

LAS MIRAS TELESCÓPICAS

El anteojo, visor o telescopio, constituye una parte tan esencial en la mayor parte de los instrumentos topográficos, geodésicos, astronómicos y de puntería, en nuestro caso, destinados a la observación ocular, que merece un lugar de preferencia en la descripción de los mismos.

NOTA HISTÓRICA

La cuestión: ¿Quién fue el inventor del anteojo? ha sido muy discutida y no será probablemente nunca completamente aclarada. Lo único que se sabe con certeza es que, según documentos de fecha 2 de octubre 1608 hallados en Holanda, se deliberaba allí en aquel entonces sobre el otorgamiento de una patente relativa a la construcción de un anteojo, solicitada por Juan Lipperhey, óptico de Middelburg (Holanda), y que tal solicitud fue denegada a causa de ser ya conocido entonces el invento.

En el mes de julio de 1609, el astrónomo Galileo Galilei, según su propia declaración, supo del invento del anteojo y se puso a construir uno independientemente. Con fecha 21 de agosto de 1609 lo presentó en la torre de la catedral de San Marco de Venecia. Era un anteojo de 2,4 metros de largo, con un objetivo de 42 mm de diámetro y un aumento de 9. Tiene Galilei el mérito de haber puesto por vez primera y con todo éxito el anteojo al servicio de las investigaciones del cielo: Descubrió los 4 satélites más grandes de Júpiter, el anillo de Saturno, las manchas del Sol, etc.

Es debido a estos hechos que el primer anteojo inventado lleva el doble nombre de anteojo holandés o anteojo de Galilei.

Consiste este anteojo en una combinación de dos lentes, una lente convergente que es el objetivo, y una lente divergente que es el ocular.

En el año 1611 el astrónomo Kepler indico en su famosa obra DIOPTRICA las características y la disposición de las lentes constitutivas de otro tipo de anteojo, llamado anteojo **astronómico** o anteojo de Kepler. Tal anteojo está constituido por un objetivo igual al del anteojo holandés y un ocular que es una lente convergente. En el año 1615 fue construido por primera vez este segundo tipo de anteojo. Es entonces el ocular la parte óptica en que difieren los dos tipos de anteojos.

Introducción

Nadie puede determinar con exactitud cual es el mejor visor o el óptimo para todo tipo de uso.

La selección dependerá del uso específico que se le dará al instrumento. La calidad global de una mira telescópica está estrechamente ligada a la calidad óptica, acompañada esta con una excelente construcción mecánica (estativo).

Ópticamente, son innumerables la cantidad de análisis que pueden hacerse, desde la elección del tipo de cristal, el método de tallado, los métodos de corrección de aberraciones, etc, etc, etc., si bien los cálculos de todos estos ítem son complicadísimos, y no le interesan al cazador o al tirador, trataremos de explicarlo lo mas sencillo posible,

ya que, innumerables son los artículos que se han escrito sobre el tema, y nunca nadie los ha tratado, (por lo menos con seriedad). Sucede amigo, que en óptica como en derecho, no da lo mismo poner el adjetivo antes que el sustantivo, y copiar una nota tratando de cambiar las palabras, para que no parezca la misma, o incluir o excluir una coma o un punto, cambia radicalmente el concepto, es mas, se pueden estar diciendo cosas que no son verdad. También sucede que si uno utiliza catálogos de fabricantes para extraer una nota, todas las miras son las mejores del mundo, pues, ¿qué puede decir un fabricante del producto que comercializa?

No pretende esta nota recomendarle al lector tal o cual mira , pero si pretende ponerlo en conocimiento de las características técnicas, del funcionamiento y cualidades de todos los componentes que la integran, para que llegado el caso de adquirir una, sepa el lector como evaluarla, y entonces no pagar valores altos por algo que realmente no lo vale, y si pagarlo por algo que vale la pena (en este caso, y después de leer la nota se dará cuenta que algo bueno a la larga resulta baratísimo) será esta entonces, una nota **meramente técnica**, tratando de hacerla lo mas comprensible posible.

Después de algunas definiciones, estaremos explicando, como se supone que se debe construir una mira telescópica, cuales son las elecciones de materiales, cálculos, correcciones, etc, que el fabricante debe tener en cuenta para su fabricación. De hecho, hay algunas miras telescópicas que funcionan exactamente como uno quiere, pero para lograr esto, debe correr mucha agua bajo el puente.

El Sistema óptico perfecto

Se llaman sistemas ópticos perfectos aquellos que reproducen cada punto del objeto con un punto de la imagen y conservan la escala prefijada de imagen.

