

OPTICA I

Óptica

Introducción:

El vidrio.

La Evolución de la técnica de fusión del vidrio óptico se remonta a las más antiguas civilizaciones humanas.

Se tienen referencias históricas, que la técnica de fusión del el vidrio era conocida y utilizada en Egipto cinco mil años antes de nuestra era. Se considera que posiblemente esa técnica fue llevada a esa región por grupos de asirios, y que esa técnicas también era ya conocidas por los griegos desde el tiempo de la Pirámides.

En Egipto, 1500 a.n.e., ya se utilizaban el vidrio como esmalte, y en el Antiguo Testamento aparecen referencias sobre la utilización del vidrio en utensilios domésticos.

En textos como la comedia satírica de Aristófanes “Las Nubes” (424 a.n.e.) y los escritos del historiador Plinio (23 – 79 d.n.e.), se describe que los romanos poseían vidrios quemadores, o sea esferas de vidrio que probablemente fueron usadas para comenzar fuegos. De esta forma, se considera ciertamente posible que algunos artesanos romanos hayan podido utilizar vidrios de aumento para facilitar su trabajo en obras que requerían de detalles muy fino.

Existen también referencias que en el año 140 a.n.e. en China, ya se conocía el vidrio y durante la dinastía WU, existió una fábrica que producía un tipo de vidrio, que en aquella época se conoció como LIECU-LI.

En Roma, durante la conquista de los territorios de Siria y Egipto, la industria del vidrio experimentó un notable incrementó, y se llegó a construir grandes placas de vidrio coloreado que fueron utilizadas con fines decorativos en la construcción de edificios públicos y privados.

Posteriormente, durante los primeros siglos de nuestra era, en todo el Imperio Romano, el vidrio se llegó a utilizar ampliamente para el recubrimiento de paredes, pavimentos, ventanas, decoraciones de utensilios de mesa y ornamentos.

Se conoce, que desde aquella época se habían desarrollado técnicas para obtener vidrio transparente en todos los colores, lo mismo que el vidrio opaco, así como las variedades de vidrio veteadas y de fantasía.

A través de excavaciones en tumbas y en los territorios de asentamiento de los romanos como Pompeya, se han encontrado fragmentos de vidrios y lentes planas convexas, como lo ha demostrado una lente encontrada en Maguncia que tiene un diámetro de 5,5 cms.; un grosor de 5,9 mm. en el centro y de 1,8 mm. en el borde, lo cual arroja para un índice de refracción aproximadamente $n = 1,5$ una distancia focal entre 18 y 19 cms. Así también se descubrió, junto al canal de Manchester, en Washington, las ruinas de una planta romana de vidrio, de gran capacidad, que fue la primera de Inglaterra.

Con la caída del Imperio Romano, la industria del vidrio declinó notablemente; y son muy pobres los datos históricos que se tienen de la producción de vidrio hasta el siglo XIII, época a partir de la cual Venecia monopoliza totalmente la fabricación de vidrio.

A partir del año 1220 d.n.e. fecha en que el fraile Franciscano inglés Roger Bacon talló los primeros lentes con la forma de lenteja y describe claramente las propiedades de las lentes para amplificar los caracteres escritos en su libro "Opus maius"

Posteriormente en Italia casi un siglo después, entre los años 1285 y 1300 d.n.e., se logró el siguiente paso, supuestamente obvio, montar las lentes en una armazón que permitiera colocar cada lente frente a un ojo, con el fin de mejorar la visión de las personas con defecto. Sin embargo, aun queda la duda si esto lo logró por primera vez Alexandro Della Spina, monje dominico de Pisa, o su amigo Salvino de Armati, de Florencia.

En el siglo XIV dos grandes industrias del vidrio trabajaron con gran provecho en Inglaterra. Pero no es hasta el siglo XVI, cuando logran obtener una producción intensa en países como Inglaterra, Francia y Alemania. En 1698 en Saint Gobaing (Francia), se logró por primera vez el vidrio laminado.

La primera mención de la obtención de vidrios flint y crown aparece con el desarrollo del primer objetivo telescópico acromático, que probablemente fue diseñado por Chester Moor Hall en Essex en 1729 y construido por George Bast en Londres en el año 1733, y finalmente patentado por John Dolland, en 1758 en Inglaterra, lo que dio lugar a la necesidad de

comercialización del vidrio óptico.

A partir de aquí, el desarrollo posterior de la óptica no se satisfizo con la producción de vidrios ordinarios, que no era apropiado para su uso en la construcción de componentes ópticos y demandó rápidamente el desarrollo de la fundición de vidrio como una industria especializada, con la calidad óptica requerida. De esta forma, nacieron en Francia e Inglaterra las primeras fundiciones que lograron con éxito la obtención de vidrio óptico.

Propiedades del vidrio óptico.

El vidrio es una sustancia dura, brillante, sonora, transparente o translúcida, de aspecto amorfo, frágil y de fractura concoídea, formado por silicatos diversos, obtenidos mediante fusión a altas temperaturas, de un elemento vitrificante óxido de silicio en presencia de fundentes alcalinos (sosa o potasa) y óxidos metálicos. Es insoluble pero se descompone con el ácido fluorhídrico, con la formación de fluoruro de silicio. El vidrio es "refringente" es decir, desvía los rayos luminosos que lo atraviesan; es diatérmico, permite el paso de la radiación infrarroja, pero en cambio es mal conductor del calor y de la corriente eléctrica.

Cuando se calienta hasta cierta temperatura, adquiere un estado pastoso, que cada vez se va haciendo más fluido, fusión que se obtiene en su totalidad después de los 1000°C. La masa fundida se encuentra en estado coloidal, pues está constituida por finísimas partículas en suspensión en un medio líquido. Al enfriarse pasa inversamente por los mismos estados, por lo que puede ser moldeado en todas las formas imaginables. También puede ser endurecido o templado.

El estudio de las propiedades generales del vidrio óptico comprende: las propiedades morfológicas, de las cuales se derivan las propiedades ópticas.

Propiedades morfológicas del vidrio óptico.

Las propiedades morfológicas del vidrio óptico pueden ser de:

- A) Carácter físico.
- B) Carácter químico.

A su vez las propiedades morfológicas de carácter físico pueden ser:

- a) La dureza.
- b) La densidad.
- c) El coeficiente de dilatación térmica.
- d) La resistencia térmicas.

e) Las tensiones internas.

- a) **La dureza.** Está comprendido entre la del espato flúor y la del cuarzo, está en relación inversa con la densidad del mismo, siendo mayor en el vidrio crown y menor en el vidrio flint. Esta dureza es mayor también en los vidrios que tienen algo de temple y menor en los que han sido recocidos. Las cualidades físicas del vidrio óptico en cuanto a su dureza, son de tener muy en cuenta, pues en la mayoría de los casos las superficies de las lentes están expuestas a golpes y a roces que producen graves daños cuando las lentes están constituidos de vidrios blandos.
- b) **La densidad.** La densidad del vidrio está en relación directa con el peso atómico de sus componentes, y varía en los vidrios ópticos desde 2,3 en el vidrio crown ligero, hasta 5,9 en el vidrio flint confeccionado a base de plomo. De la densidad del vidrio depende su índice de refracción y el coeficiente de dispersión relativa. En la actualidad es posible determinar previamente el índice de refracción y el coeficiente de dispersión que se desee, mediante la dosificación atómica de los elementos componentes de las fórmulas de los ingredientes.
- c) **Coefficiente de dilatación térmica.** El coeficiente de dilatación del vidrio depende principalmente de las relaciones entre las cantidades de sílice y alcalinos que contienen, los demás elementos constitutivos manifiestan poca acción sobre el coeficiente de dilatación.
- d) **Resistencia térmica.** La resistencia de los cambios térmicos bruscos del vidrio es bien conocida, pues siendo muy mal conductor del calor, se dilata más rápidamente en la superficie calentada que en el resto, dando lugar a las consiguientes líneas de tensión y de fractura.
- e) **Tensiones internas.** Una propiedad primordial del vidrio óptico, debe ser la ausencia de tensiones internas, o por lo menos que estas estén reducidas a un mínimo despreciable, ya que ningún vidrio se encuentra libre de este defecto.

Las dilataciones y contracciones que la masa fundida experimenta durante las operaciones de enfriamiento pueden dar lugar a zonas de contracción exageradas, que hacen que la materia vítrea no quede en un verdadero equilibrio físico de tensión. Esta condición predispone a la rotura de apariencia espontánea, así como a la producción de ondulaciones en las superficies pulidas de las lentes terminadas, ondulaciones que no afectan las imágenes de las lentes oftálmicas, pero que pueden dar lugar a distorsión en los instrumentos de precisión.

Estas líneas de tensión interna son aún más de temer por los fenómenos de doble refracción a los que dan lugar, similares a los producidos por los sistemas birrefringentes. Precisamente este fenómeno, permite determinar en los trozos de vidrio en bruto la presencia de líneas de tensión, mediante la luz polarizada.

Para ello, se coloca el vidrio entre dos dispositivos polarizadores de la luz con sus direcciones de polarización mutuamente perpendiculares y se observa si existen franjas de interferencias coloreadas que indican la presencia de bandas o superficies de tensión internas.

Con el objetivo de tener un vidrio libre de tensiones internas, es que se efectúan siempre las cuidadosas operaciones de recocido, en hornos especiales en los que se baja desde las altas temperaturas de fusión hasta la temperatura ambiente, de una manera pausada, grado a grado; operación que puede durar hasta meses, según el volumen de la masa fundida. Se persigue con esto un enfriamiento uniforme de toda la masa, con la supresión consiguiente de la contracción de las porciones superficiales que se enfrían más rápidamente cuando la temperatura ambiente desciende en marcado desnivel con las temperaturas de las porciones centrales.

- A) Las propiedades morfológicas de carácter químico dependen principalmente del grado de homogeneidad del vidrio, homogeneidad que es una condición absoluta en la confección del vidrio óptico.

La falta de homogeneidad en el vidrio ocasiona que la velocidad de propagación de la luz en la masa vítrea no sea la misma en diferentes porciones del material, lo cual es inapropiado para la producción de vidrio óptico, porque genera deformaciones en la imagen independientemente de cuan perfectas sean las superficies ópticas que se elaboren en dicho material.

Es esto una de las mayores preocupaciones en cada paso de la manufactura; la mezcla de los ingredientes se hace concienzudamente con los materiales más puros que es dable obtener en la industria, la agitación de la masa en fusión se mantiene durante todo este proceso, alargándolo hasta los comienzos de las operaciones de enfriamiento lento, durante largas horas se mantienen muy elevadas temperaturas con el objetivo de mantener la fluidez y así facilitar la mezcla de los componentes y la expulsión de los gases productos de las reacciones químicas en las formaciones de los

silicatos. Una composición química homogénea debe producir un vidrio exento de defectos.

Los defectos que produce la falta de homogeneidad del vidrio son los siguientes:

- a) Las estrías.
- b) Las burbujas.
- c) Las inclusiones.
- d) La nebulosidades.
- e) Estabilidad química.

a) **Las estrías.** También llamadas venas o vetas, cordones, cintas corrientes, etcétera, son las consecuencias de una mezcla imperfecta de los ingredientes o una defectuosa distribución de la masa durante la fusión; a veces son producidas por pequeñas porciones de arcillas provenientes del crisol y disueltas en el vidrio por acción química del vidrio en fusión.

Para prevenir las estrías la masa debe ser cuidadosamente batida durante las operaciones de fusión, como se demuestra en el símil experimental ideado por Wright, quien mezcló agua y glicerina en un vaso de vidrio batiendo cuidadosamente el líquido con una varilla, también de vidrio. De esta forma, demostró cuan largo tiempo debe mantenerse el batido para hacer desaparecer todas las estrías que presenta el líquido.

Podrá imaginarse que si es una mezcla tan simple se requiere tanto tiempo de trabajo, las dificultades de obtener una mezcla perfecta de vidrio fundido han de ser mayores.

b) **Las burbujas.** Las burbujas grandes y pequeñas no pueden ser admitidas en el vidrio óptico. Estas burbujas son consecuencia de la gran cantidad de gases que se desprenden como producto de las reacciones químicas que se efectúa entre los ingredientes durante las elevadas temperaturas de fusión. Estas burbujas contienen generalmente aire, vapor de agua, oxígeno, nitrógeno, anhídrido o monóxido de carbono.

La expulsión de estos gases se favorece con el batido, con la elevación de la temperatura en las operaciones de acabado del vidrio o mediante la adición de carbonato de cal o sodio, que generan un gran volumen de gases y al producirse grandes burbujas, éstas arrastran a la superficie rápidamente a las más pequeñas.

- c) **Las inclusiones.** Las inclusiones inutilizan el vidrio para uso óptico y son las llamadas piedras y cristalizaciones. Las piedras son inclusiones de cuerpos extraños, constituidos generalmente por porciones de materias primas que resistieron al proceso de la fusión o por pequeñas porciones de arcillas desprendidas del crisol y no disueltas u otras impurezas que hayan caído en el crisol del horno. Suelen acompañarse de estrías por la disolución de partes de las inclusiones y por bandas de tensiones internas, como consecuencias del diferente coeficiente de dilatación y contracción que estos materiales extraños presentan.

Las "cristalizaciones" se forman cuando la masa fundida se hace enfriar demasiado lentamente, dando tiempo a que ciertos elementos componentes tengan tiempo de cristalizar produciéndose el llamado astillado de la masa.

- d) **Las nebulosidades.** Las nebulosidades o manchas lechosas del vidrio se forman por la precipitación de coloide que se generan durante la fusión o durante el periodo de enfriamiento, así como, cuando en las operaciones de moldeado de los blanks se eleva la temperatura hasta cerca del punto de fusión. Estas nebulosidades se favorecen con la presencia en la masa de cloruros y sulfatos, que pueden presentarse como impureza.

- e) **La estabilidad química.** La estabilidad química del vidrio debe ser absoluta, el vidrio óptico debe resistir al ataque del medio ambiente y de los muy especializados usos a que se destine, sin que sea afectado fácilmente.

La luz puede producir cambios en la coloración del vidrio, cuando su constitución química no es estable. El aire produce con mucha facilidad la oxidación del vidrio rico en boratos y fosfatos, así como los de bario.

También existen tipos de vidrio higroscópicos que condensan sobre su superficie el vapor de agua, hasta llegar a veces a formar sedimentos acuosos, que mezclados con el ácido carbónico del aire, producen una descomposición química del vidrio, cuya superficie queda arruinada por la formación de carbonatos sódicos o potásicos.

Estos defectos de estructuración, son buscados afanosamente a todo lo largo de las complicadas manipulaciones de la manufactura del vidrio y de las lentes.

Para ello, se pulen las caras paralelas del fragmento de vidrio a analizar y se sitúa entre una fuente luminosa puntual, en el foco de una lente convergente, la cual hace el papel de lente condensadora de la luz, y otra lente convergente que sirve de lupa, lo cual permite observar la presencia de las afectaciones en la muestra analizada.

Además se utiliza para la observación de estos defectos la iluminación lateral u oblicua de los trozos de vidrio, observados contra un fondo negro; sistema en el que aparecen iluminado claramente todos los defectos de este tipo, que aparecen como flotando en la masa transparente.

Este método es el que se utiliza en biología con el nombre de "ultramicroscopía", que es similar al fenómeno de la iluminación lateral, que permite observar las pequeñísimas partículas de polvo suspendidas en el aire de una habitación oscura, cuando penetrada por un rayo de sol.

También se hace el examen de los fragmentos de vidrio, introduciéndolos en soluciones de igual índice de refracción y haciendo pasar un intenso rayo de luz.

En la actualidad, se ha desarrollado tecnologías para la producir vidrio óptico con falta de homogeneidad predeterminada de forma gradual y progresiva en la masa vítrea. Este vidrio óptico así elaborado, se utiliza en la producción de determinados dispositivos y componentes ópticos especiales, que incluyen este aspecto como característica del material en el diseño de los mismos.

Propiedades ópticas del vidrio.

Las propiedades físicas del vidrio óptico son:

- a) La transparencia.
- b) La refringencia.
- c) El poder dispersivo.

a) Transparencia.

La transparencia del vidrio de óptica debe ser superior a la del vidrio corriente, y con la excepción de los vidrios utilizados en la confección de filtro de absorción o protectores, que presentan generalmente coloración, el vidrio óptico debe ser incoloro y, por tanto, transparente para todas las radiaciones del espectro visible.

La transparencia debe ser del orden de 0,98 para un espesor de un centímetro y para conseguirla se utilizan materiales de alta pureza química y crisoles que pueden resistir el ataque corrosivo de vidrio en fusión, así como el más estricto cumplimiento de las reglas técnicas que presiden la elaboración del vidrio.

La presencia de hierro, cobre, níquel, cobalto, cromo, manganeso, y otros metales, dan lugar a coloraciones diversas en el vidrio, aunque se encuentren en cantidades inapreciables.

De todos estos elementos el hierro es el más temido por los vidrieros, pues la abundancia en la naturaleza de óxido ferroso férrico da lugar a una intensa coloración verde y el óxido férrico produce un amarillo pálido.

Estas coloraciones son evitadas o disminuidas en la fabricación del vidrio corriente, en los que no se utilizan materiales de gran pureza, mediante la adición del bióxido de manganeso (jabón de vidrieros), que da color complementario al del hierro, pero esto es a costa de la transparencia y el efecto pasajero, por producirse a la larga cambio de color del vidrio así preparado y resultando impropio para su uso óptico.

La transparencia del vidrio óptico es diferente para los distintos elementos del espectro. El vidrio crown y el vidrio flint son relativamente opacos a la radiación infrarroja, y su transparencia es la misma para toda la zona del espectro visible, mientras que para el ultravioleta el vidrio crown es menos transparente y el vidrio flint resulta casi opaco. Esto es debido a la presencia del plomo, que es un obstructor poderoso de las radiaciones de longitud de onda corta. Es por ello, que los vidrios densos de plomo se utilizan en la protección contra los rayos X y otras radiaciones electromagnéticas de longitud de onda muy corta.

Para obtener vidrios transparentes para el ultravioleta, se utilizan grandes porciones de sílice y anhídrido bórico que se combinarán con óxidos de metales ligeros. El cuarzo, que es prácticamente sílice puro, presenta una gran transparencia para el ultravioleta, lo que le da gran valor en la construcción de bulbos para las lámparas de vapor de mercurio y para las lentes y filtros transparentes a la luz ultravioleta.

Mientras que obtener vidrios transparentes a la radiación infrarroja se utilizan elementos de sal de roca, así como los fluoespatos.

Las propiedades de transparencia que dependen de la transmisión y la absorción de las radiaciones de distintas longitudes de onda que constituyen el espectro luminoso, son utilizadas en la producción de los llamados vidrios de protección, de absorción o de filtro; en los que mediante coloraciones diversas se producen una disminución de la transparencia para todo el espectro o un efecto selectivo de absorción para ciertos colores, mediante la utilización de colores complementarios.

De esta forma, la utilización del plomo y demás metales pesados se realiza cuando se desea tener opacidad para la radiación de longitud de onda cortas, mientras que la utilización de los metales ligeros cuando se quiere buscar el efecto contrario.

b) **La refringencia.**

La refringencia del vidrio es una de sus cualidades básicas para su uso óptico en la construcción de lentes, prismas y diferentes componentes ópticos, por tanto, es natural que el vidrio que se utiliza como materia prima, debe presentar una exactitud absoluta en cuanto a sus valores refractométricos.

La refracción es uno de los fenómenos que se producen al pasar la luz por el límite de separación de dos medios ópticos. Este fenómeno se produce por la diferente velocidad de propagación de la luz en cada medio, diferente del vacío, y se manifiesta además, por un cambio de dirección de la propagación de la luz cuando la incidencia del haz de rayos no es normal a la superficie de separación de los medios.

Si consideramos como es la velocidad de propagación de la luz en diferentes medios homogéneos y transparentes, vemos que esta velocidad es mayor en los medios menos refringentes, que coincide por lo general con los medios menos densos, y es menor en los medios más refringentes, que coincide por lo general con los medios más densos. Pero esta relación, no siempre se cumple, de forma absoluta, porque la velocidad de propagación de la luz depende de las propiedades eléctricas y magnéticas de las partículas que componen el medio, y no de dependen de la masa de las partículas que lo integran, por lo que esta aparente relación puede conducirnos a conclusiones erróneas.

Hasta ahora, cuando hablamos de la propagación de la luz en diferentes medios ópticos, lo hemos hecho de forma genérica, y no hemos especificado a que parte del espectro visible nos referimos; ya que, el

espectro de luz visible está formado por ondas electromagnéticas comprendida entre 400 y 800 nm, valores que corresponde a la sensación subjetiva que nos producen respectivamente, los colores violeta y rojo, que son los colores extremos del espectro visible.

A diferencia de otros medios, la velocidad de luz en el vacío es constante, independientemente del valor de la longitud de onda y es aproximadamente igual a 300 000 Km/s.

Sin embargo, para un mismo medio, diferente del vacío, la velocidad de propagación de la luz, es diferente para las distintas longitudes de onda del espectro visible.

Esto implica, que a la hora de comparar la refringencia de un medio con respecto a la de otro, esta debe realizarse a partir de una misma longitud de onda tomada, como referencia.

De forma generalizada, se ha adoptado como longitud de onda de referencia para determinar la refringencia de los medios ópticos, la radiación electromagnética proveniente de un rango de longitudes de onda muy estrecho del espectro visible, que corresponde con la longitud de onda proveniente de una fuente de vapores de sodio, similar a la que se utiliza en el alumbrado público, que se caracteriza por emitir en el rango de su espectro de línea, una fuerte radiación de color amarillo intenso que se identifica como la línea D de Fraunhofer y cuya longitud de onda es 589.3 nm.

Después de adoptada esta radiación casi monocromática como referencia, se puede determinar numéricamente la refringencia de un medio óptico y cuantas veces es mayor, con respecto a la de otro.

Para ello, se relaciona la velocidad de propagación de la luz, tomada como referencia, en el vacío, con el valor de la velocidad de propagación en cada medio óptico, esto nos define una magnitud, un índice que es constante y que caracteriza a los diferentes medios ópticos. De esta manera, el índice de refracción de un medio nos permite conocer en cuanto disminuye la velocidad de propagación de la luz en el mismo respecto al vacío.

Esto es a lo que se le llama índice de refracción absoluto de un medio, o sea, a la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio, mientras que a la relación de la velocidad de la luz de un medio respecto a otro se le llama índice de refracción relativo.

El índice de refracción del aire respecto al vacío es de 1,003, que en la práctica se tiene como 1. El índice de refracción del agua con respecto al aire es de 1,336, el del alcohol 1,336 y el del bálsamo del Canadá 1,535. En lo que al vidrio se refiere al índice de refracción varía según la composición del mismo y así vemos que el vidrio crown puede tener desde 1,500 hasta 1,600.; el vidrio crown para uso oftálmico tiene 1,523 y el vidrio flint varía desde 1,530 hasta 1,800. El diamante tiene 2,50.

c) **Dispersión.**

Es el fenómeno que se produce por los diferentes índices de refracción que posee un mismo medios ópticos para las diferentes longitudes de onda del espectro visible.

