecto espejo se atenúa, se ven mejor los ojos del usuario y la mirada tiene un aspecto menos serio.

- Reflexiones posteriores. Cuando el usuario está de espaldas a la fuente luminosa esto puede producir reflejos molestos que influyen la agudeza visual y causan fatiga en los ojos. (faros de coche de atrás, de espaldas a una ventana es difícil leer la pizarra...)

- Reflexión corneana (imágenes fantasmas). Un fenómeno que se produce a baja luminancia es el de la luz que reflejada en la córnea como un espejo convexo, estas reflexiones se re proyectan en el ojo por la reflexión en las dos caras de la lente provocando imágenes fantasmas (halos alrededor de las fuentes luminosas). Esto causa fatiga y además nerviosismo.

- Un resultado consecuencia de un tratamiento A.R. es que se aumenta la absorción del U.V. lo que no es despreciable.

- El tratamiento A.R. suprime los círculos concéntricos visibles en las lentes cóncavas de alta potencia.

- Los tratamientos A.R. no cambian las propiedades mecánicas de las lentes minerales (las orgánicas al dilatarse y comprimirse pueden resquebrajar la capa). Se pueden aplicar el resto de tratamientos en general y según el fabricante hay un orden (MOYA es la excepción ya que normalmente A.R. es el último pero para éstas puede ser el 1º).

- Es frecuente conseguir una mejor resistencia al rayado con el tratamiento.

- El hecho de alcanzar transparencias del 99,5% implica que todas las suciedades se ven más lo que obliga a una limpieza más cuidadosa. (Esto es a favor).

- La limpieza de las lentes A.R. con agua fría y jabón se lavan, se escurren y se secan con un paño suave (nylon, seda.....).

Inconvenientes

- Todo está calculado para la incidencia normal de la luz en la lente, basta con observar una incidencia oblicua para ver reflejos coloreados. Con una sola capa → sólo es válido para una longitud de onda.

- Precio

Otros tratamientos sobre lentes orgánicas

Hasta no hace mucho tiempo había muchas dificultades para conseguir un tratamiento AR sobre las lentes orgánicas por problemas de adherencia dada la imposibilidad de calentar las lentes orgánicas. Desde hace poco tiempo este tratamiento es posible con capas de material dieléctrico (sustancia aislante para la electricidad) vaporizadas sobre el vidrio.

Para que esta vaporización se haga en buenas condiciones la lente está en vacío a una temperatura similar a la de la ebullición del agua cuando la presión atmosférica es muy baja. El dieléctrico recibe la energía en forma de calor y de corriente eléctrica. Esta energía debe ser suficiente para permitir una vaporización constante del dieléctrico. La lente se debe colocar en la nube de vapor de tal manera que el dieléctrico condense uniformemente en la superficie de la lente. Este posicionamiento de la lente es muy importante pues el espesor de la capa debe ser un entero impar de $\lambda/4$.

El resto de tratamientos en las lentes van encaminados a conseguir una resistencia al rayado ya que éste es el principal inconveniente de las lentes orgánicas. Uno de ellos es la Hoya Hi-Quartz a base de cuarzo que es la base de la mayoría de este tipo de tratamiento. Normalmente sólo la cara convexa recibe un tratamiento ya que es la que está expuesta al rayado. Este recubrimiento no altera la solidez de la lente que resiste los test habituales y da una resistencia al rayado próxima a la del vidrio mineral.

BIBLIOGRAFÍA

- *Fannin T.E. & Grosvenor T. "Clinical Optics" Ed. Butterworth-Heinemann (1996).*
- *Jalie M. "The principles of Ophthalmic Lenses" (1998).*
- *Artigas J.M., Capilla P. Felipe A. & Pujol J. "Óptica Fisiológica: Psicofísica de la visión" Ed. McGraw-Hill Interamericana (1995).*
- *Boof K.R., Kaufman LL. & Thomas J.P. " Handbook of perception and human performance" Vol I Ed. John Wiley and Sons (1986).*
- *Le Grand Y. "Optique Physiologique" Masson & Cie. Paris (1972).*
- *Jameson D. & Hurvich L.M. Ed. " Handbook of sensory Physiology Vol VII/4 Visual Psychophysics" Springer Verlag (1972).*
- *Luckiesh M. & Holladay L. "Penetration of Fog by light from sodium and tungsten lamps" J.Opt. Soc.Am. 31, 528-530 (1941).*
- *Richards O. "Yellow glasses fail to improve seeing at night driving luminances" Highway Res. Abstr. 23, 32-36, (1953).*
- *Blackwell H. "The effect of tinted optical media upon visual efficiency at low luminances" J. Opt. Soc. Am., 43 815 (1953).*
- *Lynch D. & Brilliant R. "An evaluation of the Corning CPF 550 lens" Optom. Monthly 75, 36-42 (1984).*
- *Adler "Fisiología del ojo" Ed. Panamericana. Buenos Aires (1988).*