En realidad, incluso si no se tiene en cuenta el fenómeno de difracción, por regla general, no se puede considerar que los sistemas ópticos reales, al formar una imagen de tamaño finito, aseguran que ésta sea totalmente nítida y que corresponda completamente al objeto.

Al crear un sistema óptico **próximo** a uno perfecto, o mejor dicho, con desviaciones respecto al perfecto que **se toleran**, se cumple una etapa trabajosa de cálculos para efectuar el reglaje (corrección) del sistema.

Para la corrección se emplea un sistema óptico cuyas dimensiones exteriores, así como las distancias focales de sus componentes, las distancias entre ellos y los diámetros útiles pueden ser determinados de acuerdo con los conceptos que se refieren a la zona paraxial, (del griego para: al lado, axial: perteneciente al eje)

Aplicando estos conceptos a la zona de haces anchos de rayos, obtendremos un sistema óptico que satisface los requisitos que se presentan a un sistema óptico perfecto.

Para que tal sistema óptico convierta el haz homocéntrico del espacio objeto en un haz homocéntrico de rayos del espacio imagen, es menester cumplir las siguientes condiciones:

1. A cada punto del espacio objeto deberá corresponder un punto del espacio imagen.
2. A cada recta del espacio objeto debe corresponder una recta del espacio imagen.
3. A cada punto de una recta del espacio objeto debe corresponder un punto perteneciente a la correspondiente recta del espacio imagen.

Tales puntos, rectas y rayos que se hallan en diferentes espacios y corresponden unos a otros se dice que son **conjugados**.

La etapa inicial del cálculo óptico, cuyo fin es la obtención de un sistema óptico perfecto que asegure la formación requerida de los haces de rayos, se llama cálculo de dimensiones exteriores.

¿Por qué es tan cara una buena mira telescópica?

La respuesta a esta pregunta la encontrará UD. mismo al finalizar de leer la nota, porque en ella encontrará las verdades, mitos y falacias del saber popular sobre el tema.

CONCEPTOS INICIALES:

En cuanto a los cristales.

Una mira telescópica, esta constituida “básicamente” por 5 lentes. El objetivo, el par inversor (2) y una lupa compuesta u ocular (2). Básicamente esta entre comillas porque 5 es el mínimo de lentes que un anteojo de este tipo necesita para funcionar (digamos que es la cantidad de lentes que tiene una mira de malísima calidad) hasta un máximo de 11 lentes (por supuesto nos referimos a un aparato de calidad).

Aun hablando de una mira telescópica constituida por 10 u 11 lentes estas se comportan como si fueran 5, para el funcionamiento del telescopio o anteojo de puntería como tal.

¿Cómo se entiende esto?. Bien, sucede que esas 5 lentes básicas, tienen adosadas o pegadas otro número de lentes igual, las cuales se utilizan para corregir ciertos errores o aberraciones como veremos a lo largo del artículo, pero cada par de lentes adosadas o pegadas se comporta como si fuera una sola, (para lo que se refiere a la refracción de los rayos) esto es conocido en óptica como doblete.

Cada una de estas lentes están realizadas en diferentes clases de vidrios, los cuales de acuerdo a su composición tienen diferentes nombres o denominaciones, por lo general alfanuméricas, pero que en líneas generales, a su vez, se dividen en dos grandes grupos cuyas denominaciones son CROWN Y FLINT (silicatos de sodio, potasio o calcio, óxido de plomo etc.)

Estas designaciones de vidrios ópticos provienen del modo primitivo de fabricarlos, el crown, palabra inglesa que significa corona, se obtuvo por soplado en forma de platos, el flint, fue fabricado a base de pedernal, cuando aun no se conocía una forma de sílice mas pura, Flint es también una palabra inglesa (pariente del alemán *flinte*, fusil) que significa *pedra de chispas*. El nombre común para el crown sería vidrio, y para el flint, cristal.

En cuanto a las monturas

Como los instrumentos ópticos (siempre hablaremos de calidad) “de campaña” se calculan aproximadamente para un intervalo de temperaturas de -55°C a $+55^{\circ}\text{C}$ y los coeficientes de dilatación lineal de los materiales de las monturas se distinguen

considerablemente de los del vidrio, (el del duraluminio es 23×10^{-6} , el del latón es 18×10^{-6} , y el del acero es 11×10^{-6}), en muchos casos surge el peligro de que las monturas aprieten las piezas ópticas con temperaturas bajas, y se produzca la creación de grandes holguras con temperaturas altas, lo cual es terrible para una mira que contiene dentro suyo un gas (nitrógeno) que evita el empañamiento en condiciones de temperaturas bajas, además de no permitir el ingreso de humedad al sistema. Por lo tanto ya desde el arranque, existe una diferencia entre los materiales que se eligen para la fabricación del estativo o cuerpo de la mira.