Debido a esto, cuando la incidencia de la luz blanca no es normal a la superficie refractora, cada longitud de onda que compone la luz, se refracta propagándose a diferentes velocidades y en diferentes direcciones en el interior del medio, dando lugar a la formación de distintos ángulos de refracción, dispersándose la luz en forma de abanico. A este fenómeno se le llama dispersión de la luz.

A cada banda de este abanico, le corresponde una radiación de distinta longitud de onda, ordenándose el espectro, desde las longitudes de onda mayores, a las que les corresponde el color rojo, hasta las longitudes de onda más cortas, a las que les corresponde el color violeta, formándose así un espectro de luces de colores. Esto se debe a que las radiaciones de longitudes de onda largas, se propagan a más velocidad y se refractan menos, mientras que las longitudes de onda más corta se propagan a menos velocidad y se desvían más.

El fenómeno de dispersión de la luz fue descrito por primera vez por Newton, al descubrir que la luz solar está compuesta por la composición de la luz de diferentes colores, lo que se pone de manifiesto también, con la formación del arco iris, en el cual el espectro de luces de colores se ordena comenzando por el rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, índigo y violeta.

Newton pudo demostrar que la composición de las longitudes de onda correspondientes a cada uno de los colores del espectro constituye un elemento primitivo o simple, que no puede ser desdoblado y que recombinado da lugar nuevamente a la obtención de luz blanca.

Las bandas coloreadas del espectro son originadas por las radiaciones que emergen de los cuerpos sólidos o líquidos que se encuentran en estado de

incandescente, ejemplo filamento incandescente de un bombillo, y demás fuentes luminosas de este tipo, que dan origen a espectros continuos. Los espectros de líneas de emisión se originan en gases enrarecidos excitados por descargas eléctricas que dan lugar a muy peculiares fenómenos, fundamento de la espectroscopia.

Mediante el análisis espectral, se identifican los elementos que existen en el Sol y las Estrellas y es por medio de la espectroscopia que conocemos la estructura química del Universo, es por ello que podemos afirmar que con la ayuda del espectroscopio la química se ha enriquecido notablemente en los últimos años.

Por medio del espectroscopio, Fraunhofer determinaron las ocho rayas más prominentes del espectro solar con letras mayúsculas que clásicamente se consideran como puntos de referencias. La raya A está en el rojo oscuro, la B en el rojo claro; C en el anaranjado, D corresponde al amarillo; E al verde, F al azul oscuro, G en la zona del índigo y H en el violeta. Además, existe por delante del rojo una franja espectral denominada infrarrojo, a la que le corresponde efectos térmicos; de la misma manera después del violeta se encuentra el ultravioleta cuya radiación se caracteriza por sus efectos químicos.

Cuando un haz de rayos paralelo de luz blanca, incide formando un ángulo con la primera cara de una lámina de caras no paralelas, (prisma), los rayos se refractan y se separan en la primera cara y se refractan mucho más en la segunda cara dando lugar a la formación de un espectro de colores.

En la talla de lentes oftálmicas esféricas y cilíndricas y en construcción de prismas, hay que tener en cuenta de manera muy particular el fenómeno de la dispersión y mucho más si los trabajos que se realizan son dirigidos a la óptica de precisión.

Esto se debe a que todos los cálculos de lentes se hacen basados en un índice de refracción único, ya que sería de una complicación extraordinaria tener en cuenta el índice de refracción de cada componente de la luz para dichos cálculos.

Este problema se hace aún mayor estudiando los distintos espectros que se obtienen con los distintos tipos de vidrio. Un prisma de vidrio flint da un espectro de doble longitud que un prisma idéntico de vidrio crown, y comparados ambos espectros, no hay correspondencia entre la composición de las rayas de Fraunhofer, que aunque no han cambiado su orden de coloración, han sufrido cambios de posición, es decir, han variado sus

distancias entre sí. Como cada raya se encuentra siempre en el color que le corresponde, resulta fácil determinar con precisión la posición de cada color, y determinando estas posiciones es que se mide el efecto dispersivo de un vidrio dado.

El índice de refracción y el poder dispersivo difieren considerablemente entre sí según la composición química del vidrio; los vitrificantes o elementos ácidos silícicos (ácido bórico, ácido fosfórico, flúor y arsénico) disminuye el índice y el poder dispersivo, por esta razón el vidrio crown constituido principalmente por estos elementos y en especial abundantes en silicio, tiene un bajo índice de refracción y un pequeño poder dispersivo. El vidrio flint que contiene tanto plomo como el silicio, presenta un alto índice de refracción y muy alta dispersión. Los óxidos alcalinos y alcalinos térreos (potasa, sosa y cal) aumentan poco el índice y poca la dispersión, no así el óxido de zinc, que con un elevado índice produce un pequeño poder dispersivo. Es lógico pensar que combinando estos componentes adecuadamente, es posible obtener vidrios de todas las cualidades deseadas, como son indispensable en la compleja industria óptica.

Variedades de vidrios ópticos.

El vidrio para uso óptico presenta tres variedades fundamentales:

- 1) Vidrio crown.
- 2) Vidrio flint.
- 3) Vidrios de protección y de absorción.

Esta clasificación es clásica y es el motivo principal por el cual la adoptamos.

Las modernas variedades del vidrio no se ajustan a ello con exactitud, pero en el orden didáctico consideramos que es la más útil.

1. **Vidrio crown.** La palabra vidrio crown que traducida literalmente significa "vidrio de corona", proviene de que primitivamente este tipo de vidrio se obtenía por soplado en forma de plato o bandejas redondas, a las que se denominaban corona. Así se obtenía el vidrio de ventana crown, que aún puede verse en edificaciones de los siglos XVII y XVIII, en Inglaterra, vidrios que tenían la forma de discos con una gran burbuja en el centro. Las lentes primitivas se hacían de vidrio crown y en la actualidad son de vidrio crown la mayoría de los vidrios oftálmicos. En el comercio suele llamarse vidrio al vidrio crown y vidrio al flint.

El hecho más característico de la composición química del vidrio crown es su riqueza en sílice, que de un modo general oscila alrededor del 70 %, con un 12 % de óxido de calcio (cal) y un 15 % de óxido de sodio (sosa). El resto está constituido por pequeñas cantidades de potasio, bórax, antimonio y arsénico, que comunican al vidrio distintas propiedades que facilitan su elaboración, dando como resultado la producción de gran variedad de tipo de vidrio crown lo cual ha solucionado serios problemas prácticos de óptica, en la construcción de lentes fotográficas y otros dispositivos ópticos

Las características propias del clásico vidrio crown, dadas por Dolland en 1740, indicaban para el mismo un índice de refracción de 1,53; en la actualidad existen vidrios crown con índices desde 1,48 hasta índice 1,62. Pero modernamente la clasificación entre el vidrio crown y el vidrio flint no se hace atendiendo al índice de refracción, sino a los valores dispersivos del mismo. Así pues, se denomina vidrio crown a los vidrios que originan un espectro relativamente corto, es decir, que tienen poco poder dispersivos (gran constringencia). El vidrio crown más ligero tiene un $V = 70,0$ y el vidrio crown más denso de $V = 52,0$. El vidrio crown de uso oftálmico tiene, como hemos dicho anteriormente, un índice de refracción de 1,523, y una dispersión relativa $V = 60,0$.

2. **El vidrio flint.** Debe su nombre a que primitivamente el sílice que se utilizaba para su manufactura, era de gran pureza, no utilizándose las arenas ordinarias, sino, que se utilizaba pedernal molido (flint en inglés) que es una variedad de cuarzo de gran pureza en contenido de silicio. El vidrio flint se denomina también vidrio de plomo y está constituido, dentro de grandes variaciones por un 45 % de sílice, un 35 % de óxido de plomo, un 10 % de óxido de potasio y el 10 % restante de óxido de sodio y otros componentes.

Dolland, que uso del vidrio flint en combinación con el vidrio crown y obtuvo la primera lente acromática, fijó en 1,58 el índice de refracción para el vidrio flint y en la actualidad las variedades del vidrio flint se presentan desde 1,52 hasta 1,90. De acuerdo con las tendencias modernas, llamamos vidrio flint, al que originan un espectro relativamente largo, es decir, vidrios de gran dispersión (pequeño constringencia óptica); los más ligeros presentan $V = 53,4$ y los más densos $V = 22,0$.

El vidrio flint es más blando que el vidrio crown y cuando se pule es también más brillante que éste. Su punto de fusión es mucho más bajo y resulta extraordinariamente apropiado para la fabricación de los bifocales del tipo llamado "fundido", de los cuales el más conocido es el "Kryptok". Tiene el inconveniente, dada su gran dispersión, de dar lugar a una fuerte

alteración cromática en el segmento de lectura, inconveniente que ha sido vencido con el uso del bario. El flint de bario se obtiene mediante el uso del óxido de bario en una proporción de 25 % al 40 %, y presenta un alto índice de refracción similar al vidrio de plomo, sin el inconveniente de la alta dispersión que éstos presentan, pues el bario da al vidrio una alta disminución de la dispersión (constringencia). Al flint de barrita se debe la obtención de los modernos bifocales acromáticos, que tan alta perfección presentan.

3. **Vidrios de protección o de absorción.** Con el objeto de proteger al ojo contra el exceso de luz o contra determinadas radiaciones luminosas, desde la antigüedad se utilizan vidrios generalmente coloreados, denominados filtros, protectores o de absorción.

a) Historia: el vidrio de color fue producido por primera vez por los fenicios, y se han encontrado camafeos y cuentas de los más variados y hermosos colores en excavaciones verificadas correspondientes a una época de 350 años a.C. Sin embargo, se supone que en fecha muy anterior, ya los chinos utilizaban un vidrio transparente al que llamaban Tcha Chi o piedra de Te, dada su semejanza con el color de una infusión de te y el que utilizaban para reducir la brillantez excesiva de la luz.

Todos conocemos de la historia de Nerón (año 60 de la E. Cristiana). A pesar del gran uso que el vidrio de color tuvo durante siglos en el arte decorativo, no es hasta el año 1561 en que aparece la primera mención del vidrio coloreado para uso óptico Varius Aucott, comerciante en productos ópticos de Míddlesex, Inglaterra, preconizó como de gran utilidad el uso del vidrio verde como protector de la luz. Ciento once años después, Richard Pierson de Londres, recomendaba en el 1672 el uso del vidrio azul, al que consideraba muy superior al verde. En 1716 aparecieron los primeros vidrios de color en la óptica alemana, "los vidrios verdes de Hartel que se enriquecieron años después con los hermosos vidrios rojos fabricados por Mayer Oppenhien.

El doctor John Tyndall publicó en el 1866 estudios serios sobre la absorción y transmisión de los distintos vidrios de color. Una fábrica alemana, presentó en el 1868 un vidrio de absorción en "cuña", al que denominó Shade Lens estaba constituido por dos láminas soldadas, una de ellas de color azul y otra blanca, tallándose en forma de media luna una cuña a expensas de la parte coloreada, de modo que hacia la parte de arriba del vidrio, la coloración era azul intensa, coloración que hasta llegaba a desaparecer por completo en la parte inferior. En 1871 Brachet y Guesell, presentaron un vidrio absorbente para el ultravioleta, preparado con sales

de uranio. Al año siguiente Thomas obtuvo lentes coloreadas cementando dos lentes transparentes con bálsamo coloreado y años después Wilson de Pensilvania, patentó las lentes "Arundel", con un ligero color rosado.

El primer vidrio monocromático de una sola pieza se debe a Nuremberg Su método consiste en esmaltar al fuego una superficie de lente ya tallada y pulida, puliendo después a su vez la superficie del esmalte. En 1860 el doctor Fieusel de París, comenzó el estudio científico de vidrios de absorción para la luz ultravioleta, muriendo antes de completar su trabajo, su discípulo, el doctor Fargier completó la investigación que terminó con la producción de un vidrio amarillo verdoso al que denominó "clorofila", nombre que fue sustituido por el de vidrios Fieusel.

Los vidrios Hallauer, obtenidos por el doctor Otto Hallauer de Suiza (1905), son todavía usados en Europa dadas las cualidades que le confiere su color verde ahumado. En el 1907, Senauz y Stockhausen de Dresden, presentaron un vidrio verde amarillento de uranio, en cinco colores distintos, al cual denominaron "euphos" En 1913 el gran hombre de ciencia Sir William Crookes después de seis años de experimentación, logró obtener el famoso vidrio que puede absorber las radiaciones ultravioletas y las infrarrojas. El color original era verdoso, pero más tarde obtuvo el color gris con el que actualmente se presentan estos vidrios, que por ese motivo no son opacos a los rayos infrarrojos.

Óptica

Rama de la física que se ocupa de la propagación y el comportamiento de la luz. En un sentido amplio, la luz es la zona del espectro de radiación electromagnética que se extiende desde los rayos X hasta las microondas, e incluye la energía radiante que produce la sensación de visión. El estudio de la óptica se divide en dos ramas, la **óptica geométrica** y la **óptica física**.

Naturaleza de la luz

La energía radiante tiene una naturaleza dual, y obedece leyes que pueden explicarse a partir de una corriente de partículas o paquetes de energía, los llamados fotones, o a partir de un tren de ondas transversales (*véase* Movimiento ondulatorio) El concepto de fotón se emplea para explicar las interacciones de la luz con la materia que producen un cambio en la forma de energía, como ocurre con el efecto fotoeléctrico o la luminiscencia. El concepto de onda suele emplearse para explicar la propagación de la luz y algunos de los fenómenos de formación de imágenes. En las ondas de luz, como en todas las ondas electromagnéticas, existen campos eléctricos y magnéticos en cada punto del espacio, que fluctúan con rapidez. Como estos campos tienen, además de una magnitud, una dirección determinada, son cantidades vectoriales (*véase* Vector) Los campos eléctrico y magnético son perpendiculares entre sí y también perpendiculares a la dirección de propagación de la onda. La onda luminosa más sencilla es una onda sinusoidal pura, llamada así porque una gráfica de la intensidad del campo eléctrico o magnético trazada en cualquier momento a lo largo de la dirección de propagación sería la gráfica de una función seno. El número de oscilaciones o vibraciones por segundo en un punto de la onda luminosa se conoce como frecuencia. La longitud de onda es la distancia a lo largo de la dirección de propagación entre dos puntos con la misma 'fase', es decir, puntos que ocupan posiciones equivalentes en la onda. Por ejemplo, la longitud de onda es igual a la distancia que va de un máximo de la onda sinusoidal a otro, o de un mínimo a otro. En el espectro visible, las diferencias en longitud de onda se manifiestan como diferencias de color. El rango visible va desde 350 nanómetros (violeta) hasta 750 nanómetros (rojo), aproximadamente (un nanómetro, nm, es una milmillonésima de metro) La luz blanca es una mezcla de todas las longitudes de onda visibles. No existen límites definidos entre las diferentes longitudes de onda, pero puede considerarse que la radiación ultravioleta va desde los 350 nm hasta los 10 nm. Los rayos infrarrojos, que incluyen la energía calorífica radiante, abarcan las longitudes de onda situadas aproximadamente entre 750 nm y 1 mm. La velocidad de una onda electromagnética es el producto de su frecuencia y su longitud de onda. En el vacío, la velocidad es la misma para todas las

longitudes de onda. La velocidad de la luz en las sustancias materiales es menor que en el vacío, y varía para las distintas longitudes de onda; este efecto se denomina dispersión. La relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de una longitud de onda determinada en una sustancia se conoce como índice de refracción de la sustancia para dicha longitud de onda. El índice de refracción del aire es 1,00029 y apenas varía con la longitud de onda. En la mayoría de las aplicaciones resulta suficientemente preciso considerar que es igual a 1.

Las leyes de reflexión y refracción de la luz suelen deducirse empleando la teoría ondulatoria de la luz introducida en el siglo XVII por el matemático, astrónomo y físico holandés Christian Huygens. El principio de Huygens afirma que todo punto de un frente de onda inicial puede considerarse como una fuente de ondas esféricas secundarias que se extienden en todas las direcciones con la misma velocidad, frecuencia y longitud de onda que el frente de onda del que proceden. Con ello puede definirse un nuevo frente de onda que envuelve las ondas secundarias. Como la luz avanza en ángulo recto a este frente de onda, el principio de Huygens puede emplearse para deducir los cambios de dirección de la luz.

Cuando las ondas secundarias llegan a otro medio u objeto, cada punto del límite entre los medios se convierte en una fuente de dos conjuntos de ondas. El conjunto reflejado vuelve al primer medio, y el conjunto refractado entra en el segundo medio. El comportamiento de los rayos reflejados y refractados puede explicarse por el principio de Huygens. Es más sencillo, y a veces suficiente, representar la propagación de la luz mediante rayos en vez de ondas. El rayo es la línea de avance, o dirección de propagación, de la energía radiante y, por tanto, perpendicular al frente de onda. En la óptica geométrica se prescinde de la teoría ondulatoria de la luz y se supone que la luz no se difracta. La trayectoria de los rayos a través de un sistema óptico se determina aplicando las leyes de reflexión y refracción.

Óptica geométrica

Este campo de la óptica se ocupa de la aplicación de las leyes de reflexión y refracción de la luz al diseño de lentes y otros componentes de instrumentos ópticos.

Reflexión y refracción

Si un rayo de luz que se propaga a través de un medio homogéneo incide sobre la superficie de un segundo medio homogéneo, parte de la luz es reflejada y parte entra como rayo refractado en el segundo medio, donde puede o no ser absorbido. La cantidad de luz reflejada depende de la relación entre los índices de refracción de ambos medios. El plano de incidencia se define como el plano formado por el rayo incidente y la normal (es decir, la línea perpendicular a la superficie del medio) en el punto de incidencia (véase figura 1) El ángulo de incidencia es el ángulo entre el rayo incidente y la normal. Los ángulos de reflexión y refracción se definen de modo análogo.

Las leyes de la reflexión afirman que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, y que el rayo incidente, el rayo reflejado y la normal en el punto de incidencia se encuentran en un mismo plano. Si la superficie del segundo medio es lisa, puede actuar como un espejo y producir una imagen reflejada (figura 2) En la figura 2, la fuente de luz es el objeto *A*; un punto de *A* emite rayos en todas las direcciones. Los dos rayos que inciden sobre el espejo en *B* y *C*, por ejemplo, se reflejan como rayos *BD* y *CE*. Para un observador situado delante del espejo, esos rayos parecen venir del punto *F* que está detrás del espejo. De las leyes de reflexión se deduce que *CF* y *BF* forman el mismo ángulo con la superficie del espejo que *AC* y *AB*. En este caso, en el que el espejo es plano, la imagen del objeto parece situada detrás del espejo y separada de él por la misma distancia que hay entre éste y el objeto que está delante.

Si la superficie del segundo medio es rugosa, las normales a los distintos puntos de la superficie se encuentran en direcciones aleatorias. En ese caso, los rayos que se encuentren en el mismo plano al salir de una fuente puntual de luz tendrán un plano de incidencia, y por tanto de reflexión, aleatorio. Esto hace que se dispersen y no puedan formar una imagen.

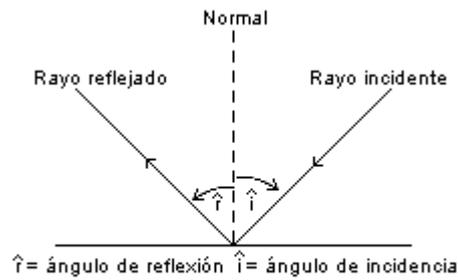


Figura 1

Leyes fundamentales de la reflexión

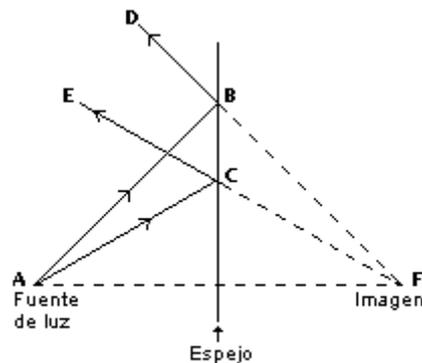


Figura 2

Reflexión en un espejo plano

Ley de Snell

Esta importante ley, llamada así en honor del matemático holandés Willebrord van Roijen Snell, afirma que el producto del índice de refracción del primer medio y el seno del ángulo de incidencia de un rayo es igual al producto del índice de refracción del segundo medio y el seno del ángulo de refracción. El rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie de separación de los medios en el punto de incidencia están en un mismo plano. En general, el índice de refracción de una sustancia transparente más densa es mayor que el de un material menos denso, es decir, la velocidad de la luz es menor en la sustancia de mayor densidad. Por tanto, si un rayo incide de forma oblicua sobre un medio con un índice de refracción mayor, se desviará hacia la normal, mientras que si incide sobre un medio con un índice de refracción menor, se desviará alejándose de ella.

Los rayos que inciden en la dirección de la normal son reflejados y refractados en esa misma dirección.

Para un observador situado en un medio menos denso, como el aire, un objeto situado en un medio más denso parece estar más cerca de la superficie de separación de lo que está en realidad. Un ejemplo habitual es el de un objeto sumergido, observado desde encima del agua, como se muestra en la figura 3 (sólo se representan rayos oblicuos para ilustrar el fenómeno con más claridad). El rayo DB procedente del punto D del objeto se desvía alejándose de la normal, hacia el punto A . Por ello, el objeto parece situado en C , donde la línea ABC intercepta una línea perpendicular a la superficie del agua y que pasa por D .

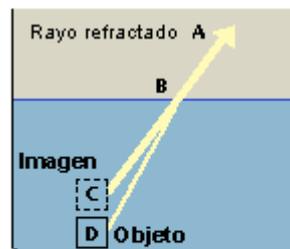


Figura 3

*Como resultado de la refracción,
el objeto sumergido parece estar
más cerca de la superficie del agua*

En la figura 4 se muestra la trayectoria de un rayo de luz que atraviesa varios medios con superficies de separación paralelas. El índice de refracción del agua es más bajo que el del vidrio. Como el índice de refracción del primer y el último medio es el mismo, el rayo emerge en dirección paralela al rayo incidente AB , pero resulta desplazado.

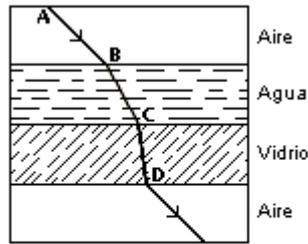


Figura 4

Rayo refractado que atraviesa tres medios diferentes

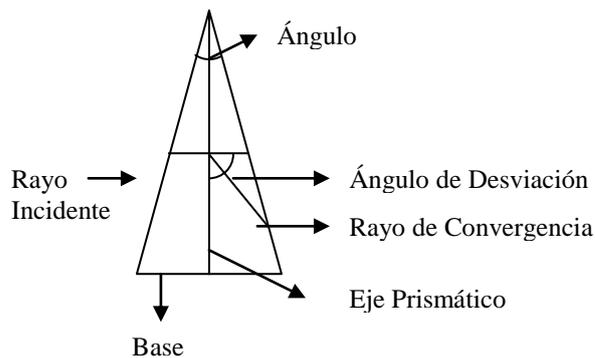
Prismas

Se denomina prisma óptico a todo medio refringente limitado por 2 planos que forman entre si un ángulo diedro.