Un fabricante de miras de calidad, tiene que calcular como primera medida la dilatación y la contracción de los materiales que utilizará para fabricar el cuerpo de su mira en consecuencia del tipo de cristal que utilizará para fabricar sus lentes, en el rango de temperaturas mencionado.

PASO DE LA LUZ (RADIACIÓN) A TRAVÉS DE LOS MEDIOS ÓPTICOS

Perdidas de luz por reflexión

Se llama reflexión de la luz (flujo radiante) al fenómeno que consiste en que la luz incidente sobre la superficie que separa dos medios ópticos de diferentes índices de refracción, (que es digamos a "grosso modo" la capacidad que tiene el cristal para desviar un rayo de luz en mayor o menor medida según sea su densidad) parcial o totalmente retorna al medio de donde incide. La cantidad de luz reflejada depende de la **calidad de la superficie que separa los medios**, de los ángulos de incidencia de los rayos luminosos sobre la superficie de separación y de los índices de refracción de los medios.

Si una superficie cuyo radio de curvatura, al pasar a lo largo de ésta a distancias iguales a la longitud de la onda luminosa, experimenta variaciones comparables con la longitud de dicha onda, tal superficie se dice que es rugosa. Las superficies rugosas obtenidas, por ejemplo, por rectificación, intensifican la difusión de la luz, lo que se llama reflexión difusa.

Tales superficies por lo tanto no pueden darnos una imagen nítida, entonces no nos sirven para nuestra mira. La reflexión de la luz por un medio ópticamente menos denso, con el retorno total al medio de donde incide, se denomina reflexión interna total.

La parte del flujo radiante (luz) que se dispersa por el límite de refracción o reflexión se define por el coeficiente de reflexión. Se llama coeficiente de reflexión la relación del flujo radiante, reflejado por el cuerpo dado, al flujo radiante incidente en este cuerpo. El coeficiente de reflexión para dos medios ópticos con superficies pulimentadas adyacentes, se determina por la conocida fórmula de Fresnel.

Si dos piezas ópticas van pegadas con bálsamo de Canadá ($n= 1,52$) lo que con frecuencia se utiliza en objetivos, para lograr un doblete acromático, como dijimos al principio, o se unen por contacto óptico, las pérdidas de luz por reflexión en el lugar de la unión disminuyen bruscamente, el bálsamo ha sido suplantado por otros elementos (por ej. Loctite uv) ya que cumple la misma función y da un resultado mas duradero a través del tiempo. *Las pérdidas de luz por reflexión en superficies pegadas o que hacen contacto, deben tenerse muy en cuenta si la diferencia de los índices de refracción entre*

los vidrios supera los 0.2. Todos hemos tenido algún visor que al mirar a través de él era como mirar a través de una radiografía, he aquí una de las causas.

Tratamientos antirreflejos, AR, o multicoat

En relación al párrafo anterior, en los sistemas ópticos, se emplean superficies pulimentadas, a las que se les deposita una finísima capa metálica, realizada por evaporación de metal en campanas de alto vacío, (la composición, y disposición de estos tratamientos será material para otra nota). De esta manera se reduce la pérdida de luz por reflexión, es decir se cubre la superficie óptica con una capa antirreflectante. En estas finas capas se produce el fenómeno de interferencia, por lo tanto el espesor de este tratamiento no puede ser cualquiera, por lo general cerca de $\frac{1}{4}$ de la longitud de onda luminosa.

Entonces, el tratamiento antirreflejo es algo a tener en cuenta ante la elección de un visor, ya que no será el mismo tratamiento el requerido para una mira que solo utilizaremos para cazar o tirar de día, que el que deberá llevar un visor al que le daremos uso en condiciones de luz extremadamente pobre, para este último se recomiendan tratamientos que "barran" mejor la longitud de onda del infrarrojo cercano.

El coeficiente de reflexión de tales tratamientos con incidencia normal (perpendicular a la superficie óptica o cristal) se determina por una fórmula. La importancia de los tratamientos antirreflejos no solo consiste en que disminuyen las pérdidas de luz por reflexión, sino que también por lo que en virtud de las leyes de interferencia, los rayos reflejados en la capa se extinguen entre sí, y por lo tanto disminuye la influencia nociva de la luz difusa, es por eso que no se debe elegir una mira con lentes tratadas solo por el color, o por que brilla más o menos.

Además, para asegurarnos que lo descrito anteriormente se cumpla en todas las superficies ópticas que la luz atraviesa hasta llegar al ojo, dichos tratamientos se deben aplicar a todas las lentes del sistema, es más, en ambas caras. Por lo general las miras comerciales baratas o de calidad media tienen tratamientos en la cara anterior del objetivo, y en la cara posterior de la lente del ojo del ocular, que es lo único que uno puede apreciar cuando las observa.

La cantidad de capas antirreflectantes para un trabajo de calidad varía entre 12 y 16. Con una o dos capas antirreflectivas tiene lugar una transmisión selectiva de la luz de acuerdo con el espesor de las capas, así por ejemplo, con una capa antirreflectiva para la zona visible del espectro, el máximo de antirreflexión se crea para la luz amarilla y la imagen también adquiere un coloreado amarillento (léase miras chinas).

Retículo.

No hablaremos aquí de cual es el mejor retículo para determinado tiro, ya que de esto se ha hablado hasta el hartazgo.

En su forma más simple el retículo consiste en una cruz de hilos muy finos colocados en el plano focal del ocular, o sea, en el mismo lugar donde se forma la imagen real. El retículo se fija en un anillo (en su cara vuelta hacia el ocular), que sirve como diafragma de campo. Esto se hace para que el ojo pueda percibir imágenes de claridad uniforme en toda su extensión, y para que no sea molestado por partes excéntricas de luminosidad no

satisfactorias. La practica ha enseñado la conveniencia de elegir para el diámetro del diafragma de campo, que en este caso nos sirve de placa porta-retículo, una magnitud que es aproximadamente $1/3$ o $1/4$ de la distancia focal f_2 del ocular, por esta razón no puede colocarse cualquier arandela como placa porta-retículo. En otros casos, especialmente en muchas de las miras japonesas modernas, el retículo es grabado sobre una placa de vidrio, lo cual tiene su consecuencia, (lo analizaremos cuando veamos luminosidad)

Cuando un visor montado sobre un rifle, es dirigido hacia el lugar donde se encuentra un punto objeto nítido, por ejemplo, un ciervo, la imagen se halla en algún punto del campo visual. Moviendo todavía el anteojo en sentido horizontal y vertical, se podrá conseguir que la imagen se sitúe justamente en el cruce de los hilos del retículo. Solamente en una determinada y única posición del anteojo se producirá esta coincidencia. Decimos entonces que el anteojo está dirigido hacia el punto que se ha apuntado, o que se lo ha "bisectado".

Eje de colimación.

Todos los rayos emitidos por el objeto (ciervo) y que caigan sobre el objetivo, se reúnen entonces en el cruce del retículo. Entre estos rayos es especialmente interesante el que pasa por el centro óptico del objetivo, el que no sufre desviación al atravesarlo. De lo que se deduce que, cuando el anteojo está dirigido al punto objeto, se encuentran en una línea recta: el objeto, el centro óptico del objetivo y el cruce del retículo. Esta línea, definida en el anteojo por el Centro óptico del objetivo y el cruce del retículo, se llama eje de colimación. Apuntar a un punto implica entonces dirigir el eje de colimación a ese punto.

Se nota que el eje de colimación depende completamente de la manera cómo se ha montado el retículo, y como éste, (en la mayor parte de los instrumentos) permite pequeños desplazamientos perpendiculares y horizontales al eje del anteojo, por medio de los tornillos reguladores, el tirador puede modificar fácilmente en algo la posición del eje de colimación, con el objeto de satisfacer ciertas exigencias que se hacen sentir en los tiros.

Nunca debe, como ocurre en algunos textos, confundirse el "eje de colimación" con el "eje óptico" del anteojo, dado que esta última denominación significa el eje del objetivo o sea la recta que une los centros de curvatura de sus superficies, eje que no depende **en nada** de la posición del retículo.

Para conseguir que en un anteojo la imagen de un punto lejano o cercano se produzca en el plano focal del ocular, se mueve el ocular longitudinalmente. En algunos modelos de miras (por cierto mas antiguos, pero no por eso de peor calidad) este movimiento lo acompaña el retículo, que también está unido al tubo ocular por medio del anillo del diafragma de campo. Para que ojos de distintas condiciones puedan usar la mira cómodamente, el ocular (que es una lupa) debe todavía ser desplazable respecto al plano del retículo.

¿Qué es el famoso Paralaje?

Cuando el tirador este viendo entonces los hilos del retículo con toda claridad y cuándo,

después de haber movido el ocular hasta ver nítidamente también la imagen del objeto (producida por el objetivo), no hay que confiar todavía en que esa imagen se halle exactamente en el plano del retículo.