En todo prisma tenemos que considerar:

- 1) Arista.
- 2) Angulo refringente.
- 3) Sección principal.
- 4) Base.
- 5) Índice de refracción del prisma.

Parte del prisma



Marcha de un rayo luminoso a través de un prisma.

Todo rayo luminoso que atraviesa un prisma sufre una desviación y si su índice de refracción es superior al del espacio circundante se acerca a la base.

El rayo incidente será el de entrada y el rayo emergente será el rayo de salida, que se forma después de sufrir la refracción.

El ángulo que entre si forman el rayo incidente y el emergente es el ángulo de desviación.

La desviación del rayo luminoso depende de los siguientes factores:

- 1) Ángulo refringente del prisma.
- 2) Índice de refracción.
- 3) Ángulo de incidencia.
- 4) Longitud de onda del rayo incidente.

Uso de los prismas:

1. Para medir las desviaciones.
2. Determinar hasta que punto pueden desviarse los ojos en paralelismo.
3. Para descubrir la ceguera simulada
4. Ejercitar los músculos débiles
5. Como tratamiento.
6. Expresión de su potencia
7. Para contrarrestar los efectos de las parálisis, o insuficiencia.

Características generales de los prismas

1. Es un sistema óptico centrado.
2. Presentar potencia positiva elevada, a través de los cuales se observan los objetos con un diámetro aparentemente mayor del que tiene realmente.
3. Poseen poder amplificador.
4. Se utiliza como ayuda visual en la corrección de ametropías elevadas.

Característica de la Barra de Prisma

1. De $\frac{1}{2}$, 1 hasta 10, después de 2 en 2 hasta 20, y después de 5 en 5 hasta 50
2. Van de menor a mayor

Dioptrías Prismáticas: Es la unidad de medida de los prismas ópticos, para medir la desviación producida por un prisma a una distancia determinada, que se expresa:

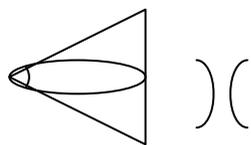
Ej. 3Δ , 4Δ

Es directamente proporcional: La relación entre el poder del prisma y el espesor de la base.

La base es la que da la posición a la que se debe colocar el prisma. A medida que aumenta la base (espesor), aumenta el poder de desviación del prisma (poder prismático)

Ej. OD: 3Δ

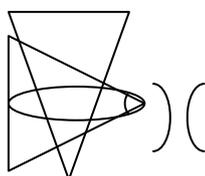
Base Interna.



La desviación está externa, y la base se coloca contraria a la desviación.

Prismas Cruzados: Son aquellos donde el poder efectivo que se obtiene es el resultado de la combinación de 2 prismas

Ej.



4Δ

Base externa = Base superior

Nota: Primero se lee el horizontal (4Δ) y segundo se lee el vertical (5Δ)

Clasificación.

- Prisma corrector u oftálmico.
- Prisma de medida.
- Prisma escalonado.

Prismas correctores o prismas oftálmicos: Son los que se utilizan en la práctica con fines correctores. Por ejemplo, en los trastornos de la musculatura externa del ojo.

Prismas de medida: Utilizados con fines diagnósticos.

Prismas escalonados: Estos prismas pueden montarse sobre los espejuelos convencionales, estos prismas dan una visión mejor y con menos distorsiones que la que se obtiene con los prismas clásicos.

La unidad prismática es el prisma "grado".

Actualmente se denomina dioptría prismática, es de sencilla comprensión y fácil representación.

El eje de un prisma es la dirección según la cual una recta y su imagen, vista a través de un prisma, aparecen confundidas. Es también denominado "línea base vértice".

El eje tiene gran importancia pues refiere la posición de los mismos de forma análoga a lo que hacemos con los lentes astigmáticos; el eje es perpendicular a la arista del prisma.

Marcamos el eje de una lente prismática con dos rectas formando una cruz, que puede ser vista a través del prisma de diversas formas, pero a nosotros nos interesa la posición según la cual una de sus rectas no presenta distorsión.

El frontofocómetro nos permite una más rápida medición del poder prismático, ya que están provistos de un retículo graduado para tales mediciones.

Cuando la luz atraviesa un prisma —un objeto transparente con superficies planas y pulidas no paralelas—, el rayo de salida ya no es paralelo al rayo incidente. Como el índice de refracción de una sustancia varía según la longitud de onda, un prisma puede separar las diferentes longitudes de onda contenidas en un haz incidente y formar un espectro. En la figura 5, el ángulo CBD entre la trayectoria del rayo incidente y la trayectoria del rayo emergente es el ángulo de desviación. Puede demostrarse que cuando el ángulo de incidencia es igual al ángulo formado por el rayo emergente, la desviación es mínima. El índice de refracción de un prisma puede calcularse midiendo el ángulo de desviación mínima y el ángulo que forman las caras del prisma.

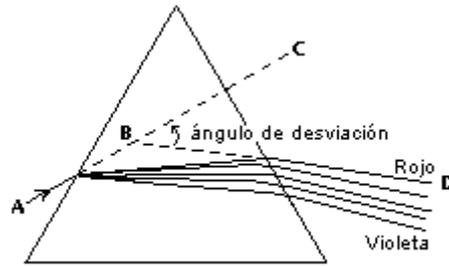
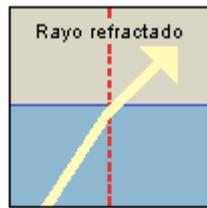


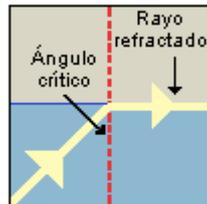
Figura 5
Refracción de la luz en un prisma

Ángulo crítico

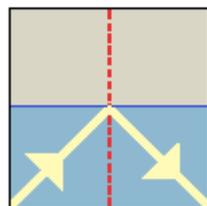
Puesto que los rayos se alejan de la normal cuando entran en un medio menos denso, y la desviación de la normal aumenta a medida que aumenta el ángulo de incidencia, hay un determinado ángulo de incidencia, denominado ángulo crítico o ángulo límite, para el que el rayo refractado forma un ángulo de 90° con la normal, por lo que avanza justo a lo largo de la superficie de separación entre ambos medios. Si el ángulo de incidencia se hace mayor que el ángulo crítico, los rayos de luz serán totalmente reflejados. La reflexión total no puede producirse cuando la luz pasa de un medio menos denso a otro más denso. Las tres ilustraciones de la figura 6 muestran la refracción ordinaria, la refracción en el ángulo crítico y la reflexión total.



Refracción ordinaria



Refracción en el ángulo crítico



Reflexión total

Figura 6
Ángulo crítico

La fibra óptica es una nueva aplicación práctica de la reflexión total. Cuando la luz entra por un extremo de un tubo macizo de vidrio o plástico, puede verse reflejada totalmente en la superficie exterior del tubo y, después de una serie de reflexiones totales sucesivas, salir por el otro extremo. Es posible fabricar fibras de vidrio de diámetro muy pequeño, recubrirlas con un material de índice de refracción menor y juntarlas en haces flexibles o placas rígidas que se utilizan para transmitir imágenes. Los haces flexibles, que pueden emplearse para iluminar además de para transmitir imágenes, son muy útiles para la exploración médica, ya que pueden introducirse en cavidades estrechas e incluso en vasos sanguíneos.

Superficies esféricas y asféricas

La mayor parte de la terminología tradicional de la óptica geométrica se desarrolló en relación con superficies esféricas de reflexión y refracción. Sin embargo, a veces se consideran superficies no esféricas o asféricas.

El eje óptico es una línea de referencia que constituye un eje de simetría, y pasa por el centro de una lente o espejo esféricos y por su centro de curvatura. Si un haz de rayos estrecho que se propaga en la dirección del eje óptico incide sobre la superficie esférica de un espejo o una lente delgada, los rayos se reflejan o refractan de forma que se cortan, o parecen cortarse, en un punto situado sobre el eje óptico. La distancia entre ese punto (llamado foco) y el espejo o lente se denomina distancia focal. Cuando una lente es gruesa, los cálculos se realizan refiriéndolos a unos planos denominados planos principales, y no a la superficie real de la lente. Si las dos superficies de una lente no son iguales, ésta puede tener dos distancias focales, según cuál sea la superficie sobre la que incide la luz. Cuando un objeto está situado en el foco, los rayos que salen de él serán paralelos al eje óptico después de ser reflejados o refractados. Si una lente o espejo hace converger los rayos de forma que se corten delante de dicha lente o espejo, la imagen será real e invertida. Si los rayos divergen después de la reflexión o refracción de modo que parecen venir de un punto por el que no han pasado realmente, la imagen no está invertida y se denomina imagen virtual. La relación entre la altura de la imagen y la altura del objeto se denomina aumento lateral.

Si se consideran positivas las distancias medidas desde una lente o espejo en el sentido en que se desplaza la luz, y negativas las medidas en sentido opuesto, entonces, siendo u la distancia del objeto, v la distancia de la imagen y f la distancia focal de un espejo o una lente delgada, los espejos esféricos cumplen la ecuación.

$$1/v + 1/u = 1/f$$

y las lentes esféricas la ecuación

$$1/v - 1/u = 1/f$$

Si una lente simple tiene superficies de radios r_1 y r_2 y la relación entre su índice de refracción y el del medio que la rodea es n , se cumple que:

$$1/f = (n - 1) (1/r_1 - 1/r_2)$$

La distancia focal de un espejo esférico es igual a la mitad de su radio de curvatura. Como se indica en la figura 7, los rayos que se desplazan en un haz estrecho en la dirección del eje óptico e inciden sobre un espejo cóncavo cuyo centro de curvatura está situado en C , se reflejan de modo que se cortan en B , a media distancia entre A y C . Si la distancia del objeto es mayor que la distancia AC , la imagen es real, reducida e invertida. Si el objeto se encuentra entre el centro de curvatura y el foco, la imagen es real, aumentada e invertida. Si el objeto está situado entre la superficie del espejo y su foco, la imagen es virtual, aumentada y no invertida. Un espejo convexo sólo forma imágenes virtuales, reducidas y no invertidas, a no ser que se utilice junto con otros componentes ópticos.

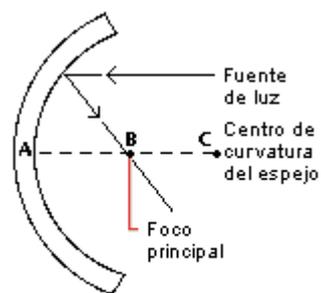
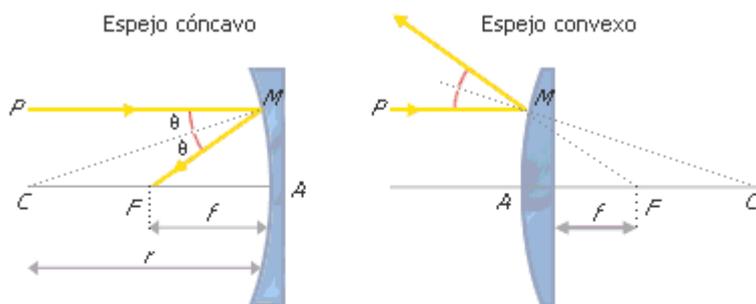


Figura 7
Reflexión en un espejo cóncavo

Superficies esféricas y asféricas



| Situación del objeto | Tipo de la imagen | Posición de la imagen | Tamaño de la imagen | Orientación de la imagen |
|-------------------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|
| Más allá de C | Real | Entre C y F | Menor | Invertida |
| En C | Real | En C | Igual | Invertida |
| Entre C y F | Real | Más allá de C | Mayor | Invertida |
| Entre F y A | Virtual | Detrás del espejo | Mayor | Derecha |
| Delante de A, para espejos convexos | Virtual | Detrás del espejo | Menor | Derecha |

Espejos cóncavos y convexos: El rayo de luz PM que incide en un espejo cóncavo formando un ángulo θ con la normal es reflejado con el mismo ángulo y pasa por F, el foco principal. El centro de curvatura del espejo es C. Para espejos de pequeña abertura, la distancia CA (igual al radio r) es el doble de FA (distancia focal f) El polo o centro del espejo es A. En un espejo convexo, el foco principal F es el punto del que parecen provenir, después de ser reflejados, los rayos que inciden en el espejo paralelos al eje principal. La distancia focal f tiene un valor negativo.

Lentes

Las lentes con superficies de radios de curvatura pequeños tienen distancias focales cortas. Una lente con dos superficies convexas siempre refractará los rayos paralelos al eje óptico de forma que converjan en un foco situado en el lado de la lente opuesto al objeto. Una superficie de lente cóncava desvía los rayos incidentes paralelos al eje de forma divergente; a no ser que la segunda superficie sea convexa y tenga una curvatura mayor que la primera, los rayos divergen al salir de la lente, y parecen provenir de un punto situado en el mismo lado de la lente que el objeto. Estas lentes sólo forman imágenes virtuales, reducidas y no invertidas.

Si la distancia del objeto es mayor que la distancia focal, una lente convergente forma una imagen real e invertida. Si el objeto está lo bastante alejado, la imagen será más pequeña que el objeto. Si la distancia del objeto es menor que la distancia focal de la lente, la imagen será virtual, mayor que el objeto y no invertida. En ese caso, el observador estará utilizando la lente como una lupa o microscopio simple. El ángulo que forma en el ojo esta imagen virtual aumentada (es decir, su dimensión angular aparente) es mayor que el ángulo que formaría el objeto si se encontrara a la distancia normal de visión. La relación de estos dos ángulos es la potencia de aumento de la lente. Una lente con una distancia focal más corta crearía una imagen virtual que formaría un ángulo mayor, por lo que su potencia de aumento sería mayor. La potencia de aumento de un sistema óptico indica cuánto parece acercar el objeto al ojo, y es diferente del aumento lateral de una cámara o telescopio, por ejemplo, donde la relación entre las dimensiones reales de la imagen real y las del objeto aumenta según aumenta la distancia focal (*véase* Fotografía)

La cantidad de luz que puede admitir una lente aumenta con su diámetro. Como la superficie que ocupa una imagen es proporcional al cuadrado de la distancia focal de la lente, la intensidad luminosa

de la superficie de la imagen es directamente proporcional al diámetro de la lente e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia focal. Por ejemplo, la imagen producida por una lente de 3 cm de diámetro y una distancia focal de 20 cm sería cuatro veces menos luminosa que la formada por una lente del mismo diámetro con una distancia focal de 10 cm. La relación entre la distancia focal y el diámetro efectivo de una lente es su relación focal, llamada también número f . Su inversa se conoce como abertura relativa. Dos lentes con la misma abertura relativa tienen la misma luminosidad, independientemente de sus diámetros y distancias focales.

Aberración

La óptica geométrica predice que la imagen de un punto formada por elementos ópticos esféricos no es un punto perfecto, sino una pequeña mancha. Las partes exteriores de una superficie esférica tienen una distancia focal distinta a la de la zona central, y este defecto hace que la imagen de un punto sea un pequeño círculo. La diferencia en distancia focal entre las distintas partes de la sección esférica se denomina aberración esférica. Si la superficie de una lente o espejo, en lugar de ser una parte de una esfera es una sección de un paraboloide de revolución (véase Parábola), los rayos paralelos que inciden en cualquier zona de la superficie se concentran en un único punto, sin aberración esférica. Mediante combinaciones de lentes convexas y cóncavas puede corregirse la aberración esférica, pero este defecto no puede eliminarse con una única lente esférica para un objeto e imagen reales.

El fenómeno que consiste en un aumento lateral distinto para los puntos del objeto no situados en el eje óptico se denomina coma. Cuando hay coma, la luz procedente de un punto forma una familia de círculos situados dentro de un cono, y en un plano perpendicular al eje óptico la imagen adquiere forma de gota. Escogiendo adecuadamente las superficies puede eliminarse la coma para un determinado par de puntos objeto-imagen, pero no para todos los puntos. Los puntos del objeto y la imagen correspondientes entre sí (o conjugados) para los que no existe aberración esférica ni coma se denominan puntos aplanáticos, y una lente para la que existe dicho par de puntos se denomina lente aplanática.

El astigmatismo es un defecto por el que la luz procedente de un punto del objeto situado fuera del eje se esparce en la dirección del eje óptico. Si el objeto es una línea vertical, la sección transversal del haz refractado es una elipse; a medida que se aleja uno de la lente, la

elipse se transforma primero en una línea horizontal, luego vuelve a expandirse y posteriormente pasa a ser una línea vertical. Si en un objeto plano, la superficie de mejor enfoque está curvada, se habla de 'curvatura de imagen'. La 'distorsión' se debe a una variación del aumento con la distancia axial, y no a una falta de nitidez de la imagen.

Como el índice de refracción varía con la longitud de onda, la distancia focal de una lente también varía, y produce una 'aberración cromática' axial o longitudinal. Cada longitud de onda forma una imagen de tamaño ligeramente diferente; esto produce lo que se conoce por aberración cromática lateral. Mediante combinaciones (denominadas acromáticas) de lentes convergentes y divergentes fabricadas con vidrios de distinta dispersión es posible minimizar la aberración cromática. Los espejos están libres de este defecto. En general, en las lentes acromáticas se corrige la aberración cromática para dos o tres colores determinados.

Lentes oftálmicas. Formas y elementos principales

Las formas del vidrio oftálmico están dadas según sean sus superficies, es decir, cóncavas o convexas, o del resultado que se obtiene de esta combinación, por lo que pueden ser biconvexas, planoconvexas, menisco convexa, planocóncavas, bicóncavas y menisco cóncava.

Dentro de los elementos principales tenemos:

- a) **Base:** Es la superficie de menor poder absoluto y de signo contrario al poder dióptrico de la lente.
- b) **Espesor:** Desempeña un papel importante directamente con el valor de su papel total, cuando ésta sobrepasa las 4 dioptrías.
- c) **Eje óptico:** Es la recta que une los centros de curvatura de ambas caras o superficies.
- d) **Vértice:** Es la intersección del eje óptico con ambas caras o superficies.
- e) **Centro óptico:** Es el que tiene la propiedad de que al ser atravesado por los rayos luminosos éstos no sufren transformaciones.
- f) **Foco imagen:** Es el punto del eje principal o eje óptico, determinado por la convergencia de los rayos refractados después de pasar a través

de la lente, que provienen de rayos paralelos al eje principal, procedente del infinito.

- g) **Foco objeto:** Es el punto del eje principal por donde pasan los rayos luminosos que después de refractarse en la lente, se hacen paralelos al eje principal, cuya imagen se halle en el infinito.
- h) **Espacio imagen:** Es el semiplano situado del lado de la lente donde concurren los rayos luminosos después de refractarse.
- i) **Espacio objeto:** es el semiplano o porción del espacio situado del lado de la lente de donde provienen los rayos luminosos.

Las lentes positivas y negativas poseen sus características ópticas y mecánicas.

Características mecánicas de las lentes positivas

Tienen el borde fino y el centro grueso.

Características ópticas:

- a) Al mover la lente hacia arriba la imagen se desplaza en sentido contrario y las figuras se observan aumentadas.

Características mecánicas de las lentes negativas.

Tienen el borde de mayor espesor y el centro fino.

Características ópticas:

- a) Al mover la lente hacia arriba o hacia abajo la imagen se desplaza en el mismo sentido.
- b) La figura se observa disminuida de tamaño.

Sistema de medidas.

La unidad de medida recibe el nombre de dioptría, que no es más que la unidad de medida de la convergencia, o el inverso de la distancia focal medida en metros.

Cuando se miden lentes se puede comprobar que la medida de la distancia focal aumenta o disminuye y también lo hace cuando aumenta o disminuye en forma inversa el valor de la convergencia. Por lo que podemos plantear que la convergencia está en razón inversa a la distancia focal. En esto consiste el fundamento para la medición de las lentes oftálmicas que se conoce como sistema dióptrico; en refracción ya estudiamos este tema.

Centrado de lentes

En toda lente nosotros encontramos dos puntos notables: el centro geométrico y el vértice. El primero es de todos conocido, pero el segundo, que es el que más nos interesa aquí, es aquel punto de una lente en el cual la luz no sufre desviación alguna al atravesar normalmente su superficie, el cual se hallará en el punto más grueso de una lente biconvexa o el más delgado de una bicóncava y en el caso de un cilindro en su eje y contiene a los centros de curvatura. Es en este punto de la superficie de la lente en que el eje óptico atraviesa la superficie de la lente. Contenido en este eje óptico se encuentra un punto **interior** de la lente que recibe el nombre de *centro óptico* de la lente y que satisface la propiedad de que a todos los rayos que lo atraviesan, corresponden rayos incidente y emergente, que son paralelos entre si.

A la búsqueda del vértice de una lente se le designa teóricamente con el nombre de "centrado" y es frecuente referirse a este punto también como "centro óptico", pero debe tenerse bien presente que conceptualmente se trata de cosas diferentes, sólo que, vértice y el centro óptico siempre están contenidos en el eje óptico. Para ello nos valemos de la conocida "cruz óptica". Esta se compone de una línea vertical y una horizontal que se cruzan en ángulos rectos, y debe tener sus ramas largas para que éstas sean visibles en todas las partes de la lente y la sobrepasen. La distancia a que se encontrará la lente del eje es de unas ocho pulgadas y aquélla a la cual colocaremos la lente de la cruz, dependerá del poder dióptrico de la misma. Los aparatos para centrar tienen una cruz óptica de unas ocho pulgadas de diámetro, lo que nos permitirá colocar la lente desde una a treinta pulgadas de ella.

Cuando miremos la cruz a través de una lente esférica, notaremos si el punto donde sus líneas se cruzan no coinciden con el centro óptico de la lente, sus ramas sufrirán un desplazamiento lateral por el efecto prismático de la curvatura de la lente, y se observa su interrupción en los puntos en que éstas alcanzan el borde. Cuando logramos colocar la lente de modo en que esta línea no haya sufrido alteración alguna al nivel de sus bordes podemos asegurar que el punto donde éstas se cruzan, indica el centro óptico de esta lente.

Cuando se trata de una lente cilíndrica o esfera cilíndrica determinaremos primero cuál es la posición de su eje, o sea, aquella línea en la cual el cilindro no tiene poder, y que se corresponde con el meridiano de mayor grosor de una lente positiva y el más fino o delgado de una lente cilíndrica negativa. Un método bastante seguro y rápido es el de determinar este eje por medio del esferómetro, que nos dará la dirección del eje con un error de

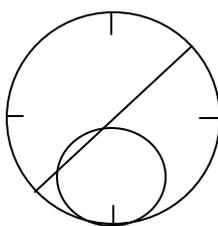
unos diez o quince grados. Hoy existe el frontofocómetro o lensómetro que es preciso para estas mediciones y permite el centrado y marcado de ejes en las lentes.

Una vez que hayamos determinado la dirección del eje del cilindro sostendremos la lente lo más paralelamente a la línea horizontal de la cruz, y se le gira lo necesario hasta que esta línea sea paralela con el eje.

Moveremos la lente en sentido vertical y horizontal hasta lograr que las líneas de la cruz óptica pasen de modo ininterrumpido al nivel del borde de la lente. Obtenido esto marcaremos la lente con tres puntos, uno en cada extremo a lo largo de la línea horizontal y el otro en el punto que esta se cruza con la línea vertical. Este último puesto indicará el centro óptico y la unión de los tres nos indicará el eje del cilindro. El lensómetro está provisto de un dispositivo mecánico que marca estos puntos.

Para marcar el eje de una lente cilíndrica determinada en una posición de 45° , por ejemplo, se comienza por buscar su eje según se ha descrito y luego lo colocamos en el transpositor con las marcas de su eje en la posición deseada (45°), para marcarle nuevamente a lo largo de la línea horizontal del transpositor, con lo que obtendremos una línea que nos servirá de guía para cortar la lente, biselarla o taladrarla, a esta línea se le llama "línea de montaje de la lente".

Existen máquinas con la cruz óptica rotatoria, las cuales tienen un dispositivo automático para marcar la línea de montaje de la lente. En este caso se sitúa la cruz óptica en el eje deseado, y se coloca la curva de base del cilindro (la que no tiene poder -su eje-) a lo largo de esta línea de la cruz, marcada entonces con el dispositivo automático de que vienen provistos estos aparatos, y esto será la línea de montaje.



Descentrado de lentes

En algunas ocasiones se requiere que el centro geométrico y el vértice no coincidan, como sería en el caso de una lente redonda de 40 mm en la cual su centro geométrico distaría 20 mm de su borde, mientras que se desea que el vértice se encuentre a 18 mm de su borde y a 22 mm del opuesto. Esta operación se conoce con el nombre de "descentrado de una lente". En este caso descentraremos 2 mm hacia adentro o hacia afuera, según el caso y marcaremos nuevamente la lente para indicar el nuevo centro geométrico. Siempre se hará esta operación en la línea de montaje (figura 4.5)

Centrado y marcado de bifocales para ser cortados

Cuando se nos pide una altura determinada para el segmento de adición mediremos éste a partir del punto que representaría su parte inferior una vez cortada la lente, y el superior por el punto más elevado del segmento. Pero a veces se nos pide que este segmento se encuentre a una distancia determinada por debajo del centro geométrico de la lente, distancia que es medida en milímetros, para lo cual veremos el siguiente ejemplo:

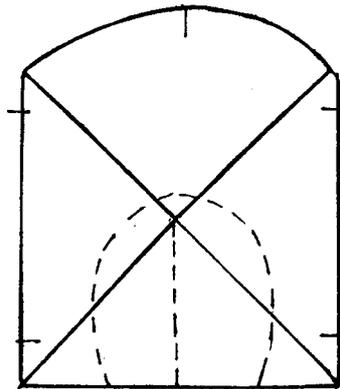


Figura 4.5

En una orden de cortar una lente de 42 x 38 mm, cuando el meridiano vertical es de 38, encontraremos que el centro geométrico se encontrará a 19 mm del borde de este eje.

Si suponemos una altura de 17 mm para el segmento, restaremos esta cantidad de la disponible en la mitad inferior de la lente y el sobrante será solamente de 2 mm es decir, que el segmento se encontrará 2 mm por debajo del vértice de la lente. La parte más alta del segmento se encuentra generalmente 2 mm por debajo del centro geométrico de la lente (aunque varía con el tipo de bifocal de que se trate). El segmento de adición también es desviado ligeramente hacia adentro 1 1/2 mm en los bifocales que tienen lateralidad, esto es, el cristal para cada ojo –derecho o izquierdo- son diferentes.

Supongamos que tenemos ante nosotros un paciente con una distancia interpupilar de 64 mm para lejos y una distancia interpupilar para la lectura de 61 mm, pero con una armadura con una distancia interpupilar de 68 mm. Comenzaremos por descentrar la lente moviendo hacia adentro 2 mm el vértice de cada lente, con lo cual habremos obtenido la distancia interpupilar del paciente, que según dijimos era de 64 mm. Pero para

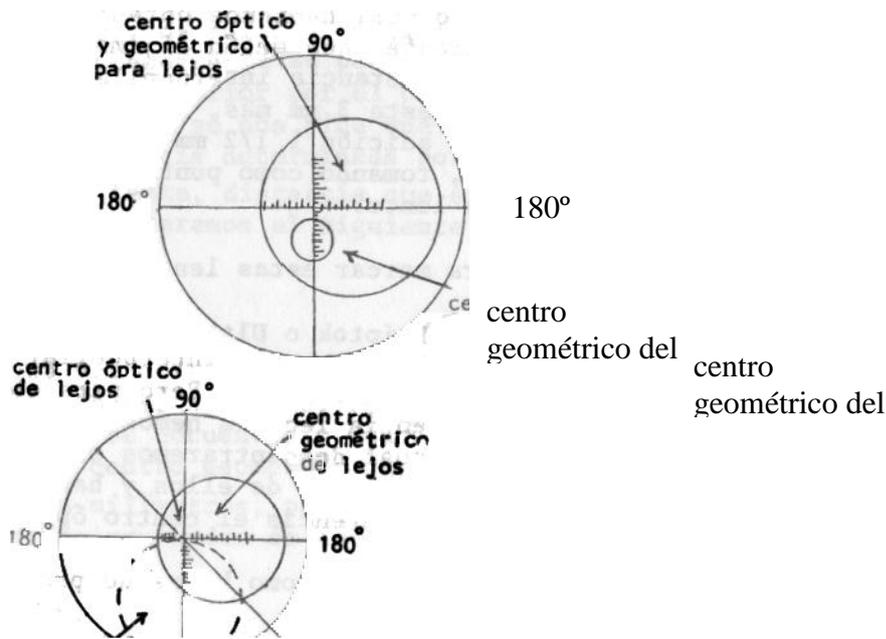
obtener la distancia interpupilar en la lectura hemos aún de reducir ésta 3 mm más, para lo cual descentraremos el segmento de adición 1 1/2 mm en cada uno de ellos y hacia adentro, tomando como punto de referencia el vértice de la lente.

Veamos como hemos de proceder para marcar estas lentes.

1. Para marcar un bifocal esférico Kriptok o Ultex determinaremos el vértice para la porción de visión lejana y se usa el mismo método que cuando se trata de una Lente Monofocal.
2. Para obtener mejor visibilidad de los límites del segmento, señalaremos éstos con puntos con tinta.
3. Márquese el centro del segmento.
4. Colóquese el centro del segmento sobre la línea de los 90° del transpositor, con su parte más alta, tantos milímetros por debajo de la línea horizontal del transpositor que indica la línea 0°-180 como lo requiera el caso, y utilizando ahora el centro geométrico del segmento de adición a manera de eje, hagamos rotar el vértice de la porción para distancia, hacia la derecha cuando se trata de una lente derecha y hacia la izquierda cuando se trata de una lente izquierda hasta que el punto que indica el “*vértice*” haya sido desplazado de la línea de los 90° el mismo número de mm que se haya pedido de desviación para el segmento (figura 4.6) .
5. Colóquese un punto de la lente en la línea de los 180° y a una distancia de la de los 90° igual en milímetros a la desviación que ha de dársele al segmento:

Por ejemplo, si un segmento debe de encontrarse 2 mm por debajo del vértice y 1 1/2 mm por dentro del mismo, si se trata del eje derecho el puesto estará 2 mm por encima del vértice del segmento y a 1 1/2 a la derecha del centro geométrico del segmento.

6. Marque con una línea a cada lado del centro geométrico de la lente como para aislar este punto: Esta línea será la línea del montaje.



a) Muestra el segmento 3 mm por debajo del centro óptico y geométrico y desviado adentro 4 mm, con el vértice (para lejos) desviado adentro 2 mm.

Figura 4.6: Tiempos 4, 5 6, mostrando un lente bifocal en el transpositor con el segmento de adición de 2 mm por debajo del vértice y descentrado adentro 2 mm para el ojo derecho (O.D.)

Para marcar un bifocal que contenga un elemento cilíndrico, el primer paso es:

- 1) Marcar el vértice y el eje del mismo modo que para una lente monofocal.
- 2) Marcar con puntos a lo largo del borde del segmento para hacerlo más visible.
- 3) Marque el centro del segmento a una distancia igual de su borde.
- 4) Coloque el centro del segmento sobre la línea de los 90° del transpositor. Coloque la parte más alta del segmento tantos milímetros por debajo de la línea de los 180° fuera de la línea de los 90° tantos milímetros a la derecha o a la izquierda de esta línea, como milímetros de descentrados se pidan para el segmento. Este punto será el punto geométrico de la lente.
- 5) Marque con un guión a cada lado de este punto para hacerlo más visible y trace una línea completamente a través de la lente en sentido

horizontal: Esta línea puede estar por encima, debajo o sobre los puntos del eje y representará la línea de montaje.

Para marcar bifocales esféricos con el tipo redondeado de segmento de los cuales la porción de vista a distancia ha de ser descentrada para evitar defectos prismáticos, usaremos el mismo método de marcado para los bifocales corrientes esféricos, sólo que colocaremos el punto que representa el centro geométrico tantos milímetros a la derecha e izquierda del vértice como nos pide la prescripción, con lo cual habremos descentrado el segmento la cantidad apropiada o requerida:

Como ejemplo, veamos el siguiente caso: si tenemos una armadura con una D.P. de 70 mm y la D.P. para lejos es de 65 mm y la de cerca de 61 mm el vértice de la porción a distancia estará a 2 mm a la derecha, a partir del centro del segmento para el cristal derecho y a 2 mm a la izquierda para la lente izquierda y el punto que marca el centro geométrico de la porción para la distancia estaría a 2 1/2 mm en la misma dirección del vértice de la lente de distancia o lejos, es decir, a la derecha para la lente derecha y a la izquierda para la lente izquierda, por tanto el centro geométrico estará a 4 1/2 mm a la derecha del segmento derecho y a 4 1/2 mm a la izquierda del segmento izquierdo.

Corte de cristales por medio del diamante de mano

El diamante

El diamante de mano es una punta de diamante soldada en acero, con un mango de madera. La acción cortante del mismo dependerá de la posición en que sea colocado, así como de la presión que con él ejerzamos. El método habitual es sostenerlo a la manera de un lápiz o pluma y aplicarlo en ángulo recto o perpendicularmente a la superficie que hemos de cortar. Esta técnica requiere practica y aunque el diamante es un cuerpo muy duro, puede ser fácilmente arruinado sí al marcar empleamos una presión o ángulo impropio.

Será conveniente para el estudiante, el practicar primeramente con una plantilla (molde o patrón) y una pluma o lápiz, tratando de mantener ésta en ángulo recto a la superficie de la lente hasta que lo haga con facilidad, así como aprender a deslizar la pluma o lápiz por todo el contorno del molde en no menos de dos tiempos. En ningún caso deberá pasarse el diamante nuevamente por un surco ya trazado ya que esto arruinaría su punta. Sólo después de haber adquirido habilidad con el lápiz es que estaremos en condiciones de usar el diamante para cortar el cristal.

El principiante también deberá saber diferenciar cuando el diamante verdaderamente está cortando o cuando sólo araña la superficie del cristal, pues en este último la raya visible apenas ha penetrado en el vidrio con lo cual será muy difícil cortarlo posteriormente. Un buen corte se observa si éste penetra la sustancia del cristal, al mirar la lente por su borde, porque entonces se puede romper fácilmente el cristal y obtener bordes limpios, con sólo hacer una ligera presión con los dedos.

Plantillas

Para cortar a mano con un diamante se emplean plantillas o patrones especiales. Estos pueden ser bien de zilonita o de metal laminado de un grosor de 1/100 de pulgada y presentan una "cruz óptica", cuyo centro representa el centro geométrico del patrón.

Al cortar una lente, para aislar a mano, es suficiente que el patrón sea del mismo tamaño y forma que el de la lente una vez terminada, debido a que el corte del diamante será a cierta distancia del patrón, lo que es suficiente para permitir su biselado.

Al cortar una lente para biselarla en una máquina automática usaremos una plantilla mayor que las dimensiones de la lente terminada, que quede éste a 2 mm mayor que en el caso anterior. El uso de esta plantilla de mayores dimensiones es de particular interés en el caso de cristales que hayan de ser montados al aire.

Técnica

Tenga la lente centrada y marcada para ser cortada y biselada.

Tome un patrón de la forma y dimensiones que haya de tener la lente terminada, dado el caso de ser éste para montar en armadura con aro. Pero si se trata de un cristal para montar al aire, tomaremos la plantilla que le sigue en tamaño mayor o que sea mayor que las dimensiones de la lente terminada.

Sostenga la plantilla aplicada contra el molde, con su línea horizontal sobre la línea de montaje, con la superficie cóncava de la lente hacia arriba, el dedo grueso izquierdo aplicando la plantilla contra el lente y debajo de éste el índice de la misma mano a manera de punto de apoyo para el dedo grueso, y se descansa la superficie de la lente sobre el borde del banco para obtener un sólido soporte.

Se sostiene el diamante para cortar en ángulo recto a la superficie de la lente, con la porción plana lateral paralela al borde del molde y a la velocidad normal- con que trazaríamos una línea con un lápiz. Gírese cuidadosamente la lente para cortar su otra mitad en la misma forma que para la primera. Hecho esto podemos proceder a descantillar y desmenuzar el cristal.

Corte del cristal por medio de máquina

Existen en el mercado gran variedad de máquinas para cortar cristales, pero todas ellas se basan en el mismo principio, solamente se diferencian ligeramente una de otra en el modo de operar. Algunas de éstas están hechas de modo que la punta cortante del diamante coincida automáticamente con la superficie de la lente. En otras, este hecho debe ser ajustado por el operador, y esto es de gran interés pues al hacer cortes en ángulos indebidos podría arruinar el mejor de los diamantes. El ajuste de este ángulo se hace en uno de los cuatro grados, según sea la superficie de la lente, a saber, plana, de concavidad poco acentuada, de concavidad acentuada y convexo. Algunas máquinas vienen provistas de ruedas de acero.

El ajuste para plano corresponde desde las lentes de superficie plana hasta aquellos con curva 2,75 positivas o negativas.

El cóncavo mediano desde -3,00 hasta -8,75.

El cóncavo profundo para curvas de -9,00 o mayores

El ajuste convexo para curvas de +3,00 o mayores.

Algunas máquinas vienen provistas de plantillas del mismo tiro y dimensiones que las de las máquinas automáticas para biselar y rebajar cantos al aire, cuando son hechos por el mismo fabricante. Todas las máquinas tienen un ajuste para el tamaño de la lente requerido, pues el ancho se determina automáticamente. Al cortar con una máquina será conveniente dejar 1 mm en exceso para las lentes que deben ser insertadas en aros o biseladas a mano, y 2 ó 3 mm en exceso si la lente ha de ser montada al aire o ser rebajado su borde en una máquina automática.

Estas máquinas de cortar vienen provistas de una almohadilla o cojín de goma en la cual descansa la lente para ser cortada, y debe tener ésta una curvatura tan grande como la convexa de la lente o mayor que ésta para evitar que la lente gire o se ladee bajo la presión del diamante. Esta almohadilla está marcada con una cruz óptica que remplaza la que presenta la plantilla para cortar a mano en cuyo centro se encuentra un indicador

sostenido por un muelle, que designe el centro geométrico del corte seguido o trazado por el diamante. La línea horizontal de la cruz es empleada para colocar la línea de montaje de la lente.

La presión que ejercerá el diamante contra la lente estará gobernada por una palanca de mano y dependerá del corte del diamante como del grosor de la lente a cortar, recordando siempre que una presión excesiva puede rayar el vidrio sin cortarlo. Se coloca el diamante para cortar en el sentido de las agujas de un reloj.

Técnica

Marque la lente para ser cortada y biselada.

Coloque la lente en la máquina con el lado cóncavo o el que mira hacia el paciente hacia arriba, para hacer el corte en esta cara.

Coloque la línea de montaje de la lente paralela con la línea horizontal del cojín de goma de la máquina.

Coloque el patrón deseado para la forma y dimensiones del cristal.

Gradúese el dispositivo que gobierna la longitud de la lente, dejando un exceso de 1 mm para los lentes que han de ser biselados a mano y 2 o 3 mm para aquellos que lo han de ser a máquina.

Coloque el diamante en contacto con la superficie de la lente, y corte de una sola vuelta que evite pasar el diamante dos veces por un mismo punto.

La lente está ahora en condiciones de ser descantillada y desmenuzada.

Descantillado y desmenuzado

Llamamos así a la separación del cristal sobrante por fuera de la marca del corte del diamante, o dicho de otro modo, de aquella porción de cristal entre la línea del corte y el borde de la lente.

Cuando esta separación se hace en fragmentos grandes, a bordes limpios, le llamamos descantillado, pero cuando éste no puede obtenerse y es necesario separar el cristal sobrante en pequeños trozos lo llamamos "desmenuzado".

Para estas operaciones nos valdremos de unas pinzas especiales para descantillar, las cuales están provistas de un muelle en su mango que mantiene siempre su boca abierta. Las quijadas son oblongas y en ángulo recto con el mango, con su superficie interna corrugada o terminada como

una lima. El descantillado del cristal se hará con las extremidades de las quijadas, y éstos no deben pasar el nivel de la línea de corte.

No debe tratarse de obtener la separación del cristal haciendo presión sobre éste con las quijadas de las pinzas, pues con esto sólo lograríamos romper la lente a través de la línea de corte del diámetro, sino simplemente por la acción de las manos, virando las pinzas hacia abajo y afuera del corte.

Si el corte del diamante sobre la lente es bueno, se separará con facilidad, pero si sólo hemos logrado mellar el cristal tendremos que apelar al desmenuzado, pues el cristal sobrante no se separará del otro.

Técnica

Sostenga la lente en posición horizontal con la mano izquierda, y con la superficie del corte hacia arriba, al colocar el pulgar en la superficie superior y el índice en la inferior paralela al borde del corte.

Aplique el extremo de las quijadas en el cristal sobrante, y próximo al dedo índice procurando morder solamente esta parte. Sosténganse las pinzas sin apretar el cristal y con un movimiento de la mano y muñeca (no por la presión de las quijadas de las pinzas), vírese las pinzas hacia abajo acercándolas al ángulo recto con relación a la lente.

Proceda del mismo modo con las pinzas a todo alrededor de la lente, en el sentido de las agujas del reloj, haciendo girar la lente de la mano izquierda en la misma forma que lo haríamos si estuviésemos cortando un pedazo de papel con unas tijeras.

Si el cristal no se separa fácilmente recurriremos al desmenuzamiento del mismo.

Variedad de lentes monofocales

Dado que en el curso de estas lecciones ustedes oirán hablar frecuentemente de cristales esféricos o cilíndricos, positivos o negativos y otros, creemos de utilidad dar una explicación breve sobre el significado de estas denominaciones.

Cristales esféricos. Se llaman positivos, a aquellos cristales que tienen una superficie, o las dos, que representan un segmento de una esfera, y negativos, a aquellos cuyas caras representan la impresión que sobre ellas dejaría esa misma esfera.

Los primeros o positivos pueden tener una de sus caras convexa y la opuesta plana (figura 4.7) en cuyo caso se tratará de una lente positiva esférica plano-convexa; si sus dos caras son convexas (figura 4.8) la lente será biconvexa o simétrica y si una cara fuese convexa y la otra cóncava (figura 4.9) tendríamos una lente cóncava-convexa

Tenemos las lentes esféricas cóncavas negativas que pueden tener una cara cóncava y la otra plana, entonces se llamará plano-cóncava; o bien sus dos caras pueden ser cóncavas, en cuyo caso tendremos una lente bicóncava, y las también llamadas simétricas, si sus dos caras son de iguales valores.

Cristales periscópicos

Este tipo de cristal presenta una de sus dos caras convexas y la opuesta, que mira a la cara del paciente, una vez colocada en su armadura, es cóncava. Ahora bien, esta concavidad tiene una profundidad determinada: la casa Bausch, de Rathenow emplea curva de -1,50 dioptría y los fabricados en Francia de -1,00; -1,12 y - 1,25 dioptrías.



Figura 4.7

Figura 4.8

Figura 4.9

Esta última medida también se emplea por los fabricantes de lentes en los Estados Unidos de América.

Como hemos hablado de dioptría sería conveniente que diésemos su definición, y así diremos con *Nagel* que la convergencia de una lente se expresa por el valor recíproco de su distancia focal medida en metros. Así, una lente cuya distancia focal sea de un metro tendrá una convergencia igual a la unidad (1/1) y su valor será de "una dioptría". Una lente de distancia focal de medio metro tendrá una convergencia de 2/1, o sea, de dos dioptrías; una lente con una distancia focal de dos metros tendrá poder de convergencia de 1/2 y su valor será de media (0,5) dioptría, etcétera.

Cristales meniscos

Existen otros cristales cuyas caras inferiores son más profundas que la de los llamados periscópicos, curva que es de -6,00 D (dioptrías) o bien si su curva de base es la externa será positiva o de +6,00 D.

En este tipo de cristal la curva exterior es siempre positiva o convexa y la interior negativa o cóncava, y el valor de la lente resulta de la diferencia de los valores de sus dos caras, ejemplo:

| | |
|----------------|-------------------------|
| Curva exterior | + 8,00 dioptrías |
| Curva interior | - <u>6,00 dioptrías</u> |
| | + 2,00 |

Este cálculo es igualmente válido para las lentes periscópicas.

Cristales planocilíndricos .

Sí a un cilindro como el representado en la figura le hacemos un corte longitudinal, es decir, una sección del mismo en el cual una de sus caras, la externa, será plana en una dirección y convexa en la opuesta, y su otra cara, será plana en sus direcciones principales, longitudinal y transversal, así como en las intermedias. A este tipo de cristal así obtenido le llamaremos plano- cilíndrico convexo (figura 4.10)

Al igual que dijimos para las lentes esféricas cóncavas, diremos que una lente plano-cilíndrica cóncava estará representada por la impresión que dejaría un cilindro convexo sobre una sustancia más o menos blanda.

Recordaremos que en uno u otro caso, el eje del cilindro así obtenido será representado por una línea paralela al eje del cilindro del cual tuvo origen, y que corresponde a la porción más gruesa de una lente convexa o positiva, y la más delgada a una lente cóncava o negativa y que es perpendicular a la superficie que representa el poder o curva del cilindro. La luz que atraviesa un cristal cilíndrico por el plano de su eje no es refractada, no así en dirección perpendicular a éste en cuyo caso los rayos adquieren una dirección convergente o divergente (figura 4.11)

Cristales cilíndricos combinados.