*El ojo puede tener la sensación de la nitidez aun cuando existe todavía una pequeña diferencia entre la situación del plano de la imagen del objeto y el plano del retículo. La pequeña distancia que puede existir aún entre esos dos planos se llama **paralaje**. Así es posible que la imagen se halla formado un poco delante o un poco detrás del plano del retículo.*

Si uno de estos casos sucede, y cuál de ellos sucede, se averigua fácilmente con mover un poco el ojo detrás del ocular: Si existe paralaje, se desplazará la imagen del objeto con respecto al retículo al mover el ojo, y según la manera cómo se desplace, se deducirá si esa imagen se encuentra más lejos o más cerca del ojo que el plano del retículo.

Les confiare un secreto, si, por ejemplo la imagen al mover el ojo se desplaza en el mismo sentido, es un indicio de que esa imagen se encuentra más alejada del ojo que el retículo.

En este caso se entrará un poco el tubo ocular hasta que desaparezca el paralaje. Si, por el contrario, al mover el ojo, la imagen se desplazara en sentido opuesto, sería indicio de que la imagen se halla más cerca del ojo que el retículo, en este caso sería necesario extraer un poco el tubo ocular para hacer desaparecer el paralaje. Lógicamente la imagen puede “emborronarse” al realizar estas operaciones, por lo que será necesario correr hacia delante o hacia atrás la lente objetivo, operación esta que no es sencilla de realizar en pleno campo.

Para esto, los fabricantes han diseñado miras con corrector de paralaje incluido. Se trata de tubos que montan el objetivo y que dan la posibilidad de girarlo manualmente, de manera que permiten adelantar o retrasar la lente objetivo, generalmente vienen graduados de 25 m. A infinito.

Particularmente nunca compraría una mira con corrector de paralaje, ya que es un artilugio de fabricación para tapar la mala calidad o bien de diseño o bien de las lentes, y no como sería de pensar, un aditamento u opcional de lujo, sino todo lo contrario. Una buena mira telescópica viene con paralaje libre de fabrica, (Paralax free) sin necesidad de estar corrigiéndolo de acuerdo a la distancia de tiro. Salvo que uno este en el polígono y con mucho tiempo. En el campo, con la adrenalina y los nervios a su máximo nivel, no hay tiempo para hacer cálculos, ni reglas de tres, ya sean simples o compuestas.

Bien, chiste al margen, antes de usar el anteojo de puntería, es imprescindible hacer desaparecer todo vestigio de paralaje, porque sería muy perjudicial para la precisión de los tiros si las bisecciones (alineamiento) dependieran de la posición del ojo detrás del ocular.

Los defectos de las lentes

Aberración esférica

Las diferencias entre los lugares de reunión de los rayos marginales y los rayos centrales salientes del mismo punto objeto, es tanto mayor cuanto mayor sea el ángulo de abertura

del cono de los rayos emitidos por el objeto. La aberración esférica tiene por consecuencia una *falta de claridad y nitidez de la imagen*. En lugar de puntos imágenes luminosos, se forman sobre la retina del ojo pequeños círculos, llamados círculos de dispersión (de un cierto diámetro), es decir, pequeñas superficies en lugar de puntos.

Similares círculos se forman por todos los puntos de un objeto, y esos círculos se superponen en parte, produciéndose entonces en conjunto una imagen a la cual falta nitidez y la que parece cubierta de un ligero velo.

Los defectos del ojo tienen su ventaja.

A pesar de la aberración esférica de las lentes, las imágenes producidas sobre la retina del ojo son *prácticamente* nítidas, debido a la circunstancia de que el ojo, por la constitución de la retina, no es capaz de percibir separados dos puntos cuando los rayos, que de ellos llegan al ojo, forman un ángulo menor de un minuto de arco. En consecuencia, no hay necesidad de que los instrumentos ópticos formen de los puntos objetos exactamente puntos imágenes, siendo suficiente que los círculos de dispersión producidos sean tan pequeños que el ojo los vea como puntos.

Aberración esférica mínima. Lente de la mejor forma.

Con una sola lente la aberración esférica no puede ser completamente eliminada, pero sí reducida a un mínimo para una determinada distancia del objeto. Esto se realiza mediante una adecuada elección de los radios de curvatura. Una tal lente, en la cual resulta reducida a un mínimo la aberración esférica para un objeto lejano, se llama "lente de la mejor forma".

Se puede demostrar que esa lente es de forma biconvexa. Por eso todas las lentes objetivos de las miras, los pares inversores y la lente del ojo del ocular, tienen esta forma.

Es decir, la aberración esférica, para rayos que proceden del infinito, (distancia más allá del foco de la lente) es mínima en una lente biconvexa. La cara de mayor curvatura debe estar dirigida hacia el lado de los rayos incidentes (hacia el objeto).

Aberración cromática.