Cuando un cristal cilíndrico como los descritos más arriba tiene curva, en vez de ser plana, la cara opuesta a la superficie cilíndrica, tendremos una lente llamada cilíndrica combinada. Estas lentes pueden ser de las siguientes clases:

Figura 4.10

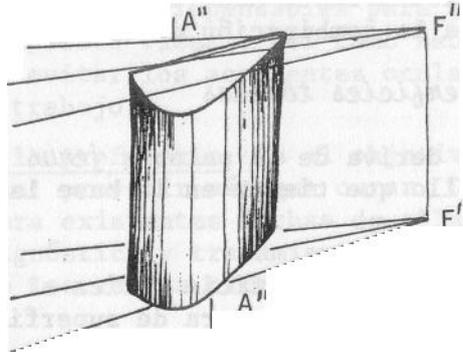
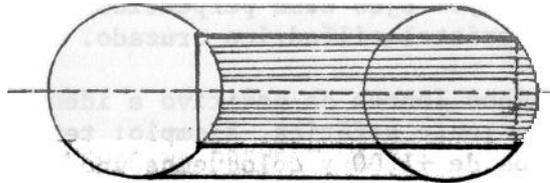


Figura 4.11

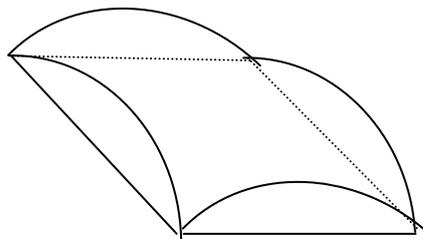


Figura 4.12

1. Cilindro convexo combinado con esférico convexo (figura 4.12)
2. Cilindro convexo combinado con esférico cóncavo
3. Cilindro cóncavo combinado con esférico cóncavo
4. Cilindro cóncavo combinado con esférico convexo
5. Cilindro cóncavo en sus dos caras y a ejes paralelos
6. Cilindro convexo en sus dos caras y a ejes paralelos

Cristales cilíndricos cruzados:

Si colocamos dos superficies cilíndricas cuyos ejes sean perpendiculares entre sí, tendremos un cristal cilíndrico cruzado.

Si el valor de ambos lentes es positivo e idéntico el resultado, será una lente esférica, Ejemplo: tenemos dos cilindros convexos de +1,00 y coloquemos uno con su eje vertical y el otro con su eje horizontal. Tomemos ahora una

lente esférica negativa o cóncava de igual valor $-1,00$ D. que el de uno de los cilindros y coloquémosla delante de los cilindros cruzados y fácil nos será observar que esta última lente neutraliza la acción que sobre la luz producía la combinación de cilindros.

Lentes con Superficies Tóricas

Este nombre se deriva de la palabra *jerus* empleada para designar el rollo que tienen en la base las columnas "jónicas".

Se puede obtener una superficie tórica al encorvar de una manera regular una vela de cera de superficie cilíndrica hasta formar un anillo.

Neutralización de las lentes por caja de prueba

Neutralizar una lente es encontrar su convergencia en fuerza dióptrica por el uso de una lente o lentes de una fuerza refractiva igual y de signo contrario. Es mejor usar, para neutralizar, un juego de lentes de ensayo, ya que ellos tienen la fuerza de la lente y sus ejes marcados en los mismos. La neutralización depende del hecho de que cuando una lente es movida lateralmente, o de arriba a abajo, entre los ojos y un objeto, esto hace que la imagen que vemos se mueva: en el caso de una lente (+), el movimiento será opuesto (contrario) al movimiento de la lente; con una lente menos (-), con la misma dirección (con). La neutralización se consigue cuando este movimiento aparente es abolido (p. e.) cuando la lente es transformada por su equivalente a un plano natural.

Nosotros usamos como objeto de prueba una cruz dióptrica, clara y definida (p.e.), una línea vertical y otra horizontal que se crucen, de un tamaño tal que la lente pueda ser bien colocada dentro de las dos líneas, o lo que es igual, que los cuatro extremos de la cruz pasen más allá del margen de la lente. La lente se sostendrá a 4 u 8 pulgadas de los ojos, con la superficie cóncava hacia el operador. Hay dos métodos de neutralizar, uno el método esférico cilíndrico y el otro por el uso del esférico solamente.

Neutralización de esféricos.

Una lente esférica tiene igual fuerza en todos sus meridianos, y los cuatro extremos de la cruz pasarán del borde de la lente sin interrupción, no importa como la lente gire. Cuanto más fuerte sea el poder de la lente, más grande y más notable será el movimiento, aumentando por cuadrado la fuerza de la lente. Una lente de $0,25$ da un movimiento tan ligero que es casi nulo para un principiante, una lente de $2,00$ da 8 veces el movimiento

anterior. La práctica enseña a uno a calcular el poder de una lente casi por el movimiento.

Moviendo la lente de arriba a abajo, notamos la dirección del movimiento, "con" o "contrario", vigilando desde luego, el movimiento de la línea de la cruz en el ángulo recto a la dirección de nuestros movimientos. Nosotros calculamos el poder dióptrico indicado por la extensión y rapidez del movimiento y buscamos una lente de prueba de dioptrismo opuesto que pare o detenga el movimiento de la línea, con lo que habremos transformado la lente en plano, sujetando la lente neutralizadora en contacto lo más que se pueda con una lente de prueba, la cual estará usualmente con su superficie "más" (+) lejos del operador, y con sus centros ópticos coincidiendo tan cerca como se pueda. Si la lente de ensayo es más pequeña que la lente de prueba, éste puede ser registrado por las líneas de la cruz, corriendo enteras entre los bordes de las dos lentes. El poder de una lente de ensayo requerido para neutralizar es la medida de la lente probada en una curvatura opuesta. Esto es si se toma menos 2,00, para neutralizar la lente probada, se tomará uno de más 2,00.

Neutralización de una lente con elemento cilíndrico usando lentes de ensayo esféricas y cilíndricas.

La técnica es la misma, excepto que nosotros giramos la lente de prueba primero hasta que las líneas de la cruz aparezcan continuas y enteras dentro de la lente y sus bordes. En rotación se verá que las líneas de la cruz se moverán o romperán con el movimiento de rotación. Si escogemos, tanto el meridiano vertical de la lente o el horizontal, neutralizamos éste con una lente de ensayo esférica. Como se ha descrito arriba de este modo reduce este meridiano a un plano. Cualquier fórmula que se deje en la lente probada es un elemento cilíndrico.

Reteniendo el vidrio esférico neutralizador en su lugar, nosotros movemos ahora la lente a uno y otro lado a lo largo del meridiano opuesto; notamos sí el movimiento es contrario, seleccionando un vidrio cilíndrico de ensayo; se colocarán sus ejes a lo largo del meridiano que ya estará neutralizado, el que hará parar el movimiento en el meridiano que se está probando. La lente puede ser movida hacia atrás y hacia delante en cualquier dirección y el resultado será aquel de un plano.

El eje de un vidrio cilíndrico es siempre determinado de este modo, verticalmente u horizontalmente con relación a la cruz óptica, pero con relación a los vidrios examinados, esto significa que el eje, o plano del cilindro está a tanto o cuantos grados de la línea del montaje de la lente, midiendo de izquierda a derecha, y la superficie cóncava está hacia el operador. De este modo, en el ejemplo citado, supongamos que se tomó un menos 2 D esférico para neutralizar el movimiento de arriba hacia abajo, y

un menos 2 D cilíndrico para neutralizar el movimiento horizontal. Esto hará la lente un más 2 D esférico combinado con un más 2 D eje 90° . En otras palabras, las fuerzas transpuestas serán obtenidas por los dos métodos. Esto es de poca importancia, por consiguiente cualquiera de los dos métodos puede ser empleado. Como siempre será notado que una lente, teniendo un elemento cilíndrico, tiene siempre un eje en lo que a su neutralización se refiere, dependiendo sobre cuál meridiano *es* neutralizado con el esférico y cuál con el cilíndrico, estando los ejes en ángulos rectos. Y si el eje, en cualquier caso, está un cierto número de grados a la derecha de la línea de montaje, aquel número de grados será el verdadero eje de la lente.

Al contrario, el meridiano donde las líneas de la cruz pasan enteras por el borde, la lente será marcada con dos puntos (usando tinta especial) a cada extremo de la línea entera. La lente entonces puede ser colocada en un transpositor con la superficie cóncava hacia arriba, con las líneas que tengan el meridiano horizontal y el verdadero grado del eje determinado por el transpositor coincidirá con éste.

El inconveniente que tienen estos métodos es que en la actualidad no se utilizan por incómodos e inexactos, aunque consideramos que el técnico si debe realizar su aprendizaje.

Relación de la curvatura de las lentes.

Poder convergente: Es cuando un rayo luminoso al atravesar una lente se desvía formando con la prolongación del rayo incidente un ángulo alfa (α) denominado ángulo de convergencia que es menor al ángulo delta (λ) que corresponde a un prisma cuyo ángulo opuesto omega (ω), queda determinado por los planos tangentes a los puntos de entrada y salida de los rayos luminosos. Esta figura será construida por el profesor.

Todo está de acuerdo con la superposición, aquí toda lente está formada por infinitos números de prismas superpuestos, cuyo ángulo axial (omega) varía de manera gradual y continúa del centro al borde del vidrio y del borde al centro.

En general el poder convergente será tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia entre los dos medios que constituyen el dióptrico, entonces para el caso general si $u = 1$ (aire) y $n = 150$ (vidrio), el resultado será notablemente diferente (1) aire; el poder convergente del rayo disminuye llegando a anularse si $n = u$, o sea, no existe convergencia.

El poder convergente de una lente no depende solamente de su distancia focal, sino que también se relaciona con la curvatura de la superficie y el índice de refracción (n). Una lente se puede considerar como formada por dos superficies o caras de la lente y es igual a la suma de los valores parciales de cada una de sus superficies por medio de la siguiente fórmula:

$$P_t = P_1 + P_2$$

El poder que se obtiene por esta fórmula se denomina potencia esferométrica.

El poder dióptrico de las superficies curvas se define por el radio de curvatura de las mismas y el índice de refracción del segundo medio, o sea:

$$P_1 = (n - 1)/R_1$$

El poder total de la lente viene dado por la siguiente fórmula:

$$P_t = (n - 1)(1/R_1 + 1/R_2)$$

Determinación del poder de una lente por medio de la fórmula del dióptrico.

Toda lente esférica está constituida por dos dióptricos esféricos, siendo la potencia de aquélla la suma algebraica de las potencias dióptricas de los dióptricos que constituyen las caras.

1- **Lente biconvexa.** Está formada por dos dióptricos convexos, siendo la potencia total igual a la suma de ambas dióptricos:

D = poder dióptrico

$$D = (n - 1)/R_1 + (n - 1)/R_2 \quad D > 0$$

2- **Lente bicóncava.** Está formada por dos dióptricos cóncavos de potencia negativa:

$$D = -(n - 1)/R_1 - (n - 1)/R_2 \quad D < 0$$

3. **Menisco convergente.** En estas lentes la primera cara es positiva y la segunda negativa, pero el conjunto tiene efecto convergente debido a que el poder de la primera cara es mayor que el de la segunda:

$$D = (n - 1)/R_1 + -(n - 1)/R_2 \quad D < 0$$

4. **Menisco divergente.** La primera cara es convexa y la segunda cóncava, pero el conjunto es divergente, ya que la potencia negativa de la segunda cara es superior a la positiva de la primera, por lo que resulta la lente negativa.

$$D = (n - 1)/R_1 + - (n - 1)/R_2 \quad D < 0$$

La dioptría y su poder convergente.

El sistema dióptrico tiene como base la medición de las lentes oftálmicas y la significación de que el poder convergente está en razón inversa de la distancia focal.

Las lentes comúnmente utilizadas en óptica oftálmica tienen distancia focal, que son fracciones de metros, y por lo tanto, para evitar el cálculo se suelen expresar las distancias focales en centímetros o milímetros.

$$D = 1/f$$

Por lo tanto $f = 1/D$

Determinación del poder convergente por la fórmula de la dioptría.

El valor de la convergencia puede aumentar o disminuir, al menos que la distancia focal disminuya, y esto se puede comprobar cuando se miden lentes. Esto lo explica por sí solo lo anteriormente planteado, o sea, el poder convergente está en razón inversa de la distancia focal de la lente.

Esto constituye la esencia del sistema para la mediación de lentes oftálmicas, que se conoce como sistema dióptrico.

La unidad de medida de este sistema recibe el nombre de dioptría y se representa con el símbolo D.

Determinación del poder de las lentes por medio del esferómetro.

El esferómetro.

Es un pequeño aparato que sirve para determinar de una manera rápida la potencia de una lente y también para determinar la posición de los ejes en caso de lentes cilíndricos o tóricas. El esferómetro está formado por una

caja redonda de la cual sobresalen 3 estiletes, 2 de los cuales son fijos y uno móvil; este último en sus movimientos actúa como palanca sobre una aguja que gira alrededor de su eje como el de un reloj, de manera que al oprimir el estilete móvil la aguja recorre la esfera graduada. Si apoyamos el esferómetro sobre una superficie plana, en este caso 3 estiletes están a la misma altura y la aguja del esferómetro marcará 0 sobre la escala graduada, pero si se trata de un vidrio cóncavo el estilete móvil estará más alto que los otros dos, y si la lente es convexa el estilete móvil quedará más bajo. En estos dos últimos casos la aguja se moverá por la acción de la palanca, girando a la derecha o a la izquierda, marcando la aguja sobre la escala graduada si se trata de una superficie cóncava o convexa, así como también su valor dióptrico expresado en dioptrías.

Con los esferómetros actuales tenemos que medir las 2 caras de la lente y después sumar algebraicamente las dos cifras correspondientes.

En los vidrios cilíndricos la aguja marcará cero en la dirección del eje, y en la dirección perpendicular a él nos dará el valor de la convergencia o divergencia.

Los esferómetros están graduados para un índice de refracción determinado n_0 ; si el índice real de la lente que queremos determinar es n , es preciso multiplicar la cifra dada por el esferómetro por $(n - 1)/(n_0 - 1)$.

Estudio de sus características.

El esferómetro, considerado como el explorador de superficies, es uno de los métodos utilizados para el examen de la superficie de las lentes.

Este instrumento con sus tres patitas alineadas, indica, meridiano por meridiano, el valor de la potencia que corresponde al arco de curvatura (o radio) dado.

Si la superficie examinada es esférica y hacemos girar la lente, la aguja siempre señala el mismo valor; en cambio, si se trata de una lente o superficie cilíndrica, la aguja oscila entre 0 y un valor máximo del meridiano perpendicular a la anterior.

Clasificación y reconocimiento de lentes oftálmicas.

Como ya es conocida la diferencia que existe entre lentes esféricas y astigmáticas es que las lentes esféricas no varían las formas de los objetos

vistos a su través, y por su parte las lentes astigmáticas, si deforman la imagen observada del objeto.

Por su parte las lentes esféricas se subdividen en positivas y negativas, pero las lentes astigmáticas a su vez se subdividen en cilíndricas, planocilíndricas y esferocilíndricas; estas últimas a su vez pueden ser positivas y negativas.

Las lentes oftálmicas se clasifican, de acuerdo con su comportamiento frente a los rayos luminosos que los atraviesan en dos grupos: lentes esféricas y lentes astigmáticas.

Lentes esféricas. Son aquéllas que no modifican las imágenes que se ven a su través, en cuanto a la forma.

Lentes astigmáticas. Son aquéllas que tienen la propiedad de modificar la forma de los objetos vistos a su través.

Las imágenes observadas con las lentes astigmáticas presentan deformaciones regulares en el sentido de sus secciones o meridianos principales y esta diferencia consiste en aumento o disminución que sufren las imágenes en un sentido u otro.

Ejemplo: En un cuadrado se transforma un rectángulo y un círculo en una elipse.

La lente astigmática tiene la capacidad de modificar la forma de los objetos vistos a su través.

En el caso de las lentes astigmáticas las secciones transversales del cono de rayos refractados ya no tienen forma circular, sino elíptica; disminuyen uno de sus diámetros de una manera progresiva hasta anularse, y en ese momento la sección ha quedado reducida a una línea o plano focal; a continuación los rayos se transforman nuevamente en elipse cada vez más ancho, aumentando progresivamente el diámetro menor hasta que en un momento determinado la sección se hace circular, para seguidamente volver a disminuir el otro diámetro y obtener nuevamente una línea o plano focal que forma ángulo recto con la dirección de la primera en el caso de tratarse de una lente planocilíndrica la segunda línea focal está situada en el infinito, es decir, no se forma ésta.

El reconocimiento de la lente oftálmica se realiza de acuerdo con su clasificación y de la siguiente forma:

Reconocimiento de la lente.

Este reconocimiento puede efectuarse de acuerdo con la clasificación establecida, aplicando sistemáticamente el examen visual.

Para ello sólo es necesario trazar en una cartulina de 20 a 30 cm de largo 2 trazos rectilíneos y perpendiculares entre sí, o sea en forma de cruz: en general puede servir cualquier objeto de forma cuadrilátera.

Procedimiento a seguir:

Se toma la lente y se sitúa aproximadamente a 15 cm de los ojos y mirando a su través el objeto de referencia se le imprime movimiento.

Primer movimiento. Consiste en una rotación de la lente, o sea, un giro alternado de un cuarto de vuelta primero en un sentido y luego en el otro.

Segundo movimiento. Consiste en un desplazamiento rectilíneo lateral, primero de derecha a izquierda y viceversa, luego de arriba a abajo y viceversa.

Al rotar la lente podrá observarse que en algunas la imagen observada no modifica sus ángulos o los trazos rectilíneos, no cambian de orientación, son lentes esféricas.

En cambio con otras lentes se modifican los trazos del retículo o cruz óptica y como consecuencia los ángulos varían, para ser nuevamente rectos. Estas lentes son astigmáticas y poseen un elemento cilíndrico.

Procedimiento para determinar su valor.

Dentro de los procedimientos que tenemos para determinar el poder de una lente, tenemos la neutralización, el esferómetro, el frontofocómetro (lensómetro, vectómetro)

La neutralización se utiliza para determinar la potencia de una lente y se realiza con los vidrios de la caja de prueba. Es importante conocer en forma aproximada por lo menos si la lente está clasificada en cuanto a que sea positiva o negativa. Si se tratase de una lente delgada, el poder obtenido por neutralización será el mismo si se coloca en el aro de prueba, una lente

neutralizadora adaptada a la superficie de signo opuesto y en contacto una a la otra en toda su superficie.

Las lentes esféricas poseen sus dos superficies esféricas o bien una de ellas es esférica y la otra plana. En las lentes astigmáticas encontramos además otros tipos de superficies refractantes denominadas superficies cilíndricas y superficies tóricas.

Las superficies refractantes cilíndricas son casquetes tomados a expensas de la superficie lateral del cilindro.

Este casquete posee dos meridianos diferentes, uno de mínimo y otro de máximo.

El meridiano paralelo al eje geométrico del cilindro, o sea, al que coincide con la generatriz posee radio de curvatura infinito y su poder convergente es por consiguiente 0.

El poder convergente de una lente determinada no depende solamente de su distancia focal, esto quiere decir que también se relaciona con la curvatura de las superficies y del índice de refracción (n). Una lente cualquiera se puede considerar formada por dos superficies o caras asociadas a un eje común, siendo el poder de la lente igual a la suma de los 2 valores parciales de cada una de sus superficies por la fórmula ($P_t = P_1 + P_2$) y el poder así obtenido se llama potencia esferométrica.

El poder dióptrico de la superficie se define por el radio de curvatura de las mismas y el índice de refracción del segundo medio, o sea:

$$P_1 = (n_2 - n_1)/R$$

En el caso de las lentes esféricas la expresión de su potencia queda expresada por el valor de sus meridianos, ya que conocemos por estudios anteriores, que la lente esférica posee el mismo valor en todos sus meridianos, pudiendo ser la misma positiva y negativa.

Determinación de sus alteraciones y reconocimiento de sus signos.

Los elementos de las lentes oftálmicas se determinan en las lentes delgadas, que son aquéllas cuya distancia focal adquiere valores considerables comparadas con el espesor de su centro en las lentes positivas y comparada con el espesor de sus bordes en las negativas.

El espesor central de las lentes positivas desempeña un papel importantísimo directamente en el valor de su poder total, cuando éste sobrepasa las 4 dioptrías.

El eje óptico es la recta que une los centros de curvatura de ambas caras o superficies.

El vértice es el punto determinado por la intersección de la superficie con el eje óptico o principal.

El foco imagen. Es el punto del eje principal determinado por los rayos paralelos al eje principal (eje óptico), proveniente del infinito, luego de refractarse en el ojo.

Foco objeto. Es el punto del eje principal por donde pasan los rayos luminosos que luego de reflejarse en la lente se hacen paralelos al eje principal, cuya imagen se halla en el infinito.

El espacio objeto. Es el semiplano o porción del espacio situado del lado de la lente por donde provienen los rayos.

El rayo imagen. Es el semiplano situado del lado de la lente donde concurren los rayos luminosos después de refractados.

El centro óptico. es la recta que une los 2 puntos de incidencia y de emergencia de los rayos sobre las caras de las lentes, la cual cortará el eje óptico en un punto que recibe el nombre de centro óptico.

Cuando la lente tiene un espesor, la posición del centro óptico puede determinarse mediante una construcción gráfica.

El centro óptico no siempre tiene que estar situado detrás de la lente y esto se debe a que la forma gráfica puede realizarse en las diversas formas de lentes.

En las lentes delgadas se hace una simplificación de considerar que en el centro óptico coinciden los vértices de la cara anterior y posterior.

A este nivel de centro óptico es donde se toma el punto de partida para la medición de las distancias, objetos y los focales.

Cuando la lente tiene un espesor la posición del centro óptico puede determinarse mediante una construcción gráfica; a partir de los centros de

curvatura C_1 y C_2 se trazan dos radios paralelos entre sí. Los puntos que en cada radio cortan su cara respectiva se unen por medio de una recta; el centro óptico está situado en el punto donde esta recta corta el eje de la lente.

Cuando la flecha es \uparrow nos referimos a la lente positiva e invertida \downarrow y cuando nos referimos a la lente negativa.

Marcha de los rayos luminosos.

Las lentes astigmáticas se caracterizan por su efecto astigmático, es decir, que la potencia dióptrica de la lente varía en los diferentes meridianos entre dos valores extremos.

Transposición de fórmulas refractivas.

Se entiende por transposición de fórmulas refractivas los cambios de curvatura que se pueden hacer en el tallado de las superficies de una lente que contenga elementos cilíndricos (plano cilíndrica; esférica - cilíndrica), sin que cambie su valor óptico, es decir, que su efecto neto sobre las ondas de luz que pasan a través y salen de ella, sea el mismo solicitado en la fórmula original. El nuevo lente tallado con distinta fuerza esférica y distinto signo de cilindro de la fórmula original, dará los mismos resultados al ser colocado delante del ojo. Por ejemplo: -6,00 esf. -2,50 cil. eje 165° , equivale refractivamente a una lente de -8,50 esf. +2,50 cil. eje 75° .

El conocimiento exacto de las transposiciones, que es práctica diaria y constante en los talleres de óptica, es absolutamente necesario para el refraccionista. Muy frecuentemente éste comprueba, con su esferómetro en la mano, que una lente pedida con determinado valor y signo esférico y cilíndrico es tallada en otra fuerza dióptrica y que, sin embargo, al colocarla delante del ojo del paciente, o neutralizarla con las lentes de la caja de pruebas, equivale ópticamente a la receta solicitada.