Sabemos que la luz solar es una luz compuesta, la que al caer sobre un prisma o una lente se descompone en colores simples. Es el fenómeno de la dispersión cromática. Sabemos que el conjunto de tales colores se llama espectro solar, y si se reúnen otra vez tales colores, recomponen la luz blanca. Sabemos también que la descomposición de la luz blanca realizada mediante un experimento clásico que por primera vez lo efectuó NEWTON, tiene por causa los diferentes índices de refracción de las diversas clases de luz, correspondientes a los colores, índices que aumentan del rojo al violeta. Si se descompone así un rayo solar en una lente de vidrio crown formando el conocido espectro, en que los índices del rojo al violeta varían de 1,52 a 1,55, mientras que en el flint varían de 1,62 a 1,68. Esto significa que además de ser la refracción más fuerte en el flint que en el crown en la proporción de 15 a 16 aproximadamente, existe para el flint una diferencia notablemente más grande entre los índices de rojo y violeta, por lo cual el flint produce una dispersión cromática mucho más fuerte que el crown.

La medida para la dispersión cromática en el vidrio crown la da la diferencia entre los índices de refracción correspondientes a las luces roja y violeta: Esta diferencia resulta para el vidrio crown aproximadamente de: $1,55 - 1,52 = 0,03$, mientras que para el flint esa diferencia es de $1,68 - 1,62 = 0,06$, es decir, la dispersión en el vidrio flint es más o menos la doble de la dispersión en el vidrio crown.

Por tanto, si a una lente convergente de crown se le adosa una divergente de flint, pero de doble distancia focal, ésta anula la dispersión cromática producida por la lente convergente, pero sin cambiar por completo el carácter del sistema, que siempre queda convergente, aunque la convergencia, se halle reducida más o menos a la mitad.

El defecto que la dispersión en las lentes produce para la visión clara, se conoce como cromatismo o aberración cromática.

Si se deja subsistir tal defecto, se formarían imágenes confusas, bordeadas de colores. Muchas veces hemos mirado a través de visores, miras o binoculares, donde, el borde del campo visual, y los bordes de la imagen, aparecen con colores. Esta es la causa. Todo sistema óptico que se halla corregido para esta aberración se llama *acromático*.

Cuando se quiere conseguir un sistema acromático, se emplean dos lentes de diferentes clases de vidrio (técnicamente: de diferentes índices de refracción) una convergente de crown, y una divergente de flint, pegándolas, o haciendo contacto.

Como el vidrio flint tiene un poder de dispersión mayor que el crown, es posible eliminar la dispersión producida, consiguiendo realizar (además de la reducción de la aberración esférica) una combinación cromática, con potencia menor que la lente convergente simple.

Por eso los objetivos (que generalmente no superan las 5 dioptrías) las lentes del par inversor, en algunos modelos la lente de campo, y la lente del ojo del ocular, en los visores de calidad, son todos dobletes acromáticos. Por esta razón dijimos al principio que una mira telescópica, podía funcionar con 5, de mínima y con 10 u 11 lentes de máxima. Todo depende de la calidad que el fabricante quiera darle a su producto.

Viñeteo

El diafragma que de modo diferente detiene los haces de rayos axial e inclinados y a veces solo influye en el haz inclinado, se denomina diafragma de viñeta. Habitualmente las monturas de las lentes de las miras telescópicas funcionan como diafragma de viñeta. La presencia del primer diafragma hace que el segundo no juegue el papel de diafragma de abertura.

Como resultado del viñeteo, disminuye el área de la sección del haz inclinado de rayos.
El cociente del viñeteo de aberración no depende del tamaño de la pupila de entrada, sino del valor del ángulo visual y del tamaño de la imagen.

Las monturas de las lentes causan viñeteo que disminuyen el área de la sección de rayos inclinados, como se ha dicho, al calcular el sistema óptico se calculan las alturas de los rayos en todas las superficies de la lente, de manera de establecer los diámetros útiles que aseguren el pasaje de los rayos.

Distorsión

La aberración que se revela como la alteración de la semejanza entre el objeto y la imagen, se denomina distorsión. Esta no influye en la nitidez de la imagen, sino que causa la deformación de la imagen, por ejemplo una recta se ve como un arco.

El sistema óptico libre de distorsión se denomina ortoscópico. La distorsión puede ser positiva (en forma de almohadón) o negativa (en forma de barrilete).

Luminosidad (claridad superficial)

Para que la imagen de un punto objeto formada por una lente objetiva de un instrumento tenga un alto grado de claridad y nitidez, sería deseable que todos los rayos luminosos emitidos por el mismo e incidentes sobre una lente concurrieran a la formación del correspondiente Punto imagen. Pero esto no se verifica nunca matemáticamente, así que los rayos emitidos por un punto objeto son reunidos por la lente en puntos diferentes del espacio imagen). Si nos limitamos a utilizar rayos que forman ángulos muy pequeños con el eje (ángulos paraxiales), las distintas imágenes producidas por un determinado punto objeto difieren muy poco en su situación, de modo que el ojo humano tiene la impresión de un solo punto imagen, lo que equivale a decir que la imagen resulta nítida.