Expondremos a continuación algunas de las causas por las cuales el tallador de vidrios, bien por necesidad imprescindible o por comodidad, procede a transponer la fórmula original. Estas causas demuestran la utilidad del conocimiento de las transposiciones.

En el bifocal de dos piezas (tipo Kryptok), que tiene el segmento de adición para cerca fundido en su cara convexa, es imposible tallar superficies cilíndricas convexas, es decir, positivas, por ser el segmento de adición de vidrio flint, de distinto índice de refracción que la porción de lejos que es

de vidrio crown; si así se hiciera resultaría distinta la fuerza cilíndrica en una y otra porción del bifocal, lo cual es absolutamente incorrecto. Otra razón, no menos poderosa que la anterior, es que al tallar cilindros positivos en dicho bifocal, el segmento, que es usualmente de forma circular, adquiriría una forma ovalada y hasta llegaría a desaparecer de ser muy fuerte el elemento cilíndrico. Estos inconvenientes obligan al técnico a tallar en bifocales tipo Kryptok superficies cilíndricas cóncavas (menos) y a transponer toda fórmula que venga expresada en cilindros convexos (más).

Por el contrario, en el bifocal de una sola pieza (tipo Ultex) con el segmento de adición en su cara cóncava (negativa) ya terminada de fábrica, será necesario tallar el cilindro en su cara convexa (positiva) y a transponer la receta que contenga elemento cilíndrico negativo.

Los talleres de Óptica pueden disponer comúnmente de una abundante reserva de vidrios cilíndricos positivos, remitidos por las fábricas en forma semiterminada (superficie convexa cilíndrica ya pulida, superficie cóncava en bruto); este detalle de comodidad y economía hace transponer todas las recetas de signo cilíndrico negativo a otras de signo positivo.

Por ejemplo, la fórmula original: -2.00 esf. $-1,00$ cil. X 180° es tallada como: $-3,00$ esf. $+1,00$ cil. X 90° .

Como al técnico tallador le es más fácil hacer curvas cilíndricas convexas que cóncavas, muy frecuentemente no realiza la talla de un plano cilindro negativo tal como se le pide en la receta. Rara vez encontraremos tallado $-1,50$ cil. eje a 0° , sino su equivalente transpuesto que es $-1,50$ esf. $+1,50$ cil. eje a 90° .

Existen unidades de refracción que en sus cajas de pruebas adaptables a la cara del paciente (refractor de Green, Foroptor) sólo traen cilindros negativos.

Es conveniente que el refraccionista transponga la fórmula obtenida para que tenga un concepto cabal de la clase y verdadero signo del astigmatismo resultante (simple o compuesto; hipermetrópico, miópico o mixto). Por ejemplo: $+4,00$ esf. $-4,00$ cil. eje 135° no es más que un astigmatismo simple hipermetrópico de $+4,00$ cil. eje 45° ; $+3,50$ esf. $-2,25$ X 170° es en definitiva un astigmatismo hipermetrópico compuesto de $+1,25$ esf. $+2,25$ cil. X 80° .

Es costumbre de algunos facultativos escribir sus formulas en combinaciones cilíndricas o bicilindros; así se ve con alguna frecuencia que se escribe: +3,00 cil. eje 90° +2,00 cil. eje 180° en lugar de su equivalente: +2,00 esf. +1,00 cíl. eje 90°. El conocimiento de las reglas de la transposición permite a cualquier otro refraccionista obtener de inmediato una traducción refractiva fiel de lo que se ha escrito en forma poco usual.

Las fórmulas refractivas que contienen cilindros pueden ser de tres clases:

1. Esferocilíndricas.
2. Planocilíndricas o cilíndricas simples.
3. Bicilíndricas o cilíndricas combinadas.

Transposiciones:

Regla:

- Suma Algebraica de la esfera con el cilindro.
- El signo del Cilindro varía de (+) a (-) o viceversa, el valor dióptrico se mantiene.
- Eje varía en 90° menor de 90° se suma 90°
Mayor de 90° se resta 90°

Ejemplo:

| | |
|------------------------|-----------------------------|
| A/O - 100 x 90° | A. Miópico simple |
| Transp. -100+100 x180° | Lente PL CL (-) |
| A/O +300-300 x180° | A. Hipermetrópico simple |
| Transp. +300 x90° | Lente PL Cil (+) |
| | |
| A/O +500-200x10° | A Hipermetrópico compuesto |
| Transp. +300+200 x100° | Lente Esf. Cilíndrica (+) |
| | |
| A/O -400+200 x95° | A. Miópico compuesto |
| Transp. -200-200x5° | Lente Esfero Cilíndrica (-) |
| | |
| A/O -500+600 x15° | A Mixto |
| Transp. +100-600x105° | Le Esf Cilíndrica Mixta |

Nota: La lente que yo te doy tiene que corregir lo mismo después de transpuesta, o sea es la misma lente.

Bicilindros: Es la combinación de 2 lentes plano cilíndricas ya sean (+) ó (-)

1ra. Ley: Signo igual e igual fuerza dióptrica.

$$+100x90^\circ +100x180^\circ$$

Resultado +100 esf. – lente esférica.

$$\begin{array}{c} 0 \\ | \\ +100 \quad +100 \\ | \\ 0 \end{array} = \begin{array}{c} +100 \\ | \\ 0 \quad 0 \\ | \\ +100 \end{array} = \begin{array}{c} +100 \\ | \\ +100 \quad +100 \\ | \\ +100 \end{array}$$

2da. Ley: Signo igual y diferente fuerza dióptrica:

$$+200 \times 180^\circ \quad +400 \times 90^\circ$$

Resultado: $+200 + 200 \times 90^\circ$ - lente esfero-cilíndrica positiva

Se coge como esfera el menor, el cilindro será la resta de los valores y se mantiene el signo, eje mayor.

$$\begin{array}{c} +200 \\ | \\ 0 \quad 0 \\ | \\ +200 \end{array} = \begin{array}{c} 0 \\ | \\ +400 \quad +400 \\ | \\ 0 \end{array} = \begin{array}{c} +200 \\ | \\ +400 \quad +400 \\ | \\ +200 \end{array}$$

3ra. Ley: Diferente signo y diferente fuerza dióptrica:

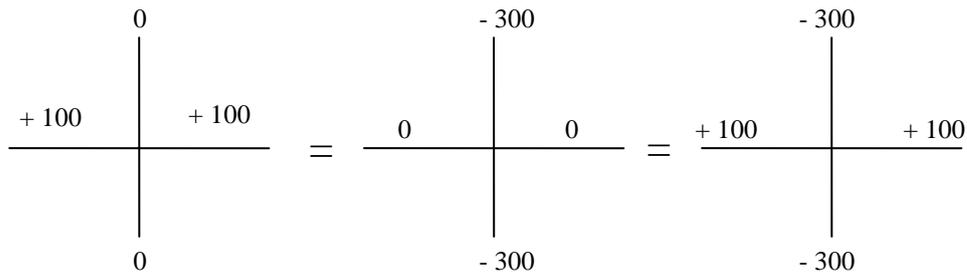
$$+100 \times 90^\circ \quad -300 \times 180^\circ$$

Resultado

$$+100 - 400 \times 180^\circ \quad \text{ó} \quad -300 + 400 \times 90^\circ$$

- Lente esfero cilíndrica mixta.

Se coge como esfera cualquiera, el signo del cilindro contrario al de la esfera, se suman los valores y eje del que no cogí como esfera.



La transposición de una receta no afecta el elemento prismático que pudiera contener: la posición del vértice, base y potencia del prisma permanecen inalterables. Igualmente, el segmento de adición para cerca, de una lente bifocal que se transpone, conservará el signo y la fuerza dióptrica de la fórmula original.

El resultado de la transposición de estas fórmulas, cualquiera que sean sus valores, signos y posición del eje, será un nuevo esferocilíndro o un planocilindro.

Para mejor comprensión escogamos una receta cualquiera:

+ 2,75 esf. -1,00 cil. eje a 160° ; 2° prisma Base Ext.; adición + 2,50 esf.

a) El nuevo esférico de la fórmula transpuesta será el resultado de la suma algebraica de la esfera y el cilindro de la fórmula original:

$$+ 2,75 + (-1,00) = +2,75 - 1,00 = + 1,75 \text{ es}$$

b) El nuevo cilindro de la fórmula transpuesta será el mismo cilindro de la fórmula original, pero con el signo cambiado: -1,00 cil.

c) La nueva posición del eje de la receta transpuesta la encontramos de la siguiente manera:

Si el eje del cilindro original está colocado entre las posiciones 0° y 90° , añada 90° a la posición del eje original. El resultado de esta sencilla suma dará la posición del eje transpuesto.

Si el eje original está colocado entre 90° y 180° , reste 90° a este eje original y se obtendrá el eje transpuesto.

En la fórmula de ejemplo: posición entre 90° y 180° , el eje de la receta transpuesta es 70° .

Resulta ocioso manifestar que cuando el eje de la receta original está colocado en la posición 90° , es indiferente sumar o restar 90° , puesto que los resultados respectivos, 180° y 0° , ocupan la misma posición horizontal en el espacio.

Como dijimos en párrafo anterior, el elemento prismático y el valor y signo de la adición para cerca no resultan afectados por la transposición.

F. original + 2,75 esf. - 1,00 cil. X 160° 2° prisma Base Ext. adición + 2,50 esf.

F. transpuesta: + 1,75 esf. + 1,00 cil. X 70° 2° prisma Base Ext. adición + 2,50 esf.

Comprobación matemática.

Para comprobar la exactitud de una transposición, se toma la fórmula obtenida y se vuelve a transponer siguiendo la regla dada. El resultado de esta nueva transposición deberá ser exactamente la fórmula original.

Comprobación gráfica.

Se trazarán dos cruces ópticas; una representa la fórmula original y la otra la fórmula transpuesta. Las ramas de cada cruz se orientarán en la posición aproximada en grados de los meridianos principales de la lente; una rama corresponderá al meridiano de mínima fuerza y la otra al meridiano de máxima fuerza.

Se anotan en el extremo de cada meridiano principal las fuerzas dióptricas que están actuando a ese nivel y después se comparan con las anotaciones de la otra cruz.

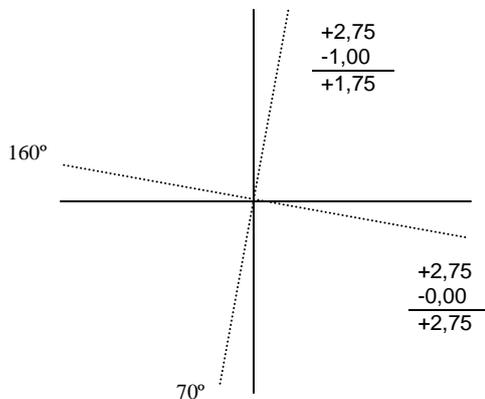
Si la transposición está correcta, a lo largo de cada meridiano principal correspondiente de ambas cruces deben estar actuando las mismas fuerzas dióptricas.

Recuérdese que la fuerza dióptrica de un cilindro actúa en sentido perpendicular a lo que indica la posición en grados de su eje. Ejemplo : la fuerza dióptrica de - 1,00 cil. eje 160° actúa en el meridiano de 70° , pues en el meridiano de 160° se encuentra colocado el eje, cuyo valor dióptrico es cero.

Por el contrario, la fuerza dióptrica de un esférico actúa por igual en todos los meridianos de la lente (esquema 11.1)

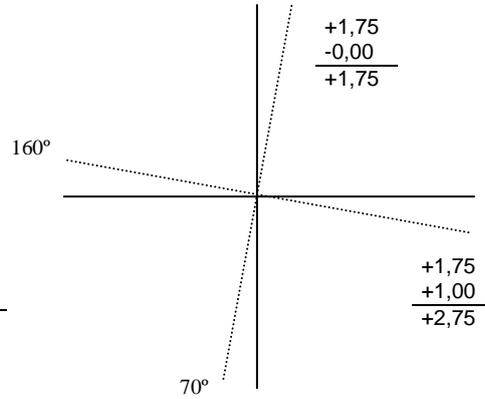
Fórmula original

+ 2,75 esf, - 1,00 cil. eje 160°



Fórmula transpuesta.

+ 1,75 esf. + 1,00 cil. eje 70°.



Esquema 11.1

Ejemplos varios:

Fórmulas originales

Fórmulas transpuestas

- 1,50 esf. - 0,50 cil. x 180° equivale a - 2,00 esf. + 0,50 cil. x 90°.
+ 1,25 esf. + 1,25 cil. x 45° equivale a + 2,50 esf. - 1,25 cil. x 135°.
+ 6,00 esf. - 5,00 cil. x 15-0° equivale a + 1,00 esf. + 5,00 cil. x 60°.
+ 2,00 esf. + 2,00 cil. x 90° equivale a 0,00 esf. - 2,00 cil. x 180°.

El resultado de la transposición de estas fórmulas, cualquiera que sea su fuerza, signo y posición del eje, será siempre un nuevo esferocilíndrico.

Escojamos el siguiente ejemplo:

A/O: -2,25 cil. eje 175°.

- El nuevo esférico de la fórmula transpuesta, será de la misma fuerza y signo que el cilindro de la fórmula original: - 2,25 esf.
- El nuevo cilindro de la fórmula transpuesta será de la misma fuerza que el cilindro de la fórmula original, pero con el signo cambiado: + 2,25 cil .

c) La nueva posición del eje de la receta transpuesta, la encontramos en idéntica forma a la explicada en la regla primera: 175° menos $90^\circ = 85^\circ$.

Comprobación matemática

Fórmula obtenida por la transposición - 2,25 esf. + 2,25 cil. eje 85° .

Aplicamos la primera regla de la transposición por ser fórmula esferocilíndrica (esquema 11.2).

Nuevo esf.: Suma algebraica: $- 2,25 + 2,25 - 0,00$ esf.

Nuevo cil.: el mismo con signo cambiado = $- 2,25$ cil.

Nueva posición del eje: sumar 90° : $85^\circ + 90^\circ =$ eje s 175° .

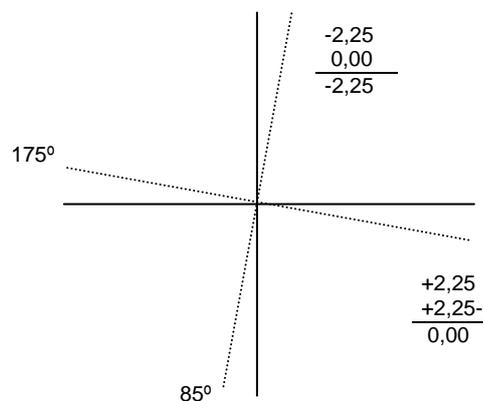
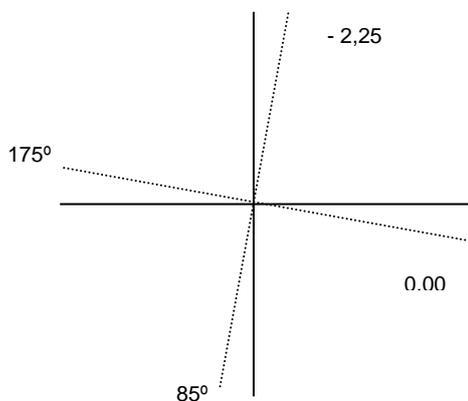
Comprobación gráfica.

Fórmula original.

Fórmula transpuesta.

- 2,25 cil. eje 175°

- 2,25 esf. X 2,25cil. eje 85° .



Esquema 11.2

Ejemplos varios:

Fórmulas originales

Fórmulas transpuestas.

+ 1,75 cil. x 5° equivale a + 1,75 esf. - 1,75 cil. x 95° .

+ 2,75 cil. x 130° equivale a + 2,25 esf. - 2,25 cil. x 40° .

- 3,50 cil. x 0° equivale a - 3,50 esf. + 3,50 cil. X 90° .

El resultado de la transposición de un bicilindro será siempre una receta esferocilíndrica, salvo cuando los cilindros componentes de la fórmula sean iguales en fuerza y signo, en cuyo caso queda como resultado una receta esférica.

Es obvio llamar la atención de que la transposición de las fórmulas bicilíndricas por este método, sólo es posible hacerla cuando las posiciones de los ejes de los cilindros combinados son perpendiculares entre sí. En los raros casos de correcciones ópticas para el astigmatismo bioblicuo no tiene validez.

Esta tercera y última regla de transposición consta de dos incisos, según sean iguales los distintos signos de los cilindros combinados originales.

1) Fórmula de bicilindros de signos iguales, ya sean positivos o negativos.

Ejemplo: + 2,00 cil. eje a 180° + 3,00 cil. eje a 90°.

a) El nuevo esférico será igual en fuerza y signo que el menor de los dos cilindros originales: + 2,00 esf.

b) La nueva posición del eje de la fórmula transpuesta, será la misma posición que tiene el eje del cilindro original de mayor fuerza: en el ejemplo corresponde la posición 90° que pertenece al cilindro + 3,00.

Para ser breves vamos a omitir la forma de comprobar matemáticamente la transposición de los bicilindros, ya que habría que enunciar y desarrollar una nueva regla para transponer esferocilindros a bicilindros, cosa que en la práctica diaria no tiene utilidad (esquema 11.3).

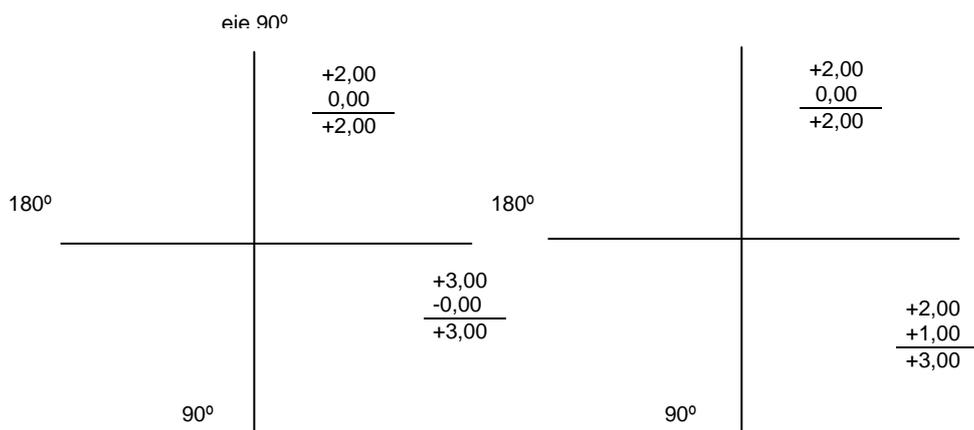
Comprobación gráfica.

Fórmula original.

Fórmula transpuesta.

+ 2,00 cil. eje 180° + 3,00 cil.

+ 2,00 esf. + 1,00 cil. eje 90°.



Cuando ambos cilindros son iguales en fuerza y signo ya se ha expuesto que el resultado de la transposición es un esférico.

Ejemplo: + 4,25 cil. x 0° + 4,25 cil. X 90°.

Hagamos la transposición siguiendo la regla expuesta:

Nuevo esférico: El menor de los dos cilindros originales (por ser los dos idénticos en fuerza y signo) = + 4,25 esf.

Nuevo cilindro: El resultado de la resta aritmética: 4,25 menos 4,25 = 0,00 cil.

Nueva posición del eje: Ninguna, porque no hay cilindros en la fórmula transpuesta.

Ejemplos varios.

- 1,75 cil. x 5° - 1,50 cil. x 95° equivale a - 1,50 esf. - 0,25 cil. x 5°

+ 5,25 cil. x 90° + 6,00 cil. x 180° equivale a + 5,25 esf. + 0,75 cil. x 180°

- 3,00 cil. x 100° - 2,75 cil. x 10° equivale a - 2,75 esf. - 0,25 cil. x 100°

- 2,50 cil. x 0° - 2,50 cil. x 90° equivale a - 2,50 esf. 0,00 cil.

2) Fórmula con bicilindros de signos diferentes.

Tomemos como ejemplo:

+ 3,5-0cil. eje 95° - 2,25- cil. eje 5°.

a) El nuevo esférico en la fórmula transpuesta, será cualquiera de los cilindros originales con su propio signo + 3,5-0 esf.

b) El nuevo y único cilindro en la fórmula transpuesta será el resultado de la suma aritmética de ambos cilindros originales, con signo contrario al signo utilizado para el esférico: 3,50 más 2,25 = -5,75 cil.

c) La nueva posición del eje del cilindro de la fórmula transpuesta será la posición correspondiente al eje del cilindro original que no se tomó para el nuevo esférico: en el ejemplo corresponde - 5°.

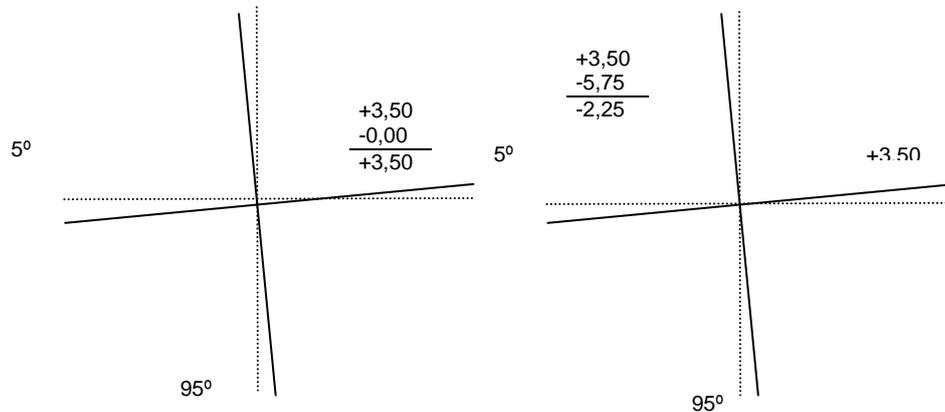
Comprobación gráfica.

Fórmula original.

Fórmula transpuesta.

- 3,50 cil. eje 95° - 2,25 cil. eje 5°

+ 3,50 esf. - 5,75 cil. eje 5°.



Esquema 11.4

Ejemplos varios.

- 3,00 cil. x 180° + 3,00 cil. x 90° equivale a - 3,00 esf. + 6,00 cil. x 90°

+ 3,00 esf. - 6,00 cil. x 180°.

+ 2,75 cil. x 15° - 1,50 cil. x 105° equivale a - 1,50 esf. + 4,25 cil. x 15°

+ 2,75 esf. - 4,25 cil. x 105°.

+ 1,00 cil. x 90° - 3,50 cil. x 0° equivale a + 1,00 esf. - 4,50 cil. x 0°

- 3,50 esf. + 4,50 cil. x 90°.

+ 0,25 cil. x 20° - 0,75 cil. x 110° equivale a - 0,75 esf. + 1,00 cil. x 20°

+ 0,25 esf. - 1,00 cil. x 110°.

Lentes tóricas.

Entre las lentes de efecto astigmático éstas ocupan un lugar destacado. El toro es una superficie engendrada por la rotación de un círculo alrededor de un eje. Las líneas de curvatura del toro son los círculos meridianos y los paralelos, de los cuales el mayor se llama ecuador. La superficie tórica

equivale a una lente esferocilíndrica tallada en una sola cara; la otra cara puede ser plana, esférica o hasta cilíndrica. En estas lentes el haz refractado es igual al que producen las lentes esferocilíndricas.