Es por tanto necesario introducir diafragmas que limitan los haces de rayos emitidos por los puntos objetos (diafragmas de rayos) y otros diafragmas (diafragmas de campo) que limitan los puntos objetos mismos que se observan, con lo cual se consiguen imágenes más perfectas.

Los diafragmas pueden consistir en las monturas mismas de las lentes, o ellos pueden ser láminas metálicas, perpendiculares al eje, con aberturas circulares, cuyos centros se hallan sobre dicho eje.

Los diafragmas de rayos pueden estar colocados delante, detrás o en el interior del sistema óptico, mientras que el diafragma de campo debe situarse siempre en el plano de la imagen real formada por el sistema óptico.

Cuando el objeto no es un punto objeto (estrella), sino un elemento superficial de alguna extensión, (ciervo, chancho, blanco, etc.) la relación que se cumple es la siguiente:

$$C = c_2 / c_1$$

En tal caso conviene comparar las cantidades de luz que recibe una unidad superficial de la retina en el caso de usarse el anteojo con el otro de observarse a ojo desnudo. De acuerdo con tal idea. establecemos la siguiente definición de la claridad o luminosidad superficial del anteojo.

Llamase claridad, luminosidad superficial o simplemente claridad o luminosidad de un anteojo (C) a la razón que existe entre la cantidad de luz (c_2) recibida por una unidad superficial de la retina al observar el objeto por medio de un anteojo, y la cantidad de luz (c_1) a la misma unidad de la retina al observar con ojo desnudo.

Si bien existe una forma de calcular la pupila de salida, que es la siguiente:

Diámetro de la lente objetivo / cantidad de aumentos

Y es bien conocido por los cazadores y tiradores que este resultado debe dar lo mas cercano a 7 (ej. En una mira 6x42, $42/6 = 7$) este valor no representa exactamente la realidad, dado que aunque la pupila de salida tenga ese valor, la iluminación por área de superficie puede no satisfacer la ecuación y la explicación que dimos arriba.

El concepto es de gran importancia práctica y sirve generalmente para calificar la luminosidad de un visor.

Empero, sabemos por lo visto anteriormente, que esa luminosidad no es la real, la verdadera, debido a las pérdidas de luz que los rayos luminosos sufren en su pasaje a través de las lentes, Con cada entrada de un rayo luminoso del aire al vidrio, una pequeña parte de su luminosidad se pierde por reflexión. Lo mismo ocurre en su salida, pudiendo estimarse en 5 % a "grosso modo" la pérdida de luz sufrida por el rayo luminoso en su pasaje del aire al vidrio y viceversa. Con más aproximación podemos decir:

- 9 % de pérdida para 2 superficies de vidrio en contacto con aire.
- 17 % de pérdida para 4 superficies de vidrio en contacto con aire.
- 25 % de pérdida para 6 superficies de vidrio en contacto con aire.
- 32 % de pérdida para 8 superficies de vidrio en contacto con aire.

A esta pérdida por reflexión debe agregarse la de absorción, obteniéndose así una reducida intensidad de iluminación total remanente en el sistema óptico, en el supuesto de tratarse siempre de iluminación de la parte central, o sea de objetos en la proximidad del eje óptico.

De aquí la importancia de los tratamientos antirreflejos, ya que estos aumentan la transmitancia de luz, justamente por reducir la reflexión.

Sin embargo no debemos olvidar que el ojo humano tiene una gran insensibilidad a las variaciones de intensidad lumínicas, es por ello que a pesar que la reducción en un sistema de por ejemplo, 8 lentes, llega a un 32%, no se aprecia mayor diferencia de iluminación entre la parte central y el borde.

Si el diámetro de la pupila del ojo, es mayor que el de la pupila de salida del sistema telescópico, la iluminancia subjetiva del instrumento disminuirá considerablemente en comparación con la observada a simple vista (en razón de los cuadrados de los diámetros de la pupila de salida de la mira y de la pupila del ojo).

*Por eso es importante igualar el diámetro de la pupila de salida del aparato al de la pupila del ojo. En consecuencia **NO es verdad que cuanto mayor sea la pupila de salida de una mira telescópica, mayor será su luminosidad.***

El aumento visual de un sistema óptico que cumple con este requisito, recibe el nombre de aumento normal. Tal aumento se utiliza comúnmente en los visores que se emplean con condiciones deficientes de luz, por ejemplo los binoculares 7X50 (pupila de salida

igual a 7,14) o las miras 6X42 y 8X56 (pupila igual a 7), lo que sucede en este ultimo caso, es que, cuanto mayor sea la pupila de entrada (lente objetivo) mayor cantidad de luz ingresará al sistema.