Representación gráfica por el profesor.

Clasificación de las lentes astigmáticas.

Las lentes esferocilíndricas están formadas por dos caras: una esférica y otra cilíndrica.

Tenemos las siguientes formas:

| | |
|----------------------|--------------------------|
| Cilindro convexo (+) | Con esférica convexa (+) |
| Cilindro convexo (-) | Con esférica cóncava (-) |
| Cilindro cóncava (+) | Con esférica convexa (+) |
| Cilindro cóncava (-) | Con esférica cóncava (-) |

La característica fundamental de este tipo de lente es la de poseer cierto valor dióptrico en todos sus meridianos, pero con efecto astigmático.

En las lentes esferocilíndricas la marcha de los rayos luminosos que parten de un punto objeto se realiza sobre dos líneas focales (focales de Sturm)

La línea focal anterior se forma en el meridiano de máxima refringencia.

La línea focal anterior es la primera línea de difusión.

La línea focal posterior se forma en el foco del meridiano de mínima refringencia.

La línea focal posterior es la segunda línea de difusión.

De las 2 líneas focales la posterior es siempre de mayor longitud: es siempre de mayor longitud que la anterior.

Los meridianos principales y las dos líneas focales de Sturm son perpendiculares entre sí.

Solamente aquellos rayos que llegan paralelos al eje principal, dentro de los dos meridianos principales cortan a dicho eje al nivel de los focos.

Todos los rayos que llegan por los restantes meridianos intermedios han de pasar inevitablemente por las 2 líneas focales de Sturm.

En las lentes esferocilíndricas existe una sección principal positiva y la otra negativa, una situada delante de la lente y la otra está detrás.

La determinación de la potencia de una lente planocilíndrica se puede realizar por neutralización, con el esferómetro y con el frontofocómetro; esta última es la medida más exacta de la potencia del cilindro.

Lentes gruesas.

La marcha del rayo en una lente gruesa, está basada en la aplicación de las leyes de Descartes, cada vez que el rayo atraviesa una cara.

Una lente gruesa o sistema de lentes centradas se define por sus dos focos y planos principales, que constituyen los llamados puntos cardinales.

Sus focos, al igual que en las delgadas, es por donde se reúnen los rayos que atraviesan la lente paralelamente al eje; su foco objeto es el punto donde los rayos que salen de él lo hacen paralelamente al eje después de emerger. El foco imagen es donde se reúnen estos rayos.

Se denomina distancia frontal a la existente entre el foco y el vértice de la cara posterior de la lente. Se le da el nombre de **potencia frontal** a la inversa de la distancia frontal expresada en metros.

La refracción de vértice será la medición de la distancia focal, considerando el vértice de las lentes, que es el punto donde el eje corta las caras de la lente.

Lentes correctoras.

Cuando el ojo amétrope es corregido con cristales esféricos positivos o negativos correctamente colocados constituirá un sistema centrado entre la posición de la línea de mirada y el eje óptico del cristal pasa por el centro de rotación del ojo, esto será igual a la corrección del ojo móvil (menisco). Estas lentes menisco sirven para corregir las diferentes ametropías, por lo que pueden ser cóncavos o convexos o combinados en el caso en que corrijan el astigmatismo. Para la corrección de ametropías elevadas se utilizarán los tipos de lentes llamados lenticulares, de una sola clase de vidrio o de dos, fundidos o pegados y en los casos de lentes positivas los lenticulares fusionados.

Existen en la actualidad las lentes de material orgánico o plásticos como el metacrilato de metilo.

Lentes Multifocales son las que corrigen la visión lejana y la próxima incluidas en un solo vidrio.

La diferencia entre la potencia dióptrica de la corrección lejana se denomina "adición". La adición representa el déficit acomodativo de acuerdo con la presbicia, por lo que siempre su potencia esférica es positiva.

El sector o porción de la lente bifocal o multifocal recibe el nombre de segmento y ocupa la parte inferior del vidrio. La forma, tamaño y posición de las porciones de visión lejana y próxima son variables.

Seguidamente vamos a clasificarlas en relación con sus dos porciones.

- 1) Porciones ópticamente independientes.
- 2) Porciones ópticamente dependientes.
- 3) De potencia gradualmente progresiva.

El tamaño del segmento es variable, de 14 a 16 mm de diámetro hasta los 45 mm.

El vidrio bifocal posee dos centros ópticos, uno para la visión lejana y otro para la próxima. El centro óptico para la porción lejana coincide con el centro geométrico. La posición del centro óptico del segmento dependerá de la potencia dióptrica de visión lejana, de la potencia de la adición, y de la distancia existente entre el centro de la porción lejana y el del segmento.

Las lentes bifocales corrigen las llamadas ametropías esféricas y las cilíndricas.

Armaduras o montaduras.

Creemos oportuno hacer algunos señalamientos en cuanto a estos dispositivos ya conocidos por todos nosotros.

En primer lugar hay que tener en cuenta una buena selección de la armadura, de acuerdo con las características anatómicas de la cara del sujeto y tener muy en cuenta las diferencias notorias que existen entre las distintas formas de nariz.

Adaptación.

1) La armadura ha de ser del tamaño de la cara del paciente.

No deben ser ni demasiado pequeñas ni extremadamente grandes.

2) La armadura debe quedar adaptada sobre la cara del sujeto.

Debemos tratar de encontrar el máximo de superficie de apoyo para que el reparto de las presiones sea regular y pequeño.

3) Reajustes.

Debemos insistir en la necesidad de acudir periódicamente al técnico competente para la adaptación cuidadosa de la armadura. Es preciso saber que una perfecta refracción, sin una adecuada adaptación, no sirve para casi nada.

4) Observar los gestos del sujeto

Debido a la brevedad del puente de nariz, es muy fácil, que la armadura se deslice si no se ajusta perfectamente sobre las orejas. Para ello se impone un ajuste del terminal de la varilla sobre el arco de la oreja. Muchas veces será necesario un cambio en la conformación del puente de la armadura, ya sea estrechándolo o ensanchándolo.

Existen armaduras plásticas, metálicas y mixtas(plásticas + metal)

Debemos insistir en que nuestros alumnos realicen un llenado cuidadoso, exacto y minucioso de la receta oftálmica, siguiendo todos los detalles recogidos por el modelo vigente que resulta muy completo y cómodo.

Lentes oftálmicas asociadas al ojo.

Poder Efectivo: Se obtiene combinando el sistema óptico del ojo con el sistema óptico de la lente. Ejemplo: Cuando al paciente se coloca al espejuelo.

Poder Nominal: Poder – Valor que tiene la lente sola.

Ejemplos:

- +2.00 esf
- +3.00 esf
- -2.00 esf
- -5.50 esf

Cuando la lente oftálmico correctora se dispone frente al ojo se combina el sistema óptico de la lente con el sistema óptico del ojo, para corregir diferentes ametropías (Defecto Refractivo).

Ejemplos:

Lente Esférica negativa \longrightarrow Miopía A/O -3.00esf

Lente Esférica Positiva \longrightarrow Hipermetropía A/O +5.00 esf

Lente Plano Cilíndrico Negativa \longrightarrow Astigmatismo Miópico Simple
A/O -1.00 x 90°

Lente Plano Cilíndrico Positiva \longrightarrow Astigmatismo Hipermetrópico
Simple A/O + 3.00 x 180°

Lente Esfero Cilíndrica Negativa \longrightarrow Astigmatismo Miópico Compuesto
A/O - 4.00 +2.00 x 90°

Lente Esfero Cilíndrica Positiva \longrightarrow Astigmatismo Hipermetrópico
Compuesto A/O +3.00 - 1.00 x 180°

Lente Esfero Cilíndrica Mixta \longrightarrow Astigmatismo Mixto
A/O - 4.00 + 5.00 x 180°

Lentes Positivos Asociados al ojo:

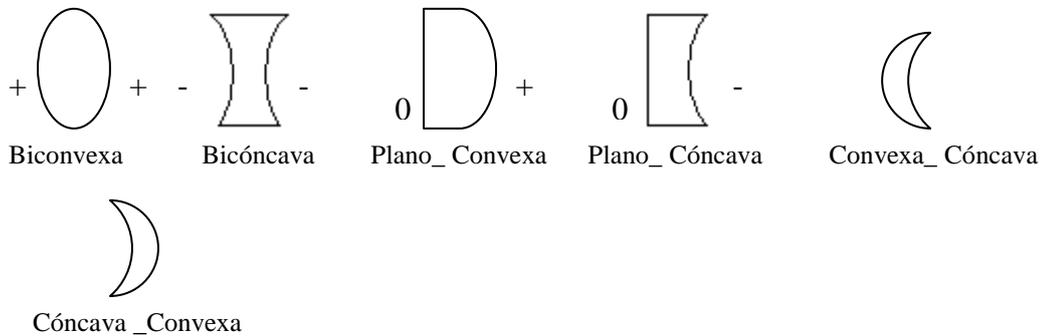
Cuando se coloca delante del ojo una lente esférica positiva esta corrigiendo una hipermetropía:

- Hipermetrope ----- Aleja ----- Hipocorregido ----- Hay que aumentar la graduación.
- Hipermetrope ----- Acerca ----- Hipercorregido ----- Hay que disminuir la graduación.

Cuando se coloca delante del ojo una lente esférica negativa está corrigiendo una Miopía:

- Miope ----- Aleja ----- Hipercorregido ----- Hay que disminuir la graduación.
- Miope ----- Acerca ----- Hipocorregido ----- Hay que aumentar la graduación.

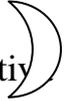
Clasificación de las lentes según su superficie:



Lentes Periscópicas: Son aquellos lentes que tienen en su cara cóncava o negativa valores % - 1.00 a 1.50. La otra cara es convexa de cualquier valor. Si queremos determinar el valor total de la Lente hacemos la suma algebraica de ambas caras o superficies.

Ejemplo:

Periscópica Positiva

-100  $+300$ **Periscópica Negativa** -125  $+400$

| | |
|----------------------------|----------------------------|
| Cara Cóncava: -1.00 | Cara Cóncava: -1.25 |
| Cara Convexa: <u>+3.00</u> | Cara Convexa: <u>+4.00</u> |
| Valor Total: +2.00 | Valor Total: +2.75 |

$$-150 \text{) } + 100$$

Cara Cóncava: -1.50
 Cara Convexa: +1.00
 Valor Total: -0.50

Lentes Meniscos: Son aquellos lentes que sus caras interiores son cóncavas, pero muy profundas, más que la de los lentes periscópicos, si trabajamos la curva externa o convexa el valor positivo será de + 6.00, y si trabajamos la curva interna o cóncava el valor será de – 6.00.

Ejemplo:

$$-600 \text{) } + 200$$

Menisco Negativo

$$-400 \text{) } + 600$$

Menisco Positivo

Superficies Tóricas:

Son superficies cilíndricas, destinadas a corregir el astigmatismo.

Cruces Ópticas: MV: + 100
 MH: + 300

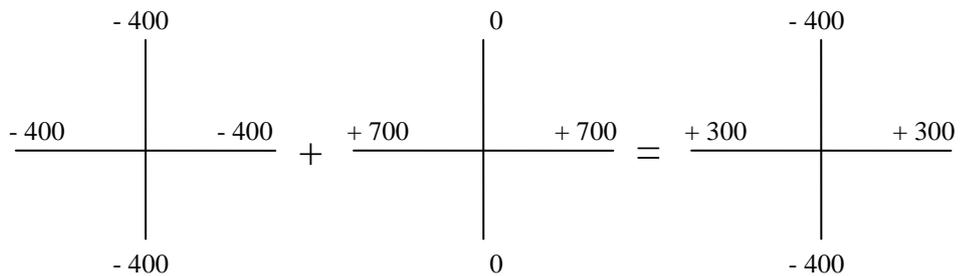
$$\begin{array}{c} +100 \\ | \\ +100 \quad | \quad +100 \\ | \\ +100 \end{array} + \begin{array}{c} 0 \\ | \\ +200 \quad | \quad +200 \\ | \\ 0 \end{array} = \begin{array}{c} +100 \\ | \\ +300 \quad | \quad +300 \\ | \\ +100 \end{array}$$

A/O +100 +200x90°
 Astig. Hip. Compuesto.
 Lente Esf- Cilíndrica Positiva
 Resultante --- Esférica – Cilíndrica.

Nota: Se dan los valores de los meridianos esa es tú lente.

- Coge como esfera cualquier meridiano --- **Esfera.**
- Y buscas una lente **Plano – Cilíndrica** que sumada con la Esférica del valor de la resultante.
- Eje donde está el **0**.

Ejemplo: MV: - 400
MH: + 300

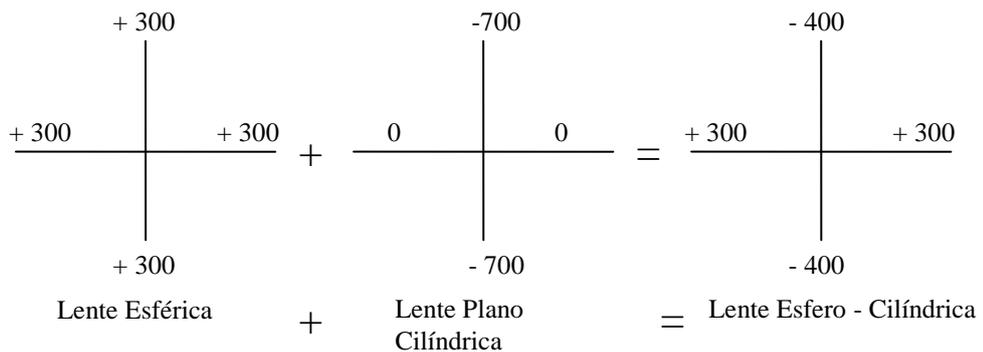


Receta:

$-400+700 \times 90^\circ$

Astil. Mixto

Lente: Esfero-Cilíndrica Mixta



Receta:

+300-700x180°

Astig. Mixto

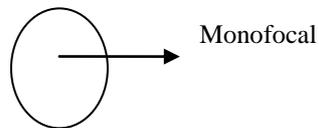
Lente: Esfero-Cilíndrica Mixta

Clasificación de las lentes atendiendo a su foco:

- Monofocales: 1 solo foco ----- lejos o cerca.
- Multifocales: Bifocal ----- 2 focos --- Lejos y cerca.
Trifocal ----- 3 focos --- Lejos, Intermedia, y
cerca
Progresivo.

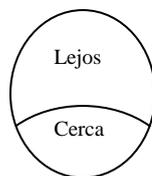
Monofocales: Poseen un solo foco, la usan los pacientes jóvenes para cerca y lejos ó los pacientes présbitas que no se adaptan al bifocal, y se hacen 2 pares de cristales monofocales un para lejos y otro para cerca.

Ejemplo:

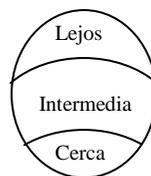


Multifocal: Poseen más de un foco, se utilizan en pacientes présbitas (mayores de 38-40 años)

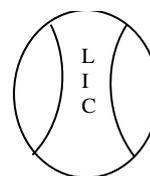
Bifocal



Trifocal

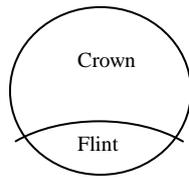


Progresivo



Bifocal: Se obtiene por la fusión de 2 cristales de diferentes índices de refracción, empleando al índice de refracción más alto en el segmento de Lectura (Adición)

Ejemplo:



- El vidrio Flint posee mayor índice de refracción.

Bifocales, corrigen simultáneamente las dos visiones:

- Lejos y Cerca.

$$A/O + 100 - 0.50 \times 90^\circ$$
$$\text{Add: } + 2.50 \text{ Esf}$$

Si el paciente no se adapta al bifocal se le indican 2 pares de espejuelos.

Lejos: $+ 100 - 0.50 \times 90^\circ$

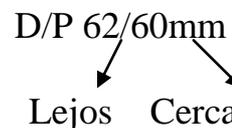
Cerca: Se suma la Add, a la parte esférica de los de lejos y se mantiene el cilindro.

Receta de cerca: $+ 350 - 0.5.0 \times 90^\circ$.

La receta de un bifocal tiene 2 D/P la mayor la de lejos y menor la de cerca.

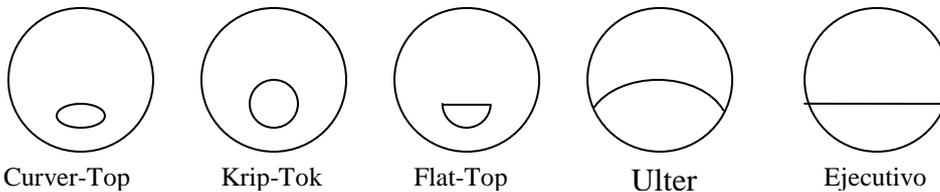
$$A/O - 400 + 100 \times 180^\circ$$
$$\text{Add: } + 1.00 \text{ Esf}$$

Cerca: $- 300 + 100 \times 180^\circ$



- Lejos: Ejes visuales están en paralelismo.
- Cerca: Ejes visuales convergen en un punto.

Características, forma y tamaño de los segmentos de Adición.



Trifocal: Corrige simultáneamente los 3 visiones Lejos, intermedia y cerca.

$$\begin{aligned} &A/O + 300 - 200 \times 10^\circ \\ &Add: + 200 \text{ Esf} \\ &Add VI: + 100 \text{ ó } + 1.25 \text{ Esf} \end{aligned}$$

Un paciente no se adapta al Trifocal y quiere intermedia porque lo requiere un trabajo.

Ejemplo:

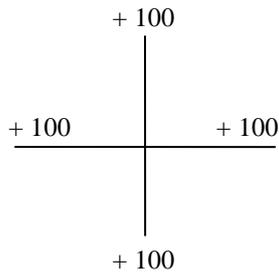
$$\begin{aligned} &A/O - 300 + 0.50 \times 90^\circ \\ &Add: + 200 \text{ Esf} \\ &Cerca: - 100 + 0.50 \times 90^\circ \\ &Add VI: + 100 \text{ Esf} \\ &Cristal: - 200 + 0.50 \times 90^\circ \end{aligned}$$

Intermedia: A la **Add** se le resta 100 ó 075 y después se suma con la parte esférica de la graduación de lejos y tendremos el cristal corrector de visión para intermedia.

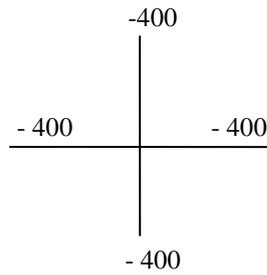
Ejemplo: $A/O - 100 \times 90^\circ$

- Lejos: $A/O - 1.00 \times 90^\circ$
Add: +3.00
- Cerca: $A/O + 3.00 - 1.00 \times 90^\circ$
Add VI: +2.00
- Intermedia: $A/O + 2.00 - 1.00 \times 90^\circ$

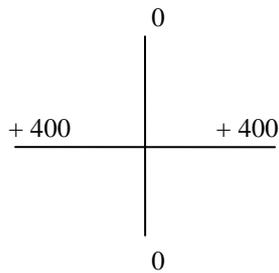
Representaciones gráficas de lentes oftálmicas:



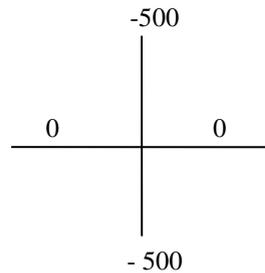
Lente Esférica
Positiva



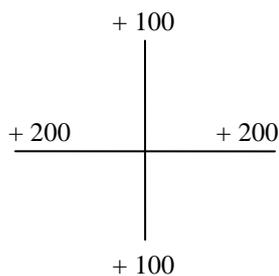
Lente Esférica
Negativa



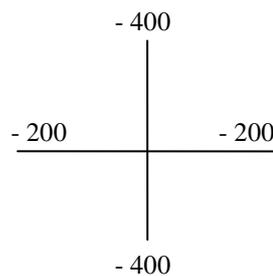
Plano-Cilíndrica Positiva



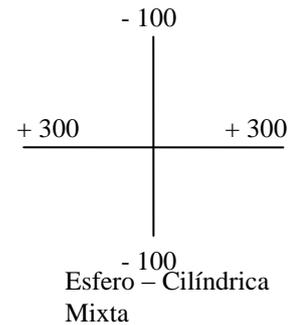
Plano-Cilíndrica Negativa



Esfero - Cilíndrica
Positiva



Esfero - Cilíndrica
Positiva



Esfero - Cilíndrica
Mixta

- Lente Esférica Positiva: Mismo valor dióptrico en sus meridianos con efecto (+).
- Lente Esférica Negativa: Mismo valor dióptrico en sus meridianos con efecto (-)
- Lente Plano Cilíndrica Positiva: Uno de los meridianos es 0, y el otro valor (+)
- Lente Plano-Cilíndrica Negativa: Uno de los meridianos es 0, y el otro valor (-).
- Lente Esfero Cilíndrica Positiva: Los dos meridianos positivos pero con diferentes valores.
- Lentes Esfero-Cilíndrica Negativa: Los dos meridianos negativos pero con diferentes valores.
- Lentes esfero-Cilíndrica Mixta: Los dos meridianos con diferentes signos y diferentes valores.

Clasificación de las lentes oftálmicas de acuerdo a su ametropía

| Recetas | Ametropías | Tipo de lentes |
|---|---|--|
| A/O + 100 esf. | Hipermetropía: Todo positivo y esférico | Esférica positiva |
| A/O – 400 esf. | Miopía: Todo negativo y esférico. | Esférica negativa. |
| A/O -300 x 90° Transp.. -300+300 x 180° | Astig. Miopico simple Tiene eje negativo No tiene esfera | Plano-cilínd. Negativa Todos los Astig simples se corrigen con lentes Plano- cilíndricas. |
| A/O +400-400x10° Transp.. +400x100° | Astig. Hipermetrópico Simple Tiene eje Positivo No tiene esfera | Plano-cilínd. Positiva Los Astig. Simples se corrige con lentes plano - cilíndricas. |
| A/O +300-100x20° Transp. +200+100 x110° | Astig. Hipermetrópico Compuesto Tiene eje Positivo Tiene esf y Cil Dif. Signo y y esfera mayor | Esfero-cilínd. Positiva Los Astig. Compuestos se corrige con lentes esfero - cilíndricas. |
| A/O -500+200 x90° Transp. -300-200x180° | Astig. Miópico Compuesto Tiene eje Negativo Tiene esf y Cil | Esfero-cilíndrica Negativa Los Astig. Compuestos se |

| | | |
|-----------------------|---|--|
| | Dif. Signo y y esfera mayor | corrige con lentes esfero - cilíndricas. |
| A/O -200+300 x5° | Astig. Mixto | Esfero-cilínd. Mixtos |
| Transp. +100-300 x95° | Tiene eje la Diferente signo y el cilindro mayor que esfera | Los Astig. Mixtos se corrige con lentes esfero – cilíndricas Mixtas |

El frontofocómetro o lensómetro.