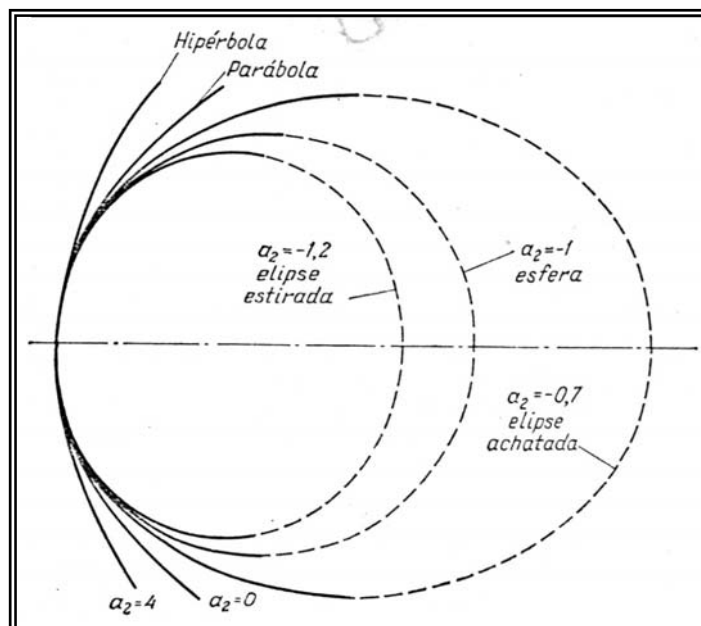
Hay que recordar que todas estas consideraciones se hacen en base a instrumentos de calidad, ya que, una mira 8X56 del montón, que no tiene corregida las aberraciones, con antirreflejos deficientes, combinaciones de vidrios que no son correctas, etc, etc, necesitará ser diafragmada en su interior a valores ridículos para conseguir una imagen aceptable (generalmente entre 3 y 5 mm.) por lo tanto de nada vale que posea una pupila de entrada exageradamente grande, ya que no rendirá mas que una 4X15 o 4X20 de mediana calidad.

Forma de las lentes

Ya hemos visto que un sistema óptico esta compuesto por un conjunto de piezas ópticas cuya disposición mutua se calcula. Las superficies de estas lentes (donde los rayos se refractan y reflejan) pueden ser esféricas y asféricas. En las miras telescópicas predominan las lentes esféricas, pero ya sabemos que dichas superficies, causan ciertos problemas en la imagen, cuyas correcciones y eliminación lleva al aumento del numero de superficies, es decir, complica el sistema.

Los sistemas ópticos se pueden simplificar sustituyendo las superficies esféricas por superficies asféricas. Las superficies asféricas con simetría axial pueden ser de dos tipos: superficies de ordenes superiores y superficies de segundo orden. Las secciones de las superficies de segundo orden que son las que se utilizan para las lentes de las miras, tienen el mismo radio de curvatura en los vértices.

Para dar una idea mejor acabada de la diferencia entre esféricas y asféricas, digamos que una lente esférica es un casquete de esfera, perfectamente redondo, perfectamente centrado y con todos sus radios iguales, y una asférica, tiene el perfil de una elipse, una hipérbola o una parábola, entre otras.



El empleo de este tipo de superficies comunica a los sistemas ópticos ventajas muy considerables, con respecto a los que están fabricados con superficies esféricas, pero el sistema de fabricación y de control de tales superficies los hace mucho, pero mucho más caros. Las más sencillas y por lo tanto, las que con más frecuencia se utilizan, son las superficies esféricas de segundo orden (elipsoide, paraboloides, hiperboloides).

No solo radica su precio en el tallado y control, sino que el cálculo para el fabricante de visores, que utilizan este tipo de superficies, es mucho más complejo, lograr que un sistema telescópico, como el de las miras, formado por este tipo de lentes, funcione a la perfección en todo sentido (nitidez, iluminación, centrado, corrección de defectos, etc.) no es algo sencillo.

Conclusión

Creo que a esta altura, ya se debe el lector, haber contestado la primera pregunta (el porque del valor de una buena mira) varios cientos de veces. En realidad esta conclusión la realizaré con dos preguntas más: ¿Piensa ud. que la diferencia de valores de un visor a otro es solo por la marca? ¿Puede un fabricante que vende una mira a un valor inferior a, digamos u\$s 600, diseñar y calcular su producto, teniendo en cuenta todo lo que dijimos y aun más?.

Buenos tiros.