Es el instrumento que permite obtener directamente el poder de las lentes por simple lectura, teniendo en cuenta el espesor de las lentes observadas y da el denominado poder de vértice muy importante cuando el tamaño de la lente es grueso.

Lectura en el Lensómetro

- La esfera siempre es la primera lectura que se ofrece.
- El cilindro, los espacios de la 1ra. Lectura a la 2da. Lectura y el signo para donde vaya la escala.
- El eje simple es el de la segunda lectura que yo te doy

Ejemplo:

| | |
|----------------------|----------------------|
| 1ra. Lect: 0x90° | 1ra. Lect: -400x5° |
| 2da.Lect: +100x180° | 2da. Lect : 0x95° |
| +100x180° | -400+400x95° |
| PL CL (+) | PL CL (-) |
| 1ra.Lect : +200x10° | 1ra. Lect : -400x35° |
| 2da.Lect : +100x100° | 2da.lect: -200x125° |
| +200-100x100° | -400+200 x125° |
| Esf.Cil. (+) | Esf. Cil. (-) |
| 1ra. +400x45° | |
| 2da. -200x135° | |
| +400-600x135° | |

Pasos de la Óptica:

Pasos de la Óptica:

Óptica: Mesa

Banco - Corte y Monta

Corte y Monta Manual

- 1 – Revisado del cristal
- 2 – Marcado
- 3 – Marcado del aro de la armadura en el cristal
- 4 – Cortado Diamante o corta vidrio.
- 5 _ Descantillado —————> Descantilladora.
- 6 – Biselado manual
- 7 – Montaje
- 8 – Ajuste y nivelado
- 9 – Control de la calidad
- 10 - Entrega

Corte y Monta Semi-automático

- 1 – Revisado
- 2 – Marcado
- 3 – Colocar la ventosa o pegatina
- 4 – Ubicación del patrón
- 5 – Se coloca en la maquina biseladora
- 6 – Se remata manualmente
- 7 – Montaje
- 8 – Ajuste y nivelado
- 9 – Control de la calidad
- 10- Entrega

Pasos en el Taller de Tallado de una Lente.

- 1 – Recepción
- 2 – Marcado
- 3 – Barnizado
- 4 –Bloqueo
- 5 – Generador
- 6 –Selección del molde
- 7 – Esmeriladora
- 8 – Pulidora
- 9 – Desbloqueo
- 10 –Lavado
- 11 –Control de la calidad

*Generador es muy importante, porque desbasta la superficie del cristal, e imprime la curva base.

*Control de la calidad, se realiza en el lensómetro. Se comprueba la calidad del cristal y el valor dióptrico.

Nota: Todos los pasos son muy importantes, si se viola uno de ellos no se garantiza una buena visión.

Lentes de contacto.

Diferentes formas de lentes de contacto.

Las lentes de contacto se pueden dividir en dos grupos:

- 1) Lentes de contacto de apoyo escleral.
- 2) Lentes corneales.

Las primeras se caracterizan en que presentan dos zonas: una corneal o central, y otra escleral o periférica.

Las segundas se caracterizan por carecer de porción escleral, por lo que son más pequeñas que las estudiadas anteriormente; su diámetro es aproximadamente de 10,5 a 9,5 mm en las formas ordinarias y más pequeñas en las llamadas "microlentillas". Se mantienen colocadas en su sitio por adherencia capilar a la córnea. Existen en la actualidad lentes duras, blandas y semiblandas.

Indicaciones de las lentes de contacto corneales.

Son muy convenientes en los sujetos que quieren disimular su defecto refractivo.

También son muy recomendadas en los casos de astigmatismo corneal que no sea superior a 2 dioptrías, ya que el principal astigmatismo del ojo es el corneal.

Son insustituibles en los casos de astigmatismo irregular (ya sea traumático o quirúrgico) En la afaquia monocular, la anisometropía, en muchos casos y en el caso de aniridia y nistagmo con defecto refractivo.

Partes principales

- Cara anterior
- Cara posterior
- diámetro (de la córnea)
- Bordes

Ejemplo de una receta de Lente de contacto.

OD: 7.80 - 400 x 92
curvatura graduación

Elaboración:

- Curva Interna y Bandas
- Curva Externa (talla, pule y controla)
- Terminado
- Control de la calidad

Ventajas

- Elimina el espejuelo y mejora la estética
- Mejora A/V en muchos casos
- Elimina las limitaciones del C/V que producen las armaduras
- Elimina el peso del cristal en la nariz, en ametropías elevadas,
- Corrección total de la anisometropía

Indicaciones

- Aniridia (no tienen iris)
- Diferencia de refracción de más de 2.00D
- Astigmatismos irregulares producido por cicatrices
- Queratoconos

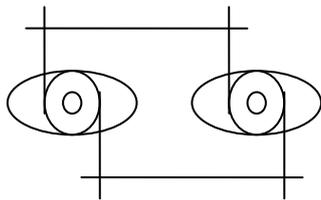
Contraindicaciones

- Cuando existen patologías oculares.
- Conjuntivitis, uveítis, queratitis, úlceras, etc

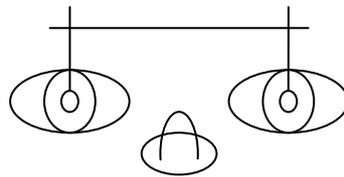
La distancia interpupilar D/P

Es un dato muy importante y necesario para garantizar que las lentes sean colocadas en sus respectivos aros de modo que sus centros ópticos coincidan con los ejes visuales de cada ojo, cuando esto no se logra la lente quedará descentrada y por tanto provocará un efecto prismático el cual estará relacionado proporcionalmente con la magnitud de la fuerza refractiva de la lente. Esta medida tiene obligatoriamente que acompañar la fórmula refractiva de cada paciente, de no incluirse, la receta se considera incompleta.

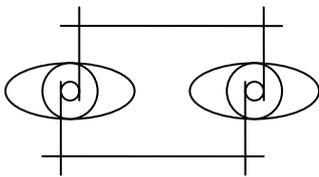
Diferentes Métodos:



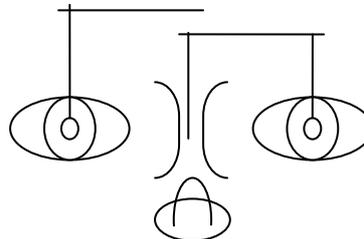
Método de Limbo a Limbo



Método Interejes - Visuales



Método Interpupilar



Método de Naso - Pupilar

Óptica Física

Esta rama de la **óptica** se ocupa de aspectos del comportamiento de la luz tales como su emisión, composición o absorción, así como de la polarización, la interferencia y la difracción.

Polarización de la luz

Los átomos de una fuente de luz ordinaria emiten pulsos de radiación de duración muy corta. Cada pulso procedente de un único átomo es un tren de ondas prácticamente monocromático (con una única

longitud de onda). El vector eléctrico correspondiente a esa onda no gira en torno a la dirección de propagación de la onda, sino que mantiene el mismo ángulo, o acimut, respecto a dicha dirección. El ángulo inicial puede tener cualquier valor. Cuando hay un número elevado de átomos emitiendo luz, los ángulos están distribuidos de forma aleatoria, las propiedades del haz de luz son las mismas en todas direcciones, y se dice que la luz no está polarizada. Si los vectores eléctricos de todas las ondas tienen el mismo ángulo acimutal (lo que significa que todas las ondas transversales están en el mismo plano), se dice que la luz está polarizada en un plano, o polarizada linealmente.

Cualquier onda electromagnética puede considerarse como la suma de dos conjuntos de ondas: uno en el que el vector eléctrico vibra formando ángulo recto con el plano de incidencia y otro en el que vibra de forma paralela a dicho plano. Entre las vibraciones de ambas componentes puede existir una diferencia de fase, que puede permanecer constante o variar de forma constante. Cuando la luz está linealmente polarizada, por ejemplo, esta diferencia de fase se hace 0 o 180° . Si la relación de fase es aleatoria, pero una de las componentes es más intensa que la otra, la luz está en parte polarizada. Cuando la luz es dispersada por partículas de polvo, por ejemplo, la luz que se dispersa en un ángulo de 90° . Con la trayectoria original del haz está polarizada en un plano, lo que explica por qué la luz procedente del cenit está marcadamente polarizada.

Para ángulos de incidencia distintos de 0 o 90° , la proporción de luz reflejada en el límite entre dos medios no es igual para ambas componentes de la luz. La componente que vibra de forma paralela al plano de incidencia resulta menos reflejada. Cuando la luz incide sobre un medio no absorbente con el denominado ángulo de Brewster, llamado así en honor al físico británico del siglo XIX David Brewster, la parte reflejada de la componente que vibra de forma paralela al plano de incidencia se hace nula. Con ese ángulo de incidencia, el rayo reflejado es perpendicular al rayo refractado; la tangente de dicho ángulo de incidencia es igual al cociente entre los índices de refracción del segundo medio y el primero.

Algunas sustancias son anisótropas, es decir, muestran propiedades distintas según la dirección del eje a lo largo del cual se midan. En esos materiales, la velocidad de la luz depende de la dirección en que ésta se propaga a través de ellos. Algunos cristales son

birrefringentes, es decir, presentan doble refracción. A no ser que la luz se propague de forma paralela a uno de los ejes de simetría del cristal (un eje óptico del cristal), la luz se separa en dos partes que avanzan con velocidades diferentes. Un cristal uniáxico tiene uno de estos ejes. La componente cuyo vector eléctrico vibra en un plano que contiene el eje óptico es el llamado rayo ordinario; su velocidad es la misma en todas las direcciones del cristal, y cumple la ley de refracción de Snell. La componente que vibra formando un ángulo recto con el plano que contiene el eje óptico constituye el rayo extraordinario, y la velocidad de este rayo depende de su dirección en el cristal. Si el rayo ordinario se propaga a mayor velocidad que el rayo extraordinario, la birrefringencia es positiva; en caso contrario la birrefringencia es negativa.

Cuando un cristal es biáxico, la velocidad depende de la dirección de propagación para todas las componentes. Se pueden cortar y tallar los materiales birrefringentes para introducir diferencias de fase específicas entre dos grupos de ondas polarizadas, para separarlos o para analizar el estado de polarización de cualquier luz incidente. Un polarizador sólo transmite una componente de la vibración, ya sea reflejando la otra mediante combinaciones de prismas adecuadamente tallados o absorbiéndola.

El fenómeno por el que un material absorbe preferentemente una componente de la vibración se denomina dicroísmo. El material conocido como Polaroid presenta dicroísmo; está formado por numerosos cristales dicroicos de pequeño tamaño incrustados en plástico, con todos sus ejes orientados de forma paralela. Si la luz incidente es no polarizada, el Polaroid absorbe aproximadamente la mitad de la luz. Los reflejos de grandes superficies planas, como un lago o una carretera mojada, están compuestos por luz parcialmente polarizada, y un Polaroid con la orientación adecuada puede absorberlos en más de la mitad. Este es el principio de las gafas o anteojos de sol Polaroid.

Los llamados analizadores pueden ser físicamente idénticos a los polarizadores. Si se cruzan un polarizador y un analizador situados consecutivamente, de forma que el analizador esté orientado para permitir la transmisión de las vibraciones situadas en un plano perpendicular a las que transmite el polarizador, se bloqueará toda la luz procedente del polarizador.

Las sustancias 'ópticamente activas' giran el plano de polarización de la luz linealmente polarizada. Un cristal de azúcar o una solución

de azúcar, pueden ser ópticamente activos. Si se coloca una solución de azúcar entre un polarizador y un analizador cruzados tal como se ha descrito antes, parte de la luz puede atravesar el sistema. El ángulo que debe girarse el analizador para que no pase nada de luz permite conocer la concentración de la solución. El polarímetro se basa en este principio.

Algunas sustancias —como el vidrio y el plástico— que no presentan doble refracción en condiciones normales pueden hacerlo al ser sometidas a una tensión. Si estos materiales bajo tensión se sitúan entre un polarizador y un analizador, las zonas coloreadas claras y oscuras que aparecen proporcionan información sobre las tensiones. La tecnología de la foto elasticidad se basa en la doble refracción producida por tensiones.

También puede introducirse birrefringencia en materiales normalmente homogéneos mediante campos magnéticos y eléctricos. Cuando se somete un líquido a un campo magnético fuerte, puede presentar doble refracción. Este fenómeno se conoce como efecto Kerr, en honor del físico británico del siglo XIX John Kerr. Si se coloca un material apropiado entre un polarizador y un analizador cruzados, puede transmitirse o no la luz según si el campo eléctrico en el material está conectado o desconectado. Este sistema puede actuar como un conmutador o modulador de luz extremadamente rápido.

Interferencia y difracción

Cuando dos haces de luz se cruzan pueden interferir, lo que afecta a la distribución de intensidades resultante (*véase* Interferencia). La coherencia de dos haces expresa hasta qué punto están en fase sus ondas. Si la relación de fase cambia de forma rápida y aleatoria, los haces son incoherentes. Si dos trenes de ondas son coherentes y el máximo de una onda coincide con el máximo de otra, ambas ondas se combinan produciendo en ese punto una intensidad mayor que si los dos haces no fueran coherentes. Si son coherentes y el máximo de una onda coincide con el mínimo de la otra, ambas ondas se anularán entre sí parcial o totalmente, con lo que la intensidad disminuirá. Cuando las ondas son coherentes, puede formarse un diagrama de interferencia formado por franjas oscuras y claras. Para producir un diagrama de interferencia constante, ambos trenes de ondas deben

estar polarizados en el mismo plano. Los átomos de una fuente de luz ordinaria irradian luz de forma independiente, por lo que una fuente extensa de luz suele emitir radiación incoherente. Para obtener luz coherente de una fuente así, se selecciona una parte reducida de la luz mediante un pequeño orificio o rendija. Si esta parte vuelve a separarse mediante una doble rendija, un doble espejo o un doble prisma y se hace que ambas partes recorran trayectorias de longitud ligeramente diferente antes de combinarlas de nuevo, se produce un diagrama de interferencias. Los dispositivos empleados para ello se denominan interferómetros; se utilizan para medir ángulos pequeños, como los diámetros aparentes de las estrellas, o distancias pequeñas, como las desviaciones de una superficie óptica respecto a la forma deseada. Las distancias se miden en relación a la longitud de onda de la luz empleada.

El primero en mostrar un diagrama de interferencias fue el físico británico Thomas Young, en el experimento ilustrado en la figura 8. Un haz de luz que había pasado previamente por un orificio, iluminaba una superficie opaca con dos orificios o rendijas. La luz que pasaba por ambas rendijas formaba un diagrama de franjas circulares sucesivamente claras y oscuras en una pantalla. En la ilustración están dibujadas las ondulaciones para mostrar que en puntos como *A*, *C* o *E* (intersección de dos líneas continuas), las ondas de ambas rendijas llegan en fase y se combinan aumentando la intensidad. En otros puntos, como *B* o *D* (intersección de una línea continua con una línea de puntos), las ondas están desfasadas 180° y se anulan mutuamente.

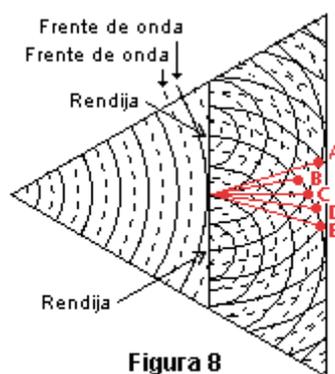


Figura 8
Interferencia de la luz al pasar por dos rendijas

Las ondas de luz reflejadas por las dos superficies de una capa transparente extremadamente fina situada sobre una superficie lisa

pueden interferir entre sí. Las irisaciones de una fina capa de aceite sobre el agua se deben a la interferencia, y demuestran la importancia del cociente entre el espesor de la capa y la longitud de onda de la luz. Puede emplearse una capa o varias capas de materiales diferentes para aumentar o disminuir la reflectividad de una superficie. Los separadores de haz dicróicos son conjuntos de capas de distintos materiales, cuyo espesor se fija de forma que una banda de longitudes de onda sea reflejada y otra sea transmitida. Un filtro interferencial construido con estas capas transmite una banda de longitudes de onda extremadamente estrecha y refleja el resto de las longitudes. La forma de la superficie de un elemento óptico puede comprobarse presionándolo contra un patrón y observando el diagrama de franjas que se forma debido a la capa delgada de aire que queda entre ambas superficies.

La luz que incide sobre el borde de un obstáculo es desviada, o difractada, y el obstáculo no genera una sombra geométrica nítida. Los puntos situados en el borde del obstáculo actúan como fuente de ondas coherentes, y se forma un diagrama de interferencias denominado diagrama de difracción. La forma del borde del obstáculo no se reproduce con exactitud, porque parte del frente de onda queda cortado.

Como la luz pasa por una abertura finita al atravesar una lente, siempre se forma un diagrama de difracción alrededor de la imagen de un objeto. Si el objeto es extremadamente pequeño, el diagrama de difracción aparece como una serie de círculos concéntricos claros y oscuros alrededor de un disco central, llamado disco de Airy en honor al astrónomo británico del siglo XIX George Biddell Airy. Esto ocurre incluso con una lente libre de aberraciones. Si dos partículas están tan próximas que los dos diagramas se solapan y los anillos brillantes de una de ellas coinciden con los anillos oscuros de la segunda, no es posible resolver (distinguir) ambas partículas. El físico alemán del siglo XIX Ernst Karl Abbe fue el primero en explicar la formación de imágenes en un microscopio con una teoría basada en la interferencia de los diagramas de difracción de los distintos puntos del objeto.

En óptica, el análisis de Fourier —llamado así en honor al matemático francés Joseph Fourier— permite representar un objeto como una suma de ondas sinusoidales sencillas, llamadas componentes. A veces se analizan los sistemas ópticos escogiendo un objeto cuyas componentes de Fourier se conocen y analizando las

componentes de Fourier de la imagen. Estos procedimientos determinan la llamada función de transferencia óptica. En ocasiones, el empleo de este tipo de técnicas permite extraer información de imágenes de baja calidad. También se han aplicado teorías estadísticas al análisis de las imágenes formadas.

Una red de difracción está formada por varios miles de rendijas de igual anchura y separadas por espacios iguales (se consiguen rayando el vidrio o el metal con una punta de diamante finísima) Cada rendija produce un diagrama de difracción, y todos estos diagramas interfieren entre sí. Para cada longitud de onda se forma una franja brillante en un lugar distinto. Si se hace incidir luz blanca sobre la red, se forma un espectro continuo. En instrumentos como monocromadores, espectrógrafos o espectrofotómetros se emplean prismas y redes de difracción para proporcionar luz prácticamente monocromática o para analizar las longitudes de onda presentes en la luz incidente (*véase* Espectroscopia; Espectroheliógrafo)

Emisión estimulada

Los átomos de una fuente de luz corriente —como una bombilla (foco) incandescente, una lámpara fluorescente o una lámpara de neón— producen luz por emisión espontánea, y la radiación que emiten es incoherente. Si un número suficiente de átomos absorben energía de manera que resultan excitados y acceden a estados de mayor energía en la forma adecuada, puede producirse la emisión estimulada. La luz de una determinada longitud de onda puede provocar la producción de más luz con la misma fase y dirección que la onda original, por lo que la radiación será coherente. La emisión estimulada amplifica la radiación con una longitud de onda determinada, y la luz generada presenta una desviación del haz muy baja. El material excitado puede ser un gas, un sólido o un líquido, pero su forma —o la forma de su recipiente— debe ser tal que forme un interferómetro en el que la longitud de onda que se amplifica se refleje numerosas veces en un sentido y otro. Una pequeña parte de la radiación excitada se transmite a través de uno de los espejos del interferómetro. Este dispositivo se denomina láser, que en inglés corresponde al acrónimo de “amplificación de luz por emisión estimulada de radiación”. El proceso de suministrar energía a un número elevado de átomos para llevarlos a un estado adecuado de energía superior se denomina bombeo. El bombeo puede ser óptico o eléctrico. Como un láser puede emitir pulsos de energía extremadamente alta con una desviación de haz muy pequeña, es

posible detectar, por ejemplo, luz láser enviada a la Luna y reflejada de vuelta a la Tierra, lo que permite medir con precisión la distancia Tierra-Luna. El haz intenso y estrecho del láser ha encontrado aplicaciones prácticas en cirugía y en el corte de metales.

El físico e ingeniero eléctrico británico Dennis Gabor, nacido en Hungría, fue el primero en observar que si se pudiera registrar el diagrama de difracción de un objeto y conservar también la información sobre la fase, la imagen del objeto podría reconstruirse iluminando con luz coherente el diagrama de difracción registrado. Si se iluminara el diagrama de interferencia con una longitud de onda mayor que la empleada para producirlo, aparecería un aumento de tamaño. Como la fase absoluta de una onda luminosa no puede detectarse directamente, era necesario proporcionar un haz de referencia coherente con el haz que iluminaba el objeto, para que interfiriera con el diagrama de difracción y proporcionara información sobre la fase. Antes del desarrollo del láser, el proyecto de Gabor estaba limitado por la falta de fuentes de luz coherente lo bastante intensas.

Un holograma es un registro fotográfico de la interferencia entre un haz de referencia y el diagrama de difracción del objeto. Para generar un holograma, la luz procedente de un único láser se divide en dos haces. El haz de referencia ilumina la placa fotográfica —por ejemplo, a través de una lente y un espejo— y el segundo haz ilumina el objeto. El haz de referencia y la luz reflejada por el objeto forman un diagrama de difracción sobre la placa fotográfica. Si una vez revelado el holograma se ilumina con luz coherente, no necesariamente de la misma longitud de onda que la empleada para crearlo, puede obtenerse una imagen tridimensional del objeto. Es posible producir hologramas de un objeto teórico mediante ordenadores o computadoras, y después pueden reconstruirse las imágenes de esos objetos.

Los haces láser intensos y coherentes permiten estudiar nuevos efectos ópticos producidos por la interacción de determinadas sustancias con campos eléctricos, y que dependen del cuadrado o de la tercera potencia de la intensidad de campo. Esta rama de la óptica se denomina óptica no lineal, y las interacciones que estudia afectan al índice de refracción de las sustancias. El efecto Kerr antes mencionado pertenece a este grupo de fenómenos.

Se ha observado la generación armónica de luz. Por ejemplo, la luz láser infrarroja con longitud de onda de 1,06 micrómetros puede

convertirse en luz verde con longitud de onda de 0,53 micrómetros (es decir, justo la mitad) mediante un cristal de niobato de sodio y bario. Es posible producir fuentes de luz coherente ampliamente sintonizables en la zona de la luz visible y el infrarrojo cercano bombeando medios adecuados con luz o con radiación de menor longitud de onda. Se puede lograr que un cristal de niobato de litio presente fluorescencia roja, amarilla y verde bombeándolo con luz láser azul verdosa con una longitud de onda de 488 nanómetros.

Algunos fenómenos de difusión pueden ser estimulados con un único láser para producir pulsos de luz intensos en una amplia gama de longitudes de onda monocromáticas. Los efectos ópticos no lineales se aplican en el desarrollo de moduladores eficaces de banda ancha para sistemas de comunicación (*véase Radio: Modulación*)